T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

HAYAT BOYU ÖĞRENME GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
AÇIK ÖĞRETİM DAİRE BAŞKANLIĞI

FİZİK

5

YAZAR

Özge BİLTEKİN

ANKARA - 2023

MEB HAYAT BOYU ÖĞRENME GENEL MÜDÜRLÜĞÜ YAYINLARI
AÇIK ÖĞRETİM OKULLARI

Dil Uzmanı
Bülent Kenan ERKAN

Grafik Tasarım
YÜMER
Yayın Üretim Merkezi

Görsel Tasarım
YÜMER
Yayın Üretim Merkezi

Copyright © MEB
Her hakkı saklıdır. Millî Eğitim Bakanlığına aittir. Tümü ya da bölümleri izin alınmadan hiçbir şekilde çoğaltılamaz, basılamaz ve dağıtılamaz.

İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif ERSOY

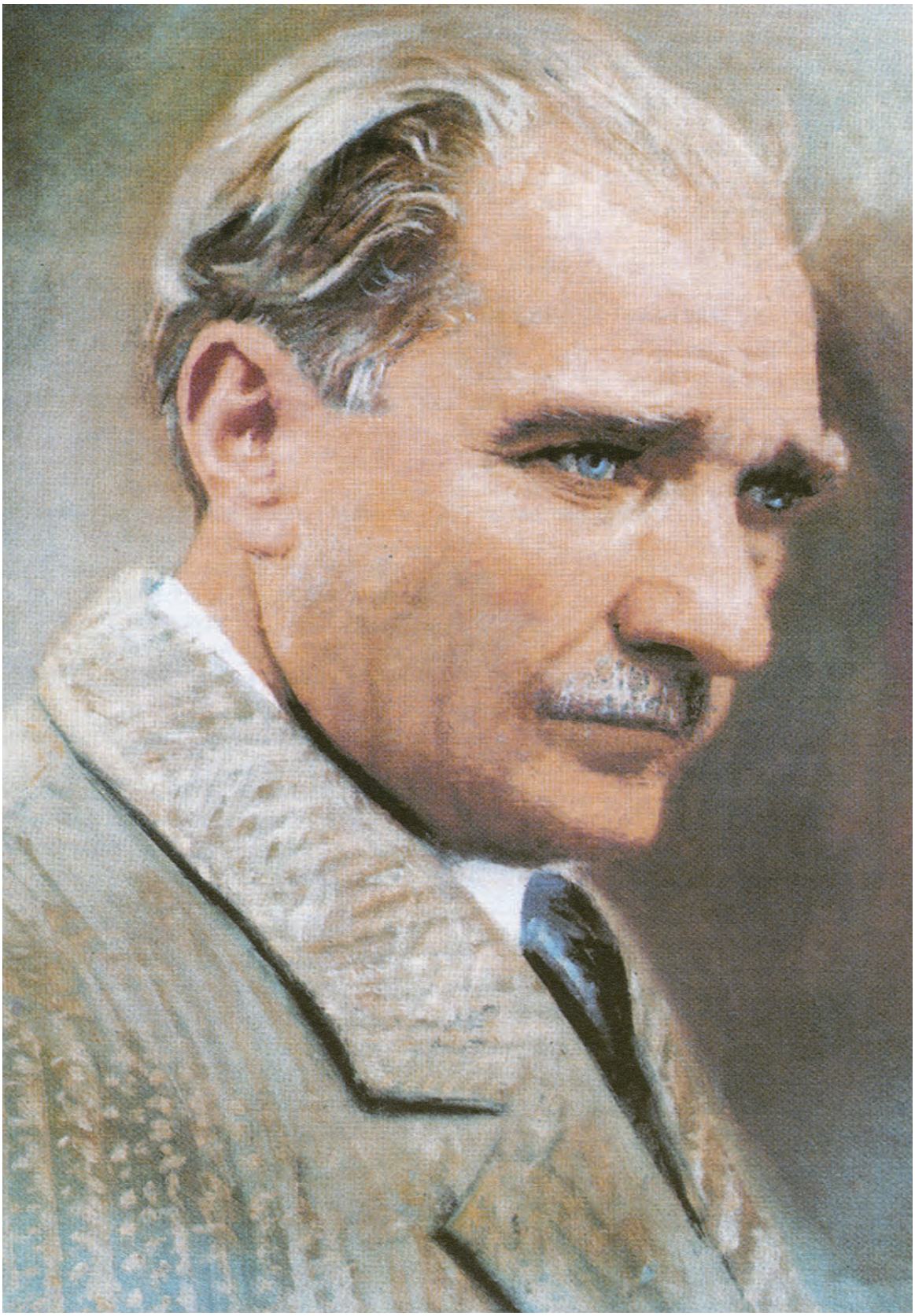
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



Mustafa Kemal ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

1. ÜNİTE

KUVVET VE HAREKET

1. VEKTÖRLER

Vektörlerin Özellikleri 11

Kartezyen Koordinat Sistemi 14

Vektörlerin Bileşkesinin Bulunması..... 17

Vektörlerin Bileşenlere Ayrılması 22

Bölüm Sonu Soruları..... 27

2. BAĞIL HAREKET

Sabit Hızlı İki Cismin Birbirine Göre Hareketi 31

Hareketli Bir Ortamdaki Sabit Hızlı Cisimlerin Farklı Gözlem Çerçevelerine göre Hareketi 36

Bölüm Sonu Soruları 40

3. NEWTON'IN HAREKET YASALARI

Net Kuvvetin Yönünün Bulunması ve Büyüklüğünün Hesaplanması 42

Bölüm Sonu Soruları 54

4. BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket 57

Hava Direncinin Olmadığı Yerde Serbest Düşme Hareketi 69

Hava Direncinin Olduğu (Sürtünmeli) Ortamda Serbest Düşme Hareketi..... 71

Limit Hız..... 72

Hava Direncinin Olmadığı Yerde Düşey Atış Hareketi..... 73

Bölüm Sonu Soruları..... 76

5. İKİ BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Atış Hareketleri 79

Bölüm Sonu Soruları 87

6. ENERJİ VE HAREKET

Yapılan İş ve Enerji Arasındaki İlişki 89

Mekanik Enerjinin Korunumu..... 93

Sürtünmeli Yüzeylerde Enerjinin Korunumu ve Dönüşümü..... 95

Bölüm Sonu Soruları 98

7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

İtme ve Çizgisel Momentum 99

İtme ile Çizgisel Momentum Değişimi Arasındaki İlişki..... 101

Çizgisel Momentumum Korunumu 103

Bölüm Sonu Soruları..... 115

8. TORK

Tork 117

Bölüm Sonu Soruları..... 121

9. DENGE VE DENGE ŞARTLARI

Cisimlerin Denge Şartları 123

Kütle Merkezi ve Ağırlık Merkezi 126

Bölüm Sonu Soruları..... 130

10. BASİT MAKİNELER

Basit Makineler 133

Basit Makinelerde Verim..... 143

Hayatımızı Kolaylaştıran Basit Makinelerden Oluşan Sistem Tasarımları..... 144

Bölüm Sonu Soruları..... 145

ÜNİTE ÖZETİ 147

ÜNİTE SONU DEĞERLENDİRME SORULARI..... 158

SÖZLÜK 165

KAYNAKÇA 167

1. Ünite

KUVVET VE HAREKET

1. Vektörler
2. Bağıl Hareket
3. Newton'ın Hareket Yasaları
4. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket
5. İki Boyutta Hareket
6. Enerji ve Hareket
7. İtme ve Çizgisel Momentum
8. Tork
9. Denge ve Denge Şartları
10. Basit Makineler

NELER ÖĞRENECEĞİZ?

- Kuvvetin cisimlerin hareketi üzerindeki etkilerini Newton'ın Hareket Kanunları'ndan yararlanarak incelemeyi,
- Bir boyutta hareketle ilgili kavramları öğrenip iki boyutta hareketi; okçuluk, paraşütle atlama, yağmur damlasının hareketi gibi örnekler üzerinden analiz etmeyi,
- Momentum kavramını günlük hayattaki çarpışma durumları ile ilişkilendirerek problem durumlarına çözümler üretmeyi,
- Kuvvetin döndürme etkisi olan tork kavramını ve denge şartlarını, günlük hayatta karşılaşılan problemlerden yararlanarak kavramayı,
- Kaldıraç, makara, eğik düzlem gibi basit makinelerin çalışma prensiplerini ve sağladığı avantajları kavrayarak problem durumlarına farklı tasarımlarla çözümler üretmeyi öğreneceğiz.

ANAHTAR KAVRAMLAR VE TERİMLER

- Vektör
- Bağıl hareket
- İvmeli hareket
- Serbest düşme
- Düşey atış
- Yatay atış
- Eğik atış
- Limit hız
- Enerji
- Hook Yasası
- İtme
- Çizgisel momentum
- Çizgisel momentumun korunumu
- Tork
- Denge
- Kütle merkezi
- Ağırlık merkezi

1. VEKTÖRLER

Fiziksel büyüklüklerin vektörel ve skaler olmak üzere ikiye ayrıldığını Fizik 1 dersinde "Fiziksel Niceliklerin Sınıflandırılması" konusunda öğrenmiştiniz. Skaler büyüklük yalnızca sayı ve birimle ifade edilebilen büyüklüklerdir. Uzunluk, kütle, hacim, ısı ve sıcaklık skaler büyüklüklere örnek verilebilir. Bir büyüklük olarak 5 kg denildiğinde kütleden 10 °C denildiğinde ise sıcaklıktan bahsedildiği anlaşılır. Vektörel büyüklükler sayı ve birim ile birlikte doğrultusunun ve yönünün de belirtilmesi gereken büyüklüklerdir. Kuvvet, hız, konum, yer değiştirme, ivme, elektriksel kuvvet ve elektrik alan vektörel büyüklüklere örnek olarak verilebilir. Örneğin rüzgârın şiddetinin 2 m/s olduğunu bilmek sörfçüler ve denizciler için yeterli bir bilgi değildir şiddetinin yanında yönünün de bilinmesi gerekir.

Neler Öğreneceğiz?

Kuvvet ve hareketle ilgili problemleri çözebilmek için vektörlerin özelliklerini,

İki ve üç boyutlu koordinat sisteminde vektörleri çizmeyi,

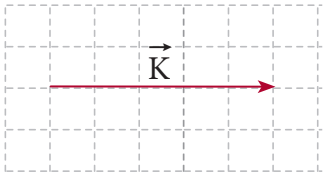
Bir vektörün iki boyutlu koordinat sisteminde bileşenlerini çizerek büyüklüklerini hesaplamayı öğreneceğiz.

1.1 Vektörlerin Özellikleri

Uzayda yönledirilmiş doğru parçasına **vektör** denir. Vektörel bir gösterimde vektörel büyüklüğün özellikleri;

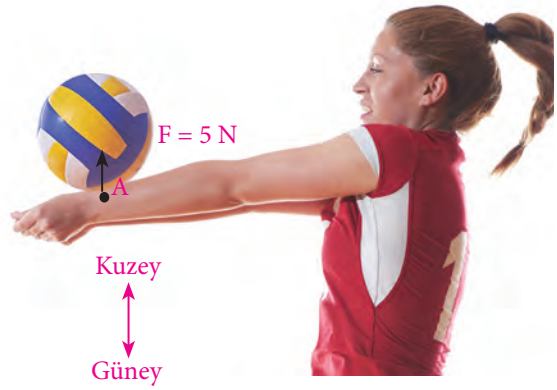
- şiddeti (büyüklüğü),
- başlangıç (uygulama) noktası,
- doğrultusu,
- yönü

olarak belirtilir ve Şekil 1.1 deki gibi gösterilir. Vektörel büyüklük yazılırken harfin üzerine küçük ok işareti konulur ve $\vec{K}$ şeklinde yazılır.



Şekil:1.1: Vektör gösterimi

Vektörel bir büyüklük olan kuvvet günlük yaşantımızda iç içe olduğumuz fiziksel bir büyüklüktür. Bu nedenle vektörlerin özelliklerini kuvvet kavramını inceleyerek öğreneceğiz. Futbol, voleybol gibi sporlarda topa kuvvet uygulayarak topun hareket etmesi sağlanır. Görsel 1.1 de topa vuran bir voleybolcu görülmektedir. Voleybolcu topa dokunduğu noktada belli bir kuvvet uygular ve topun güneyden kuzeye doğru hareket etmesini sağlar. Kuvvetin uygulama noktası Görsel 1.1 de A noktası olarak gösterilen elin topa değdiği noktadır.



Görsel 1.1: Voleybolcunun topa kuvvet uygulaması

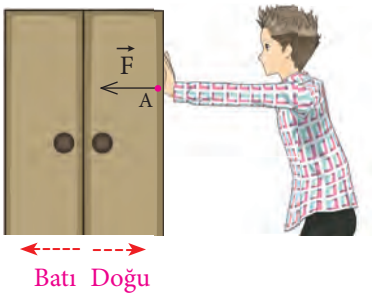
Örneğin; kuvvet vektörü $\vec{F}$ sembolü ile, gösterilirken kuvvet vektörünün büyüklüğü yalnızca harf sembolü veya mutlak değer içinde vektör gösterimi ile gösterilir.

Voleybolcunun topa uyguladığı kuvvetin büyüklüğü

$|\vec{F}| = F = 5$ N'dur.

Örnek

Sürtünmesiz düzlemde şekildeki gibi bir kutuya A noktasından 30 N'luk kuvvet uygulanmaktadır. $\vec{F}$ vektörünün özelliklerini belirtiniz ve vektörü çiziniz.



Çözüm

Şiddeti (büyüklüğü) = 30 N

Uygulama noktası: A noktası

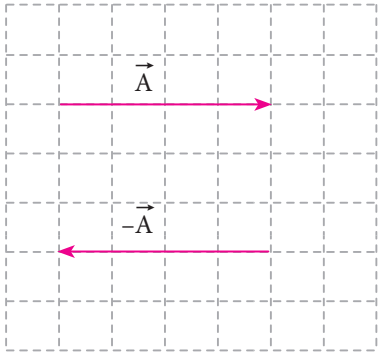
Doğrultusu: Doğu-batı

Yönü: Batı

$\xleftarrow{F = 30\ N}$

Bir Vektörün Tersi

Bir vektörün tersi alınırken vektörün yönü ters çevrilir ve başına – işareti konulur (Şekil 1.2).

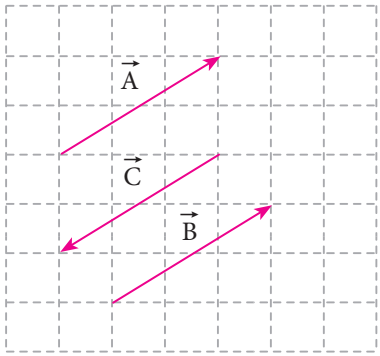


Şekil 1.2: Bir vektörün tersi

Eşit Vektörler

İki vektörün yönü, doğrultusu ve şiddeti aynı ise bu vektörler eşit vektörlerdir. Şekil 1.3 te gösterilen $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri birbirine eşittir. $\vec{C}$ ise $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörü ile aynı doğrultuda fakat zıt yöndedir. İki vektörün büyüklüğü ve doğrultusu eşit yönleri zıt ise bu iki vektör zıt vektördür.

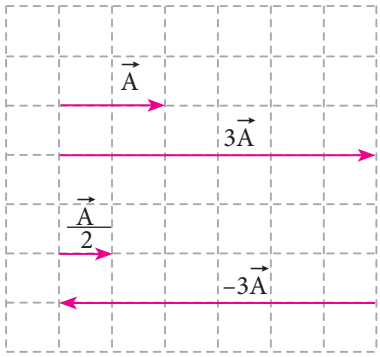
$\vec{A} = \vec{B}$ $\quad \vec{B} = -\vec{C}$ $\quad \vec{A} = -\vec{C}$



Şekil 1.3: Eşit vektörler

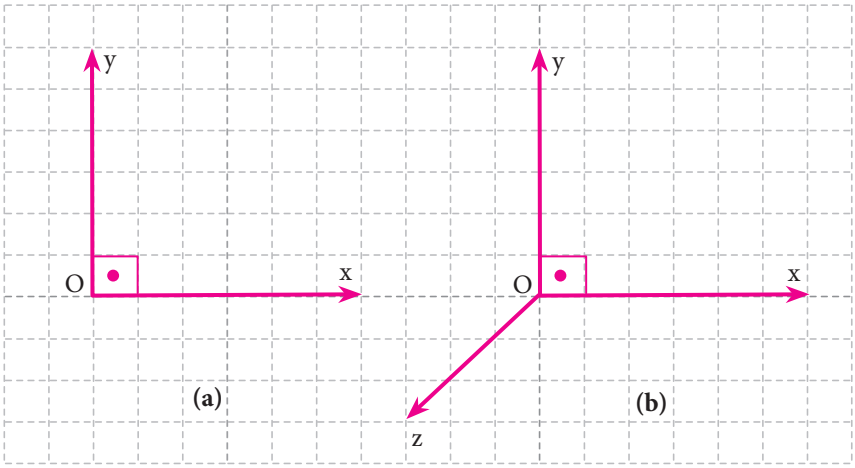
Bir Vektörün Skaler Bir Sayı İle Çarpımı

Bir vektörün pozitif bir sayı ile çarpımı yine bir vektörü verir. Pozitif bir sayı ile çarpıldığında vektörün, yönü ve doğrultusu değişmez. Bir vektör negatif sayı ile çarpıldığında ise vektörün yönü de değişir. Şekil 1.4 te $\vec{A}$ vektörünün 3 ile çarpıldığında büyüklüğü üç kat arttığı, 1/2 ile çarpıldığında büyüklüğünün yarıya düştüğü görülmektedir. $\vec{A}$ vektörü –3 ile çarpıldığında ise büyüklüğünün üç kat arttığı fakat yönünün de değiştiği görülmektedir.



Şekil 1.4: Bir vektörün skaler sayı ile çarpımı

1.2 Kartezyen Koordinat Sistemi



Şekil 1.5: a) İki boyutlu koordinat sistemi

b) Üç boyutlu koordinat sistemi

Birbirine dik doğrulardan oluşan sisteme **kartezyen koordinat sistemi** denir. Vektörler kartezyen koordinat sisteminde gösterilir. Birbirine dik olan x ve y eksenlerinin kesişmesiyle oluşan koordinat sistemi iki boyutlu kartezyen koordinat sistemidir (Şekil 1.5.a). Birbirine dik x, y, z eksenlerinin kesişmesi ile oluşan koordinat sistemi ise üç boyutlu koordinat sistemi olarak adlandırılır (Şekil 1.5.b). Koordinat eksenlerin kesiştiği noktaya ise **orjin** denir.

İki boyutlu koordinat sisteminde $\vec{A}$ vektörü x ekseni ve y ekseni üzerindeki bileşenlerinin toplamına eşittir.

$\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y$

$\vec{A}_x$, $\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki bileşeni, $\vec{A}_y$ ise y ekseni üzerindeki bileşenidir.

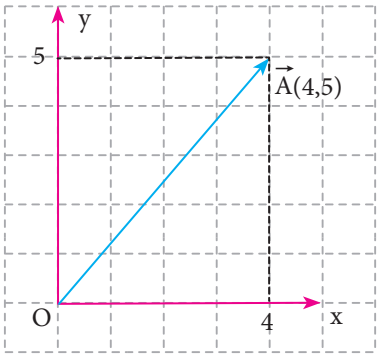
$\vec{A}$ vektörü, $\vec{A}$ (x, y) şeklinde gösterilir. Bir vektörün kartezyen koordinat sisteminde nasıl çizildiğini öğrenelim.

Örnek

$\vec{A}$ (4,5) vektörünü kartezyen koordinat sisteminde çizerek gösteriniz.

Çözüm

$\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki bileşeni 4, y ekseni üzerindeki bileşeni 5 olarak belirtilmiştir. Şekildeki gibi başlangıç noktasından 4 ve 5'in kesiştiği noktaya çizilen doğru $\vec{A}$ vektörünü verir.



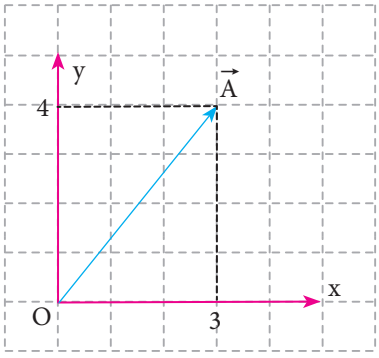
Örnek

Aşağıda verilen vektörleri kartezyen koordinat sisteminde çizerek gösteriniz.

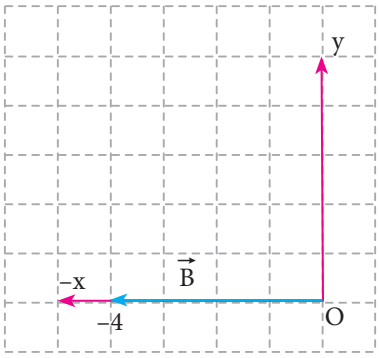
a) $\vec{A}$ (3,4) b) $\vec{B}$ (–4,0)

Çözüm

a) $\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki bileşeni 3, y ekseni üzerindeki bileşeni 4'tür.



b) $\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki bileşeni –4, y ekseni üzerindeki bileşeni 0'dır.



1.Uygulama

Aşağıda verilen vektörleri kartezyen koordinat sisteminde çizerek gösteriniz.

a) $\vec{A}$ (0,5) b) $\vec{B}$ (2,–4)

Çözüm

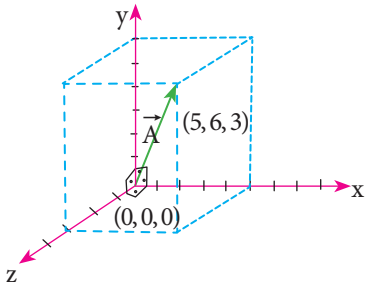
Üç boyutlu koordinat sisteminde $\vec{A}$ vektörü, $\vec{A}$ (x, y, z) şeklinde ifade edilir. $\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki bileşeni $\vec{A}_x$, y ekseni üzerindeki bileşeni $\vec{A}_y$, ve z ekseni üzerindeki bileşeni $\vec{A}_z$'dir. Üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde bir vektörün nasıl çizildiğini örneklerle öğrenelim.

Örnek

$\vec{A}$ (5, 6, 3) vektörünü üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde çiziniz.

Çözüm

$\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki bileşeni 5, y ekseni üzerindeki bileşeni 6, z ekseni üzerindeki bileşeni 3 tür. x ve y eksenlerinin üzerinde bileşenlerin kesim noktası (5, 6) noktasıdır. Bu noktanın z ekseni üzerindeki bileşeni olan 3 noktası ile birleştirildiğinde A (5, 6, 3) noktasını verir. Başlangıç noktasından üç noktanın kesiştiği noktaya çizilen doğru $\vec{A}$ vektörüdür.

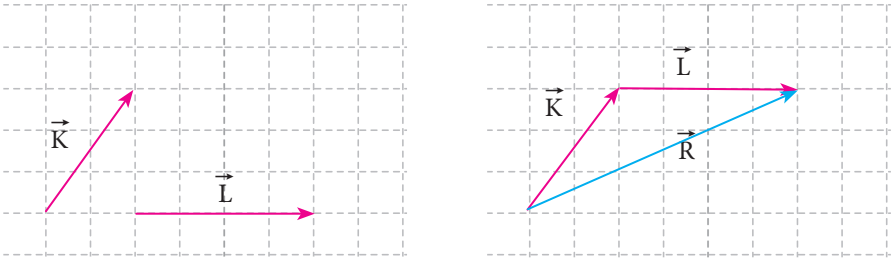


1.3 Vektörlerin Bileşkesinin Bulunması

Birden fazla vektörün toplanmasıyla elde edilen vektöre **bileşke vektör** denir. Bileşke vektör $\vec{R}$ sembolü ile gösterilir. Aynı doğrultuda vektörlerin toplanmasını Fizik 1 dersinde öğrenmiştik. Bu dönem doğrultuları farklı vektörlerin toplanmasını öğreneceğiz. Bileşke vektör bulunurken uç uca ekleme veya paralel kenar yöntemleri kullanılır.

a) Uç Uca Ekleme (Çokgen) Yöntemi

Uç uca ekleme yönteminde verilen vektörlerden bir tanesi seçilerek diğer vektör yönü doğrultusu ve büyüklüğü değiştirilmeden ucuna eklenir, varsa diğer vektörler de uç uca eklenir. Son vektör de eklendikten sonra ilk vektörün başlangıç noktasından son vektörün bitiş noktasına çizilen doğru bileşke vektörü verir. Şekil 1.6 da $\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörlerinin uç uca eklenerek $\vec{R}$ vektörünün bulunuşu gösterilmiştir. Bütün bu işlemler sırasında vektörlerin yön, doğrultu ve büyüklükleri değiştirilmez. Vektörlerin uç uca eklenmesinde vektörlerin sıralamasının bir önemi yoktur.

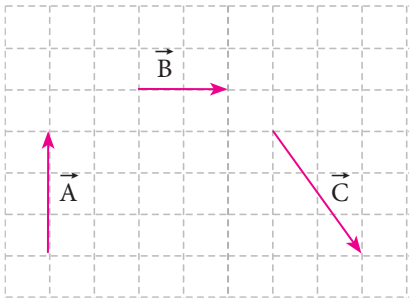


(a) (b)

Şekil 1.6: Vektörlerin bileşkesinin uc uca ekleme yöntemi ile bulunması

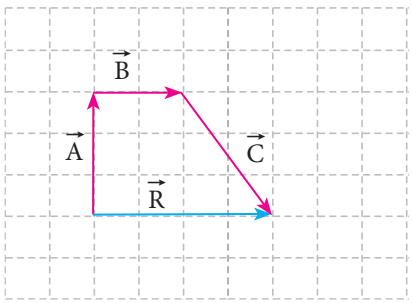
Örnek

Şekilde verilen $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$, vektörlerin bileşkesini (toplamını) uç uca ekleme yöntemi ile bulunuz.



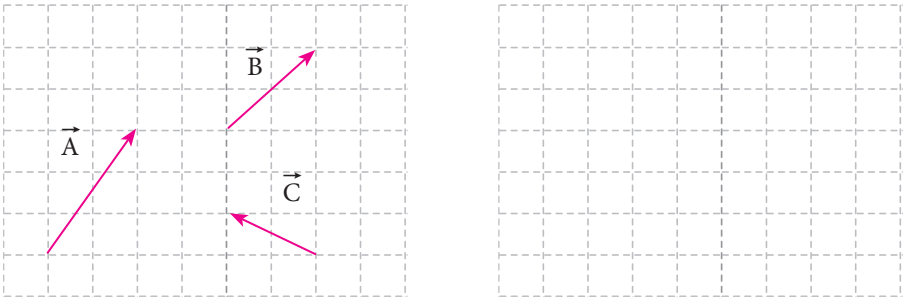
Çözüm

$\vec{A}$ vektörünün ucuna $\vec{B}$ vektörü eklenir, daha sonra $\vec{B}$ vektörünün ucuna $\vec{C}$ vektörü eklenir. $\vec{A}$ vektörünün başlangıç noktasından $\vec{C}$ vektörünün bitiş noktasına çizilen doğru bileşke vektörü verir.



2. Uygulama

$\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin bileşkesinin büyüklüğünü uç uca ekleme yöntemi ile bulunuz.

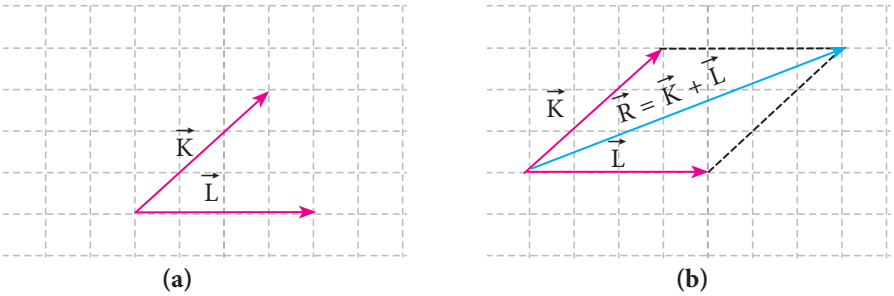


b) Paralel Kenar Yöntemi

Paralel kenar yöntemi ile bileşke vektörü bulunurken;

- Toplanacak olan $\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörlerinin başlangıç noktaları birleştirilir (Şekil1.7.a),
- $\vec{K}$ vektörünün ucuna $\vec{L}$ vektörüne paralel, $\vec{L}$ vektörünün ucuna $\vec{K}$ vektörüne paralel doğrular çizilir ve çizilen doğruların kesiştiği nokta işaretlenir (Şekil 1.7.b),
- Başlangıç noktasından doğruların kesişme noktasına çizilen doğru bileşke vektörü verir. Bileşke vektör $\vec{R}$ sembolü ile gösterilir.

$$\vec{K} + \vec{L} = \vec{R}$$

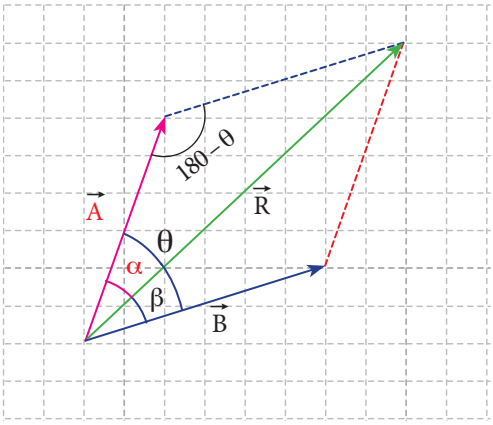


Şekil 1.7: Bileşke vektörünün paralel kenar yöntemi ile toplanması

3. Uygulama

Aşağıda verilen vektörleri paralelkenar yöntemi ile toplayınız.

Cosinüs Teoremi



Şekil 1.8: Aralarında θ açısı bulunan $\vec{A}$ ve $\vec{B}$'nin bileşkesi ($\vec{R}$)

Şekil 1.8 deki gibi aralarında θ açısı bulunan $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin bileşkesi olan $\vec{R}$ vektörünün büyüklüğü, cosinüs teoremi ile bulunur. Cosinüs Teoremine göre bileşke vektör;

$R^2 = A^2 + B^2 - 2A \cdot B \cdot \cos(180° - \theta)$

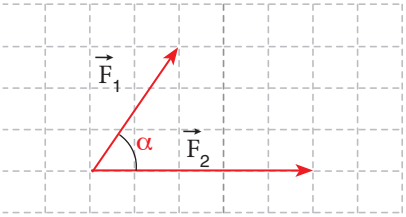
$\cos(180° - \theta) = -\cos\theta$ olduğundan

$\mathbf{R^2 = A^2 + B^2 + 2\,A \cdot B \cdot \cos\theta}$ bağıntısı ile bulunur.

Örnek

A noktasına uygulanan kuvvetler

$F_1 = 3$ N ve $F_2 = 5$ N'dur ve aralarındaki açı 60°'dir. Bu iki kuvvetin bileşkesinin büyüklüğünü bulunuz. ($\cos 60° = 1/2$)



Çözüm

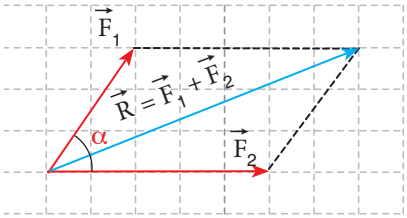
Cosinüs teoremi uygulandığında bileşke vektör; $R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\theta$

$R^2 = 3^2 + 5^2 + 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot \cos 60°$

$R^2 = 9 + 25 + 30 \cdot 1/2$

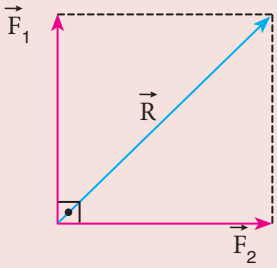
$R^2 = 49$

R = 7 N olarak bulunur.



BİLGİ KUTUSU

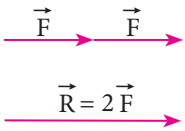
İki vektör arasındaki açı 90˚ise bileşke vektör cos90°=1 olması nedeniyle $R^2=A^2+B^2$ olur.



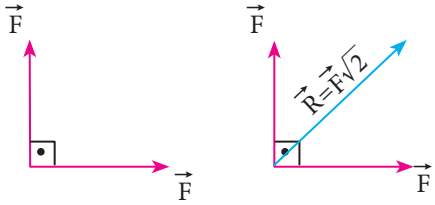
Bileşke Vektörün Bulunmasında Özel Durumlar

İki vektör birbirine eşit iken bileşke vektörün belirli açılarda aldığı değerler aşağıda belirtilmiştir.

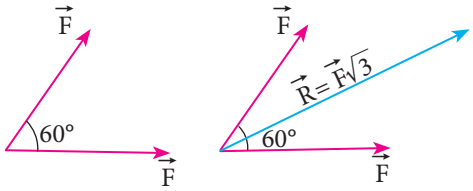
1 - Vektörler eşit ve aralarındaki açı α = 0˚ ise



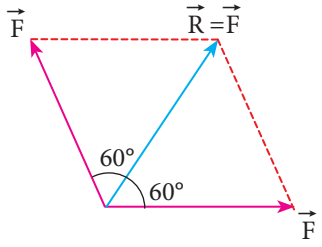
2 - Vektörler eşit ve α = 90˚ ise $\vec{R} = \vec{F}\sqrt{2}$



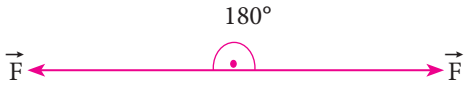
3 - Vektörler eşit ve α = 60° ise $\vec{R} = \vec{F}\sqrt{3}$



4 - Vektörler eşit ve α=120˚ ise $\vec{R} = \vec{F}$



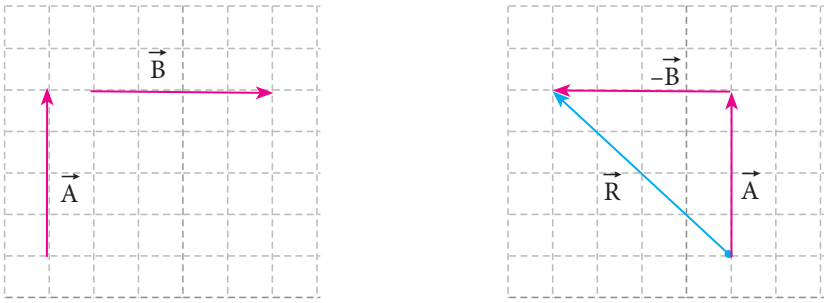
5 -Vektörler eşit ve α=180° ise R = F – F = 0



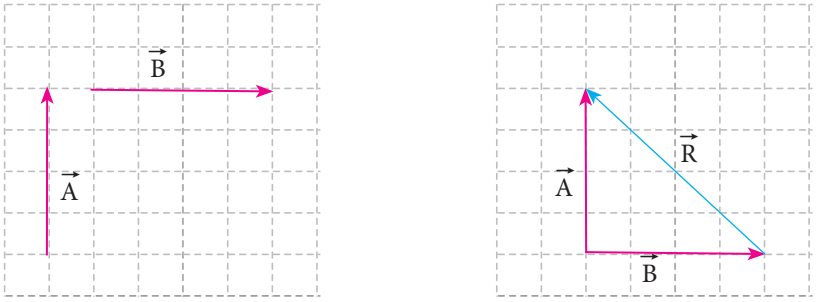
Vektörlerde Çıkarma işlemi

Vektörlerde çıkarma işlemi yapılırken çıkarılacak olan vektörün yönü ters çevrilir ve uç uca ekleme yöntemi uygulanır. Şekil 1.9 a'daki gibi $\vec{A}$ vektörünün ucuna $-\vec{B}$ vektörü eklenir. $\vec{A}$ vektörünün başlangıç noktasını $-\vec{B}$ vektörünün bitiş noktasına birleştiren doğru fark vektörü verir.

a)



b)

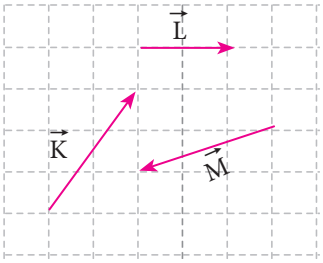


Şekil 1.9: Vektörlerde çıkarma

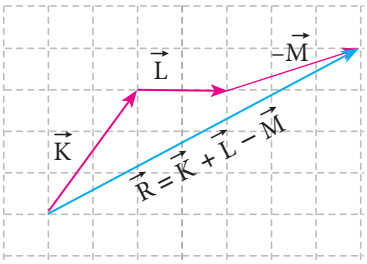
Başka bir yöntem de $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin başlangıç noktaları bir araya getirilir ve $\vec{B}$ vektörünün bitiminden $\vec{A}$ vektörünün başlangıç noktasına çizilen vektör iki vektörün farkını verir (Şekil 1.9.b).

Örnek

$\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörleri verilmiştir. Buna göre $\vec{K}+\vec{L}-\vec{M}$ işlemini yapınız.

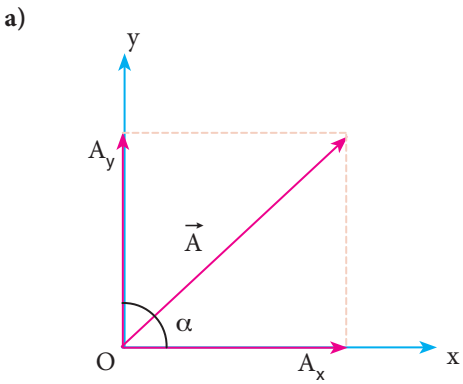


Çözüm

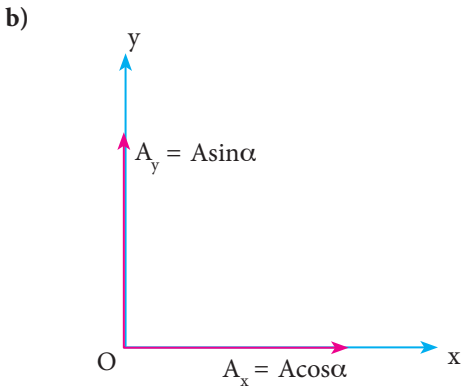


1.4 Vektörlerin Bileşenlere Ayrılması

Bir vektörü bileşenlerine ayırmak için kartezyen koordinat sisteminde vektörün eksenler üzerindeki izdüşümleri alınır. Vektörün kartezyen koordinat sisteminde eksenler üzerindeki izdüşümlerine o vektörün bileşenleri denir.



Şekil 1.10 a: Vektörün bileşenlerine ayrılması



Şekil 1.10 b: Vektörün bileşenlerinin bulunması

Şekil 1.10.a'da kartezyen koordinat sistemine yerleştirilen $\vec{A}$ vektörü bileşenlerine ayrılmıştır. $\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki izdüşümü $\vec{A}_x$, y ekseni üzerindeki izdüşümü $\vec{A}_y$ bileşeni olarak gösterilir. Oluşan dik üçgende $\vec{A}$ vektörünün yatayla yaptığı açının cosinüs ve sinüs değerlerinden yararlanılarak bileşenlerin sayısal değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil1.10.b).

$\cos\alpha = \dfrac{A_x}{A}$ $\quad A_x = A\cos\alpha$

$\sin\alpha = \dfrac{A_y}{A}$ $\quad A_y = A\sin\alpha$

$\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y$

$\vec{A}$ vektörünün büyüklüğü ise $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$ bağıntısı ile hesaplanır.

Vektörlerin uç uca ekleme ve paralelkenar yöntemi ile nasıl toplandığını öğrendik. Toplanması istenilen vektörlerin sayısı arttığında bileşke vektörü bulmak için daha pratik bir yöntem olan bileşenlere ayırma yöntemi kullanılır. Bileşenlere ayırma yöntemi ile vektörlerin bileşkesini bulmak için yapılması gerekenler;

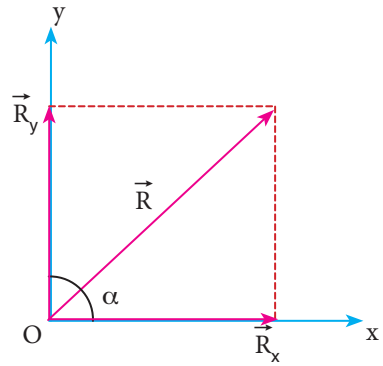
- Önce verilen bütün vektörler bileşenlerine ayrılır,
- Vektörlerin x ekseni üzerindeki bileşenleri vektörel olarak toplanarak bileşke vektörün x bileşeni R_x bulunur,
- Vektörlerin y ekseni üzerindeki bileşenleri vektörel olarak toplanarak bileşke vektörün y bileşeni R_y bulunur,
- Bileşke vektör $\vec{R}$ bu iki vektörün vektörel toplamına eşittir,
- $\vec{R} = \vec{R}_x + \vec{R}_y$
- Bileşke vektörün değerini birbirlerine dik oldukları için

  $R^2 = R_x^2 + R_y^2$

  $R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ şeklinde hesaplanır.
- Bileşke vektörün doğrultusu ise bileşke vektörün x ekseni ile yaptığı ile yaptığı açının tanjantı alınarak bulunur.

  $\tan\alpha = \dfrac{R_y}{R_x}$

vektörün doğrultusunu verir (Şekil 1.11).

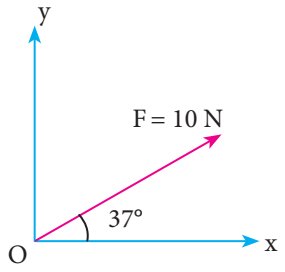


Şekil 1.11: Bileşke vektörün doğrultusu

Örnek

$\vec{F}$ kuvvetinin bileşenlerini bulunuz?

(sin37° = 0,6 cos37° = 0,8)



Çözüm

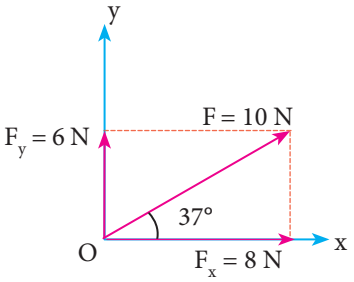
$\vec{F}_1$ vektörünün x ve y ekseni üzerindeki bileşenleri

$F_x = F_1 . \cos 37°$

$F_x = 10.0,8 = 8$ N

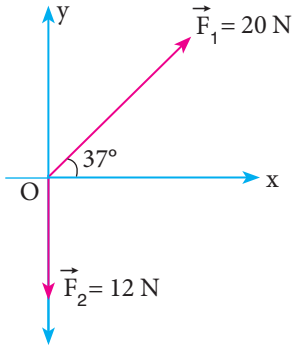
$F_y = F_1 . \sin 37°$

$F_y = 10.0,6 = 6$ N olarak bulunur.



Örnek

Şekilde verilen 20 N veya 12 N'luk iki kuvvetin bileşkesini bulunuz. (sin 37° = 0,6 cos37° = 0,8)



Çözüm

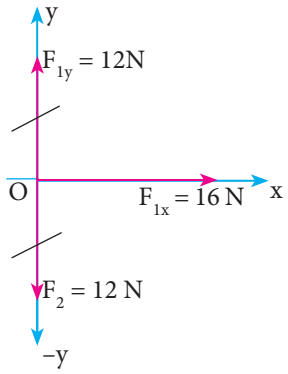
Yatayla 37° lik açı yapan 20 N'luk kuvvet bileşenlerine ayırılır.

$F_{1x} = F_1 . \cos 37°$

$F_{1x} = 20.0,8 = 16$ N

$F_{1y} = F_1 . \sin 37°$

$F_{1y} = 20.0,6 = 12$ N

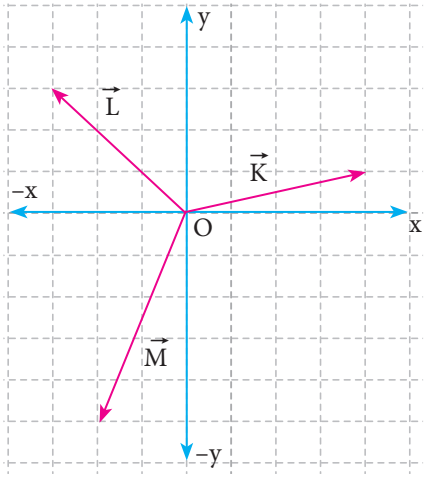


F_{1x}, F_{1y} ve F_2 kartezyen koordinat sisteminde yandaki gibi gösterilir. x ekseni üzerindeki (yatay doğrultudaki) kuvvet 12 N'dur. y ekseni üzerindeki kuvvetlerin toplamı sıfırdır. Buna göre bileşke vektör **+ x** yönünde ve **16 N** büyüklüğünde olur.

Örnek

Birim karelere ayrılmış kartezyen koordinat sisteminde $\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörleri verilmiştir.

$\vec{R} = \vec{K} + \vec{L} + \vec{M}$ olduğuna göre $\vec{R}$ vektörünün bileşenlerini bulunuz.



Çözüm

$\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin eksenler üzerindeki izdüşümleri alınarak bileşenleri;

$K_x = 4$ br $\quad K_y = 1$ br

$L_x = -3$ br $\quad L_y = 3$ br

$M_x = -2$ br $\quad L_y = -5$ br

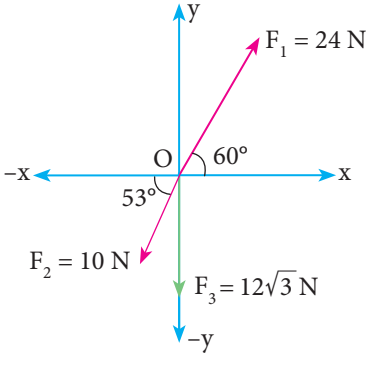
	x	y
K	4	1
L	–3	3
M	–2	–5
R (bileşke)	–1	–1

Vektörlerin x bileşenleri toplandığında $R_x = -1$ birim, vektörlerin y bileşenleri toplandığında $R_y = -1$birim olduğu görülür. Bileşenler toplanırken tablo oluşturarak yukarıdaki gibi de yapılabilir.

Örnek

O Noktasal cismine aynı anda etki eden $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve F_3 kuvvetlerinin bileşkesininin büyüklüğünü bulunuz.

$\left(\sin 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}, \cos 60° = \frac{1}{2}, \sin 53° = 0,8, \cos 53° = 0,6\right)$



Çözüm

Kuvvetlerin eksenler üzerindeki bileşenleri;

$F_{1x} = F_1 \cdot \cos 60$ $\quad F_{1x} = 24 \cdot \frac{1}{2} = 12$ N (+x yönünde)

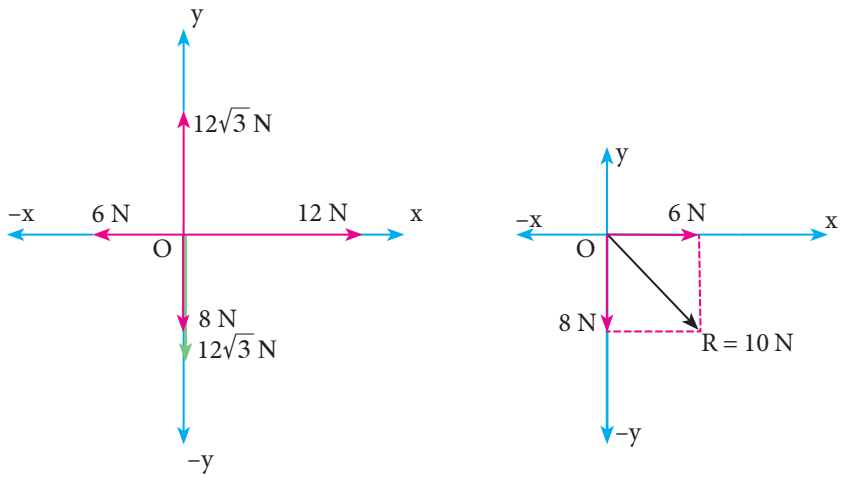
$F_{1y} = F_1 \cdot \sin 60$ $\quad F_{1y} = 24 \cdot \sqrt{\frac{3}{2}} = 12\sqrt{3}$ N (+y yönünde)

$F_{2x} = F_2 \cdot \cos 53$ $\quad F_{2x} = 10 \,.\, 0{,}6 = 6$ N (–x yönünde)

$F_{2y} = F_2 \cdot \sin 53$ $\quad F_{2y} = 10 \,.\, 0{,}8 = 8$ N (-y yönünde)

$F_{3x} = 0$ $\quad F_{3y} = 12\sqrt{3}$ N (–y yönünde)

olarak hesaplanır. Bileşenleri kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki gibi gösterilir.



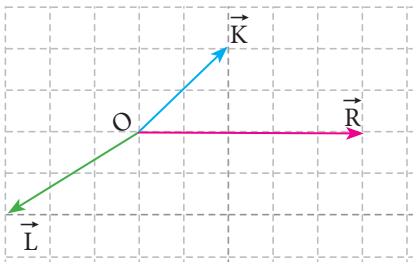
x ekseni doğrultusundaki kuvvetlerin bileşkesi +x yönünde 6 N olur. y ekseni doğrultusundaki kuvvetlerin bileşkesi -y yönünde 8 N'dur. Bileşkenin büyüklüğü;

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$R = \sqrt{6^2 + 8^2} = \sqrt{36 + 64} = 10$ N olur ve şekildeki gibi gösterilir.

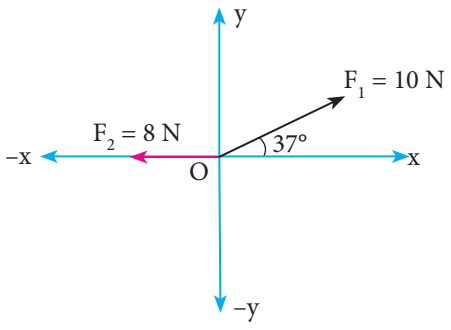
4. Uygulama

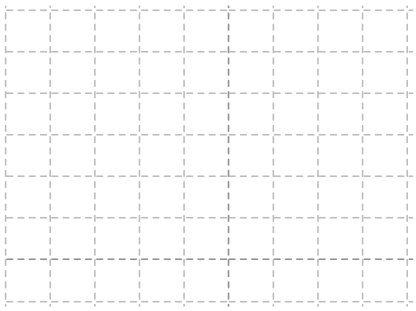
O noktasına etki eden $\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin bileşkesi $\vec{R}$ vektörüdür. $\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ ve $\vec{R}$ şekilde gösterilmiştir. Buna göre $\vec{M}$ vektörünü bulunuz.



5.Uygulama

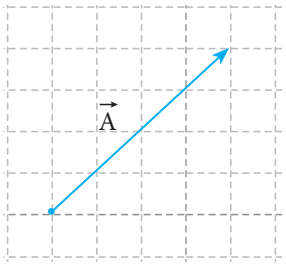
Şekilde verilen kuvvetler O noktasına etki etmektedir, kuvvetlerin bileşkesini bulunuz. (sin37° = 0,6 cos37° = 0,8)



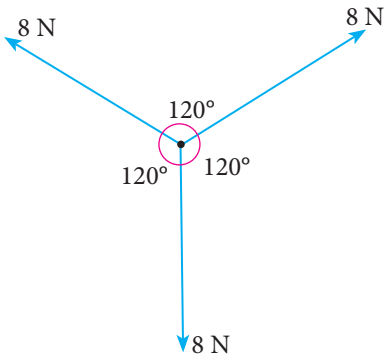


Bölüm Sonu Soruları

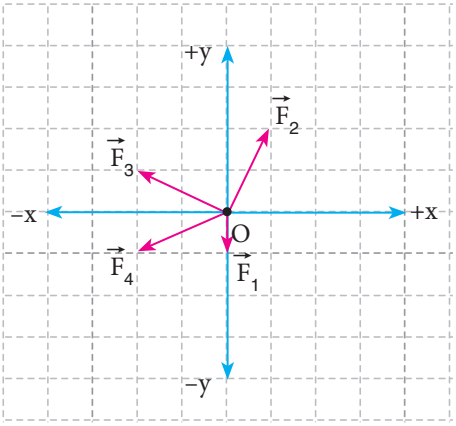
1- Şekildeki $\vec{A}$ vektörünün bileşenlerini bulunuz.



2- Noktasal O cismine şekildeki kuvvetler etki ettiğine göre cisme etki eden bileşke kuvvetin büyüklüğünü bulunuz.

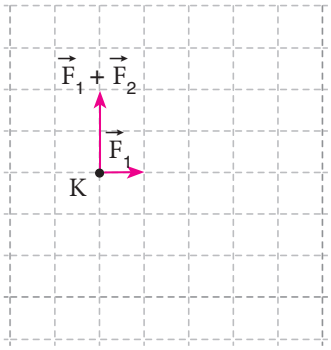


3 - Sürtünmesiz yatay düzlemde durmakta olan O noktasal cismine yatay düzleme paralel olarak şekildeki kuvvetler etki etmektedir. Buna göre O cismine etki eden kuvvetlerin x ve y eksenleri üzerindeki bileşenleri kaç birimdir?



4- K cismine yatay ve sürtünmesiz düzlemde etki eden kuvvetlerden $\vec{F}_1 + \vec{F}_2$ ve $\vec{F}_1$ şekilde gösterilmiştir.

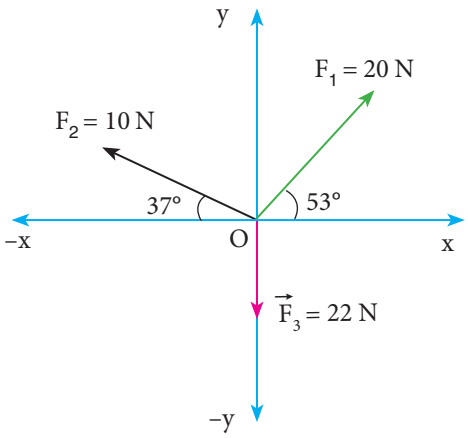
Buna göre $\vec{F}_2$ vektörünün x ve y bileşenlerini bulunuz.



5- Doğultuları ve yönleri şekildeki gibi olan $F_1 = 20$ N, $F_2 = 10$ N, $F_3 = 22$ N kuvvetlerinin bileşkesinin büyüklüğünü bulunuz.

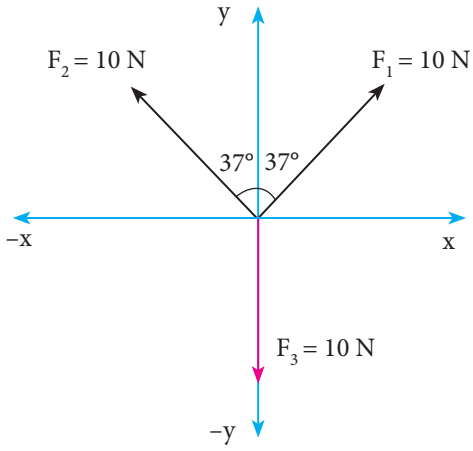
(sin37° = 0,6 cos37° = 0,8 cos53° = 0,6

sin53° = 0.8)

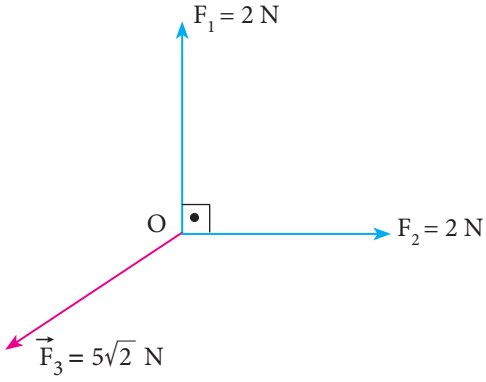


6- Şekilde verilen kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğünü bulunuz. (sin37° = 0,6

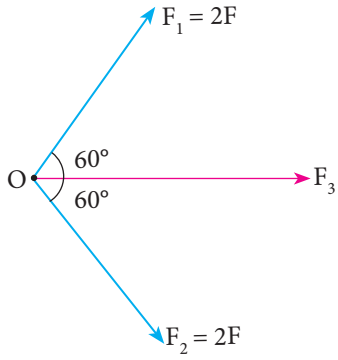
cos37° = 0,8 cos53° = 0,6 sin 53° = 0.8)



7- O noktasına etki eden kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğünü bulunuz.

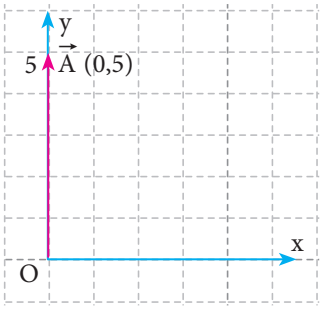


8- O noktasal cismini etki eden kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğü F_3 yönünde 6F'dir. Buna göre $\vec{F}_3$ vektörünün büyüklüğü kaç F'dir.

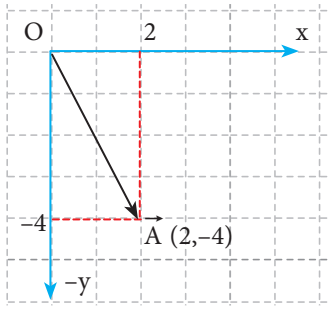


Uygulama Sorularının Çözümleri

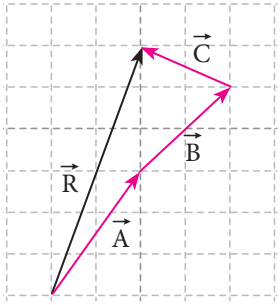
1- a)



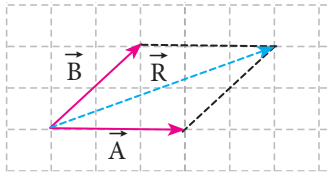
b)



2-



3-



4-

	x	y
K	2	2
L	–3	–2
M	6	0
R (bileşke)	5	0

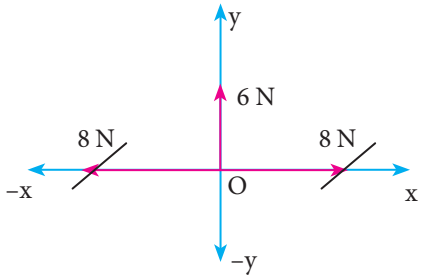
5-

$F_{1x} = F \cos 37° = 10.0{,}8 = 8$ N

$F_{1y} = F \sin 37° = 10.0{,}6 = 6$ N

$F_2 = 8$ N

R = 6 N (+y yönünde)



Bölüm Sonu Soruları Cevapları

1. $A_x = 4$ br , $A_y = 4$ br **2.** R = 0 **3.** $R_x = -3$ br, $R_y = 1$br

4. $F_x = -1$ $F_y = 2$ **5.** R = 4 N (+x yönünde) **6.** R = 6 N (+ y yönünde)

7. $R = 3\sqrt{2}$ N **8.** $F_3 = 4F$

2. BAĞIL HAREKET

Fizik 1 dersinde "Hareketin Göreceliliği" konusunda hareket, belirlenen bir referans noktasına göre cismin yer değiştirmesi olarak tanımlanmıştı. Hareket eden bir aracın içindeki yolcunun araca göre hareketsiz fakat yere veya dışarda durmakta olan bir gözlemciye göre hareketli olduğunu biliyoruz. Aynı veya zıt yönde ilerleyen araçların içinde bulunan gözlemciler aynı hareketi farklı algılayabilirler. Aynı yönde eşit ve sabit hızla hareket eden araçtaki gözlemcilerin; diğer aracı durgun hâlde, zıt yönde hareket eden araçtaki gözlemcilerin ise birbirlerini olduğundan daha hızlı algılamasının nedeni nedir?

Neler Öğreneceğiz?

Sabit hıza sahip iki cismin hareketini birbirine göre yorumlamayı,

Hareketli bir ortamdaki sabit hızlı cisimlerin hareketini farklı gözlem çerçevelerine göre yorumlamayı,

Bağıl hareket ile ilgili günlük yaşam problemlerini çözmeyi öğreneceğiz.

2.1. Sabit Hızlı İki Cismin Birbirine Göre Hareketi

Bir referans sistemindeki gözlemciye göre hareketsiz görülen bir cisim başka bir referans sistemindeki gözlemciye göre hareketli olabilir. Bu nedenle mutlak bir referans sisteminden bahsedilemez ancak seçilen referans sistemi durgun kabul edilir ve hareket durgun kabul edilen bu referans sistemine göre tanımlanır. Bir hareketli farklı referans sistemlerinden gözlendiğinde farklı hızlardan bahsedilir. Trafikte sabit ve eşit hızla aynı yönde giden araçların birbirini duruyor gibi görmesinin nedeni gözlemcinin içinde bulunduğu referans sistemini hareketsiz algılamasıdır.

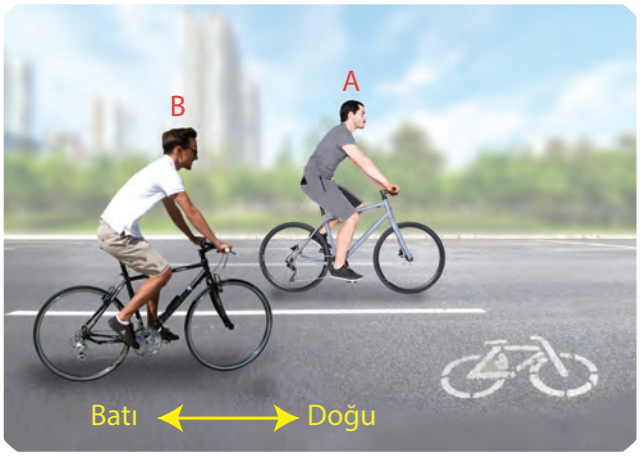
Bir hareketlinin herhangi bir referans sistemindeki gözlemciye göre hareketine **bağıl hareket**, hızına da **bağıl hız** denir. Bağıl hız, göreceli hız olarak da ifade edilebilir. Bağıl hız hesaplanırken gözlemci ve gözlenenin hız vektörleri kullanılır.

Hareket hâlindeki iki cismin birine göre diğerinin hızı ($\vec{v}_{bağıl}$), gözlenenin hızı ($\vec{v}_{gözlenen}$) ile gözlemcinin hızının($\vec{v}_{gözlemci}$) vektörel olarak farkına eşittir. Gözlemcinin ve gözlenenin hızları yere göre belirlenen hızlarıdır.

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

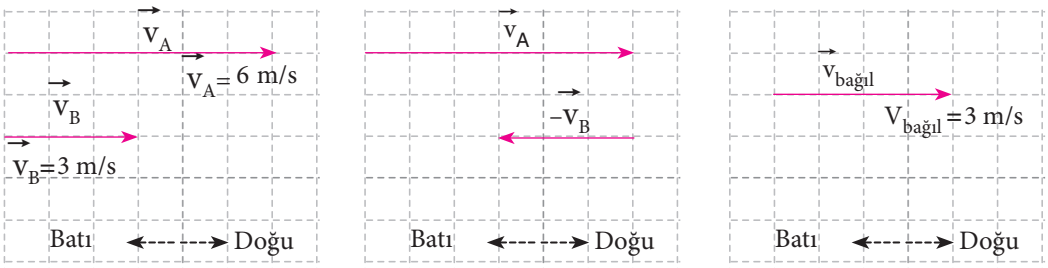
a) Aynı Doğrultuda Hareket Eden Sabit Hızlı Cisimlerin Birbirine Göre Hareketi

Görsel 2.1 de doğrusal bir yolda yan yana ve doğuya doğru hareket eden iki bisikletli görülmektedir. A bisikletinin yere göre hızı $v_A = 6$ m/s'dir. B bisikletinin hızı ise $v_B = 3$ m/s'dir. B bisikletine göre A'nın hızını hesaplayalım. Bu durumda B gözlemci, A ise gözlenen'dir. A'nın B'ye göre hızını $v_{bağıl}$ olarak gösterebileceğimiz gibi $\vec{v}_{AB}$ olarak da gösterebiliriz.



Görsel 2.1: Aynı yönde doğrusal yolda hareket eden bisikletler

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_A - \vec{v}_B$ veya $\vec{v}_{BA} = \vec{v}_A - \vec{v}_B$ şeklinde yazılabilir.



Şekil 2.1: a) Hareketlinin hız vektörleri b) Gözlemcinin hız vektörünün ters çevrilmesi c) Bağıl hız

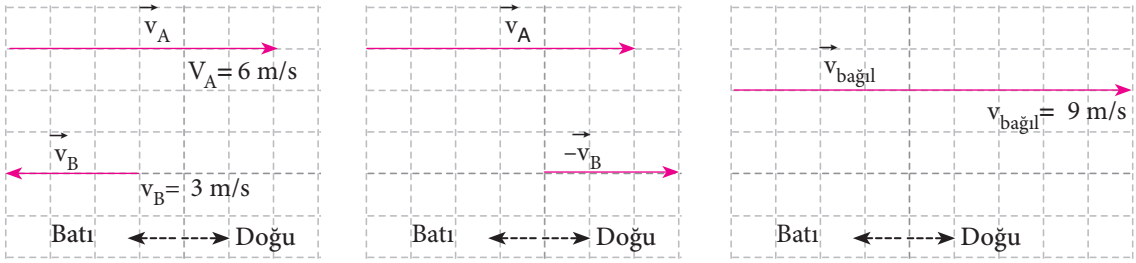
Bağıl hızı bulunurken;

Hareketlilerin hız vektörleri Şekil 2.1: a'daki gibi çizilir,

Gözlemcinin hız vektörü Şekil 2.1: b'deki gibi ters çevrilir,

Daha sonra gözlenenin hız vektörü ile gözlemcinin hız vektörünün tersi ile toplanır. Bağıl hız Şekil 2.1: c'deki gibi 3 m/s doğu yönündedir.

A bisikleti doğu yönünde, B bisikleti ise batı yönünde hareket etttiğinde B bisikletine göre A bisikletinin bağıl hız vektörünün bulalım.

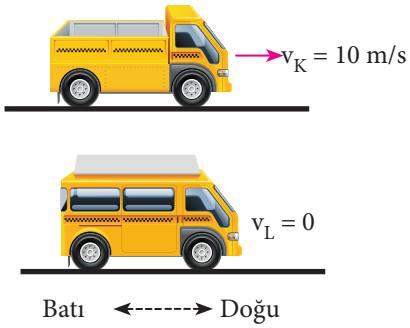


Şekil 2.2: a) Hareketlilerin hız vektörleri b) Gözlemcinin hız vektörünün ters çevrilmesi c) Bağıl hız

Bağıl hız vektörünün yönü gözlemcinin hız vektörünün tersi ile gözlenen hareketlinin hız vektörünün toplamı ile bulunur (Şekil 2.2: a,2.2 b). Bağıl hız Şekil 2.2: c'deki gibi doğu yönünde 9 m/s'dir.

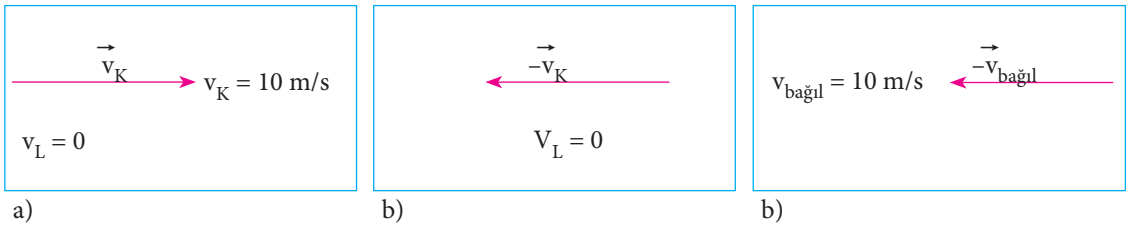
Örnek

Şekil 2.2 de K ve L araçlarının sahip oldukları hız vektörleri verilmiştir. Durmakta olan L aracının yanından geçen K aracındaki gözlemci L aracının hızını hangi büyüklükte ve yönde görür?



Çözüm

Önce hareketlilerin hız vektörleri çizilir (a)
Gözlemcinin hız vektörü ters çevrilir (b)



a) b) b)

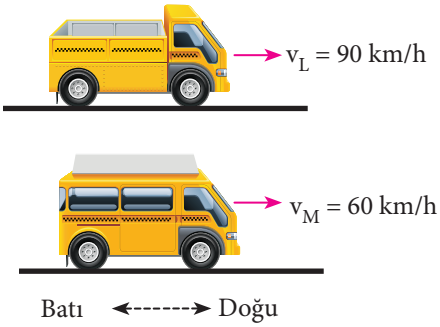
Gözlenen ve gözlemcinin hız vektörünün tersi ile toplanır (c)

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_L - \vec{v}_K$

$\vec{v}_{KL} = -10$ m/s **doğu**

Örnek

Şekildeki L ve M araçları aynı yönde farklı hızlarla ilerlemektedir. L aracında bulunan sürücü M aracını hangi gidiyor hızla görür.



Çözüm

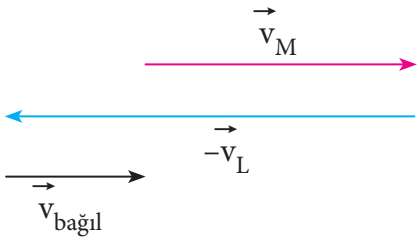
$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$

$\vec{v}_{gözlemci} = 90$ km/h

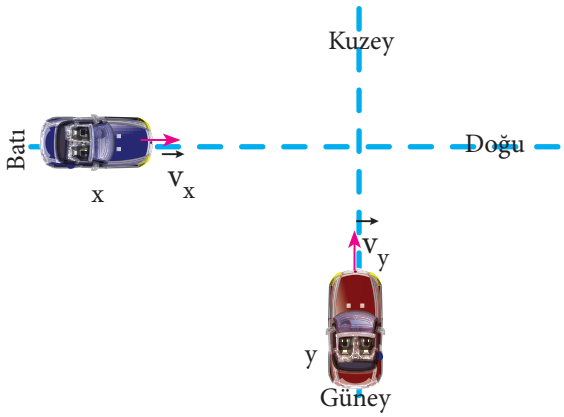
$\vec{v}_{gözlenen} = 60$ km/h

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_L - \vec{v}_M$

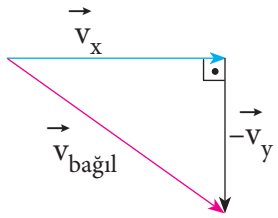
$\vec{v}_{bağıl} = 60 - 90 = -30$ km/h **batı**



b) Farklı Doğrultuda Hareket Eden Sabit Hızlı Cisimlerin Birbirine Göre Hareketi



Şekil 2.3: Farklı doğrultuda hareket eden araçlar



Şekil 2.4: Bağıl hız vektörünü bulunuşu

Sabit hızla hareket eden cisimler her zaman aynı doğrultuda hareket etmeyebilir. Bu durumu Şekil 2.3 deki x ve y araçlarının birbirine göre hareketini inceleyerek öğrenelim. x aracı doğuya doğru $\vec{v}_x$ hızıyla, y aracı kuzeye doğru $\vec{v}_y$ hızıyla hareket ediyor y aracındaki gözlemci, x aracını hangi hızda görür?

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_x - \vec{v}_y$

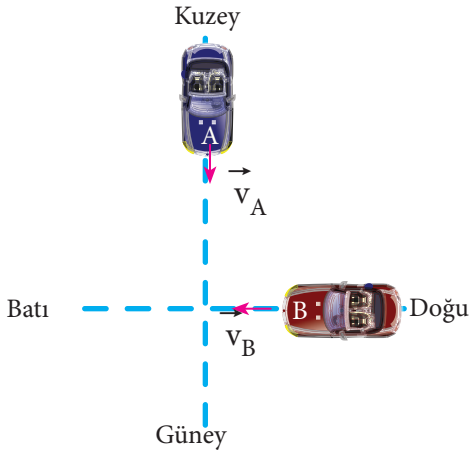
x aracı gözlenen, y aracı gözlemcidir. y aracındaki gözlemcinin hız vektörünün tersi ile x aracının hız vektörü şekil 2.4 teki gibi vektörel olarak toplanarak bağıl hız vektörünün yönü bulunur.

Vektörel toplamın büyüklüğü, vektörler aralarındaki açı 90° olduğu için

$v^2_{bağıl} = v^2_x + v^2_y$ bağıntısı ile bulunur.

Örnek

A aracı güneye doğru $\vec{v}_A = 40$ m/s, B aracı batıya doğru $\vec{v}_B = 30$ m/s hızla hareket ediyor A aracındaki gözlemci, B aracını hangi hızda gidiyormuş gibi görür?



Çözüm

B aracı gözlenen, A aracı gözlemcidir, B aracının A'ya göre hızını bulmak için;

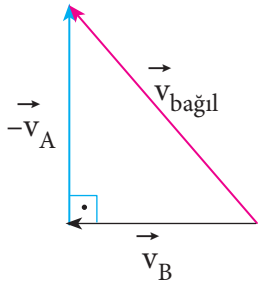
A aracındaki gözlemcinin hız vektörünün tersi B aracının hız vektörü ile vektörel olarak toplanır ve bağıl hız vektörü aşağıdaki gibi bulunur.

Hız vektörünün büyüklüğü;

$v^2_{bağıl} = v^2_A + v^2_B$

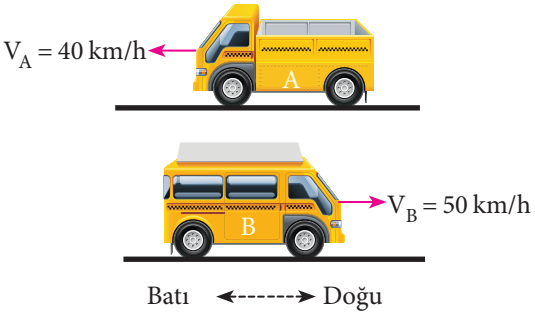
$v_{bağıl} = \sqrt{40^2 + 30^2}$

$v_{bağıl} = 50$ m/s



1. Uygulama

Şekildeki A ve B araçları zıt yönde farklı hızlarla ilerlemektedir. A aracının hızı batı yönünde 40 km/h, B aracının hızı doğu yönünde 50 km/h olduğuna göre A aracında bulunan sürücü B aracını hangi hızla gidiyor görür.



2. Uygulama

Bir K aracı doğuya doğru 30 km/h hızla ilerlemektedir. K aracında bulunan gözlemci aşağıda hızları verilen L ve N araçlarını hangi hızlarla görür?

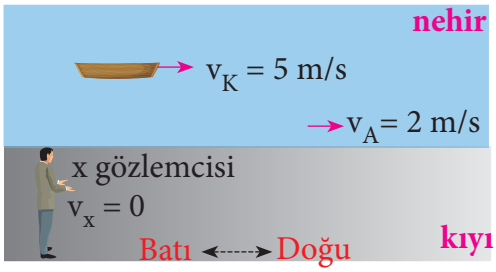
a) Doğuya doğru 40 km/h hızla giden L aracı

b) Kuzeye doğru 40 km/h hızla giden olarak N aracı

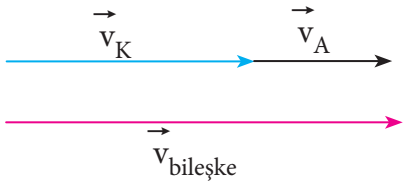
2.2. Hareketli Bir Ortamdaki Sabit Hızlı Cisimlerin Farklı Gözlem Çerçevelerine Göre Hareketi

Sabit hızlı iki cismin birbirine göre hareketini yorumlamayı ve hızının büyüklüğünü ve yönünü bulmayı öğrendik. İçinde bulunulan ortamın hareketli olduğu durumlarda sabit hızlı cisimlerin hareketinin nasıl olduğunu inceleyelim.

Hareketli bir ortamda bulunan sabit hızlı cisimlerin bu ortama (referans sistemine) göre hızından bahsedildiğinde bu hız, cismin referans sisteminden bağımsız kendine ait hızıdır. Hareket hâlindeki trende yürüyen insan, hareket hâlindeki geminin güvertesindeki bir bisikletli veya nehirde hareket eden bir kayığın sahip olduğu hız cismin bu hareketlilerden bağımsız kendi hızıdır.



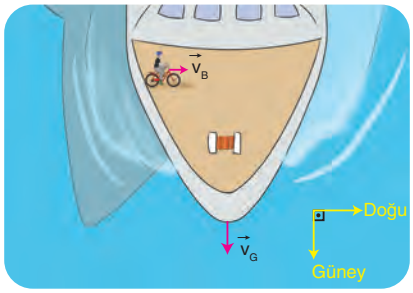
Şekil 2.5: Nehirde sabit hızla ilerleyen kayık



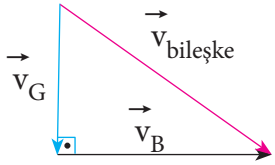
Şekil 2.6: Kayığın x gözlemcisine göre hız vektörünün bulunuşu

Şekil 2.5 te akıntı hızının batı yönünde 2 m/s olduğu bir nehirde, hızı nehre göre 5 m/s olan kayık akıntı ile aynı yönde ilerlemektedir. Kıyıda hareketsiz duran x gözlemcisi kayığı 7 m/s hızla gidiyor olarak görür. Çünkü nehirin hızı kayığın hızı ile aynı yöndedir ve kayığın ilerlemesine 2 m/s'lik katkıda bulunur. Kayığın yere göre hızı veya bileşke hız, kayığın nehire göre hızı ile nehirin yere göre hızının vektörel toplamı olur (Şekil 2.6).

$\vec{v}_{bileşke} = \vec{v}_A + \vec{v}_K$ şeklinde olur.



Şekil 2.7: Güneye giden gemide doğu yönünde ilerleyen bisikletli



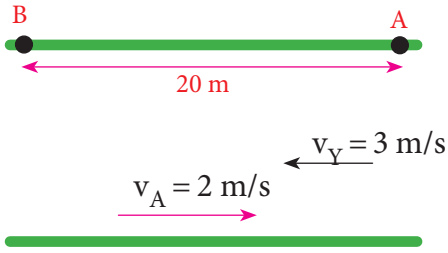
Şekil 2.8: Bisikletlinin yere göre hız vektörünün bulunuşu

Yere göre güneye doğru sabit $\vec{v}_G$ hızıyla hareket eden bir geminin güvertesinde bulunan bisiklet, gemiye göre doğuya doğru sabit $\vec{v}_B$ hızıyla gitmektedir (Şekil 2.7). Bisikletlinin yere göre hızı bu iki hızın bileşkesi olur (Şekil 2.8).

$\vec{v}_{bileşke} = \vec{v}_G + \vec{v}_B$

Örnek

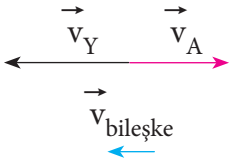
Nehirdeki akıntının hızı sabit ve $v_A = 2$ m/s olduğu şekildeki nehirde bir yüzücü A noktasından B noktasına nehire göre sabit $v_Y = 3$ m/s sabit hızla akıntıya ters yönde yüzmektedir. Yüzücü A ve B noktaları arasındaki 20 m mesafeyi kaç s'de yüzer.



Çözüm

$\vec{v}_{bileşke} = \vec{v}_A + \vec{v}_Y$

yüzücünün akıntıya karşı hızı nehir ve yüzücünün hızının vektörel toplamına eşittir.



Yüzücünün hızının büyüklüğü ise akıntıya ters yönde yüzdüğü için;

$v_{bileşke} = 3 - 2 = 1$ m/s olarak bulunur.

20 m'lik mesafeyi kat edeceği hız 1 m/s olarak alınır.

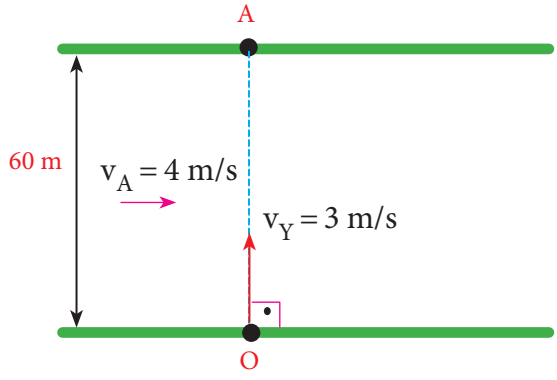
$x = v \cdot t$

$20 \text{ m} = 1 \cdot t$

t= 20 s 'de yüzer.

Örnek

Şekildeki gibi genişliği 60 m olan düzgün akan bir nehirde akıntının hızı 4 m/s'dir. Nehirdeki suya göre hızı 3 m/s olan yüzücü akıntıya dik bir şekilde karşı kıyıya doğru yüzüyor.



a) Yüzücünün karşı kıyıya varma süresini bulunuz.

b) Yüzücünün nehirde yüzmeye başladığı noktanın karşısındaki A noktasından kaç m uzağa çıktığını bulunuz.

c) Yüzücünün yere göre hızının büyüklüğünü bulunuz.

Çözüm

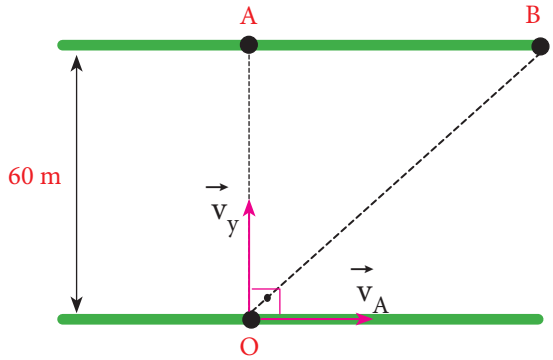
a) Nehire dik doğrultuda 3 m/s hızla hareket eden yüzücünün karşı kıyıya ulaşması için 60 m (nehrin genişliği kadar) yol alması gereklidir.

$x = v_Y \cdot t$

$60 = 3 \cdot t$

t = 20 s olur.

b) Yüzücü akıntı tarafından sürüklendiği için kaç metre sürüklendiği bulurken akıntının hızı kullanılır.

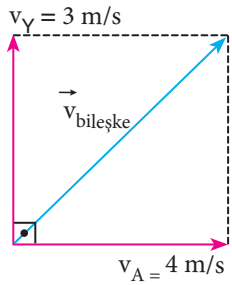


$|AB| = \vec{v}_A \cdot t$

$|AB| = 4 \cdot 20$

$|AB| = 80$ m

c) Yüzücünün yere göre hızı (bileşke hızı) yüzücünün hızı ile nehrin hızının vektörel toplamı ile bulunur.



$$\vec{v}_{bileşke} = \vec{v}_A + \vec{v}_Y$$

Yüzücünün yere göre hızının büyüklüğü ise oluşan dik üçgende ;

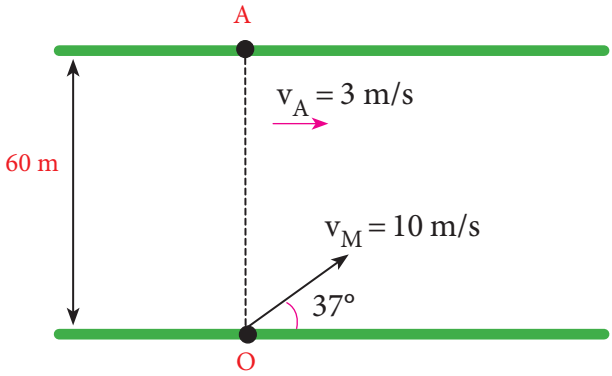
$$v^2_{bileske} = v^2_A + v^2_Y$$

$$v_{bileske} = \sqrt{3^2 + 4^2}$$

$$v_{bileske} = 5 \text{ m/s olur.}$$

Örnek

Genişliği 60 m olan ve 3 m/s hızla düzgün akan bir nehirde bir motor ile karşıya geçilmek isteniyor. Motor kıyı ile 37˚lik açı yaparak hareket ettiğine göre



a) Karşı kıyıya kaç saniyede geçer?

b) Harekete başladığı noktanın tam karşısındaki A noktasından kaç m ilerde kıyıya ulaşır?

(sin37° = 0,6 cos37° = 0,8)

Çözüm

a) Karşı kıyıya geçiş süresi bulunurken düşey doğrultudaki hız bileşeni kullanılır.

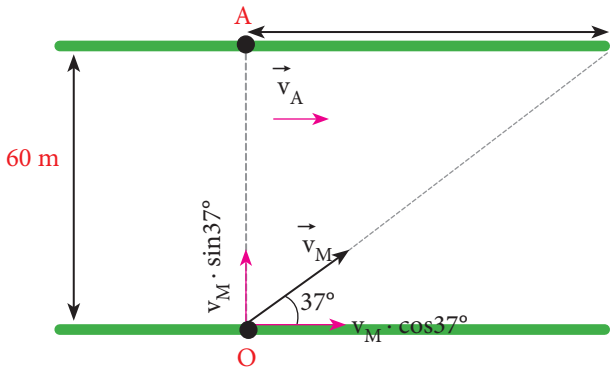
$$|AO| = \vec{v}_M \cdot \sin 37° \cdot t$$

$$60 = 10 \cdot 0{,}6 \cdot t$$

$$t = 10 \text{ s}$$

b) Motorun yatay doğrultudaki hareketinin hızı kendi hızının yatay bileşeni ile akıntı hızının vektörel toplamına eşittir.

A noktasından kaç m ileriye çıktığı bu hızı kullanarak bulunur.



$$|AB| = (v_M \cdot \cos 37° + v_A) \cdot 10$$

$$|AB| = (10 \,.\, 0{,}8 + 3)\,.\, 10$$

$$|AB| = 110 \text{ m}$$

Bölüm Sonu Soruları

1. Doğuya doğru 100 km/h hızla giden A aracının sürücüsü, 70 km/h hızla batıya doğru gitmekte olan B aracı hangi hızla gidiyormuş gibi görür?

2. Doğuya doğru 2v hızıyla giden L aracı kendisi ile aynı yönde v hızıyla hareket eden K aracını hangi hızla hareket ediyor görür?

3. 70 km/h hızla güneye gitmekte olan otomobilin içindeki gözlemci hareket hâlinde olan bir kamyonu 100 km/h hızla kuzeye gidiyormuş gibi görüyor buna göre kamyonun yere göre hızını bulunuz.

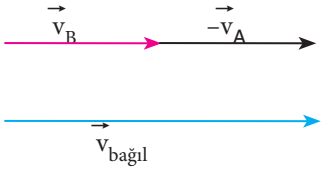
4. Batıya doğru 30 km/h hızla giden bir motosiklette bulunan gözlemci 40 km/h hızla güneye doğru hareket eden otomobili hangi hızla hareket ediyormuş gibi görür?

Uygulama Sorularının Çözümleri

1. $\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$

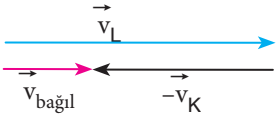
$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$

$\vec{v}_{bağıl} = 90$ km/h **doğu**



2. a) $\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_L - \vec{v}_K$

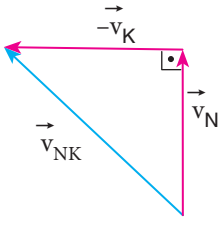
$\vec{v}_{bağıl} = 10$ km/h **doğu**



b) $v^2_{bağıl} = v^2_N + v^2_K$

$v_{bağıl} = \sqrt{30^2 + 40^2}$

$v_{bağıl} = 50$ m/s **kuzeybatı**



Bölüm Sonu Sorularının Cevapları

1. $\vec{v}_{bağıl} = 170$ km/h **batı**

2. $\vec{v}_{bağıl} = v$ **batı**

3. $\vec{v}_K = 30$ km/h **kuzey**

4. $\vec{v}_{bağıl} = 50$ km/h **güneydoğu**

3. NEWTON'IN HAREKET YASALARI

Cisimlere kuvvet uygulandığında cisimlerin hareket durumlarında veya şekillerinde değişiklik meydana gelir. Fizik 1 dersinde "Kuvvet ve Hareket" ünitesinde harekete neden olan ve hareketi etkileyen bir büyüklük olan kuvveti incelemiştik. Duran bir cismi hareket ettirebilen hareket eden bir cismi durdurabilen veya cisimlerin şekillerinde değişiklik meydana getirebilen etkiye kuvvet denildiğini biliyoruz. Newton'ın yer çekimi kuvvetinin farkına varması ve ağaçtan yere elma düşmesi söylencesi herkes tarafından bilinir. Sir Isaac Newton (Sör Ayzek Nivtın) ilk kez 1678 de dengelenmemiş bir kuvvetin etkisinde kalan cismin ivmeli hareket yaptığını ileri sürdü. Newton hareketle ilgili yaptığı çalışmalar sonucu belirlediği temel ilkeler Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (Doğal Felsefenin Matematiksel İlkeleri) adlı eserinde yayınlamıştır. "Newton'ın Hareket Yasaları" adı verilen bu ilkeler toplam üç yasadan oluşmaktadır.

1. Hareket Yasası: Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet sıfır ise bu cisim duruyorsa durmaya devam eder, hareket hâlinde ise sabit hızla hareketine devam eder.

2. Hareket Yasası (Dinamiğin Temel Prensibi): Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet sıfırdan farklı olduğunda cismin bu kuvvetin etkisi ile hızı değişir ve ivmeli hareket yapar. Cismin ivmesinin yönü net kuvvetle aynı yönde olur. Cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımı net kuvvete eşittir.

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

3. Hareket Yasası: Birbirine temas eden A ve B cisimlerinden A cismi B cismine bir etki uyguladığında B cismi de A cismine eşit fakat zıt yönde bir kuvvet uygular. Bu kuvvet tepki kuvveti olarak adlandırılır.

Neler Öğreneceğiz?

Net kuvvetin yönünü belirleyerek büyüklüğü hesaplamayı,

Cismin hareketi ile ilgili hesaplamalar yapmayı öğreneceğiz.

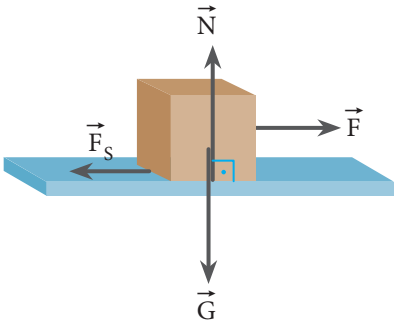
3.1 Net Kuvvetin Yönünün Bulunması ve Büyüklüğünün Hesaplanması

Net kuvvetin yönünün bulunması, hesaplanması ve Newton'ın Hareket Yasalarının uygulanabilmesi için tek bir cisme veya bir sisteme etki eden tüm kuvvetlerin ayrı ayrı gösterilmesi gereklidir. Bu gösterim serbest cisim diyagramı üzerinde yapılır. Cisimlerin bulunduğu yüzeyler sürtünmeli ve sürtünmesiz olarak belirtilmelidir. Eğer ortam sürtünmeli olarak belirtilmiş ise cisme etki eden kuvvetlerin bütün kuvvetleri gösterebilmek için sürtünme kuvvetinin hesaplanması gereklidir.

Örneğin yatay ve sürtünmeli düzlemde durmakta olan $\vec{G}$ ağırlığındaki bir cisme etki eden kuvvet $\vec{F}$, cisimle yüzey arasındaki kinetik sürtünme kuvveti $\vec{F}_{sür}$, yatay zeminin cismin ağırlığına tepkisi $\vec{N}$ ile gösterilirse serbest cisim diyagramı Şekil 2.5 deki gibi olur.

$$\vec{F}_{net} = \vec{F} + \vec{F}_s$$

$$F_{net} = F - F_s \text{ olur.}$$



Şekil 3.1 Yatay ve sürtünmeli düzlemde durmakta olan cisme etken kuvvetler

BİLGİ KUTUSU

Sürtünme kuvvetinin oluşmasında üç temel neden ortaya atılmıştır. Bunlar:

1. Yüzeyler arası düzensiz yapının birbirine kenetlenmesi,

2. Temas noktaları arasında, moleküller arası kuvvetlerden kaynaklanan bir çekimin olması (yapışkan cisimler),

3. Yumuşak maddelere, daha sert olan maddelerin saplanmasıdır.

Sürtünme kuvveti birbirine temas eden yüzeyler arasında harekete veya zorlanmaya zıt yönde olduğunu ve büyüklüğünün

$$F_S = k \cdot N$$

formülü ile hesaplandığını öğrenmiştik. Sürtünen yüzeylerin cinsine bağlı sürtünme katsayısı (k) ile gösterilir. Cisme durgun hâlde iken cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısı statik sürtünme katsayısı (k_s), cisim hareket hâlinde iken etkili olan sürtünme katsayısına kinetik sürtünme katsayısı (k_k) denildiğini biliyoruz. Cisim durgun hâlde iken cisimle yüzey arasındaki statik sürtünme kuvveti;

$F_{ss} = k_s \cdot N$ ile hesaplanır ve duran cismi harekete geçirebilecek en küçük kuvvete eşittir.

Cisim hareket hâlinde iken cisimle yüzey arasındaki kinetik sürtünme kuvveti;

$F_{ks} = k_{ks} \cdot N$ ile hesaplanır ve cismin sabit hızla hareket etmesi için gerekli en küçük yatay kuvvete eşittir.

BİLGİ KUTUSU

Statik ve kinetik sürtünme katsayıları arasındaki farkın ihmal edildiği durumlarda sürtünme katsayısı tek bir katsayı (k) olarak verilir.

Newton'ın 2. hareket yasası (Dinamiğin Temel Prensibine göre);

Cisme etki eden net kuvvet sıfırdan farklı ise cismin bu kuvvetin etkisi ile hızının değiştiğini ve ivmeli hareket yaptığını belirtmiştik

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

$F - F_s = m \cdot a$

$F_{net} = F - k \cdot N = m \cdot a$ olur.

Cisme etki eden kuvvetin yatayla açı yaptığı Şekil 3.2 deki durumda cisme etki eden net kuvveti bulalım.

3.2 de cisme etki eden kuvvetler gösterilmiştir.

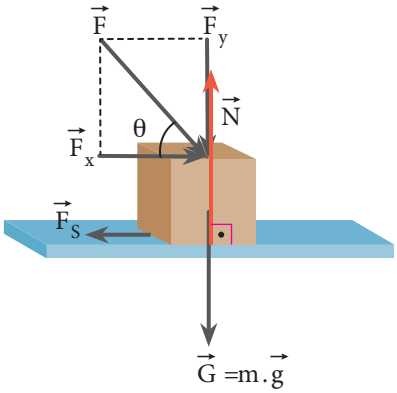
$F_{net} = F_x - F_s$ net kuvveti bulabilmek için önce F_s bulunmalıdır. Sürtünme kuvveti;

$F_s = k \cdot N$

N yüzeye dik olarak etki eden kuvvetlerin toplamı ile bulunur.

$\vec{N} = \vec{G} + \vec{F}_y$

$N = m \cdot g + F \cdot \sin\theta$



Şekil 3.2: Sürtünmeli yüzeyde bulunan cisme etki eden kuvvetlerin gösterilmesi

$F_s = k \cdot (m \cdot g + F \cdot \sin\theta)$

F_s ve N değerleri $F_{net} = F_x - F_s = m \cdot a$ denkleminde yazılırsa

$F_{net} = F \cdot \cos\theta - k.(mg + F \cdot \sin\theta) = m \cdot a$ olur.

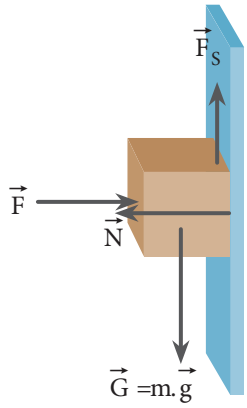
Şekil 3.3 te düşey düzlemde $\vec{F}$ kuvveti ile duvara doğru itilen bir cisme etki eden net kuvveti gösterelim.

Yatay düzlemde $\vec{N} = \vec{F}$ dengelenir ve bu doğrultuda hareket olmaz.

Düşey doğrultuda cismin ağırlığı, sürtünme kuvvetinden büyük olduğunda cisim aşağıya doğru a ivmesiyle hareket eder.

$F_{net} = G - F_s = m \cdot a$

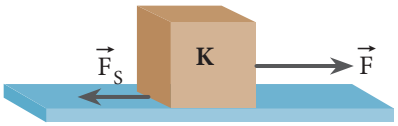
$F = m \cdot g - k \cdot F = m \cdot a$



Şekil 3.3 Düşey düzlemde cisme etki eden kuvvetler

Örnek

Sürtünmeli yatay düzlemde F = 20 N'luk kuvvetle çekilmekte olan K kutusunun kütlesi 5 kg'dır. Kutu ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı k = 0,2 olduğuna göre



a) Kutuya etki eden net kuvveti

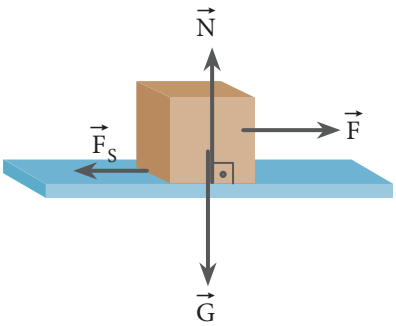
b) Kutunun yaptığı hareketin ivmesini bulunuz.

a) $F_{net} = F - F_s$

$F_s = k \cdot N$

$F_s = k \cdot m \cdot g = 0{,}2 \cdot 5 \cdot 10 = 10$ N

$F_{net} = 20 - 10 = 10$ N



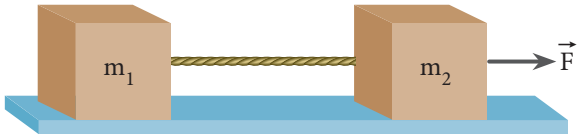
b) $\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$

$10 \text{ N} = 5 \cdot a$

$a = 2 \text{ m/s}^2$

Örnek

m_1 = 4 kg ve m_2=6 kg kütleleri birbirine şekildeki gibi bağlıdır ve 20 N 'luk bir kuvvetle sürtünmesiz bir düzlemde çekilmektedir. Buna göre ipte oluşan gerilme kuvvetini hesaplayınız.



Çözüm

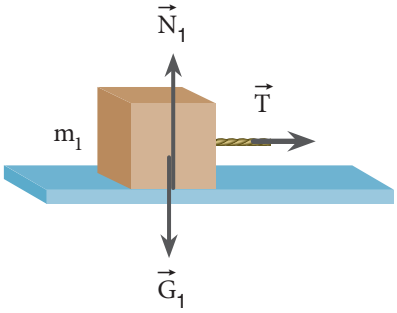
Birden fazla kütlenin bulunduğu sistemlerde hareketin ivmesi bulunurken sistemin toplam kütlesi alınır.

$F_{net} = (m_1 + m_2) \cdot a$

$20\ N = (4 + 6) \cdot a$

$a = \frac{20}{10} = 2\ m/s^2$

İpteki T gerilmesini bulmak için yalnızca m_1 kütlesine etki eden kuvvetleri serbest cisim diyagramında gösterelim ve m_1 kütlesi için Newton'ın 2. Hareket Yasası'nı uygulayalım. m_1 kütlesine yalnızca T kuvveti etki etmektedir.

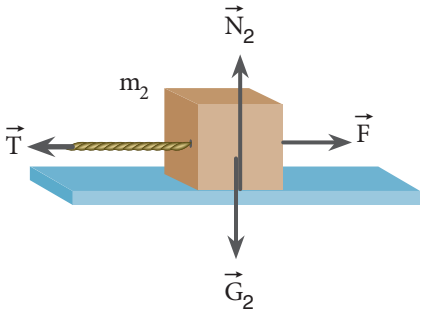


$T = m_1 \cdot a$

$T = 4 \cdot 2$

$T = 8$ N olur.

İpteki T gerilmesi yalnızca m_2 kütlesi ve ona etki eden kuvvetler dikkate alınarak yapıldığında da aynı sonuca ulaşılır.



$F - T = m_2 \cdot a$

$20 - T = 6 \cdot 2$

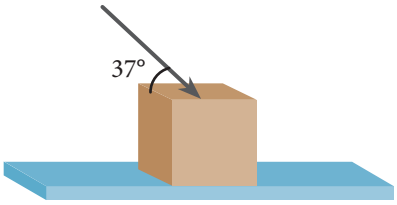
$T = 20 - 12$

$T = 8$ N

1. Uygulama

Sürtünmesiz yatay düzlemde durmakta 4 kg kütleli tahta takoza yatayla 37° lik açı yapan 30 N'luk kuvvet uygulanıyor. Takozun ivmesini bulunuz.

(sin37° = 0,6 cos37° = 0,8)



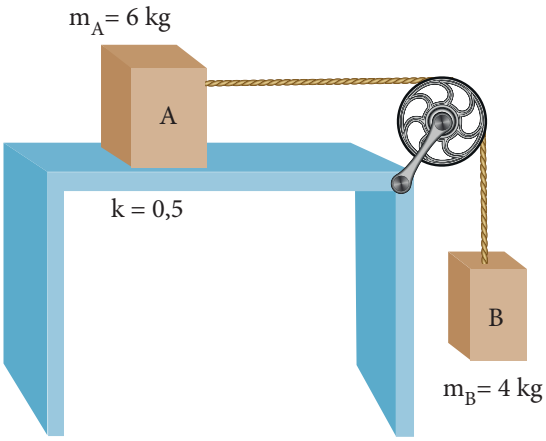
Örnek

Şekilde verilen sistemde

a) Hareketin ivmesini

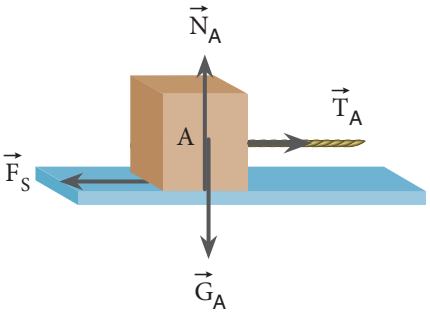
b) İpteki T gerilmesini bulunuz.

(g= 10 m/s²)



Çözüm

a) A ve B kütlelerine etki eden kuvvetleri serbest cisim diyagramında gösterelim ve hesaplayalım.



A kütlesi için düşey doğrultuda etki eden kuvvetler N_A, G_A kuvvetleridir.

$G_A = m_A \cdot g$

$G_A = 6 \cdot 10 = 60$ N

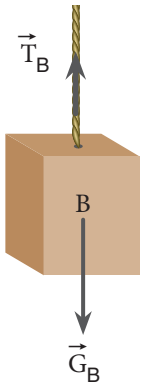
$N_A = G_A$ olduğu için A kütlesi düşey doğrultuda hareket etmez. Yatay doğrultuda ise T kuvveti sistemde bir iç kuvvet olduğu için harekete etkisi olmaz. A kütlesine yatay doğrultuda yalnızca F_s kuvveti etki eder ve

$F_s = k \cdot N = 0{,}5 \cdot 60 = 30$ N olarak hesaplanır.

B kütlesi için yatay doğrultuda etki eden kuvvet bulunmamaktadır. Düşey doğrultuda T kuvveti sistemin iç kuvveti olduğu için harekete etkisi yoktur dolayısıyla sistem G_B kuvvetinin etkisi ile hareket etmektedir.

$G_B = m_B \cdot g$

$G_B = 4.10 = 40$ N . Sistemin hareketinin ivmesini bulalım



$F_{net} = (m_A + m_B) \cdot a$

$G_B - F_s = (m_A + m_B) \cdot a$

$40 - 30 = (6 + 4) \cdot a$

$10 = 10 \cdot a$

$a = 1\ m/s^2$

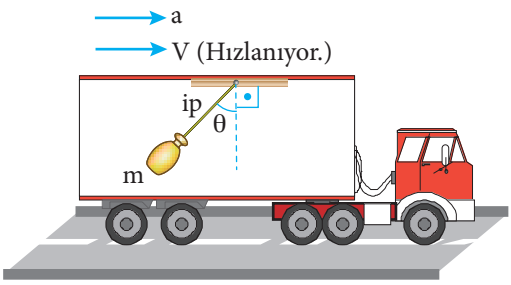
b) B kütlesi için Newton'ın 2. Hareket Yasası'nı uygularsak

$F_{net} = m_B \cdot a$

$40 - T = 4 \cdot 1$

$T = 40 - 4 = 36$ N olarak bulunur.

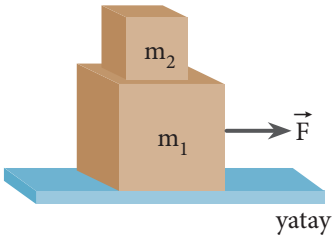
2. Uygulama



Bir kamyon kasasının tavanına, m kütleli bir cisim iple asılmıştır. Kamyon sabit ve a büyüklüğünde ivmeyle sağa doğru hızlanmaktadır. m cismi dengede iken bağlantı ipinin düşeyle θ açısı yapmaktadır. Kamyonun yaptığı hareketin a ivmesinin büyüklüğünü bulunuz.

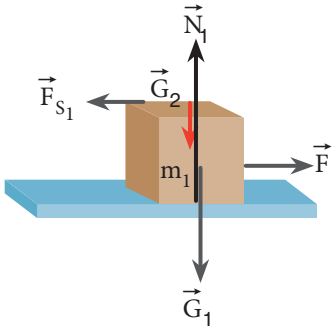
Örnek

$m_1 = 8$ kg ve $m_2 = 2$ kg kütleleri 20 N'luk kuvvetle birbiri üzerinde kaymadan hareket etmektedir. Yatay düzlem sürtünmesiz olduğuna göre bloklar arasındaki sürtünme katsayısının en az değerini bulunuz. ($g = 10$ m/s^2)



Çözüm

1. ve 2. kütleye etki eden kuvvetler şekilde gösterilmiştir, sistemin ivmesi;

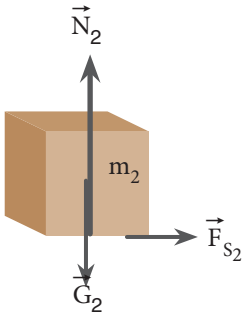


$F_{net} = (m_1 + m_2) \cdot a$

$20 = (8 + 2) \cdot a$

$a = 2$ m/s^2 bulunur.

2. kütle için etki eden kuvvetler dikkate alındığında; üstteki blokun alttakinin üzerinde kaymasını engelleyen kuvvet F_{S_1} sürtünme kuvvetidir. m_2 için yatay doğrultuda Newton'ın 2. Hareket yasasını yazıldığında;



$F_{S_2} = m_2 \cdot a$

$k \cdot N_2 = m_2 \cdot a$

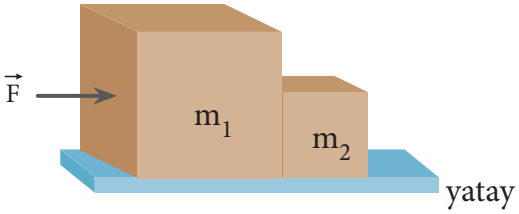
$k \cdot m_2 \cdot g = m_2 \cdot a$

$k \cdot 2 \cdot 10 = 10 \cdot 2$

$k = 1$ N

Örnek

$m_1 = 10$ kg, $m_2 = 5$ kg kütleleri şekildeki gibi 60 N'luk kuvvetle itilmektedir. Kütlelerin birbirlerine uyguladıkları kuvveti bulunuz (Yatay düzlemle kütle arasındaki sürtünme ihmal edilmiştir).



$F_{net} = (m_1 + m_2) \cdot a$

$60 = (10 + 5) \cdot a$

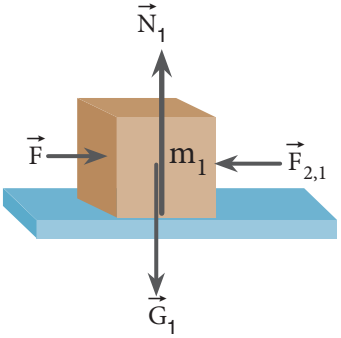
$a = \frac{60}{15} = 4$ m/s^2

1. kütle için Newton'ın 2.hareket kanunu uygulandığında

$F - F_{2,1} = m_1 \cdot a$

$60 - F_{2,1} = 10 \cdot 4$

$F_{2,1} = 60 - 40 = 20\ N$



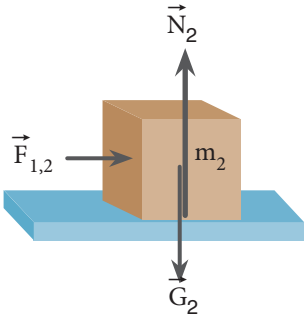
2. kütle için Newton'ın 2.hareket kanunu uygulandığında

$F_{1,2} = m_2 \cdot a$

$F_{1,2} = 5 \cdot 4$

$F_{1,2} = 20\ N$

$F_{1,2} = -F_{2,1}$ değerdedir, bu sonuç etki ve tepki kuvvetlerinin birbirine eşit olduğunu göstermektedir.

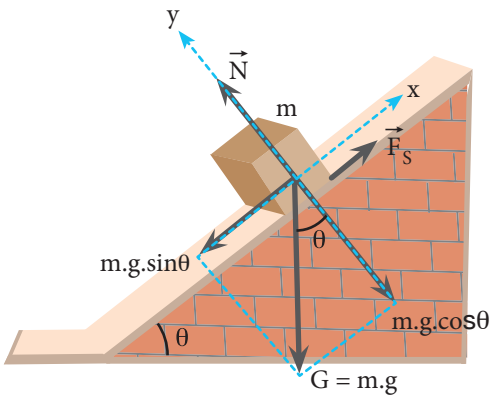


Eğik Düzlem

Yatayla θ açısı yapan sürtünmeli eğik düzlemde bulunan cisme etki eden net kuvveti bulalım. Şekil 2.8 de cisme etki eden kuvvetler gösterilmiştir. y doğrultusunda yüzeyin cisme uyguladığı tepki kuvveti N, ağırlığın y bileşeni ile eşit olduğu için düşey doğrultuda hareket olmaz.

x doğrultusunda net kuvvet bulunurken ağırlığın x bileşeni ile F_s vektörüle olarak toplanır.

$F_{net} = m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin\theta - F_s$



Şekil 2.4: Sürtünmeli eğik düzlemde bulunan cisme etki eden kuvvetler

Eğik düzlemle cisim arasındaki kinetik sürtünme katsayısı k olarak alındığında sürtünme kuvveti

$F_s = k \cdot N = k \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta$ olur. Net kuvvet ise

$F_{net} = m \cdot g \cdot \sin\theta - k \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta$ olarak bulunur.

Newton'ın 2. Hareket Yasası'na göre net kuvvet sıfırdan farklı bu kuvvetin etkisinde kalan cismin hızı değiştiğini ve ivmeli hareket yaptığını biliyoruz. Buna göre sürtünmeli eğik düzlemde hareket eden cismin hareketinin ivmesi

$F_{net} = m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin\theta - k \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta$

$a = g \cdot \sin\theta - k \cdot g \cdot \cos\theta$ olarak bulunur.

Cisimle eğik düzlem arasında sürtünme katsayısı k = 0 kabul edilirse sürtünmesiz eğik düzlemde hareketin ivmesi

$a = g \cdot \sin\theta$ olur.

Eğik düzlem üzerindeki cisme dışarıdan kuvvet uygulanmıyorsa cismin ivmesi cismin kütlesine bağlı değildir.

BİLGİ KUTUSU

Cisim, eğik düzlem üzerinde hareketsiz ise cisme etki eden kuvvetler dengelenmiş demektir. Eğik düzlemin eğim açısı artırıldığında cismin harekete başladığı en küçük eğim açısı için cismin ağırlığının x bileşeni statik sürtünme kuvvetine eşit olur.

Buna göre :

$m \cdot g \cdot \sin\theta = k_s \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta$'dır.

$k_s = \dfrac{\sin\theta}{\cos\theta} = \tan\theta$ olur.

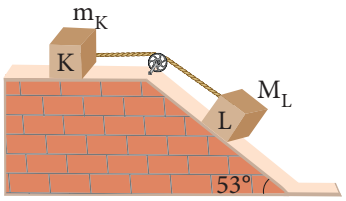
Cismin eğik düzlem üzerinde sabit hızla kaydığı eğim açısında cismin ağırlığının x bileşeni kinetik sürtünme kuvvetine eşit olur. Buna göre;

$m \cdot g \cdot \sin\theta = k_k \cdot m \cdot g \cdot \cos\theta$ olur. Buradan kinetik sürtünme katsayısı

$k_k = \dfrac{\sin\theta}{\cos\theta}$

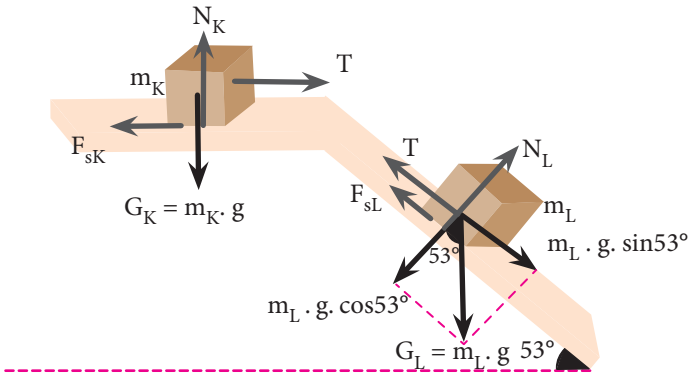
$k_k = \tan\theta$

Örnek



Şekilde görüldüğü gibi $m_K = 4$ kg kütleli K ve $m_L = 6$ kg L cisimleri birbirine bir iple bağlanmıştır. Yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısı eşit ve 0,5 olduğuna göre ipteki gerilme kuvvetini bulunuz. (Yüzeyler arasındaki sürtünme kuvveti eşit ve k = 0,5 g =10 m/s² sin53°= 0,8 cos53° = 0,6 g = 10 m/s²)

Çözüm



2. Hareket Yasası'na göre;

$F_{net} = (m_K + m_L) . a$

$m_L . g . \sin53° - F_{sK} - F_{sL} = (m_K + m_L) . a$

$$a = \frac{m_L . g . \sin53° - F_{sK} - F_{sL}}{(m_K + m_L)}$$

$$a = \frac{m_L . g . \sin53° - k . m_K . g - k . m_L . g . \cos53°}{(m_K + m_L)}$$

$$a = \frac{6.10 . 0,8 - 0,5 . 4 . 10 - 0,5.6.10.0,6}{(4+6)} = 1 \text{ m/s}^2 \text{ bulunur.}$$

K cismi için Newton'ın 2. Hareket Yasası'nı yazalım ve T gerilimini bulalım.

$T - F_{sK} = m_K a$

$T - 20 = 4 . 1$

$T - k . m_k . g = m_k . a$

$T - 0,5 . 4 . 10 = 4 . 1$

$T = 4 + 20$

$T = 24$ N olur.

L cismi için Newton'ın 2. Hareket Yasası'nı uyguladığımızda ipteki gerilme kuvveti

$m_L . g . \sin53° - F_{SL} - T = m_L . a$

$m_L . g . \sin53° - k . m_L . g . \cos53° - T = m_L . a$

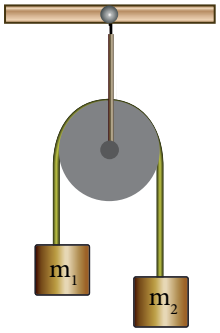
$48 - 18 - T = 6 . 1$

$T = 24$ N olarak aynı sonuç bulunur.

Atwood Makinesi

Şekil 2.9'daki gibi iki farklı kütlenin çok ince bir ipin uçlarına bağlanarak sürtünmesiz makaraya asıldığı sisteme **Atwood Makinesi** (aleti) denir.

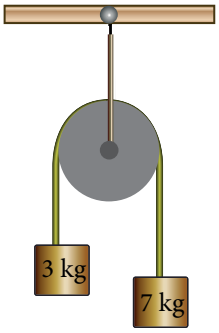
$m_2 > m_1$ olduğu ve sistem serbest bırakıldığı bir durumda m_1 kütlesi yukarı, m_2 kütlesi aşağı doğru ivmeli bir hareket yapar. Her iki kütlede aynı ipe bağlı olduğu için kütlelerin ivmeleri eşittir.



Şekil 2.5: Atwood Makinesi

Örnek

Sürtünmesiz sistemde $m_1 = 3$ kg , $m_2 = 7$ kg'dır. Cisimlerin ivmesini ve ipteki gerilme kuvvetini bulunuz. ($g = 10$ m/s^2)



Çözüm

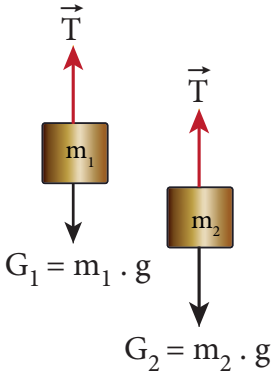
Cisimlere etki eden net kuvveti bularak Newton'ın 2. Hareket kanununu uyguladığımızda

$F_{net} = (m_1 + m_2) \cdot a$

$m_2 \cdot g - m_1 \; g = (m_1 + m_2) \cdot a$

$7 \cdot 10 - 3 \cdot 10 = (3 + 7) \cdot a$

$a = 4$ m/s^2 olarak bulunur.



$m_1 = 3$ kg'lık cisim için Newton'ın 2. Hareket kanununu yazarak ipteki gerilmeyi bulalım;

$T - m_1 \cdot g = m_1 \cdot a$

$T - 3 \cdot 10 = 3 \cdot 4$

$T = 42$ N

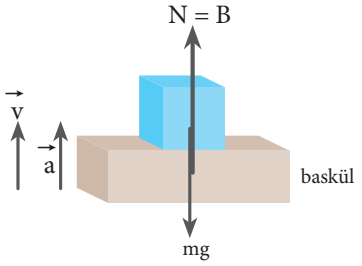
$m_2 = 7$ kg'lık cisim için Newton'ın 2. Hareket kanununu uyguladığımızda T için aynı değeri buluruz.

Örnek

Asansörde bulunan bir kütlenin baskül üzerinde ağırlığının ölçüldüğünü düşünelim. Asansör yukarı doğru sabit ivme ile hızlandığında ve sabit ivme ile yavaşladığında (duracağı kata yaklaşırken) kütlenin baskülde okunan değeri ile gerçek ağırlığını karşılaştırınız.

Çözüm

Kütleye eylemsiz referans sisteminden bakıldığında cismin ağırlığı G ve tepki kuvveti N olmak üzere iki kuvvet etki eder. N tepki kuvveti baskülde okunan sayıya eşittir.



(baskülde kişinin gerçek ağırlığı)

Asansörde a ivmesiyle yukarı doğru hızlandığında kütlede a ivmesi ile hareket eder. Newton'ın 2. Hareket Yasasını uyguladığımızda;

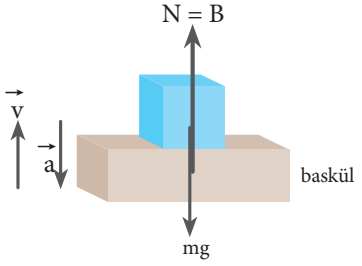
$F_{net} = m \cdot a$

$N - mg = m \cdot a$

$N = mg + m \cdot a$

N'nin baskülde ölçülen değere eşit olduğunu belirtmiştik. Buna göre bu durumda baskülde cismin gerçek ağırlığından daha büyük bir değer okunur.

Asansör yukarı doğru yavaşladığında ivme, kütlenin hareket yönüne (hızına) ters yöndedir.



(baskülde kişinin gerçek ağırlığı)

$F_{net} = m \cdot a$

$m \cdot g - N = m \cdot a$

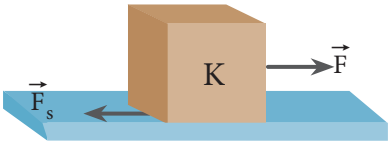
$N = m \cdot g - m \cdot a$ olur ve bu durumda baskülde kütlenin gerçek ağırlığından daha küçük bir değer okunur.

3.Uygulama

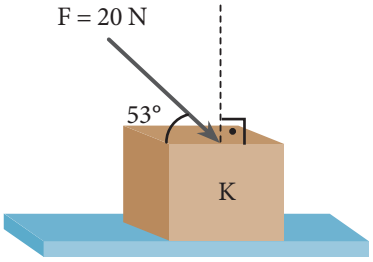
Kütlesi 40 kg olan bir çocuk yukarı doğru sabit $3 m/s^2$ ivme hızlanan bir asansörde baskül ile tartıldığında ağırlığını kaç N olarak görür? ($g = 10\ m/s^2$)

Bölüm Sonu Soruları

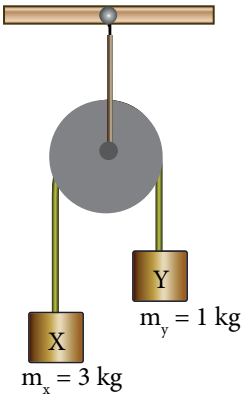
1. Yatay düzlemde bulunan 5 kg kütleli kutu şekildeki gibi 20 N'luk kuvvetle çekildiğinde hareketin ivmesi kaç m/s^2 olur? ($k = 0,3$ $g = 10 m/s^2$)



2. Yatay ve sürtünmesiz düzlemde bulunan şekildeki K cismine yatayla 53° lik açı yapan kuvvet etki etmektedir. 3 kg kütleli cismin yaptığı hareketin ivmesini hesaplayınız. ($g = 10 m/s^2$ $\cos 53^\circ = 0,6$ $\sin 53^\circ = 0,8$)

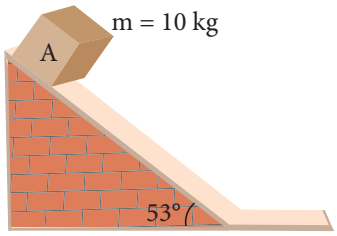


3. Şekildeki sürtünmesiz bir makaraya kütleler asılmıştır. Kütlelerin yaptığı hareketin ivmesini ve ipteki gerilmeleri bulunuz. ($g = 10 m/s^2$)



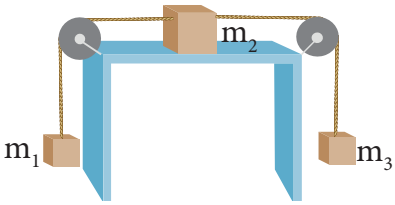
4. Kütlesi 10 kg olan A cismi şekildeki sürtünmeli eğik düzlem üzerinde serbest bırakılıyor. Cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5 olduğuna göre A cisminin ivmesini bulunuz.

($g = 10 m/s^2$ $\cos 53° = 0,6$ $\sin 53° = 0,8$)



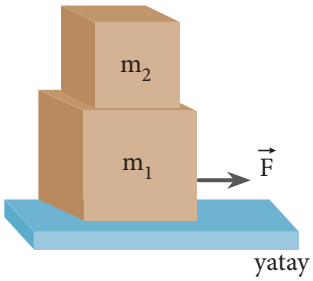
5. $m_1 = 2$ kg , $m_2 = 4$ kg, $m_3 = 4$ kg olan şekildeki sistemde m_2 ile yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,1 olduğuna göre hareketin ivmesini bulunuz.

($g = 10 m/s^2$)



6. $m_1 = 3$ kg ve $m_2 = 2$ kg kütleli cisimler şekildeki gibi üst üste konulmuştur. Sistem zemine paralel F = 30 N'luk kuvvetle çekildiğinde birbiri üzerinde kaymadan hareket etmektedir. Yatay düzlem sürtünmesiz olduğuna göre bloklar arasındaki sürtünme katsayısının en küçük değerini bulunuz.

($g = 10 m/s^2$)



Uygulama Sorularının Çözümleri

1. Sürtünmesiz düzlemde F kuvvetinin x doğrultusundaki bileşeni F_x yatay doğrultuda harekete neden olan kuvvettir.

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

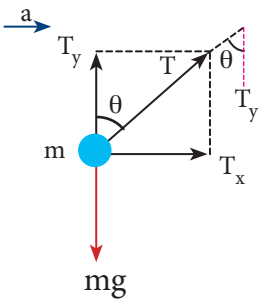
$F_x = m \cdot a$

$F \cdot \cos 37° = m \cdot a$

$30 \cdot 0,8 = 4 \cdot a$

$a = 6 m/s^2$ olur.

2. m cismine etki eden iki kuvvet vardır. İpteki T gerilme kuvvetinin düşey bileşeni T_y kuvveti, cismin mg ağırlığına eşittir.Yatay doğrultuda etki eden T_x kuvveti dengelenmemiş tek kuvvettir. Cisme etki eden net kuvvet T_x'dir.



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

$T_x = m \cdot a$

$T_y = m \cdot g$

$\tan\theta = \frac{T_x}{T_y} = \frac{ma}{mg}$

$a = g \cdot \tan\theta$

hareketin ivmesi ve düşeyle yaptığı açı cismin kütlesinden bağımsızdır.

3 . $N - mg = m \cdot a$

$N = mg + m \cdot a$

$N = 40 \cdot 10 + 40 \cdot 3$

$N = 520$ N olarak ölçer.

Bölüm Sonu Sorularının Cevapları

1. $a = 1\ m/s^2$

2. $a = 4\ m/s^2$

3. $a = 5\ m/s^2$, $T = 15$ N

4. $a = 5\ m/s^2$

5. $a = 1{,}6\ m/s^2$

6. $a = 0{,}6\ m/s^2$

4. BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Bir cismin hızında birim zamanda meydana gelen değişikliğe ivme denildiğini biliyoruz. Bu bölümde ivmenin sabit olduğu hareketi inceleyeceğiz. Günlük yaşantımızda ivmeli hareket yapan birçok aracı gözlemleyebiliriz. Araba, tren, uçak veya asansörlerin hareketi sabit ivmeli harekete örnek verilebilir. Hava sürtünmesinin ihmal edildiği bir ortamda düşey doğrultuda yukarı doğru atılan veya yerden yüksekte bir noktadan serbest bırakılan cismin yaptığı hareket de sabit ivmeli bir harekettir. Eğer doğru boyunca hareket eden bir hareketlinin hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarda değişiyorsa bu hareketin ivmesi sabittir ve yaptığı harekete **düzgün değişen doğrusal hareket** veya **sabit ivmeli hareket** denir.

Neler Öğreneceğiz ?

Bir boyutta sabit ivmeli hareketi analiz etmeyi,

Bir boyutta sabit ivmeli hareket ile ilgili hesaplamalar yapmayı,

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda düşen cisimlerin hareketlerini analiz etmeyi,

Düşen cisimlere etki eden hava direnç kuvvetinin bağlı olduğu değişkenleri analiz etmeyi,

Limit hız kavramını,

Düşey doğrultuda ilk hızı olan ve sabit ivmeli hareket yapan cisimlerin hareketlerini analiz etmeyi öğreneceğiz.

4.1. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket

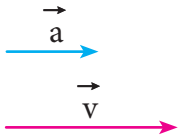
Bir boyutta sabit ivmeli hareketi analiz edelim. Doğru boyunca hareket eden bir hareketlinin ivmesinin sabit olması, hareketlinin hızının eşit zaman aralıklarında eşit miktarda değişmesi anlamına gelir. İvmenin sabit olduğu harekette cismin hızındaki düzgün değişim hızın artması veya azalması şeklinde olabilir.

Hız değişimi Δv ile gösterilir ve ilk hız ile son hız arasındaki fark

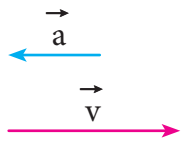
$\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ ile bulunur. Birim zamandaki hız değişimi olan ivme

$\vec{a} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ ile ifade edilir.

Bir cismin ivme vektörü ile hız vektörü aynı yönlü ise hareketli hızlanır, zıt yönlü ise hareketli yavaşlar.



Şekil 4.1: İvme vektörü ile hız vektörü aynı doğrultuda ise hareket hızlanan hareket olur.



Şekil 4.2: İvme vektörü ile hız vektörü zıt doğrultuda ise hareket yavaşlayan hareket olur.

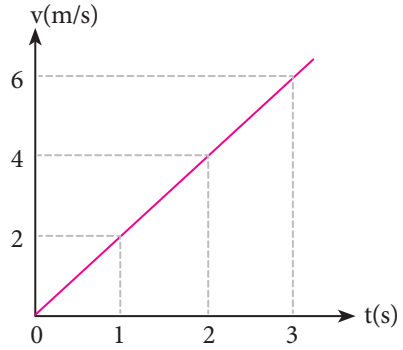
Bir hareketlinin hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarda artıyorsa hareketlinin yaptığı harekete **düzgün hızlanan doğrusal hareket** denir. Bir hareketlinin hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarda azalıyorsa hareketlinin yaptığı harekete ise **düzgün yavaşlayan doğrusal hareket** denir.

a) Düzgün Hızlanan Doğrusal Hareket

Düzgün hızlanan doğrusal hareket eden cismin hızının büyüklüğü her saniyede ivme kadar artacaktır. Aşağıda verilen tabloda hareketlinin hızının büyüklüğünün zamana göre artışı verilmiştir.

t(s)	0	1	2	3
v(m/s)	0	2	4	6

Tablo 4.1: Hareketlinin hızının zamana göre değişimi



Grafik 4.1. Hızın zamana göre değişimi

Hız-zaman grafiğinde grafik ile zaman ekseni arasındaki alanın yer değiştirmeyi verdiğini öğrenmiştik. Zaman aralıkları için grafik ile zaman ekseni arasındaki alan bulunduğunda tablo 4.2'deki sonuçlar elde edilir.

Zaman aralığı (s)	Yer değiştirme (m)
0-1	$\frac{2.1}{2} = 1$ (üçgenin alanı)
1-2	$\left(\frac{2+4}{2}\right) . 1 = 3$ (yamuğun alanı)
2-3	$\left(\frac{4+6}{2}\right) . 1 = 5$ (yamuğun alanı)

Tablo 4.2: Hareketlinin zaman aralıklarında yaptığı yer değiştirmelerin hesaplanması

t = 0 anında konumu x = 0 olarak kabul edelim ve konum-zaman grafiğini çizmek için verilen zaman değerlerindeki konum değerlerini hesaplayalım.

t = 0 $x_0 = 0$

t = 1 s (0-1) aralığında yapılan yer değiştirmeye eşittir (x_1 = 1 m).

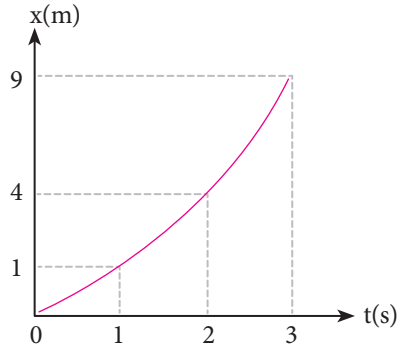
t = 2 s (0-1) ile (1-2) aralığında yapılan yer değiştirmelerin toplamına eşittir (x_2 = 4 m).

t = 3 s (0-1), (1-2) ve (2-3) aralığındaki yer değiştirmelerin toplamına eşittir ve x_3 = 9 m olur.

Yer değiştirmeler ve zaman tablosu oluşturarak yer değiştirmenin zamana bağlı değişim grafiğini çizildiğinde aşağıdaki gibi olur.

t(s)	0	1	2	3
x(m)	0	1	4	9

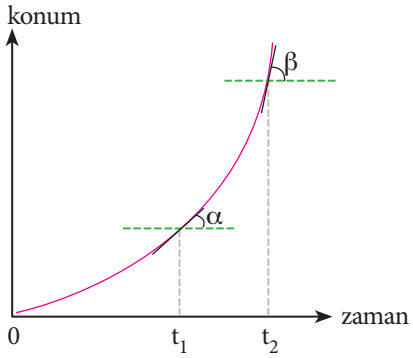
Tablo 4.3. : Hareketlinin konum ve zaman verileri



Grafik 4.2: Konum-zaman grafiği

Konum-zaman grafiğinde eğimin hızı verdiğini Fizik I de öğrenmiştiniz. Sabit ivmeli harekette konum-zaman grafiğinin eğimi grafik 4.2 de görüldüğü gibi bir artış göstermektedir.

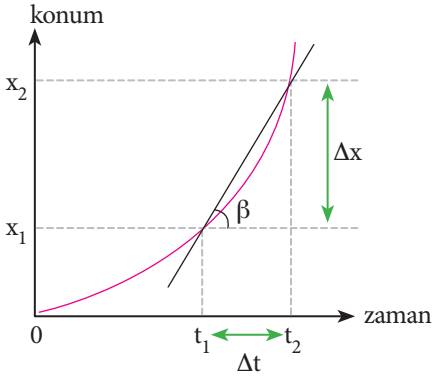
Konum zaman grafiğinde t_1 anındaki hızı, eğriye o noktada çizilen teğetin eğimi anlık hızı verir (Grafik 4.3).



t_1 anında eğim = $\tan\alpha = v_1$

t_2 anında eğim = $\tan\beta = v_2$

Grafik 4.3 : Konum zaman grafiğinde anlık hızın bulunuşu

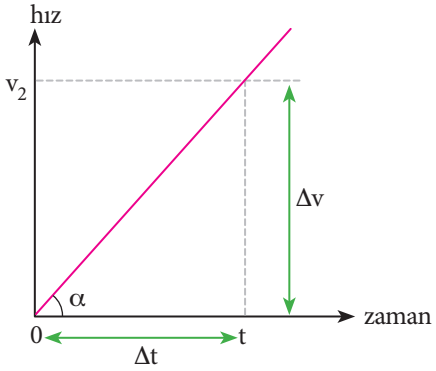


$t_1 - t_2$ aralığında ortalama hız

kiriş eğimi = $\tan\theta = v_{ort} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t}$

Grafik 4.4. : Konum zaman grafiğinde anlık hızın bulunuşu

Sabit ivmeli harekette konum-zaman grafiğinde eğriye t_1 ve t_2 noktalarından geçen kirişin eğimi t_1 ve t_2 anları arasındaki ortalama hızı verir (Grafik 4.4).



eğim = $\tan\alpha = a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$

Grafik 4.5. Hızın zamana bağlı değişimi

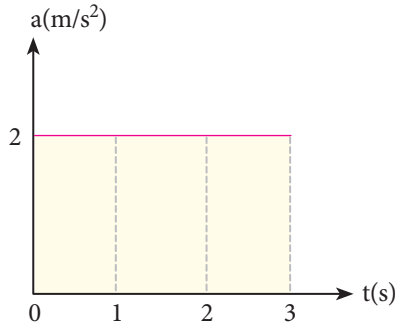
Önceki bilgilerinizden hatırlayacağınız gibi hız-zaman grafiğinde doğrunun eğimi hareketlinin ivmesini vermektedir(Grafik 4.5).

Grafik 4.1'de verilen grafiğinde bütün zaman aralıkları için eğim hesaplandığında ivmenin aynı değerde;

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta v} = \frac{v_2 - v_2}{t_2 - t_1}$$

$a = \frac{2}{1} = 2\ m/s^2$ olduğu görülür.

Buna göre ivme-zaman grafiği Grafik 4.6'daki gibi çizilir.



Grafik 4.6. İvmenin zamana bağlı değişimi

İvme -zaman grafiklerinde grafik çizgisi ile zaman ekseni arasında kalan alan hız değişimini vereceğinden 0-3 s arasında eğrinin altında kalan alan;

$\Delta v = a \cdot \Delta t$

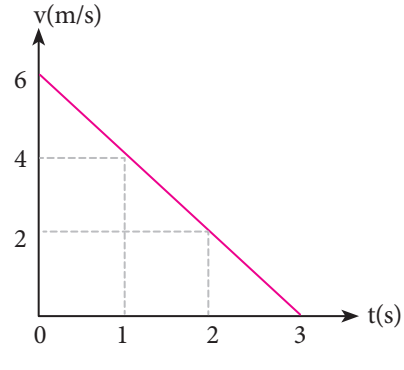
Alan = $\Delta v = a.\Delta t = 2.3 = 6$ m/s bulunur.

b) Düzgün Yavaşlayan Doğrusal Hareket

Doğrusal bir yolda hareket eden bir cismin hızının büyüklüğü, eşit zamanlarda eşit miktarda azalıyorsa bu cisim düzgün yavaşlayan doğrusal hareket yapmaktadır. İlk hızı 6 m/s olan hareketlinin hızının büyüklüğünün zamana göre değişimi (Tablo 4.4) ve hız- zaman grafiği (Grafik 4.7) verilmiştir.

t(s)	0	1	2	3
v(m/s)	6	4	2	0

Tablo 4.4. : Hareketlinin hız ve zaman verileri



Grafik 4.7. Hızın zamana bağlı değişimi

Grafik 4.7 deki veriler kullanılarak grafik ile zaman ekseni arasında kalan alanı hesaplandığında yer değiştirmeler aşağıdaki gibi olur.

Zaman aralığı (s)	Yer değiştirme (m)
0-1	$\left(\frac{6+4}{2}\right).1=5$ (yamuğun alanı)
1-2	$\left(\frac{4+2}{2}\right).1=3$ (yamuğun alanı)
2-3	$\frac{2.1}{2}=1$ (üçgenin alanı)

Tablo 4.5: Hareketlinin yer değiştirmelerinin hesaplanması

Tablo 4.5 deki verilerden elde edilen konum değerleri aşağıdaki gibi olur.

t = 0 anında konum $x_0 = 0$

t = 1 s anında konum (0 - 1) aralığında yapılan yer değiştirme kadardır (x_1 = 5 m).

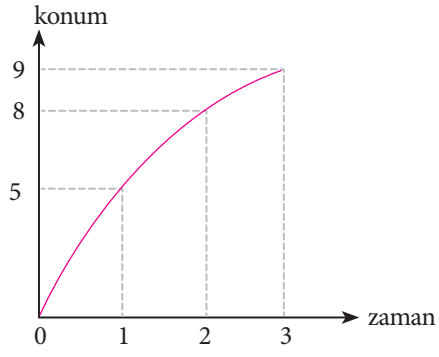
t = 2 s anında konum (0 - 1) ile (1-2) aralığında yapılan yer değiştirmelerin toplamı eşittir (x_2 = 8 m).

t = 3 s anında konum (0-1), (1-2) ve (2-3) aralığındaki yer değiştirmeler toplamıdır x_3 = 9 m olur.

Bulunan değerler ile Tablo 4.6 da gösterilmiştir.
Bu verilere göre konum-zaman grafiği çizildiğinde Grafik 4.8 deki gibi olur.

t(s)	0	1	2	3
x(m)	0	5	8	9

Tablo 4.6: Hareketlinin konum ve zaman verileri

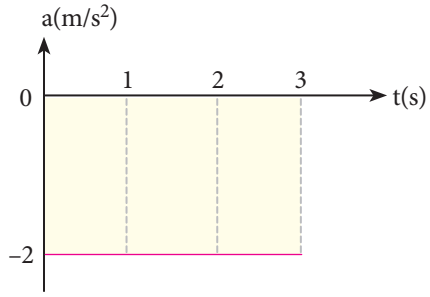


Grafik 4.8: Konum zaman grafiği

Düzgün değişen hareketin hız-zaman grafiğinde eğim ivmeyi verdiğini biliyoruz. 0-1 s aralığında Grafik 4.7 deki doğrunun eğimi negatiftir ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta v} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

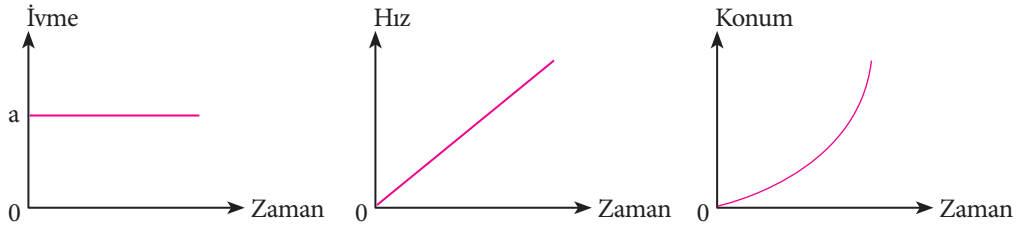
$$a = \frac{4-6}{1-0} = -2 m/s^2$$



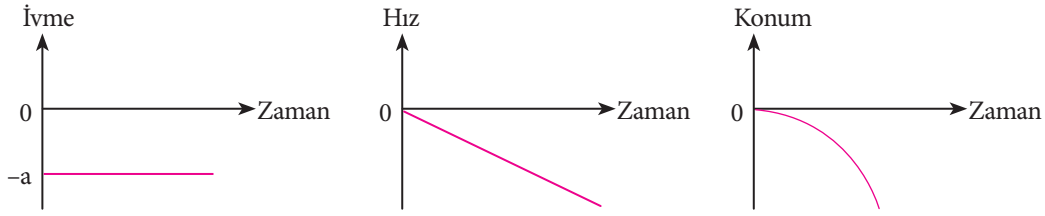
Grafik 4.9: İvme zaman grafiği

Grafik 4.7 de her aralık için hesaplamalar yapıldığında aynı ivme değerine ulaşılır. Buna göre ivme-zaman grafiği Grafik 4.9 deki gibi çizilir.

Düzgün hızlanan ve yavaşlayan doğrusal harekette hareketin yönü değiştiğinde grafikler de farklı olur. Aşağıda Gafik 4.10 da düzgün hızlanan (+) yönde ve (–) hareketlerin grafikleri verilmiştir.



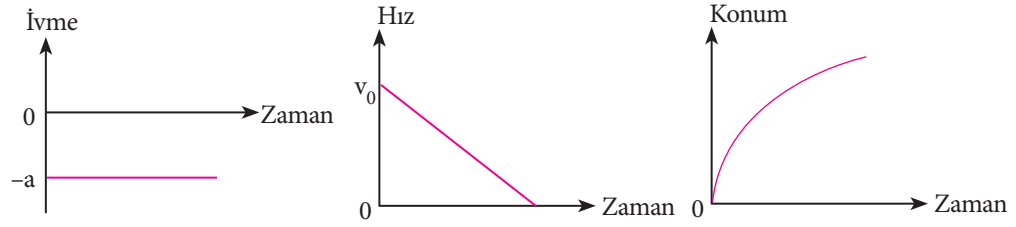
a) (+) Yönde düzgün hızlanan harekette ivme-zaman, hız-zaman ve konum zaman grafikleri



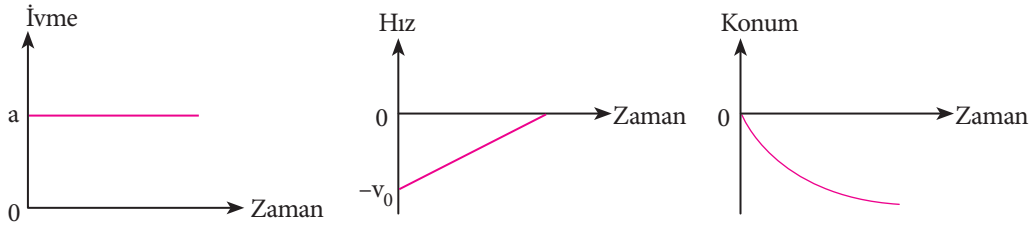
b) (–) Yönde düzgün hızlanan harekette ivme-zaman, hız-zaman ve konum zaman grafikleri

Grafik 4.10: Düzgün hızlanan hareketin ivme-zaman, hız-zaman, konum-zaman grafikleri

Aşağıda Grafik 4.11'de düzgün yavaşlayan (+) ve (–) yönde hareketlerin grafikleri verilmiştir.



a) (+) Yönde düzgün yavaşlayan harekette ivme-zaman, hız-zaman ve konum zaman grafikleri

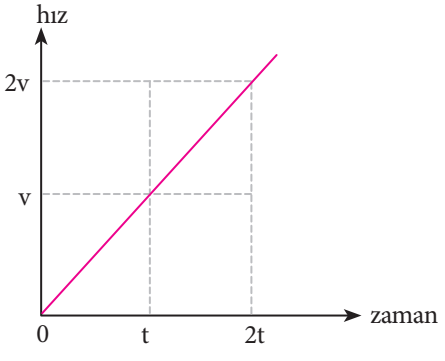


b) (–) Yönde düzgün yavaşlayanharekette ivme-zaman, hız-zaman ve konum zaman grafikleri

Grafik 4.11. Düzgün yavaşlayan hareketin ivme-zaman, hız-zaman, konum-zaman grafikleri

Örnek

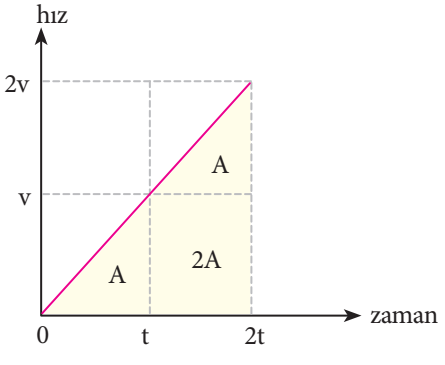
Hız-zaman grafiği şekildeki gibi olan doğrusal bir yolda durgun halden harekete geçen bir araç düzgün hızlanan hareket yapmaktadır. Buna göre 0-t ve t-2t aralığındaki yer değiştirme miktarını bulunuz.



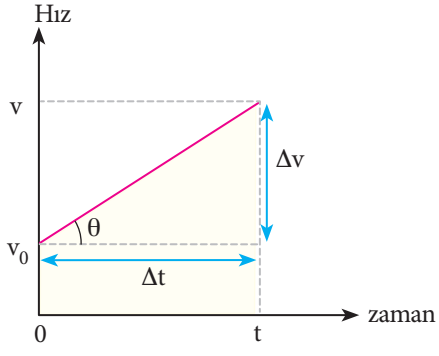
Çözüm

0-t aralığında A kadar yer değiştirdiğini kabul edersek

t-2t aralığında 3 A kadar yer değiştirmiştir.



Düzgün hızlanan ve düzgün yavaşlayan harekete ait grafikleri öğrendik şimdi bu grafiklerden elde edilen denklemleri öğrenelim. v_0 ilk hızına sahip düzgün hızlanan hareket yapan hareketlinin hız zaman grafiğinden yola çıkarak ivmesi aşağıdaki gibi hesaplanır (Grafik 4.12).



$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{v - v_0}{t - 0}$$

Grafik 4.12 İlk hızı olan hareketlinin hızının zamana göre değişimi

Hızın $v = v_0 + a \,.\, t$ olduğunu öğrenmiştik, 0 – t aralığında yer değiştirmeyi bulmak için yamuğun alanı hesaplandığında

$\Delta x = \dfrac{v + v_0}{2} \,.\, t$ olur. v değeri yerine yazıldığında;

$$\Delta x = \frac{v_0 + a \,.\, t + v_0}{2} \,.\, t$$

$$\Delta x = \frac{1}{2}(v_0 + a \,.\, t + v_0) \,.\, t$$

$\Delta x = x - x_0$ bulunur.

Hareketli sıfır noktasından harekete başladığında yer değiştirme

$x = v_0 t + \dfrac{1}{2} a \,.\, t^2$ şeklindedir.

$v = v_0 + a \,.\, t$ eşitliğinden

$t = \dfrac{v - v_0}{a}$ olur, bu zaman değerini yer değiştirme formülünde yerine yazıldığında;

$v^2 = v_0^2 + 2a \,.\, \Delta x$ eşitliği elde edilir. Bu eşitlik zamansız hız formülü olarak adlandırılır.

Düzgün değişen doğrusal hareket formülleri düzgün hızlanan doğrusal hareket ve düzgün yavaşlayan doğrusal hareket için Tablo 4.7 deki gibidir.

Düzgün hızlanan doğrusal hareket denklemleri	Düzgün yavaşlayan doğrusal hareket denklemleri	Denklemle ilgili açıklama
$v = v_0 + a \cdot t$	$v = v_0 - a \cdot t$	Hız
$x = v_0 t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$	$x = v_0 t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$	Konum
$v^2 = v_0^2 + 2 a \cdot x$	$v^2 = v_0^2 - 2 a \cdot x$	Yer değiştirmenin fonksiyonu olarak hız

Şekil 4.7: Düzgün değişen doğrusal hareket formülleri

BİLGİ KUTUSU

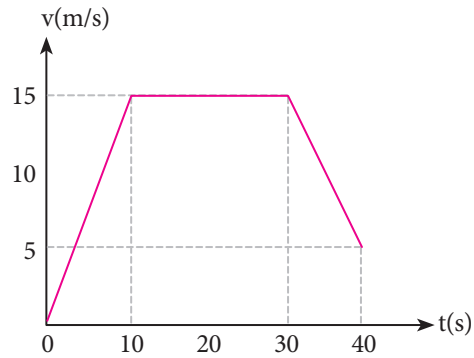
Hız-zaman grafiğinde grafik ile zaman ekseninin sınırladığı alanlardan, zaman ekseninin üstündeki alan (+), altındaki alan (–) alınırsa alanların cebirsel toplamı yer değiştirmeye eşit olur.

Örnek

Bir aracın hız zaman grafiği şekildeki gibidir. Aracın 0-40 s arasında

a) İvme-zaman grafiğini,

b) Konum-zaman grafiğini çiziniz.



Çözüm

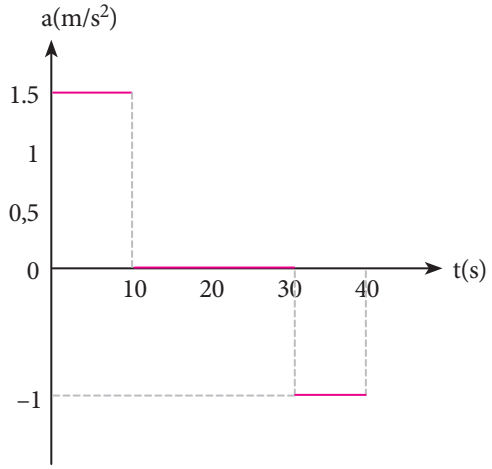
Durmakta olan araç 10 s'de 5 m/s hıza ulaşıyor. Hareketlinin her aralık için ivmesini bulalım.

0 s-10 s aralığında $a_1 = \frac{15-0}{10-0} = 1,5 \text{ m/s}$

10 s -30 s aralığında $a_2 = \frac{15-15}{30-20} = \frac{0}{10} = 0 \text{ m/s}$

30 s -40 s aralığında $a_3 = \frac{5-15}{40-30} = \frac{-10}{10} = -1 \text{ m/s}$ olarak bulunur.

Bulduğumuz ivme değerleri ile ivme zaman grafiği çizildiğinde aşağıdaki gibi olur.



Konum-zaman grafiğini çizmek için hız-zaman grafiğinde bütün zaman aralıkları içinde yer değiştirmeyi hesaplamalıyız. Hız zaman grafiğindeki veriler kullanılarak grafik ile zaman ekseni arasında kalan alan hesaplandığında yer değiştirmeler;

$t = 0$ anında konum $x_0 = 0$

0 s-10 s aralığında $\Delta x = \dfrac{15 \cdot 10}{2} = 75$ m

$x_1 = 75$ m

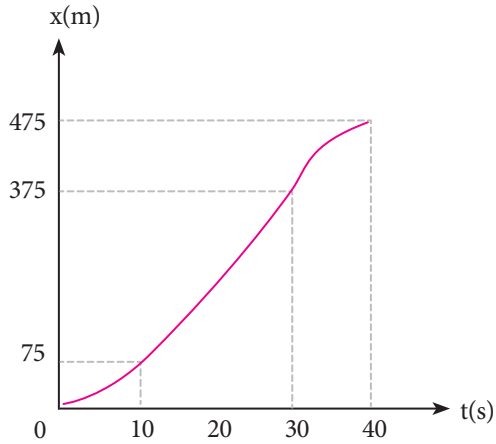
10 s – 30 s aralığında $\Delta x = 15 \cdot (30 - 10) = 300$ m

$x_2 = 75 + 300 = 375$ m

30 s – 40 s aralığında $\Delta x = \dfrac{15 + 5}{2}(40\text{-}30) = 100$ m

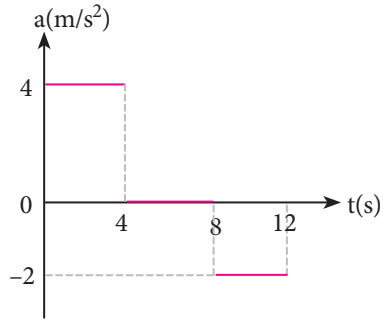
$x_3 = 100 + 375 = 475$ m olarak bulunur.

Hız-zaman grafiğinden elde ettiğimiz konum değerleri ile çizilen grafik aşağıdaki gibi olur.



Örnek

Doğrusal bir yolda $t = 0$ anında $v_0 = 8$ m/s ilk hızına sahip bir araç ivmeli hareket yapmaktadır, hareketlinin ivme zaman grafiği şekildeki gibidir. Hız zaman grafiğini çiziniz.



Çözüm

Yanda verilen ivme zaman grafiğinden yararlanarak ve $v = v_o + a \cdot t$ formülünü kullanarak;

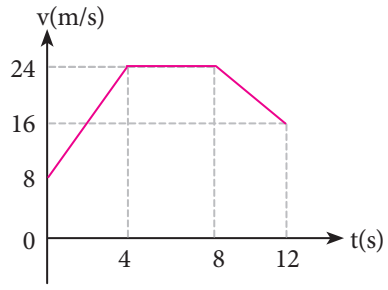
0 - 4 s aralığında $\Delta v_1 = 4 \cdot 4 = 16$ m/s

$v = v_0 + \Delta v_1$

$v = 8 + 16 = 24$ m/s

4 – 8 s aralığında $\Delta v_2 = 0$ $\quad v = 24 + 0 = 24$ m/s

8 - 12 s aralığında $\Delta v_3 = -2 \cdot (12 - 8) = -8$ m/s



$v = 24 - 8 = 16$ m/s Elde edilen verilerle çizilen hız-zaman grafiği yukarıdaki gibidir.

Örnek

Aralarında 200 m uzaklık bulunan iki otomobil hareketsiz olarak dururken aynı yönde harekete başlıyorlar, arkadaki aracın ivmesi 6 m/s² öndeki aracın ivmesi ise 2 m/s² dir. Buna göre arkadaki araç öndeki aracı kaç saniye sonra yakalar?

Çözüm

$x_1 = \frac{1}{2} a t^2$

$x_1 = \frac{1}{2} 6 t^2 = 3 t^2$

$x_2 = \frac{1}{2} a t^2$

$x_2 = \frac{1}{2} 2 \ t^2 = t^2$

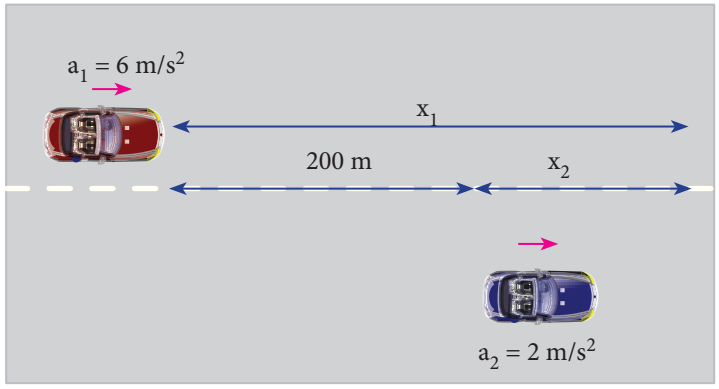
$x_1 - x_2 = 200$

$3 t^2 - t^2 = 200$

$3 t^2 - t^2 - 200 = 0$

$2 t^2 = 200$

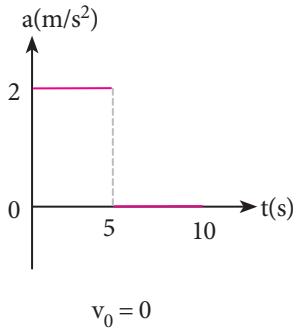
$t = 10$ s



1. Uygulama

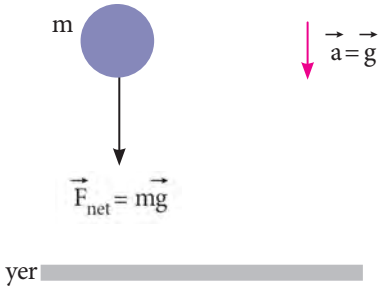
İvme-zaman grafiği verilen hareketlinin;

Hız zaman ve konum zaman grafiğini çiziniz.



4.3. Hava Direncinin Olmadığı Yerde Serbest Düşme Hareketi

Bilim tarihi boyunca birçok filozof ve bilim insanı serbest bırakılan cismin yere düşme hareketi ile ilgili değişik görüşler öne sürmüşlerdir. Milattan önceki yıllarda yaşayan Aristo serbest bırakılan ağır cisimlerin hafif cisimlerden önce yere düşeceğini savunmuştur. İtalyan fizikçi Galileo bu düşüncenin doğru olmadığını belirterek havasız bir ortamda serbest bırakılan cismin kütlesinden bağımsız bir şekilde ivmeli hareket yaptığını belirtmiştir. Bu düşüncesini yaptığı deneylerle ispatlamıştır.



Şekil 4.3: Hava direncini olmadığı ortamda serbest düşen cisme etki eden kuvvetler

Hava direncini ve diğer etkilerin ihmal edildiği bir ortamda serbest bırakılan cisme etki eden kuvvet, yer çekimi kuvveti yani cismin ağırlığıdır. Şekil 4.32deki gibi serbest bırakılan m kütleli cisim için Newton'ın II. Hareket Kanunu yazıldığında;

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

$$a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{m \cdot g}{m} = g$$

a = g olur.

BİLGİ KUTUSU

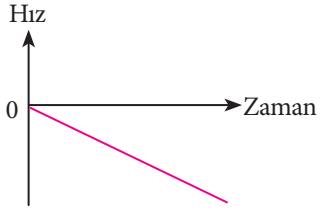
Hava sürtünmesinin ihmal edildiği bir ortamda serbest bırakılan cismin yaptığı hareketin ivmesi kütlesinden bağımsızdır ve g yerçekimi ivmesine eşittir.

Serbest düşme hareketi yapan cismin hareket denklemleri düzgün hızlanan hareket yaptığı göz önüne alınıp denklemlerde a yerine g yazılarak düzenlendiğinde;

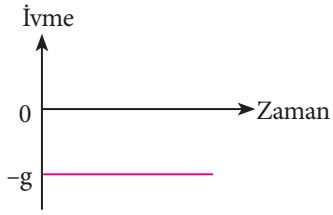
$v = v_0 + a \cdot t$ olan hız denklemi;

$v = g \cdot t$ şeklinde kullanılır.

Serbest bırakılan cismin hız-zaman ve ivme-zaman grafiği Grafik 4.13 ve 4.14 de gösterilmiştir.



Grafik 4.13: Serbest bırakılan cismin hız-zaman grafiği



Grafik 4.14: Serbest bırakılan cismin ivme-zaman grafiği

Yer değiştirme denklemi $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

a yerine g yazıldığında ve yükseklik h ile gösterildiğinde $x = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ olur. Zamanın fonksiyonu olarak kullanılan $v^2 = v_0^2 + 2 a \cdot x$ denklemi; $v^2 = 2 g \cdot x$ şeklindedir.

Örnek

Yerden yüksekliği 45 m olan bir binanın teras katından aşağıya ilk hızsız olarak serbest bırakılan bir topun yere düşme süresini ve yere çarpma hızını bulunuz (Hava direnci ihmal edilmiştir ($g = 10\ m/s^2$).

Çözüm

Hareket düşey doğrultuda gerçekleştiği için x yerine y veya h yazılabilir

a) $h = \frac{1}{2} g t^2$

$-45 = \frac{1}{2} (-10) t^2$

$t^2 = 9$

$t = 3\ s$

b) $v = g t$

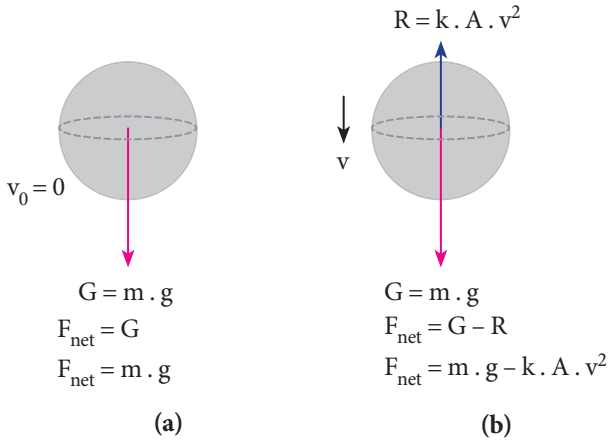
$v = (-10) \cdot 3 = -30\ m/s$ (–hareket aşağı yönlü olduğunu ifade etmektedir.)

Serbest düşme hareketi ile ilgili örnekleri aşağıdaki genel ağ adresinden inceleyebilirsiniz.

http://www.eba.gov.tr/video/e/4013566ed968451b14a88a1fd43c0ebccb5f32d09c001

4.4. Hava Direncinin Olduğu (Sürtünmeli) Ortamda Serbest Düşme Hareketi

Hava direncinin ve diğer etkenlerin ihmal edildiği ortamda serbest düşme ve düşey atış hareketini öğrendiniz. Ancak gerçek hayatta hava direncinin olduğu birçok olay gözlemleriz. Bir paraşütçü atlayışını yaptıktan sonra paraşütün açılması sayesinde havanın direnç kuvvetinden yararlanması bu duruma örnek verilebilir.



Şekil 4.5: Sürtünmeli ortamda serbest düşen cisme etki eden kuvvetler

Şekil 4.5 te hava sürtünmesinin olduğu ortamda cisme etki eden kuvvetler gösterilmiştir. Sıvı ve gazlar, içerisinde hareket eden cisimlere harekete zıt yönde bir kuvvet uygular bu kuvvete **direnç kuvveti** denir ve R sembolü ile gösterilir. Hava direncinin büyüklüğünün bağlı olduğu değişkenleri bir etkinlik ile inceleyiniz.

ETKİNLİK

Etkinliğin Adı: Havanın direnç kuvveti nelere bağlıdır?

Etkinliğin Amacı: Hava direncinin bağlı olduğu değişkenleri incelemek

Kullanılan Malzemeler: 7 adet aynı büyüklükte dosya kağıdı, kronometre veya saniyeleri gösteren saat

Etkinliğin Yapılışı

1. Kağıtlardan birini buruşturarak küreye benzer bir şekle getiriniz, diğer kağıdı katlayarak küçük bir dikdörtgen elde ediniz, dört dosya kağıdını üst üste koyduktan sonra dörde katlayınız.

2. Daha sonra 1 adet düzgün formda olan, 1 adet buruşturlmuş, 1 adet katlanmış ve dört adet üst üste konulup katlanmış kağıtları 2 m yükseklikten ayrı ayrı serbest bırakınız ve yere düşme sürelerini ölçünüz.

3. Kağıtlar hafif malzemeler olması nedeniyle serbest bıraktıktan hemen sonra sabit hıza ulaştıklarını kabul edilebilir. Gözlemlerinizin sonucu yere düşme sürelerini ölçünüz aşağıdaki tabloya not ediniz.

	1 adet kağıt (düzgün formda)	1 adet buruşturulmuş kağıt	1adet katlanmış kağıt	4 adet katlanmış kağıt
Bırakılan yükseklik	2 m	2 m	2 m	2 m
Yere düşme süreleri				

Etkinliğin Sonuçlandırılması

Bırakılan kağıtların yere düşme sürelerini karşılaştırınız. Sizce süreler arasındaki farklılığın nedeni nedir?

Havanın direnç kuvvetinin büyüklüğü cismin şekline, ortamın özelliklerine bağlıdır ve cismin hızının karesi ile doğru orantılı olarak artar. Havanın direnç kuvvetini R sembolü ile, cismin hareket doğrultusuna dik en büyük kesit alanı A ile, ortamın yoğunluğuna ve cismin şekline bağlı katsayı olan direnç sabiti k ile gösterildiğinde havanın direnç kuvvetinin formülü;

$R = k \cdot A \cdot v^2$ şeklinde olur. Direnç kuvveti hızın karesi ile doğru orantılıdır.

4.1.4.5. Limit Hız

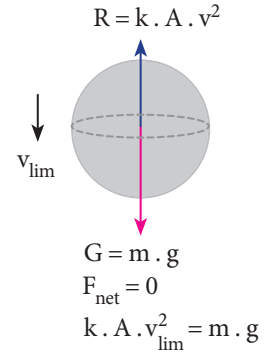
Belli bir yükseklikten serbest bırakılan bir cisim aşağı yönde düzgün hızlanan hareket yaptığını ve cismin hızının g ivmesiyle arttığını biliyoruz. Buna göre bir yağmur damlasının hızı her saniyede 10 m/s artar. Bu durumda yağmur damlasının yere düşene kadar çok yüksek hızlara ulaşması gerekir. Gerçekte yağmur damlasının hızı bir süre sonra sabit bir değere ulaşır. Bu sabit hız, hava direncinin olduğu bütün ortamlarda serbest düşen cisimler için geçerlidir. Şimdi bu olayı cisme etki eden kuvvetler açısından inceleyelim.

Hava direncinin olduğu bir ortamda m kütleli ve en büyük kesit alanı A olan cisim serbest düşmeye bırakılmıştır. Serbest düşme hareketi yapan m kütlesine aşağı doğru yerçekimi kuvveti etki ederken yukarı doğru havanın direnç kuvveti etki etmektedir (Şekil 4.6). m kütleli serbest düşen cisme etki eden net kuvvet;

$\vec{F}_{net} = \vec{G} + \vec{R}$

$\vec{F}_{net} = G - R$

$\vec{F}_{net} = m\,g - k\,A\,v^2$ olur. Newton'ın 2. Hareket kanunundan yararlanarak cismin ivmesi hesaplanır. Serbest düşen cismin hızı arttıkça net kuvvet ve ivme azalacaktır. Bir süre sonra havanın direnç kuvveti cismin ağırlığına eşit bir değere ulaştığında net kuvvet sıfır olur. Net kuvvet sıfır olduğunda hareketin ivmesi de sıfır olacağı için hareketin hızı sabit olur. Hareketlinin ulaştığı bu sabit hız değerine **limit hız** denir. Hareketlinin ağırlığı ile havanın direnç kuvvetinin eşit olduğu bu noktada limit hız hesaplandığında;

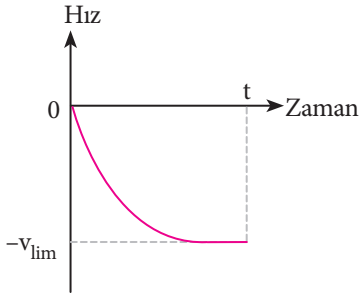


Şekil 4.6: Sürtünmeli ortamda serbest bırakılan cismin ağırlığı bir süre sonra havanın direnç kuvvetine eşitlenir.

$m \cdot g = k \cdot A \cdot v^2_{lim}$

$v_{lim} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k \cdot A}}$ olarak bulunur.

Serbest düşen cismin hız-zaman grafiği şekildeki Grafik 4.15 deki gibi olur.



Grafik 4.15: Sürtünmeli ortamda serbest bırakılan cismin hız-zaman grafiği

1.4.6. Hava Direncinin Olmadığı Yerde Düşey Atış Hareketi

Bir cisme düşey doğrultuda bir ilk hız verilerek fırlatılmışsa yaptığı harekete **düşey atış hareketi** denir. Düşey atış hareketi aşağı yönlü ve yukarı yönlü olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilir. Her iki harekette de ivme sabit ve yer çekimi ivmesine eşittir.

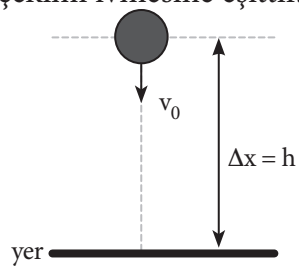
a) Aşağı Yönlü Düşey Atış Hareketi

Aşağı yönlü düşey atış hareketi (Şekil 4.7), serbest düşme hareketi denklemlerine v_0 eklendiğinde elde edilen denklemler;

$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} g \cdot t^2$

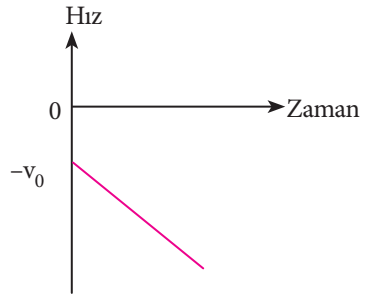
$v^2 = v_0^2 + 2\,g \cdot h$

$v = v_0 + g \cdot t$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 4.7: Aşağı yönlü düşey atış hareketi

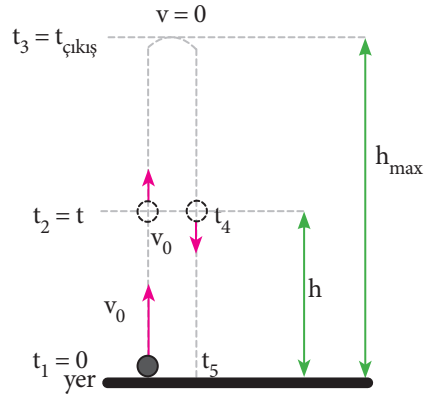
Aşağı yönlü düşey atış hareketi yapan cismin hız-zaman grafiği ise Grafik 4.16 daki gibi olur.



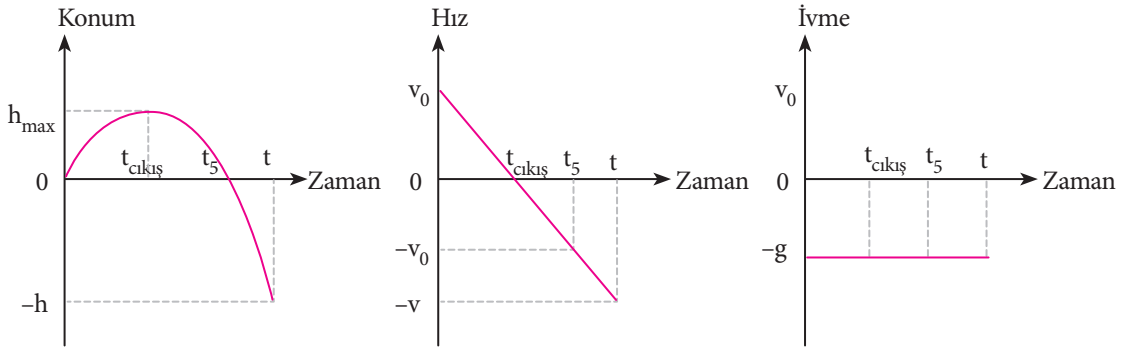
Grafik 4.16: Aşağı yönlü düşey atış hareketi yapan cismin hız-zaman grafiği

b) Yukarı Yönlü Yönlü Düşey Atış Hareketi

Yukarı yönlü düşey atış hareketinde yerden yukarı doğru v_0 ilk hızı ile fırlatılan cisim düzgün yavaşlayan hareket yaparak yükselir. Hızı sıfır olduğunda ulaştığı maksimum yükseklikten aşağı doğru serbest düşme hareketi yapar (Şekil 4.8). Yukarı yönde düşey atış hareketinde cismin maksimum yüksekliğe ulaşma süresine $t_{çıkış}$ denir. Cismin maksimum yüksekliğe çıkış zamanı iniş zamanına eşittir ($t_{çıkış} = t_{iniş}$). Cismin yaptığı hareketin konum-zaman, hız-zaman ve ivme-zaman grafikleri Grafik 4.17 deki gibi olur.



Şekil 4.8: Yukarı yönlü düşey atış hareketi



Grafik 4.17: Yukarı yönlü düşey atış hareketinin konum-zaman, ivme-zaman ve hız zaman grafikleri

Aşağıdan yukarıya doğru atılan cisim maksimum yüksekliğe ulaşana kadar düzgün yavaşlayan hareket yapar. Düzgün yavaşlayan hareket formüllerinde ivme yerine g yazılır ve aşağıdaki denklemler kullanılır.

$h = v_0\, t - \frac{1}{2}\, g\, t^2$

$v^2 = v_0^{\,2} - 2\, g\, \Delta x$

$v = v_0 - g\, t$

Örnek

5 m/s hızla yükselmekte olan bir sıcak hava balonundan yerden 30 m yüksekte iken bir taş bırakılıyor. Buna göre,

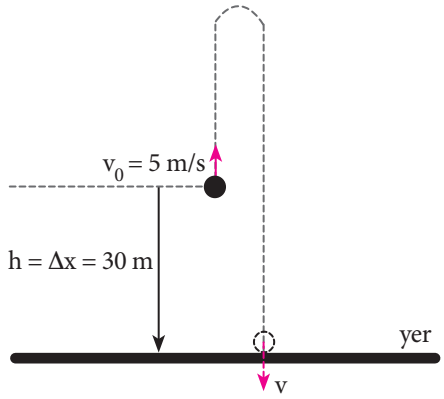
a) Taş kaç saniye sonra yere düşer?

b) Taş yere çapmadan hemen önce sahip olduğu hız kaç m/s'dir.(Hava direncini ihmal ediniz. $g = 10\ m/s^2$)

c) Taşı yaptığı hareketin hız-zaman grafiğini çiziniz.

Çözüm

Balondan bırakılan taş, balonun yukarı doğru yükselmesi nedeniyle balonun ilk hızıyla yukarı doğru düşey atış hareketi yapacaktır.



a) $-h = v_0 t - \frac{1}{2}\, g\, t^2$

$-30 = 5\, t - \frac{1}{2} 10\, t^2$

$t^2 - t - 6 = 0$ denklemi çözüldüğünde

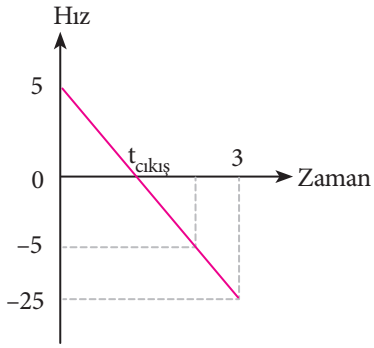
$t = 3$ s bulunur.

b) $v = v_0 - g\,.\,t$

$v = 5 - 10.3$

$v = -25$ m/s hareketin aşağı yönlü olduğu için hızın işareti (–) dir.

c)



2. Uygulama

Bir taş 30 m yükseklikteki A noktasından aşağıya doğru bırakılıyor, ikinci taş ise A noktası ile aynı doğrultuda olan yerdeki B noktasından yukarı doğru 20 m/s hızla fırlatılıyor. Bu iki taş atıldıktan kaç saniye sonra aynı hizada karşılaşır (sürtünmeler önemsemeyiniz).

3. Uygulama

Bir tenis topuna düşey doğrultuda yukarı doğru hız kazandırılıyor (topun yerden harekete başladığı kabul ediniz.). Top 20 m yükselip sonra yere düşüyor buna göre;

a) Topa verilen ilk hız kaç m /s'dir.

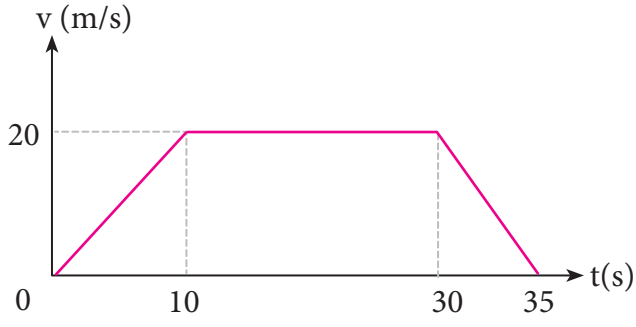
b) Top atıldığı noktaya kaç saniye sonra ulaşır?

c) Topun atıldıktan 1 s sonra hızını ve yerden yüksekliğini bulunuz.

4. Bölüm Sonu Soruları

1. Serbest düşen cisimler için limit hız kavramını açıklayınız.

2. Havanın direnç kuvvetinin bağlı olduğu etkenler nelerdir? Açıklayınız.



3, 4. ve 5. Soruları yukarıdaki grafiğe göre yorumlayınız.

3. Hız-zaman grafiği verilen hareketlinin verilen zaman aralıklarında yaptığı hareketi yorumlayınız.

4. Hız-zaman grafiği verilen hareketlinin ivme-zaman grafiğini çiziniz.

5. Hız-zaman grafiği verilen hareketlinin konum zaman grafiğini çiziniz.

6. Düşey doğrultuda 20 m/s sabit hızla yükselen bir balondan bir taş serbest bırakılıyor ve taş 6 s sonra yere düştüğüne göre;

a) Taş bırakıldığı anda balonun yerden yüksekliğini bulunuz.

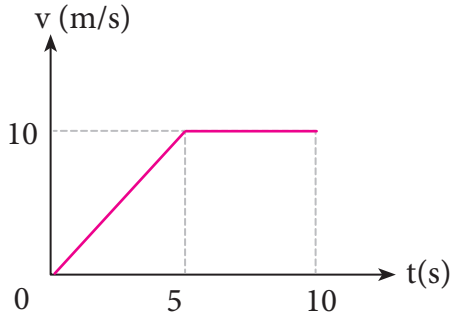
b) Taş yere çarptığı anda balonun yerden yüksekliğini bulunuz. (Hava sürtünmelerini ihmal ediniz. $g = 10\ m/s^2$)

Uygulama Sorularının Çözümleri

1.Uygulama

İvme-zaman grafiğinde grafikle zaman ekseni arasında kalan alan hız değişimini verdiğini biliyoruz

0 -5 s aralığında



$v_0 = 0$

$v = v_0 + \Delta v$

$\Delta v = 2 . 5 = 10$ m/s

$v_1 = 10$ m/s

5 - 10 s aralığında

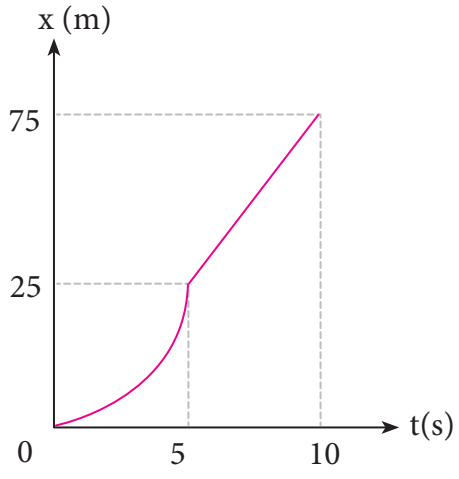
$v_0 = 10$ m/s

$\Delta v = 0$

$v = v_0 + \Delta v$

$v_2 = 10$ m/s olarak bulunur. hız zaman grafiği çizildiğinde yukarıdaki gibi olur.

Konum zaman grafiği için yer değiştirme miktarlarını bulalım



0-5 s aralığında $\Delta x = \frac{5 . 10}{2} = 25$ m

$x_1 = 25$ m

5-10 s aralığında $\Delta x = 10 . 5 = 50$ m

$x_2 = 25 + 50 = 75$m

x-t grafiği yandaki gibidir.

2.Uygulama

Birinci taşın yapacağı yer değiştirme ve ikinci taşın yapacağı yer değiştirmelerin toplamı

$x_1 = \frac{1}{2} g . t^2 = \frac{1}{2} 10 . t^2 = 5 . t^2$

$x_2 = v_0 . t - \frac{1}{2} g . t^2 = 20 t - \frac{1}{2} 10 . t^2$

$x_1 + x_2 = 30$

$30 = 5\,t^2 + 20\,t - 5\,t^2$

$20\,t = 30$

t = 1,5 s sonra karşılaşırlar.

3. Uygulama

a) Tenis topu yerden 20 m yükseldikten sonra yere düştüğüne göre 20 m yüksekte iken hızı sıfırdır. Teni topunun ilk hızı;

$v^2 = v_0^2 - 2 \,.\, g \,.\, \Delta x$

$0 = v_0^2 - 2 \,.\, 10 \,.\, 20$

$v_0 = 20$ m/s

b) Tenis topu atıldığı noktaya aynı süratle döner.

$v = v_0 - g \,.\, t$

$-20 = 20 - 10 \,.\, t$

t = 4 s olur.

c) t = 1. s'de tenis topunun hızı,

$v = v_0 - g \,.\, t$

$v = 20 - 10 \,.\, 1$

$v = 10$ m/s

$h = 20 \,.\, 1 - \frac{1}{2}\ 10\ .\ 1^2$

h =15 m

Bölüm Sonu Sorularının Cevapları:

6. a) 60 m

b) 180 m

5. İKİ BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Cisimlerin tek boyutta yaptığı hareketi inceledik. Serbest düşen ve düşey doğrultuda bir ilk hız verilen hareketlilerin yaptığı hareketi analiz ettik. Bu bölümde ise bir cismin yatay ve düşey doğrultuda hareketinin bileşkesi olan atış hareketlerini inceleyeceğiz. Görseldeki gibi duran bir futbol topuna futbolcu kuvvet uyguladığında top, kazandığı hızla hem düşey doğrultuda hem de yatay doğrultuda hareket ederek iki boyutta hareket edecektir. İki boyutlu harekete vurulan bir topun, top mermisinin veya uçmakta olan uçaktan bırakılan bir paketin hareketini örnek verebiliriz.

Neler Öğreneceğiz?

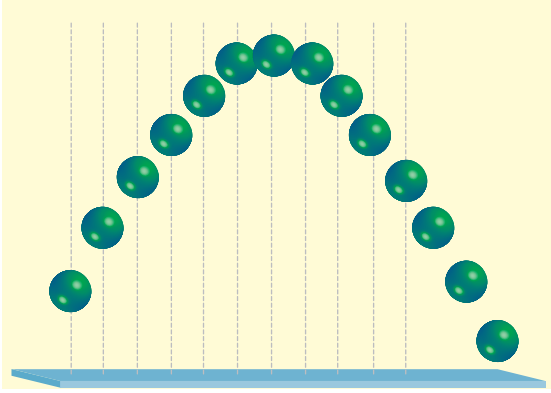
İki boyutlu sabit ivmeli hareketi analiz etmeyi,

İki boyutta sabit ivmeli hareketi ile tek boyutlu ivmeli hareket arasında nasıl bir ilişki olduğunu,

Atış hareketlerinin yatay ve düşey boyutta analiz etmeyi öğreneceğiz.

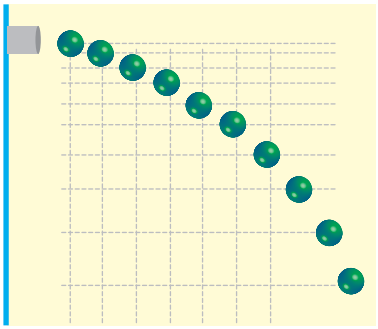
5.1 Atış Hareketleri

Bir cisme yatay doğrultu ile belli bir açı yapacak şekilde yukarı doğru ilk hız verilerek fırlatıldığında iki boyutta gerçekleşen harekete **eğik atış hareketi** denir (Şekil 5.1). Topun birbirine dik olan yatay ve düşey olmak üzere iki boyutta yaptığı hareket birbirinden bağımsızdır ve cisim yer çekimin ivmesinin etkisindedir. Hareket boyunca hız vektörünün yönü ve doğrultusu zamanla değişmektedir.



Şekil 5.1: Yatay doğrultu ile açı yapan bir ilk hıza sahip tenis topunun hareketi

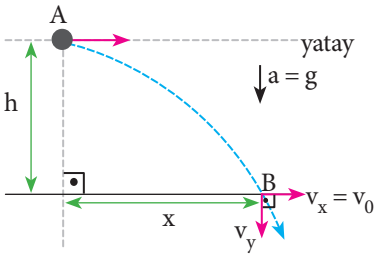
Tenis topuna yatay doğrultuda bir ilk hız verilerek belli bir yükseklikten atıldığında ise Şekil 5.2 deki gibi bir yörünge çizerek hareket eder. Yatay doğrultuda bir ilk hız verilerek atılan cismin yaptığı harekete **yatay atış hareketi** denir.Atış hareketlerini daha iyi anlayabilmek için hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda yatay ve düşey boyutta ayrı ayrı inceleyelim.



Şekil 5.2: Yatay doğrultuda bir ilk hıza sahip tenis topunun hareketi

Yatay Atış Hareketi

Yerden h kadar yüksekte bulunan A noktasından yatay doğrultuda v_0 ilk hızı ile atılan cisim hava sürtünmesi ihmal edildiğinde ağırlığı nedeni ile g ivmesi ile hareket eder (Şekil 5.3).



Şekil 5.3: Yatay doğrultuda bir ilk hıza sahip cismin hareketi

Cismin yaptığı hareketi yatay doğrultuda incelediğimizde, cisme yatay doğrultuda etki eden bir kuvvet olmadığı için yatay doğrultudaki v_0 hızında bir değişiklik olmaz, dolayısıyla düzgün doğrusal hareket (sabit hızlı hareket) yapar ve $v_x = v_0$ olarak ifade edilir.

Cisim t sürede A noktasından B noktasına ulaştığında yatay doğrultuda yaptığı yer değiştirme $x = v_0\, t$ denklemi ile hesaplanır.

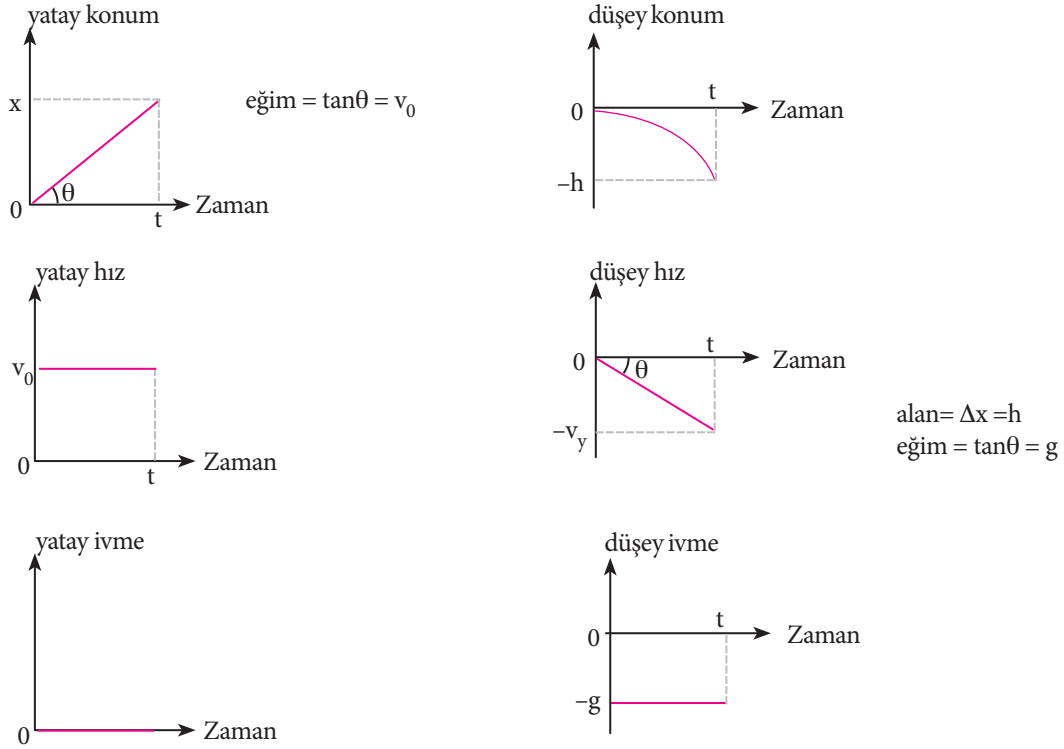
Düşey doğrultuda cisim başlangıçta bir ilk hıza sahip değildir ($v_{0y} = 0$). Cismin düşey doğrultuda g ivmesi ile hareket ettiğini belirtmiştik. Bu harekette ilk hızı olmayan serbest düşme hareketindeki denklemler geçerlidir. Buna göre düşey doğrultuda yer değiştirmesi; $h = \frac{1}{2}\, g \,.\, t^2$ olarak ifade edilir. Cismin t sürede düşey doğrultuda kazanacağı hız ise

$v_y = g \,.\, t$ formülünden hesaplanabilir. Ayrıca zaman içermeyen $v_y^2 = 2\, g \,.\, h$ formülünden de hızın yatay bileşenine ulaşılabilir. Cisim B noktasına ulaşmadan önce herhangi bir andaki hız; $v^2 = v_x^2 + v_y^2$ şeklinde ifade edilir. Zaman içermeyen $v^2 = v_0^2 + 2\, g.\, h$ formülü kullanılarak hesaplanabilir. Sabit hızlı harekette yer değiştirme formülünün $\Delta x = v_{ort}\, t$ olduğunu biliyoruz. Yatay atışta düşey doğrultuda yer değiştirme

$$h = \left(\frac{0 + v_y}{2}\right).\, t$$ formülünden de bulunabilir.

$$h = \frac{v_y \,.\, t}{2}$$

Yatay atış hareketine ait grafikler Grafik 5.1'de ki gibi olur.



Grafik 5.1: Yatay atış hareketinin grafikleri

Örnek

Bir kayakçı kayak pistinde 20 m/s hıza ulaştıktan sonra atlama noktasından atlıyor. Atladığı noktadan yatay olarak 100 m ilerideki bir noktaya iniş yapıyor. Buna göre;

a) Kayakçı pistten atladıktan kaç saniye sonra yere inmiştir?

b) Kayak pistinin yerden yüksekliği kaç metredir?

c) Kayakçı atladıktan 3s sonra yerden yüksekliği ve hızının büyüklüğünü bulunuz? ($g = 10\ m/s^2$)

Çözüm

a) Atladığı noktadan 100 m ileriye düştüğüne göre yatay doğrultuda yaptığı yer değiştirmeden hareketle

$x = v_0 t$

$100 = 20\ t$

$t = 5\ s$ bulunur.

b) $h = \frac{1}{2} g . t^2$

$h = \frac{1}{2} 10 . 5^2 = 125$ m

c) t = 3 saniye sonra kayakçının düştüğü yükseklik

$h = \frac{1}{2} g . t^2$

$h = \frac{1}{2} 10 . 3^2 = 45$ m

$h_{yerden} = 125 - 45 = 80$ m olur.

Yatay doğrultuda hızı sabit ve $v_x = 20$ m/s eşittir.

3 s sonra düşey doğrultudaki hızı

$v_y = g . t$

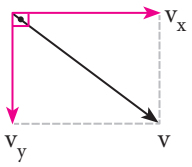
$v_y = 10 . 3 = 30$ m/s olur.

t = 3 s sonra hızının büyüklüğü;

$v^2 = v_x^2 + v_y^2$

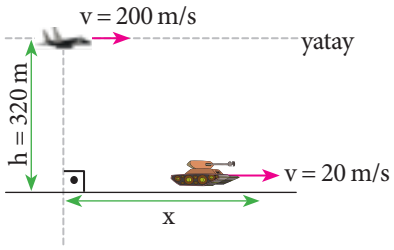
$v^2 = 20^2 + 30^2$

$v = 10\sqrt{13}$ m/s



Örnek

Uçak yerden 320 m yüksekte 200 m/s hızla yatay olarak uçmaktadır. Uçaktan bomba bırakılıyor, bırakılan bombanın, yerde uçakla aynı yönde 20 m/s ilerleyen tanka isabet etmesi için tankın bulunduğu noktadan kaç metre önce bırakılmaktadır.(g= 10 m/s^2)



Çözüm

Bomba, uçağın ilk hızına sahip bir hızla yatay atış hareketi yapacaktır. Bombanın tanka isabet edebilmesi için tankın ilerleme miktarı kadar önce bırakılmalıdır. Bombanın bırakıldığı anda tanktan uzaklığı bombanın sahip olduğu hızla alacağı yatay yoldan tankın alacağı yolun çıkarılarak elde edilen uzaklığa eşittir.

$v_{0x} = 200$ m/s

$V_{0y} = 0$

$h = \frac{1}{2} g t^2$

$320 = \frac{1}{2} 10 t^2$

$t = 8$ s

bombanın 8 s'de yaptığı yer değiştirme $x_{bomba} = v_0 t$

$x_{bomba} = 200 . 8 = 1600$ m

$x_{tank} = v_{tank} t$

$x_{tank} = 20 . 8 = 160$ m

Bomba tanktan x = 1600 – 160 = 1440 m önce bırakılmalıdır.

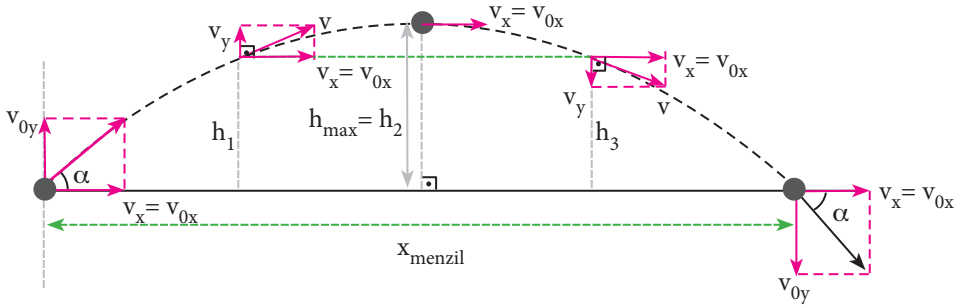
1.Uygulama

200 m/s hızla uçan bir uçaktan yardım paketi bırakılıyor, yardım paketi bırakıldığı noktadan 2000 m ileriye düşüyor. Buna göre;

a) Paket kaç m yüksekten bırakılmıştır?

b) Yere düştüğü anda hızı kaç m/s'dir? ($g = 10$ m/s², hava sürtünmesi ihmal ediniz.)

Eğik Atış Hareketi



Şekil 5.4: Eğik atış hareketi

Yatayla açı yapacak şekilde v_0 hızıyla fırlatılan cismin harekete yaptığı **eğik atış hareketi** denir. Eğik atış atış hareketinin yörüngesi Şekil 5.4 deki gibi olur. Hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda cisim düşey doğrultuda g ivmesiyle hareket ettiğini biliyoruz. Cismin h_1 ve h_3 yükseklikleri birbirine eşittir. Bu yükseklikte hızlarının büyüklükleri birbirine eşit olur fakat yönleri farklıdır. Cismin A ve B noktaları arasında yaptığı bu hareketi yatay ve düşey doğrultuda inceleyelim.

Cisme yatay doğrultuda etki eden kuvvet bulunmaması nedeniyle yatay doğrultuda düzgün doğrusal hareket yapar, hızın yatay bileşeni sabittir ve

$v_x = v_{0x}$ şeklinde ifade edilir. Hızın yatay bileşeni

$v_{0x} = v_0 \cos\alpha$ olur.

Cisme düşey doğrultuda etki eden kuvvet g ivmesi ile hareket etmesini sağlar. Cisim v_0 ilk hızı ve g ivmesi ile düzgün yavaşlayan hareket yaparak yükselir. Bir süre sonra düşey hız bileşeni sıfır olur ve bu ana kadar ulaştığı maksimum yükseklikten aşağı doğru düzgün hızlanan hareket yapar. Eğik atış hareketi yapan cismin, atıldığı andan itibaren düşey hız sıfır olana kadar geçen süreye **çıkış süresi ($t_{çıkış}$)** denir.

Eğik atış hareketi yapan cisim, düşey doğrultuda daha önce öğrendiğimiz yukarı yönlü düşey atış hareketi gibi hareket eder. Düzgün yavaşlayan harekette hızın büyüklüğünün

$v = v_0 - a \cdot t$ olduğunu biliyoruz. İlk hızın büyüklüğünün düşey bileşeninin v_{0y} olan cismin t anındaki hızının düşey bileşeni;

$v_y = v_{0y} - g \cdot t$ bağıntısı ile bulunur.

İlk hızın düşey doğrultudaki bileşeni;

$v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha$ şeklindedir.

Düşey hız bileşeninin sıfır olduğu an için $v_y = 0$ ve t = tçıkış yazıldığında

$0 = v_{0y} - g \cdot t_{çıkış}$

$t_{çıkış} = \dfrac{v_{0y}}{g}$ bağıntısı ile çıkış zamanı bulunabilir.

Düzgün yavaşlayan doğrusal harekette zaman içermeyen hız bağıntısı $v^2 = v_0^2 - 2a \cdot \Delta x$ olduğundan eğik atış hareketinde herhangi bir anda cismin yerden yüksekliği h, düşey hız bileşeni v_y'nin büyüklüğü

$v_y^2 = v_{0y}^2 - 2g \cdot h$ bağıntısı ile hesaplanabilir.

Cisim tepe noktaya ulaştığında hızı sıfırdır ve cisim maksimum yüksekliğe (h_{max}) ulaşmıştır buradan yola çıkarak

$0 = v_0^2 - 2g \cdot h_{max}$

$h_{max} = \dfrac{v_{0y}^2}{2g}$ olarak bulunur.

BİLGİ KUTUSU

Maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra cisim yatay atış hareketi yapar, iniş süresi kullanılarak maksimum yükseklik $h_{max} = \frac{1}{2} g \cdot t_{inis}^2$ bağıntısı ile de bulunabilir.

Düzgün yavaşlayan harekette yer değiştirmenin büyüklüğünün $\Delta x = v_0\, t - \frac{1}{2}\, a \,.\, t^2$ olduğunu biliyoruz. Cismin t anında yerden yüksekliği,

$$h = v_{0y} \,.\, t - \frac{1}{2}\, g \,.\, t^2$$

bağıntısı ile bulunur. Şekil 5.4'de t_1 ve t_3 anlarında yerden yükseklikleri birbirine ($h_1 = h_3$) eşittir.

Cismin atıldığı seviyeye (A noktasından B noktasına) gelmesi için geçen süreye uçuş süresi denir. Uçuş süresi çıkış süresi ile iniş süresinin toplamına eşittir ve cismin uçuş süresi, çıkış süresinin iki katı kadardır.

$$t_{uçuş} = t_{çıkış} + t_{iniş}$$

$$t_{uçuş} = 2 \,.\, t_{çıkış} = 2 \,.\, \frac{v_{0y}}{g}$$ şeklinde ifade edilir.

Eğik atış hareketinde cismin yatay doğrultuda sabit bir hıza sahip olduğunu ve düzgün doğrusal hareket yaptığını belirtmiştik cismin yatay doğrultuda yaptığı yer değiştirmenin büyüklüğü,

$x = v_{ox} \,.\, t$ bağıntısıyla ifade edilir.

Eğik atışta cismin uçuş süresi boyunca yatay doğrultuda yaptığı (maksimum) yer değiştirmeye özel olarak menzil adı verilir, x_{menzil} sembolü ile gösterilir ve

$x_{menzil} = v_{ox} \,.\, t_{uçuş}$ bağıntısı ile hesaplanır. Cismin havada kalış süresi olan uçuş zamanı için

$$t_{uçuş} = 2 \,.\, t_{çıkış} \text{ ve } t_{uçuş} = 2 \,.\, \frac{v_{0y}}{g}$$

olduğunu belirtmiştik buna göre menzil;

$$x_{menzil} = v_{ox}\, 2 \,.\, \frac{v_{0y}}{g}$$

$$x_{menzil} = v_o \cos\alpha\, 2\left(\frac{v_0 \,.\, \sin\alpha}{g}\right)$$

$$x_{menzil} = \frac{v_0^2 \,.\, \sin\alpha \,.\, \cos\alpha}{g}$$

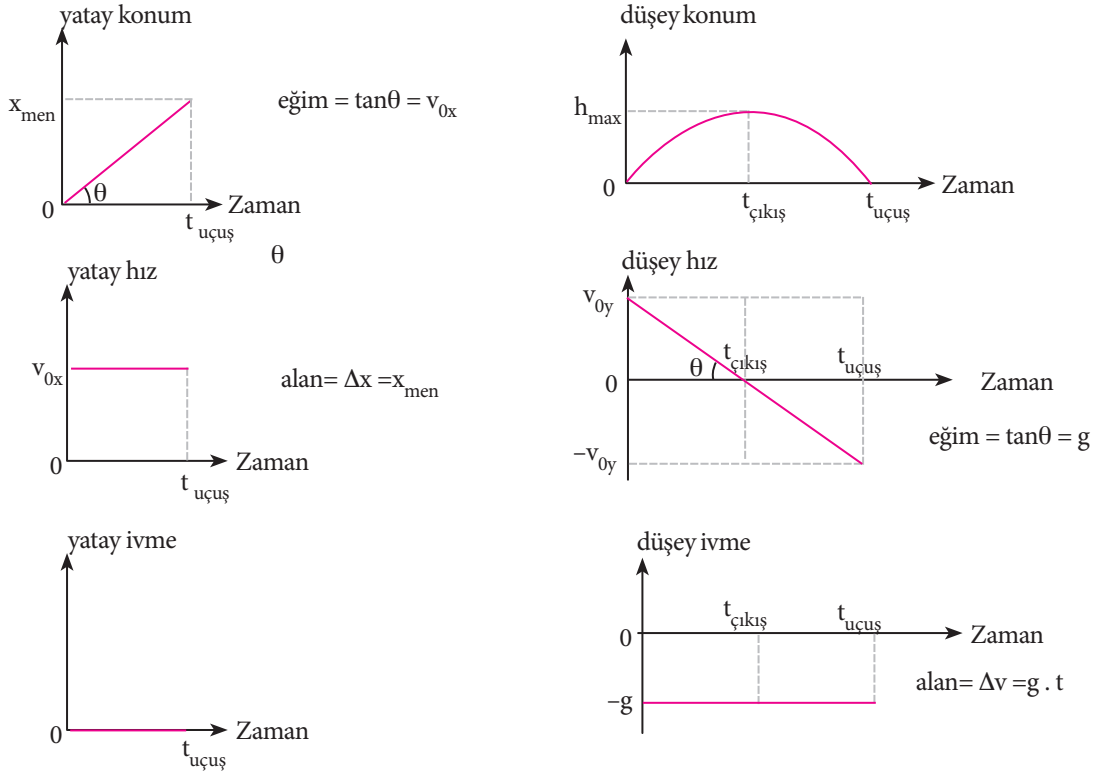
Yukarıdaki ifadede $2\sin\alpha.\cos\alpha = \sin 2\alpha$ eşitliği yazılırsa menzil

$$x_{menzil} = \frac{v_0^2 \,.\, \sin\alpha \,.\, \cos\alpha}{g}$$ bağıntısı ile de hesaplanabilir.

BİLGİ KUTUSU

sin2α en büyük değeri sin90° = 1 'dir.

2α = 90° olması için α=45° de olması gerekir. Buradan menzil en büyük değerini 45° lik açı altında alır.



Grafik 5.2: Eğik atış hareketinin grafikleri

Eğik atış hareketine ait grafikler Grafik 5.2 deki gibidir.

Örnek

Bir futbol topuna yatayla 37° lik açı yapacak şekilde 20 m/s hızla fırlatılıyor ve 5 s sonra yere düşüyor. Topun maksimum yüksekliğinin kaç metre olduğunu ve atıldığı noktadan kaç metre ileriye düştüğünü bulunuz. (sin37° = 0,6 cos37° = 0,8 g = 10 m/s^2)

Çözüm

Topun hızının yatay ve düşey doğrultudaki bileşenlerinin büyüklüğünü bulalım

$v_{0x} = v_0 \cdot \cos 37$

$v_{0x} = 20 \cdot 0{,}8 = 16\ m/s^2$

$v_{0y} = v_0 \cdot \sin 37$

$v_{0x} = 20 \cdot 0{,}6 = 12\ m/s^2$

maksimum yüksekliği,

$$h_{mak} = \frac{v_{0y}^2}{2g}$$

$$h_{mak} = \frac{12^2}{2.10} = 7{,}2\ m \text{ olur.}$$

kaç m ileriye düştüğünü $x = v_{ox}\ t$ bağıntısı ile hesaplanır.

$x = 16 \cdot 5 = 80\ m.$

Bölüm Sonu Soruları

1. Yerden yüksekte bulunan ok bir noktadan yere paralel olacak şekilde 20 m ileri-deki hedefe 10 m/s hızla fırlatılıyor buna göre;

a) Kaç saniye sonra yere düşer?

b) Atıldığı hedeften kaç m sapar? Hesaplayınız ($g = 10\ m/s^2$ hava sürtünmeleri ihmal ediniz).

2. Yatayla 53° lik açı yapacak şekilde fırlatılan topun ulaştığı yükseklik 80 m'dir.

Buna göre

a) Topun atıldığı andaki hızını bulunuz.

b) Topun yere düştüğü andaki hızı kaç m/s'dir?

($\sin 53° = 0{,}8$ $\cos 53° = 0{,}6$ ($g = 10\ m/s^2$ Hava sürtünmeleri ihmal ediniz.)

3. Yerden 320 m yüksekte yatay olarak 60 m/s hızla fırlatılan cismin yere çarpma hızı kaç m/s'dir?

($g = 10\ m/s^2$ hava sürtünmeleri ihmal ediniz)

Uygulama Sorularının Çözümleri

1. Uygulama

Paket uçaktan bırakıldığında uçağın sahip olduğu hızla yatay atış hareketi yapar ve bu hareket için geçen süreyi $x = v_0\, t$ bağıntısından hesaplayalım.

a) $v_0 = 200\ m/s^2$

$x = 1000\ m$

$2000 = 200\ t$

$t = 10\ s$

$h = \frac{1}{2}\, g\, t^2$

$h = 5.100 = 500\ m$ yüksekten bırakılmıştır.

b) Yatay doğrultuda hızı sabittir ve 200 m/s dir.

$v_x = 200\ m/s$

$v_y = gt$

$v_y = 10.10 = 100\ m/s$ Hızın büyüklüğü ise

$v^2 = v_x^{\ 2} + v_y^{\ 2}$

$v^2 = 200^2 + 100^2$

$v = 100\sqrt{5}\ m/s$ olarak hesaplanır.

Bölüm Sonu Sorularının Cevapları

1. a) 2 s

b) 20 m

2. a) 50 m/s

b) 50 m/s

3. 100 m/s

6 ENERJİ VE HAREKET

Fizik II dersinin, enerji ünitesinde enerjinin iş yapabilme yeteneği olduğunu öğrenmiştiniz. Bir cisme uygulanan kuvvet, cisme kendi doğrultusunda yol aldırdığında fiziksel anlamda iş yapılmış olur. Cisme etki eden net kuvvet sıfırdan farklı olduğunda, cismin ivmeli hareket yaptığını biliyoruz (Newton'ın II. Hareket Kanunu). Kuvvet bir cisme yol aldırarak iş yaptığında cismin kinetik enerjisinde değişiklik meydana gelir. Eğer yer çekimi kuvvetine karşı bir iş yapılmış ise cismin potansiyel enerjisinde değişiklik olur. Yapılan iş bir enerji biçimine dönüşür bu enerji biçimi sistemin özelliğine göre farklılık gösterir. Örneğin görseldeki gibi bir yay gerildiğinde esneklik potansiyel enerjisi kazanır ve bırakıldığında bu enerjiyi oka aktarır ve ok yerden yükselirken yer çekimine karşı iş yapmış olur.

Neler Öğreneceğiz?

Yapılan iş ile enerji arasındaki ilişkiyi analiz etmeyi,

Cisimlerin hareketini mekanik enerjinin korunumunu kullanarak analiz etmeyi,

Sürtünmeli yüzeylerde enerjinin korunumunu ve dönüşümlerini analiz etmeyi öğreneceğiz.

6.1 Yapılan İş ve Enerji Arasındaki İlişki

Şekil 6.1: Sabit F kuvvetinin etkindeki m kütlesi

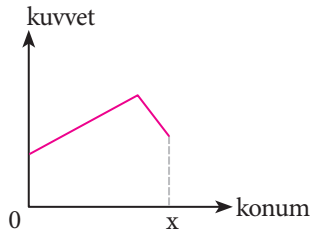
Sürtünmesiz yatay düzlemde m kütleli cisim sabit F kuvvetinin etkisi ile Newton'ın II. Hareket kanununa göre a ivmesi kazanır. Cisim A'dan B'ye hareket ettiğinde x kadar yol alır ve a ivmesi ile düzgün hızlanan hareket yapar (Şekil 6.1). Kuvvetin yaptığı işin $W = F \cdot \Delta x$ bağıntısı kullanılarak bulunur.

Kuvvetin yaptığı iş, cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir.

$$W = F \cdot \Delta x = E_{son} - E_{ilk}$$

$$= \frac{1}{2} m \cdot v_{son}^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_{ilk}^2$$

$$W = \Delta E_k \text{ olur.}$$



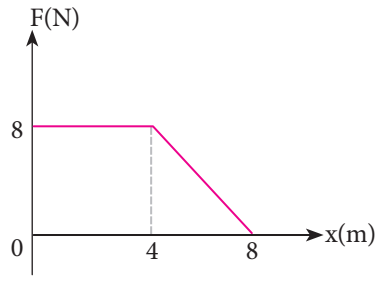
Grafik 6.1: Kuvvetin yer değiştirmeye bağlı grafiği

Cisme etki eden kuvvet ile cismin yaptığı yer değiştirme arasındaki grafikte (Grafik 6.1) zaman ekseni ile grafik arasında kalan alan yapılan işi verir. Yapılan işin cismin kinetik enerjisindeki değişime eşit olduğunu belirtmiştik Buna göre F-x grafiğinde alan işi dolayısıyla aynı zamanda kinetik enerji değişimini verir.

Alan = W= ΔE_k

Örnek

Sürtünmesiz yatay düzlemde durmakta olan bir cisme yatay doğrultuda uygulanan kuvvetin yer değiştirmeye bağlı değişim grafiği şekildeki gibidir. Cisim 8 m yer değiştirdiğinde yapılan işi bulunuz.



Çözüm

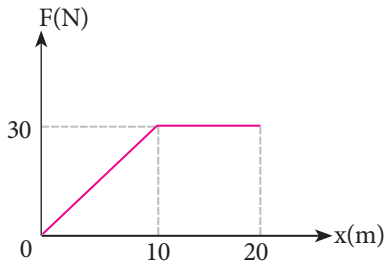
Grafiğin altında kalan alan yapılan işi verir.

$W = \Delta E_k$

0-8 s aralığında $A = \left(\frac{8+4}{2}\right) 8 = 48\,J$

1. Uygulama

Sürtünmesiz yatay düzlemde hareket eden cisme uygulanan kuvvetin konuma bağlı grafiği şekildeki gibidir. Buna göre 0 ile 20 s arasında cisim üzerinde kuvvetin yaptığı işi bulunuz.



Esneklik Potansiyel Enerjisi

Kuvvet uygulandığında şeklinde değişiklik meydana gelen kuvvet ortadan kalktığında eski hâline dönen yay, lastik gibi cisimlere esnek cisimler denildiğini biliyoruz. Günlük yaşantımızda tükenmez kalem, araba, motosiklet, kapı ve koltuk gibi birçok yerde sarmal yaylar kullanılmaktadır. Yay gibi esnek maddeler ani darbeleri yumuşatmak veya enerji depolamak gibi durumlarda kullanılır.

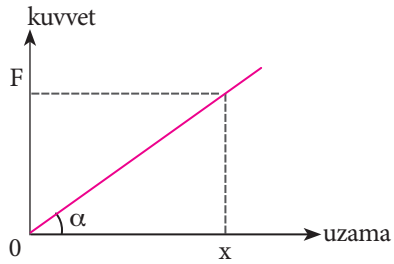
Sarmal yayların esneklikleri yapıldığı maddelerin özelliğine ve sarım sayısına göre değişiklik gösterir. Sarmal yayı birim uzunluk kadar (1 m) uzatmak için gereken kuvvetin büyüklüğüne **yay sabiti** denir ve k sembolü ile gösterilir, birimi N/m'dir.

Sarmal yaydaki uzama veya sıkışma miktarı yaya uygulanan kuvvete bağlıdır. Esneklik sınırları içinde, yay gibi esnek cisimleri germek için gereken kuvvetin büyüklüğü yayın uzunluğundaki değişim ile doğru orantılıdır bu durum **Hook Kanunu** olarak adlandırılır.

Sarmal bir yayı x kadar uzaması için gereken kuvvetin büyüklüğü;

F = k . x bağıntısı ile bulunur. Sarmal yaya uygulanan kuvvetin büyüklüğü, uzama veya sıkışma miktarına bağlı değişimi Grafik 6.2 de görülmektedir. Grafiğin eğimi, yay sabitini verir ve

$\tan\alpha = \frac{F}{x}$ = k (yay sabiti) olarak belirtilir.



Grafik 6.2: Sarmal biryaya etki eden kuvvetin uzamaya bağlı değişim grafiği

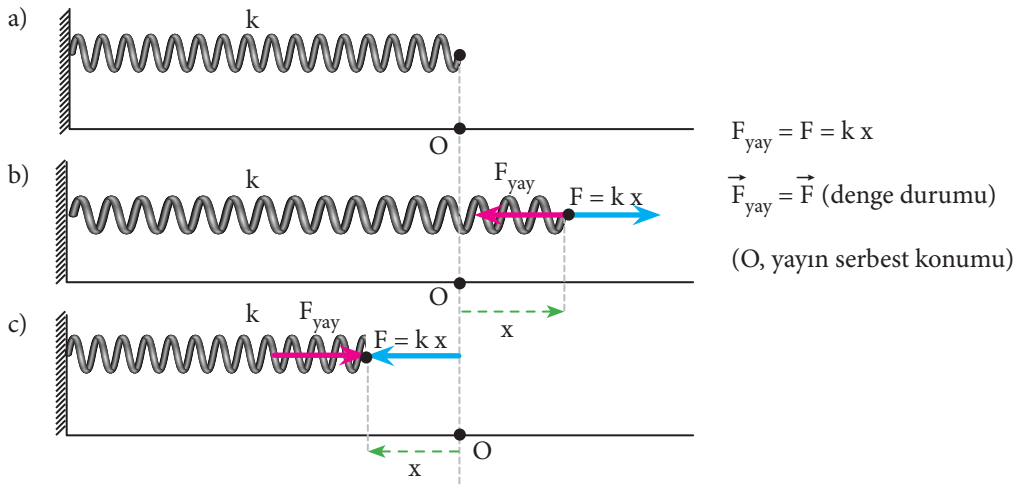
Uygulanan F kuvvetinin büyüklüğü yaydaki gerilme kuvvetinin ($\vec{F}_{yay}$) büyüklüğüne eşit fakat zıt yöndedir, – işareti zıt yönlü olduğunu ifade etmektedir.

$$\vec{F}_{yay} = -\vec{F}$$

$$\vec{F}_{yay} = -k.x$$

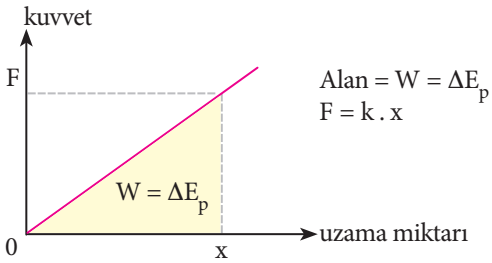
BİLGİ KUTUSU

Yaydaki gerilme kuvveti ($\vec{F}_{yay}$) geri çağırıcı kuvvet olarak da adlandırılmaktadır.



Şekil 6.2: Serbest konumdaki sarmal bir yaya (a), Uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ile $\vec{F}_{yay}$ kuvveti b ve c)

Esnek cisimlere kuvvet uygulandığında cisim üzerinde depolanan enerjiye esneklik **potansiyel enerjisi** denir. Sarmal bir yaya kuvvet uygulandığında (Şekil 6.2) yaydaki uzama veya sıkışma miktarı yayın potansiyel enerjisinde değişime neden olur.



Şekil 6.3: Sarmal bir yaya etki eden kuvvetin uzamaya bağlı değişim grafiğinde alan potansiyel enerji değişimini verir.

Yaya etki eden F kuvvetinin yaptığı iş yayın potansiyel enerjisindeki değişime eşittir. Grafik 6.3 de alan kuvvetin yaptığı işi verir.

$$W = \frac{F.x}{2} = \frac{(k.x).x}{2}$$

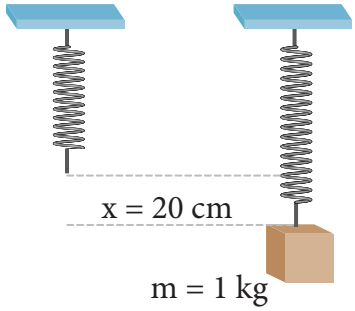
$$W = \frac{1}{2}k.x^2 = \Delta Ep$$

$\Delta E_p = E_{son} - E_{ilk}$ olur. x = 0 konumu için E = 0 olacağı için k yay sabitine sahip ve x kadar uzamış veya sıkıştırılmış bir yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi;

$Ep = \frac{1}{2}k.x^2$ bağıntısıyla hesaplanır.

Örnek

Şekildeki yayın ucuna 1 kg asılıyor ve yay 20 cm uzadıktan sonra dengeye geliyor buna göre yay sabitini ve yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisini bulunuz. ($g = 10\ m/s^2$)



Çözüm

Esneklik potansiyel enerjisini bulmak için önce yay sabitini bulmalıyız.

Yaya etki eden kuvvet kütlenin ağırlığına eşittir ve

$F = G$

$F = m.g$

$= 1.10 = 10$ N olarak hesaplanır. Yayı geren kuvvetin

$F = -k\,.\,x$ olduğunu biliyoruz. Buradan k yay sabiti

$10 = -k.\,0{,}2$

$k = 50$ N/m olarak bulunur. Esneklik potansiyel enerjisi

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

$E_p = \frac{1}{2}50.(0{,}2)^2$

$E_p = 1$ J olur.

6.2 Mekanik Enerjinin Korunumu

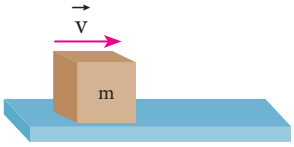
Cismin sahip olduğu kinetik enerji ve potansiyel enerjilerinin toplamına mekanik enerji denildiğini ve toplam enerjinin korunduğunu Fizik I dersinde öğrenmiştiniz. Enerjinin korunduğunu ve bir türden başka bir türe dönüşebildiğini biliyoruz. Enerjinin korunumu ve dönüşümü kullanılarak teknolojide birçok alanda gelişmeler sağlanmıştır. Bu duruma en güncel örnek olarak Türk Fizik Mühendisi Canan Dağdeviren'in geliştirdiği kalp, akciğer ve diyaframın hareketinden kendi enerjisini üreten bir kalp pili verilebilir.

Bir sisteme dışarıdan bir kuvvet etki etmediği sürece mekanik enerji korunur ve sistemin son durumdaki toplam enerjisi ilk durumdaki toplam enerjisine eşit olur.

Sürtünmenin ihmal edildiği bir ortamda enerjinin korunumu eşitliği

$E_{ilk} = E_{son}$

$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$ şeklinde ifade edilir.



Şekil 6.3: v hızıyla hareket eden m kütlesi

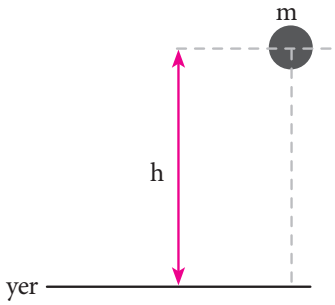
Şekil 6.3'deki v hızına sahip m kütleli cismin kinetik enerjisi;

$E_k = \frac{1}{2} m.v^2$ bağıntısı ile hesaplanır.

Cismin sahip olduğu potansiyel enerji yer çekimi potansiyel enerji veya esneklik potansiyel enerji olmak üzere iki şekilde depolanabilir. Esneklik potansiyel enerjisinin,

$E_p = \frac{1}{2} k . x^2$ bağıntısı ile hesaplandığını öğrendik. Şimdi yer çekimi potansiyel enerjisinin nasıl hesaplandığını hatırlayalım. Yerden h kadar yüksekte bulunan m kütlesinin (Şekil 6.4) sahip olduğu potansiyel enerji;

$E_p = m . g . h$ bağıntısı ile hesaplanır.



Şekil 6.4: Yerden h kadar yüksekte bulunan m kütlesi

Örnek

1 kg kütleli cisim 20 m yüksekten serbest bırakılıyor. Hava sürtünmelerinin ihmal edildiği bir ortamda cismin yere çarpma hızının kaç m/s olduğunu bulunuz ($g = 10\ m/s^2$).

Çözüm

Cismin sahip olduğu potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşeceğinden

$E_p = m . g . h$

$E_p = 1.10.20$

$E_p = 200\ J$

$E_p = E_k$

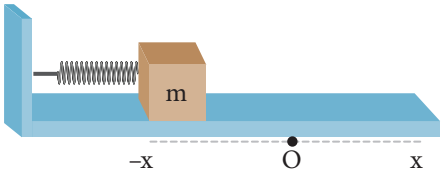
$m.g.h = \frac{1}{2} m.v^2$

$200 = \frac{1}{2} 1 . v^2$

$v = 20\ m/s$ olur

Örnek

Şekildeki k = 400 N/m yay sabitine sahip olan yayın 4 kg kütleli cisim yayı maksimum 10 cm sıkıştırmaktadır. Yay serbest bırakıldığında cisim denge konumundan geçtiği andaki hızı kaç m/s'dir? (sürtünmeleri ihmal ediniz).

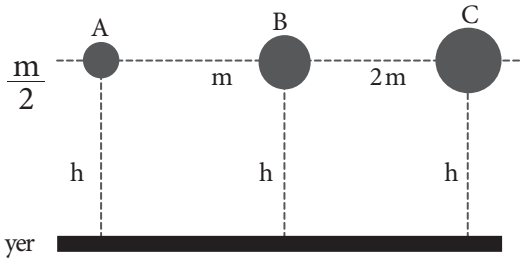


Çözüm

$\frac{1}{2}k.x^2 = \frac{1}{2}m.v^2$

$400.\ (0{,}1)^2 = 4.\ v^2$

$v = 1$ m/s



2. Uygulama

Şekildeki A, B, C cisimlerinin kütleleri $\frac{m}{2}$, m ve 2 m'dir. Cisimler h yüksekliğinden serbest bırakılıyor, cisimlerin yere çarpma hızlarının büyüklüklerini sıralayınız (Hava sürtünmelerini ihmal ediniz).

6.3 Sürtünmeli Yüzeylerde Enerjinin Korunumu ve Dönüşümü

Sürtünme kuvveti birbirine temas eden yüzeyler arasında yüzeylerin cinsine bağlı bir kuvvettir. Sürtünme kuvvetinin yönü harekete veya zorlanmaya zıt yöndedir. İş yapmak için harcanan enerjinin tamamı sürtünmeli bir ortamda hedeflenen işe dönüşmez. Cismin kinetik enerjisindeki değişiklik sürtünme kuvvetinin yaptığı işe eşittir.

$W_{sür} = \Delta E_k$

Enerjinin korunumu kanununa göre enerji yok olmaz bir kısmı hareket sırasında ısı, ışık veya sese dönüşebilir. Bu duruma ani fren yapan bir motosikletin tekerlerinin ısınmasını ve yolda teker izi bırakmasını örnek olarak verebiliriz. Yapılan net iş, uygulanan kuvvetin yaptığı iş ile sürtünme kuvvetinin yaptığı işin farkı alınarak bulunabilir.

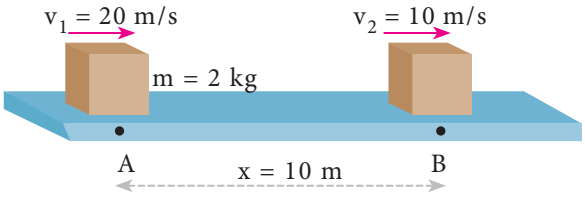
$W_{net} = W - W_{sür}$ Net işi cisme etki eden net kuvvet bulunarak da hesaplanabilir.

$W_{net} = F_{net} \cdot \Delta x$

$W_{net} = (F - Fsür).\Delta x$

Örnek

Sürtünmeli yatay düzlemde bulunan 2 kg kütleli cisim A noktasından 20 m/s yatay hızla fırlatılan cisim B noktasından geçerken 10 m/s olduğuna göre 10 m'lik yol boyunca cisme etki eden sabit sürtünme kuvvetini değerini bulunuz.



Çözüm

Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş cismin kinetik enerjideki değişime eşit olduğundan;

$W_{sür} = \Delta E_k$

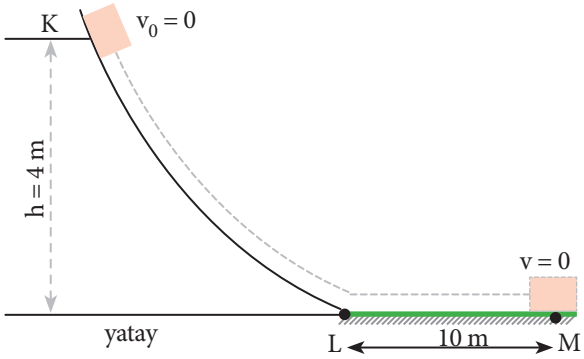
$F_{sür} \cdot \Delta x = \frac{1}{2} m.v_2^2 - \frac{1}{2} m.v_1^2$

$F_{sür}\ 10 = \frac{1}{2} 2.10^2 - \frac{1}{2} 2.20^2$

$F_{sür} = -30$ N dur.

Örnek

Kesiti şekildeki gibi olan KM yolunun K L arası sürtünmesizidir. m kütleli cisim K noktasından serbest bırakılıyor ve M noktasında duruyor. Buna göre LM aralığındaki yüzeyin sürtünme katsayısını bulunuz (g = 10 m/s^2).



Çözüm

A noktasında bulunan cismin yüksekliğinden dolayı sahip olduğu potansiyel enerji B noktasında kinetik enerjiye dönüşür. C noktasında hızı sıfır olduğuna göre kinetik enerjisinin tamamı sürtünmeye karşı iş yapmak için harcanır. Enerjinin korunumundan ;

$E_{ilk} = E_{son}$

$m \cdot g \cdot h = F_{sür} \cdot \Delta x$

$m \cdot g.h = k.N.\Delta x$

$m \cdot g.4 = k \cdot m \cdot g.10$

k = 0.4 olarak bulunur.

OKUMA PARÇASI

Canan Dağdeviren

4 Mayıs 1985 yılında İstanbul'da doğdu, ilk ve orta öğrenimini Kocaeli'de tamamladı. 2007 de Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Sabancı Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği yüksek lisans programında eğitimine devam etti. Fulbright (fulbırayt) doktora bursu ile Illion (İlinoy) Üniversitesinde Malzeme Bilimi ve Mühendisliğinde doktora yaptı.

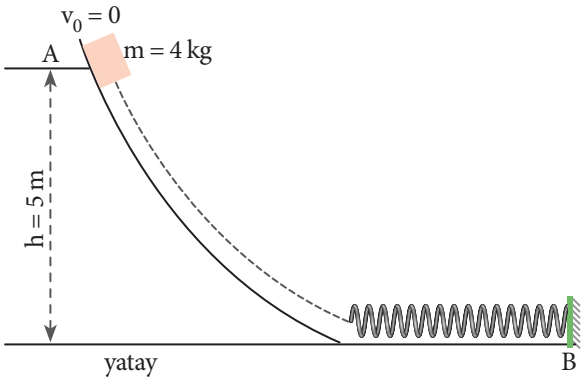
Harward (harvırd) Üniversitesi'nin Genç Akademi üyeliğine seçilen ilk Türk olan Dr. Canan Dağdeviren önemli buluşlara imza atmıştır ve 2015 yılından beri bu akademide çalışmalarına devam etmektedir. Fizik, elektronik, kimya, malzeme bilimi alanlarından yararlanarak esnek ve katlanabilir, deri üstüne yapıştırılabilir diğer bir ifade ile giyilebilir elektronik aletler yaparak tıp alanına katkıda bulunmuştur.

Canan Dağdeviren, enerjinin korunumundan ve dönüşümünden yararlanarak kendi enerjisini üreten kalp pili tasarlamış ve üretmiştir. Kalp, akciğer ve diyaframın hareketinden elektrik enerjisi elde ederek bu enerjiyi depolayan esnek bir malzeme geliştirmiştir. İnsan vücuduyla uyumlu deriye tutturulabilen katlanabilen ve bükülebilen bu alet pilde enerji depolayabilmektedir. Günümüzde kullanılan kalp pillerinin 5 ile 7 yıl arasında ömrü vardır ve değiştirilmesi için ameliyat gereklidir. Geliştirilen bu cihaz sayesinde ameliyat zorunluluğu ortadan kalkacağı düşünülmektedir.

Canan Dağdeviren'in çalışma yaptığı bir diğer alanda nörobilim ve ileri mühendislik cihazlarının geliştirilmesidir. Parkinson hastalığı gibi sinirsel hastalıkların tedavisinde bölgesel ve zamanlama açısından etkili çok işlevli ve minimal düzeyde yayılma yaratan bir çeşit iğne geliştirmek için çalışmalar yapmaktadır.

6. Bölüm Sonu Soruları

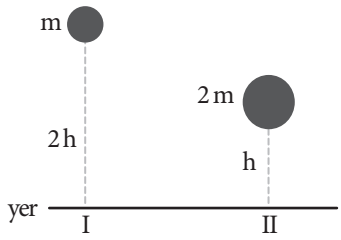
1. Kesiti verilen sürtünmesiz AB yolunda yerden 5 m yüksekteki A noktasından serbest bırakılan 4 kg kütleli cisim yolun yatay bölümüne yerleştirilen yaya çarpıyor ve yayı maksimum 1m kadar sıkıştırılıyor. (g =10 m/s)



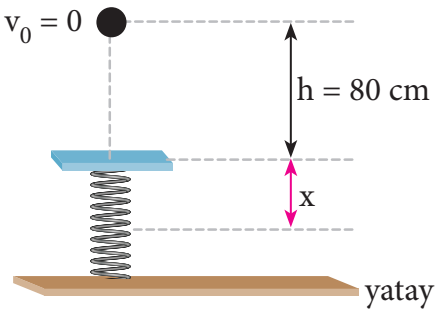
a) Cismin yaya çarpma hızını bulunuz.

b) Yay sabitini bulunuz.

2. Hava direncinin ihmal edildiği ortamda şekildeki kütleler serbest bırakılıyor yere çarpma hızlarını sıralayınız.



3. Şekildeki 1 kg kütleli m kütlesi serbest bırakılıyor. Cismin bırakıldığı düşey doğrultuda bulunan yayı en fazla 20 cm sıkıştırabildiğine göre yay sabiti kaç N/m'dir? (g = 10 m/s^2, havanın direnç kuvvetini ihmal ediniz.)



Uygulama Sorularının Çözümleri

1. $W = \Delta E_k$

$$A = \left(\frac{20 + 10}{2}\right).30 = 450\ J$$

2. $E_p = E_k$

$$m\,.\,g\,.\,h = \frac{1}{2}\ m\,.\,v^2$$

$v = \sqrt{2gh}$ yere çarpma hızı kütleye bağlı değildir, $v_A = v_B = v_C$ olur.

Bölüm Sonu Sorularının Cevapları

1. a) v= 10 m/s^2 b) k = 400 N/m

2. $v_I > v_{II}$

3. k = 500 N/m

7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

Kuvvet ve hareketi Newton'ın Hareket Yasalarını kullanarak analiz ettik. Bazı problem durumlarında ise enerjinin korunumu ve dönüşümünden yararlandık. Enerjinin skaler bir büyüklük olması nedeniyle sadece enerjinin korunumu ile analiz edilemeyen durumlarla karşılaşılabilir. Görselde kuvvet uygulanan bilardo topunun hareketini ve topların çarpışma sonrası hangi yönde ve hangi hızla hareket edeceğini hareket kanunları ve enerjinin korunumu ile açıklayamayız. Newton'ın bu durumlar için "hareket miktarı" anlamına gelen ve vektörel bir büyüklük olan momentum kavramını kullanmıştır. Bu bölümde günlük hayattaki momentum örneklerinden yola çıkarak itme ve momentum kavramlarını öğrenmeye çalışacağız.

Neler Öğreneceğiz?

İtme ve çizgisel momentumla ilgili günlük hayatta rastlanan örnek durumları,

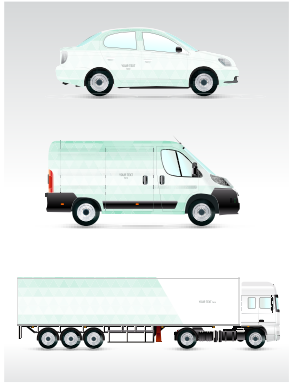
İtme ve çizgisel momentum arasındaki ilişkiyi,

Çizgisel momentumun korunumunu,

Çizgisel momentumun korunumu ile ilgili hesaplamalar yapmayı öğreneceğiz.

7.1 İtme ve Çizgisel Momentum

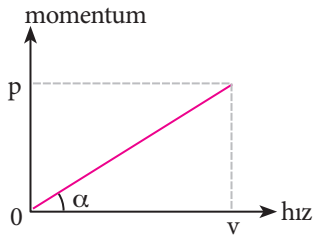
Görsel 7.1. deki gibi farklı kütledeki araçların eşit hızlarla hareket ettiğini varsayalım. Araçlardan hangisini durdurmak için daha fazla fren kuvveti gerekir? Elbette kütlesi büyük olanı durdurmak için gereken kuvvet daha büyüktür. Aynı hızla hareket eden farklı kütledeki cisimler veya farklı hıza sahip eşit kütledeki cisimler arasındaki farklılık momentum kavramı ile ifade edilir. Hareket miktarı anlamına gelen momentum, hareket eden kütlenin bir ölçümüdür. Bir cismin kütlesi ve hızının çarpımına **momentum** denir. Momentum çizgisel ve açısal olmak üzere iki başlık altında incelenir. Bu dönem çizgisel momentumu inceleyeceğiz.



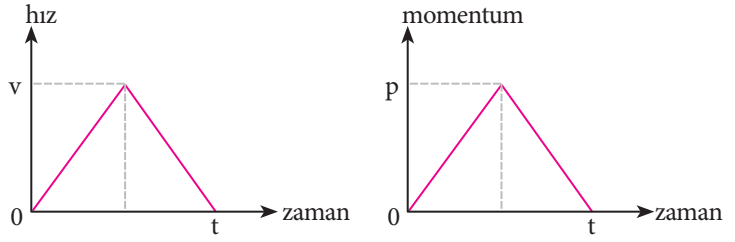
Görsel 7.1: Hızları eşit farklı kütlede taşıtlar

Momentum P sembolü ile gösterilir ve vektörel bir büyüklüktür. Momentumun SI'da birimi kgm/s 'dir. Kütlesi m hızı $\vec{v}$ olan bir cismin sahip olduğu momentum;

$\vec{P} = m \cdot \vec{v}$ bağıntısı ile hesaplanır.



Grafik 7.1: Momentumun hıza bağlı değişim grafiği



Grafik 7.2: Hızın ve momentumun zamana bağlı değişim grafiği

Bir cismin momentumunun hıza bağlı değişimi Grafik 7.1'deki gibidir. Bu grafikte doğrunun eğimi cismin kütlesini verir.

$$\text{Eğim} = m = \frac{p}{v}$$

Hız vektörünün yönü ve doğrultusu ile momentum vektörünün hızı ve doğrultusu aynıdır. Aynı cismin hızının ve momentumunun zamana bağlı değişim grafiği bu nedenle Grafik 7.2'deki gibi hız-zaman grafiği ile aynı şekle sahip olur.

Günlük hayatta arızalanan otomobillerin itildiği durumlarla karşılaşmışsınızdır (Görsel 7.2). Böyle durumlarda arabaya kuvvet uygulanarak tekerlerin döndürülmesi ile motor çalıştırılır. Tek kişinin uyguladığı kuvvetin sağladığı hareketi iki kişi daha kısa sürede sağlayabilir. Kuvvetin büyüklüğü ve uygulama süresi otomobilin çalışmasını sağlayan değişkenlerdir.

Görsel 7.2: Arabanın itilmesi

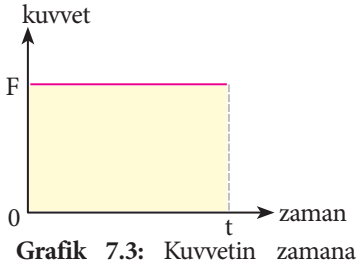
Bir cisme uygulanan kuvvet ile kuvvetin uygulama süresinin çarpımına **itme** denir. İtme vektörel bir büyüklüktür ve yönü uygulanan kuvvetle aynı yöndedir. İtme I sembolü ile gösterilir. Uygulanan kuvvet F, uygulama süresi Δt ile gösterildiğinde itme;

$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$

bağıntısıyla ifade edilir. SI'da itmenin birimi N.s'dir.

İtme için aynı zamanda kgm/s birimi de kullanılabilir.

Bir cisme uygulanan F kuvveti ile Δt sürede etki ettiğinde kazandığı "I" itmesini daha küçük bir kuvvet uygulayarak elde etmek için küçük kuvveti daha uzun süre uygulamak gerekecektir.



Grafik 7.3: Kuvvetin zamana bağlı değişim

7.2 İtme ile Çizgisel Momentum Değişimi Arasındaki İlişki

İtme uygulanan cismin hızında değişiklik meydana gelebilir. Görsel 7.3 deki gibi bir futbolcunun m kütleli topa vurması ile topun hızı değişecektir. m kütleli bir cismin hızının v_1 den v_2 ye çıktığında hızının değişmesi momentumunu da değiştirir. Momentumdaki değişiklik ΔP ile gösterildiğinde;

Görsel 7.3: F kuvvetinin etkisiyle m kütleli topun hızının v_1 den v_2'ye çıkması

$$\Delta\vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$$

$$\Delta\vec{P} = m \cdot \vec{v}_2 - m \cdot \vec{v}_1 = m \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$

$$\Delta\vec{P} = m \cdot \Delta\vec{v} \text{ olur.}$$

$\Delta\vec{v} = \vec{a} \cdot \Delta t$ olduğu ve Newton'ın 2. Hareket Kanunu $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ olduğundan yola çıkarak;

$$\Delta\vec{P} = m \cdot \vec{a} \cdot \Delta t$$

$$\Delta\vec{P} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

$$\Delta\vec{P} = \vec{I} \quad \text{olur.}$$

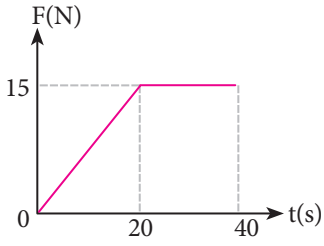
Bu bağıntıdaki $\vec{F} \cdot \Delta t$ ifadesinin itme olduğu dikkate alındığında; bir cismin momentumunda meydana gelen değişiklik ($\Delta\vec{P}$), cisme etki eden net kuvvet ($\vec{F}$) ile uygulama süresinin (Δt) çarpımına başka bir ifadeyle itmeye eşittir.

BİLGİ KUTUSU

İtme vektörel bir büyüklük olduğundan birden fazla itmenin olduğu durumlarda yönleri dikkate alınarak hesaplamalar yapılmalıdır.

Örnek

Sürtünmesiz yatay düzlemde bulunan m kütleli cisme etki eden kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği verilmiştir. Buna göre cismin 0-40 saniye aralığında cismin kazandığı itmeyi ve momentum değişimini bulunuz.



Çözüm

Kuvvet zaman grafiğinde alan itmeyi verdiğini belirtmiştik buna göre grafiğin altında kalan yamuğun alanı hesaplandığında itme ;

$I = \frac{(40+20)}{2} . 15 = 450$ N . s bulunur. İtme ve momentum değişimi birbirine eşit olduğundan

$\Delta\vec{P} =$ 450 kgm/s'dir.

Örnek

Yatay doğrultuda 2v hıza sahip m kütleli top duvara çarpıyor ve aynı doğrultuda v hızıyla geri dönüyor. Topun momentum değişimini bulunuz.

Çözüm

$P_1 = m . v_1 = m . 2v$

$P_2 = m . v_2 = m . v$

$\Delta\vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$

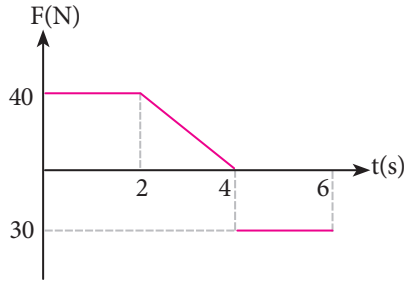
$\vec{P}_2$ vektörünün ucuna $\vec{P}_1$ vektörünün yönü ters çevrilerek eklenir ve $\Delta\vec{P} = 3v$ bulunur.

1. Uygulama

Ayşen 0.4 kg kütleli topu yere atıyor, topun yere çarpma hızı 30 m/s'dir. Top yere çarpıp 10 m/s hızla geri döndüğüne ve yerle etkileşme süresi 0.05 s olduğuna göre yerin topa uyguladığı kuvvet kaç newton'dur?

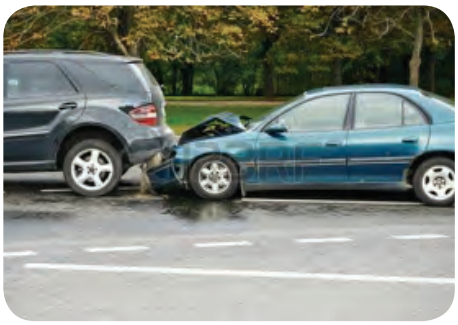
2. Uygulama

Yatay düzlemde duran bir cisme uygulanan kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği verilmiştir, 6s sonra cisme verilen itmeyi bulunuz.



7.3 Çizgisel Momentumun Korunumu

Görsel 7.4: Roket

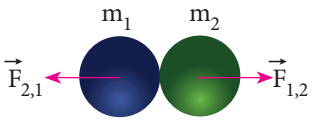


Görsel 7.5: Çarpışan arabalar

Bir cisme dışarıdan etki eden kuvvetlerin toplamı yani net kuvvet sıfır ise sistemin toplam momentumu sabittir. Bir dış kuvvete maruz kalmayan ve birbirine kuvvet uygulayan cisimler için cismin momentumundaki değişimin itmeye eşit olduğunu öğrenmiştiniz. Çarpışmalar, patlamalar, roket ve benzeri olan tepkili sistemleri momentumun korunduğu olaylara örnek verebiliriz (Görsel 7.4,7.5). Roketleri yer çekimi kuvvetinin etkisinden kurtararak gökyüzüne doğru hareket ettiren kuvvet nasıl sağlanır?

Roketlerin çalışma prensibinin de Newton Hareket Kanunları ve momentumun korunumu kanunu ile açıklanır. Roket motorunun yakıtı olan gaz yüksek ısı ile ısıtıldığında moleküller harekete başlar. Yanma sonunda roketin alt bölgesinden gaz püskürtülür ve bu gaz çıkışı roketin itilmesini sağlar. Gazın oluşturduğu itici kuvvet yerçekimi kuvvetinden daha büyük bir değer aldığında roket yerden yukarı doğru hareket eder. Roketin hareketini sağlayan kuvvet Newton'ın 2. yasasında belirtilen tepki kuvvetidir. Gazın yanarak roketten ayrılması ile kütle azalması gerçekleşir. Roketin kütlesinin azalması ise ivmesinin artmasını sağlar. Roketlerin çalışma prensibi Newton'ın 2 ve 3. yasası ve bu ünitede öğreneceğimiz momentum korunumu ilkesi ile açıklanır. Roket örneğinde olduğu gibi şişirilmiş bir balonun ağzı açıldığında havanın çıkış yönünün aksine hareket etmesi momentumun korunumu ile ilgili bir durumdur. Momentumun korunumu bu durumda tıpkı roket gibi balonun havanın çıkış yönüne zıt yönde hareket etmesine neden olur.

Newton'ın 3. hareket yasasından (etki-tepki) yararlanarak bu durumu inceleyelim:



Şekil 7.2 : Birbiriyle etkileşen iki isim

Şekil 7.2 deki m_1 kütleli 1. cismin, m_2 kütleli 2. cisme uyguladığı kuvvet $F_{1,2}$

m_2 kütleli 2. cismin, m_1 kütleli 1. cisme uyguladığı tepki kuvveti $F_{2,1}$ dir.

1. ve 2. cisimlerin momentumları P_1 ve P_2 iken Δt kadar süre etkileşmeleri sonucu P_1' ve P_2' olduğunu kabul edelim. Bu etkileşim kuvvetleri

$\vec{F}_{1,2} = \frac{\Delta\vec{P}_1}{\Delta t}$, $\vec{F}_{2,1} = \frac{\Delta\vec{P}_2}{\Delta t}$ şeklinde yazılır. Newton'ın 3. Hareket Yasası'na göre

$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$ olduğunu biliyoruz.

$$\frac{\Delta\vec{P}_1}{\Delta t} = -\frac{\Delta\vec{P}_2}{\Delta t}$$

$$\Delta\vec{P}_1 = -\Delta\vec{P}_2$$

$$(P_1' - P_1) + (P_2' - P_2) = 0$$

$$(P_1' + P_2') - (P_1 + P_2) = 0$$

$P_{son} = P_{ilk}$ olur.

Cisimlere etki eden dış kuvvetlerin bileşkesi sıfır olduğunda momentum değişimi de sıfır olacaktır.

Sistemin çarpışmadan önceki momentumları ($\vec{P}_1$ ve $\vec{P}_2$) toplamı, çarpışmadan sonraki momentumları toplamına eşittir bu duruma **momentumun korunumu kanunu** denir.

Çarpışmadan sonraki momentumları P' sembolüyle gösterirsek momentum korunumunu;

$$\vec{P}_{ilk} = \Delta\vec{P}_{son}$$

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2'$ olarak ifade edebiliriz.

Verilen bağlantı adresindeki simülasyonu izleyiniz.

http://www.eba.gov.tr/video/izle/57401b8a995ab733a7281e4378ca0554b5a087da28001

Görsel 7.6 : Birbiriyle etkileşen iki isim

Görsel 7.6 da Newton beşiği adı verilen sistem momentum korunumunun net olarak gözlendiği bir sistemdir. Sisteme dışardan etki eden kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olduğu durumlarda momentumun korunduğunu belirtmiştik. Newton beşiğinde en dışta bulunan m kütlesini h yüksekliğine kaldırıp serbest bıraktığımızda sahip olduğu potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşür ve kütle v hızıyla kendinden sonra gelen küreye çarpar. Bu çarpmanın sonrasında en sondaki küre ilk kürenin hızına eşit v hızıyla hareket eder. Bu sistemde ilk kürenin sahip olduğu momentumu (mv) ile son kürenin sahip olduğu momentumu (mv) birbirine eşittir ve momentum korunmuştur.

BİLGİ KUTUSU

Kütle merkezi; tüm kütlenin bir noktada toplandığı kabul edilen yerdir.

Momentumun korunumunu örneklerle inceleyelim

Örnek

Bora, kütlesi 5 kg olan tüfeği yatay doğrultuda tutarak hedef tahtasına atış yapıyor. Merminin kütlesi 40 g ve namludan çıkış hızı 400 m/s olduğuna göre tüfeğin geri tepme hızını bulunuz. (Merminin atılışı sırasında, bir ateşli silahın namlusu içinde oluşan gazların geriye doğru sıkıştırması yüzünden, silahta görülen harekete geri tepme denir.)

Çözüm

Tüfeğin ve merminin ateşlemeden önceki hızları sıfırdır bu dikkate alınarak

Momentumun korununum yasası yazıldığında;

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

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2'$$

$$m_1 . v_1 + m_2 . v_1 = m_1 v_1' + m_2 . v_2'$$

$$5 . 0 + 0{,}04. 0 = 5 . v_1' + 0.04 . 400$$

$$v_1' = -\frac{16}{5} \text{ m/s} = -3{,}2 \text{ m/s bulunur.}$$

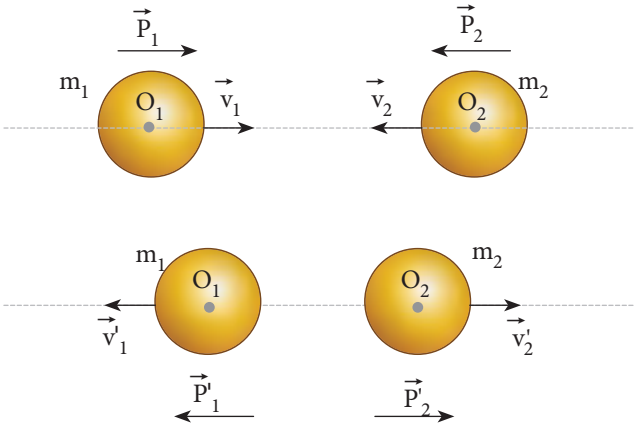
Çarpışmalar

Çarpışma, cisimlerin yakın mesafede temas ederek çok kısa sürede etkileşimde bulunmaları şeklinde tanımlanır. Dış kuvvetlerden yalıtılmış bir ortamda çarpışmalarda momentum her zaman korunur. Bir sistemin çarpışmadan hemen önceki momentumu çarpışmadan sonraki momentumuna eşittir. Kütle merkezi, tüm kütlenin bir noktada toplandığı kabul edilen yerdir. Cisimlerin kütle merkezleri doğrultusunda gerçekleşen çarpışmalara **merkezî çarpışmalar** denir. Merkezî çarpışmalar tek boyutta gerçekleşen çarpışmalardır. Kütle merkezleri doğrultusunda olmayan çarpışmalara **merkezî olmayan çarpışmalar** denir bu çarpışmalar ise iki boyutta gerçekleşir.

Çarpışmalarda momentum her zaman korunur ancak kinetik enerji her zaman korunmaz. Çarpışmalar kinetik enerjinin korunduğu ve korunmadığı durumlar esnek ve esnek olmayan çarpışmalar olarak ayrı ayrı incelenir

a) Esnek Çarpışmalar

Çarpışma öncesinde ve sonra sında toplam momentum ve toplam kinetik enerjinin sabit kaldığı (korunduğu) çarpışmalara **esnek çarpışma** denir. Bilardo toplarının veya bilyelerin birbiriyle çarpışmasını esnek çarpışmalara örnek verebiliriz.



Şekil 7.3 : İki cisim arasında merkezi esnek çarpışma

Esnek çarpışan iki cisim kütle merkezleri doğrultusunda çarpışıyorlarsa yaptıkları çarpışmaya **merkezî esnek çarpışma (merkezi tek boyutta esnek çarpışma)** olarak adlandırılır. Kütle merkezleri doğrultusunda m_1 ve m_2 kütleli iki cisim Şekil 7.3 a'daki hızlarla hareket ediyor olsun. Esnek ve merkezi bir çarpışma gerçekleştikten sonra cisimler farklı hızlarla birbirinden ayrılarak hareket eder. Bu durumda momentumun ve kinetik enerjinin korunumunu yazarsak;

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

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2'$$

$m_1 . \vec{v}_1 + m_2 . \vec{v}_2 = m_1 . \vec{v}_1' + m_2 . \vec{v}_2'$ eşitliği düzenlendiğinde

$m_1 . (\vec{v}_1 - \vec{v}_1') = m_2 . (\vec{v}_2' - \vec{v}_2)$ **(1)** eşitliği elde edilir.

Kinetik enerjinin korunumundan;

$E_{Kilk} = E_{Kson}$

$E_{K1} + E_{K2} = E'_{K1} + E'_{K2}$

$\frac{1}{2} m_1 . v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 . v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 . v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 . v_2'^2$

$\cancel{\frac{1}{2}} m_1 (v_1^2 - v_1'^2) = \cancel{\frac{1}{2}} m_2 (v_2'^2 - v_2^2)$

Eşitliğin her iki tarafını çarpanlara ayrıldığında

$m_1 (v_1 - v_1')(v_1 + v_1') = m_2 (v'_2 - v_2) (v'_2 + v_2)$ **(2)**

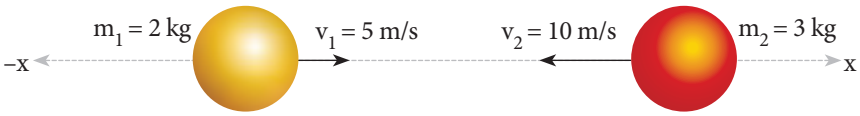
1 ve 2 denklemleri taraf tarafa oranlandığında

$$\frac{\cancel{m_1} \cancel{(v_1 - v'_1)}}{\cancel{m_1} \cancel{(v_1 - v'_1)} (v_1 + v'_1)} = \frac{\cancel{m_2} \cancel{(v'_2 - v_2)}}{\cancel{m_2} \cancel{(v'_2 - v_2)} (v'_2 + v_2)}$$

$\vec{v}_1 + \vec{v}'_1 = \vec{v}'_2 + \vec{v}_2$ **(3)** eşitliği elde edilir.

Esnek çarpışmalarda bu eşitlik ve momentumun korunumu eşitliği kullanılarak problemler çözümlenir.

Örnek



Sürtünmesiz yatay düzlemde m_1 ve m_2 kütleli cisimler şekilde verilen hızlarla merkezî ve esnek çarpışma yapıyor. Cisimlerin çarpışma sonrası hızlarının büyüklüğünü ve yönünü bulunuz.

Çözüm

Momentumun korunumu eşitliğinden

$m_1 \vec{v}_1 + m_2 . \vec{v}_2 = m_1 . \vec{v}_1' + m_2 . \vec{v}_2'$

$2.5 + 3.(-10) = 2 . v_1' + 3. v_2'$

$-20 = 2 . v_1' + 3. v_2'$ **(1)**

daha önce kinetik enerjinin korunumundan elde ettiğimiz hız eşitliğinden

$\vec{v}_1 + \vec{v}_1' = \vec{v}_2 + \vec{v}_2'$

$5 + v_1' = (-10) + v_2'$

$15 = \vec{v}_2' - \vec{v}_1'$ (2) elde edilir. 1 eşitliği ve 2 eşitliğinin iki katı, taraf tarafa toplandığında;

$-20 = 2v_1' + 3v_2'$

$30 = 2v_2' - 2v_1'$

$10 = 5\,v_2'$

$v_2' = 2$ m/s olur. Bulunan sonuç 2 denkleminde yerine konulduğunda

$15 = 2 - v_1'$

$v_1' = -13$ m/s olarak bulunur.

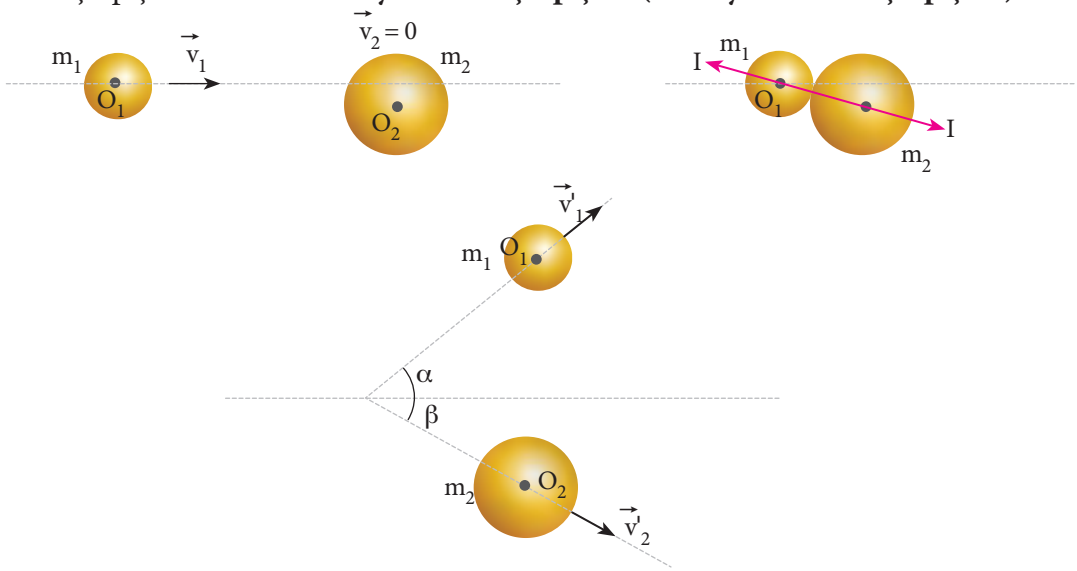
BİLGİ KUTUSU

1.Kütleleri birbirine eşit olan iki cisim merkezî ve esnek çarpıştıklarında sahip oldukları hızları değişirler.

2.Momentumları birbirine eşit iki cisim merkezî ve esnek çarpıştıklarında sahip oldukları hızlarla geri döner.

3.Hareketli bir cisimle duran bir cisim merkezî ve esnek olarak çarpışıyor ve kütleleri eşit ise tüm momentum duran cisme aktarılır.

Şekil 7.5'deki gibi esnek çarpışan iki cisim kütle merkezleri doğrultusunda çarpışmıyorlarsa bu çarpışma **merkezî olmayan esnek çarpışma (iki boyutta esnek çarpışma)** denir.



Şekil 7.4 : Merkezi olmayan (iki boyutta) esnek çarpışma

Bu durumda momentumun korunumu ilkesini x ve y olmak üzere her iki boyutta uygulanır.

$\vec{P}_{1x} + \vec{P}_{2x} = \vec{P}'_{1x} + \vec{P}'_{2x}$

$\vec{P}_{1y} + \vec{P}_{2y} = \vec{P}'_{1y} + \vec{P}'_{2y}$ olur.

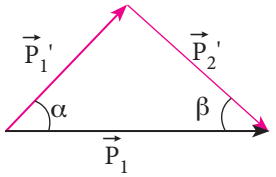
x doğrultusunda ;

$m_1 . \vec{v}_1 + 0 = (m_1\vec{v}_1') . \cos\alpha + (m_2\vec{v}_2') . \cos\beta$

Y doğrultusunda;

$0 = (m_1 . \vec{v}_1') . \sin\alpha + (m_2 . \vec{v}_2') . \sin\beta$ yazılabilir.

Ayrıca momentum vektörleri arasında, korunum yasası gereği $\vec{P}_1 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2'$ olur.



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

Esnek çarpışmada kinetik enerjinin korunumu ve açığa çıkan ısı da dikkate alındığında aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$E_{K1} + E_{K2} = E_{K'1} + E_{K'2} + Q$

b) Esnek Olmayan Çarpışmalar

Çarpışma öncesinde ve sonrasında toplam momentumun korunduğu ancak kinetik enerjinin korunmadığı çarpışmalara **esnek olmayan çarpışma** denir. İki arabanın kafa kafaya çarpışması esnek olmayan çarpışmaya örnek verilebilir. Her iki arabada geri teper ancak tampon ve kaportalarında bükülme kırılma gibi kalıcı hasarlar bırakırlar. Arabaların sahip olduğu enerjinin bir kısmı bu çarpışma sırasında ısıya dönüşür.

Esnek olmayan çarpışmalarda cisimler birbirlerine kenetlenerek ortak hızla hareket ettiği durumlarla da karşılaşılabilir. Bu tür esnek olmayan çarpışmalarda cisimler başlangıçta farklı doğrultuda hareket ederken çarpışma sonrası tek bir doğrultuda hareket ederler. Ortak kütlenin kinetik enerjisi, cisimlerin ilk kinetik enerjileri toplamından küçük olur.

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

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \ldots = \vec{P}_{ortak}$

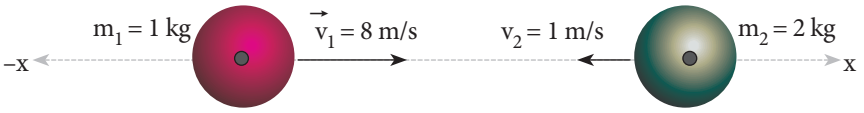
$m_1 . \vec{v}_1 + m_2 . \vec{v}_2 + \ldots = (m_1 + m_2 + \ldots)\vec{v}_{ortak}$

$m_1 . \vec{v}_1 + m_2 . \vec{v}_2 + \ldots = m_{top} . \vec{v}_{ortak}$

Merkezî (tek boyutta) esnek olmayan çarpışmada cisimlerin kenetlenmesi sırasında ısı açığa çıkar.

$E_{K1} + E_{K2} + \ldots = E_{K(top)} + Q$

Örnek



Kütleleri 1 kg ve 2 kg olan iki cisim, şekildeki doğrultu ve yönlerde 8m/s ve 1 m/s büyüklüğündeki hızlarla sürtünmesiz yatay düzlemde hareket ediyor. Cisimler merkezî olarak çarpıştıktan sonra birbirlerine kenetlendiklerine göre;

a) Cisimlerin ortak hızının yönü ve büyüklüğünü bulunuz.

b) Sürtünme nedeniyle oluşan ısı kaç joule'dür hesaplayınız.

Çözüm

a) $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_{ortak}$

$m_1 . \vec{v}_1 + m_2 . \vec{v}_2 = m_{top} . \vec{v}_{ortak}$

$1. 8 + 2 . (-1) = (1+2). v_{ortak}$

$8 - 2 = 3. v_{ortak}$

$v_{ortak} = 2$ m/s hızla +x yönünde hareket eder.

b) $E_{K1} + E_{K2} = E_{Kortak} + Q$

$E_{K1} = \frac{1}{2} m_1 . v_1^2 = \frac{1}{2} 1 . 8^2 = 32$ J

$E_{K2} = \frac{1}{2} m_2 . v_2^2 = \frac{1}{2} 2 . 1^2 = 1$ J

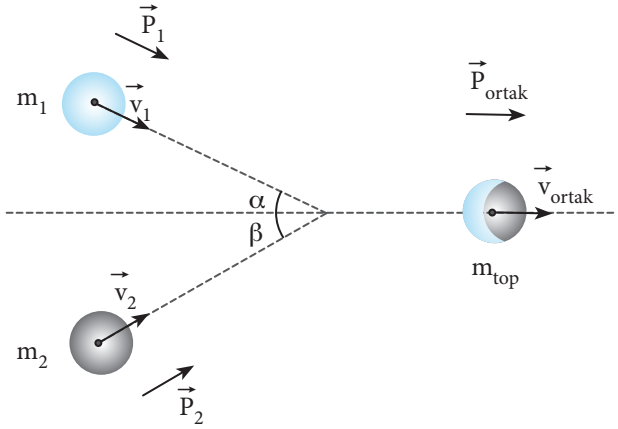
$E_{Kortak} = \frac{1}{2} m_{top} . v^2_{ortak} = \frac{1}{2} 3 . 2^2 = 6$ J

$Q = (E_{K1} + E_{K2}) - E_{Kortak}$

$Q = (32 + 1) - 6 = 27$ J

3.Uygulama

Kütlesi 2000 kg olan araç, kırmızı ışıkta durmakta iken 1000 kg kütleli araç 54 km/h hızla arkadan çarpıyor ve çarpışmadan sonra iki araç birlikte sürükleniyor arabaların birlikte sürüklenme hızını bulunuz.



Şekil 7.5 : Merkezi olmayan (iki boyutta) ve cisimlerin ortak hızla hareket ettiği çarpışma

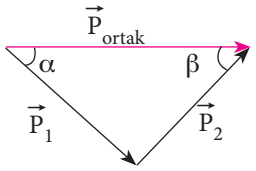
Esnek olmayan çarpışmaların merkezî olarak gerçekleşmediği durumlara 7.5'deki çarpışmayı örnek verebiliriz. Başlangıçta farklı doğrultularda hareket eden cisimler çarpışma ile şekildeki gibi kenetlenerek çarpışmadan sonra birlikte hareket eder. Çarpışmadan sonraki ortak kütlenin kinetik enerjisi çarpışmadan önce cisimlerin sahip olduğu kinetik enerjilerinin toplamından küçük olur.

Şekildeki gibi merkezî olmayan ve cisimlerin kenetlendiği çarpışmada momentumun korunumu x doğrultusunda;

$\vec{P}_1 \cdot \cos\alpha + \vec{P}_2 \cdot \cos\beta = \vec{P}_{ortak}$

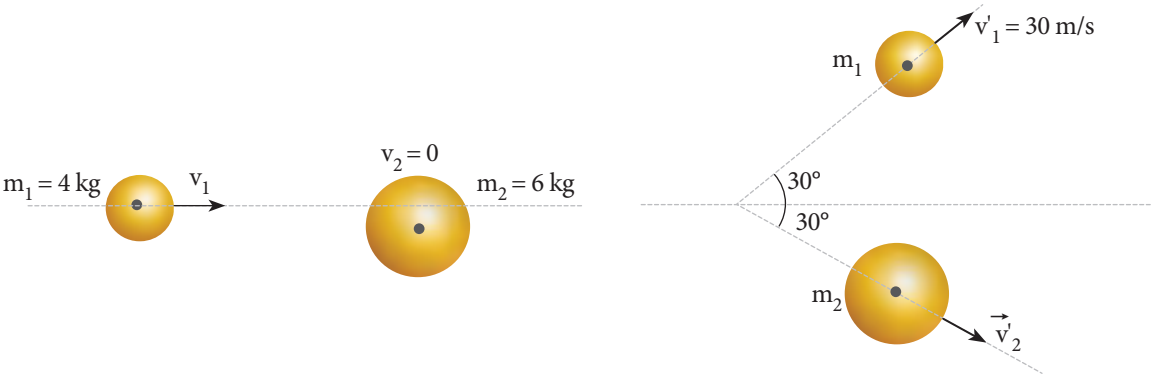
Y doğrultusunda;

$\vec{P}_1 \cdot \sin\alpha + \vec{P}_2 \cdot \sin\beta = 0$ olarak yazılır.



Momentumun korunumu $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_{ortak}$ olduğundan yola çıkılarak momentum vektörleri yukarıdaki gibi olur.

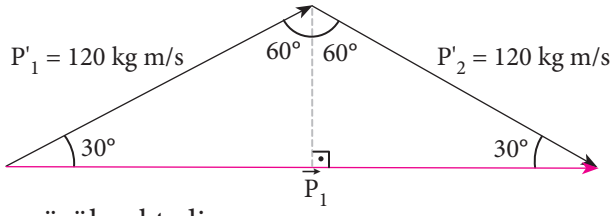
Örnek



önce **sonra**

Kütlesi 4 kg olan m_1 kütleli cisim v_1 büyüklüğündeki durmakta olan 6 kg kütleli cisimle sürtünmesiz yatay düzlemde merkezî olmayan çarpışma yapıyor. Çarpışma sonrası m_1 kütleli cisim 30 m/s büyüklüğünde hızla m_2 kütleli cisim de v_2' büyüklüğündeki hızla şekildeki doğrultuda hareket ediyor. v_1 ve v_2' hızlarını hesaplayınız. ($\cos 30 = \sqrt{32}$, $\sin 30 = \frac{1}{2}$)

Çözüm



$P_{ilk} = P_{son}$

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_1' + \vec{P}_2'$

$\vec{P}_1' = m_1 v_1' = 4.30 = 120$ kgm/s

Çizilen diyagramda $\vec{P}_1'$ ve $\vec{P}_2'$ olduğu görülmektedir.

$\vec{P}_1' = \vec{P}_2' = 120 = m_2 . v_2'$

$120 = 6. v_2'$

$v_2' = 20$ m/s olarak bulunur. v_1 hızını bulmak için şekilde oluşan üçgenden yararlanarak P_1 momentumu

$\frac{P_1}{2} = P_1' . \cos 30$

$P_1 = 2 . 120 . \frac{\sqrt{3}}{2}$

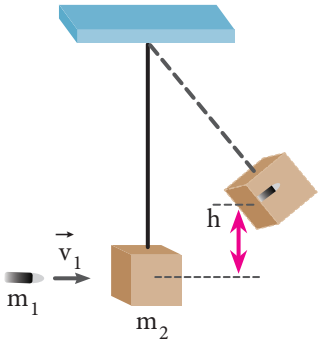
$P_1 = 120\sqrt{3}$ kgm/s büyüklüğünde olur. Buradan

$P_1 = m_1 . v_1$

$120\sqrt{3} = 4 . v_1$

$v_1 = 30\sqrt{3}$ m/s olarak hesaplanır.

Balistik arkaç



Balistik sarkaç, esnek olmayan çarpışmalarda kenetlen menin olduğu durumlara verilebilecek bir örnektir. Şekildeki gibi iple asılı tahta takoza saplanan merminin sahip olduğu hızdan dolayı takoz yükselir.

Mekanik enerjinin korunumundan yararlanılarak sistemin çarpışmadan hemen sonraki hızı bulunur.

$\frac{1}{2}(m_1 + m_2) . v^2_{ortak} = (m_1 + m_1) . g . h$ bağıntısıyla bulunur.

Momentumun korunumunda

$m_1 . \vec{v}_1 + m_2 . \vec{v}_2 = m_{top} \vec{v}_{ortak}$ bağıntısından merminin çarpışmadan hemen önceki hızı hesaplanabilir.

Örnek

40 g kütleli bir mermi v hızıyla 960 g kütleli bir balistik sarkaca saplanıyor ve takoz 45 cm yükseliyor. Buna göre;

a) Merminin takoza çarpmadan önceki v hızı kaç m/s'dir?

b) Çarpışmadaki mekanik enerji kaybını hesaplayınız. ($g = 10\ m/s^2$)

Çözüm

a) Mekanik enerjinin korunumunda değerleri yerine yazalım

$\frac{1}{2}(m_1 + m_2) v^2_{ortak} = (m_1 + m_2) . g . h$

$\frac{1}{2} v^2_{ortak} = 10 . 0,45$

$v^2_{ortak} = 9$

$v_{ortak} = 3$ m/s bulunur.

Momentumun korunumunda bu değer yazılırsa;

$m_1 . \vec{v}_1 + m_2 . \vec{v}_2 = m_{top} . \vec{v}_{ortak}$

$0,04 . v_1 + 0,96 . 0 = (0,04 + 0,96) . 3$

$v_1 = \frac{3}{0,04} = 75$ m/s olarak bulunur.

b) Mekanik enerji kaybı

$\Delta E = E_{son} - E_{ilk}$

$E_{ilk} = \frac{1}{2} m_1 . v_1^2$

$= \frac{1}{2} 0{,}04 . 75^2$

$= 112{,}5$ J

$E_{son} = (m_1 + m_2) . g . h$

$= (0{,}04 + 0{,}96) . 10 . 0{,}45$

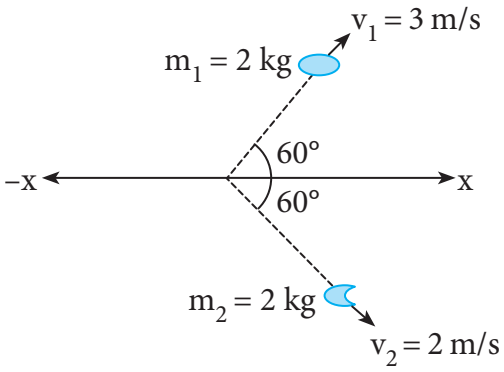
$= 4{,}5$ J

$\Delta E = E_{son} - E_{ilk}$

$= 4{,}5 - 112{,}5 = 108$ J olur.

Örnek

Durmakta olan 6 kg'lık bir cisim iç patlama ile üç parçaya ayrılıyor. Aynı düzlem üzerinde kalan üç parçanın ikisi şekildeki gibi hareket ettiğinde üçüncü parça hangi yönde ve kaç m/s hızla hareket eder?



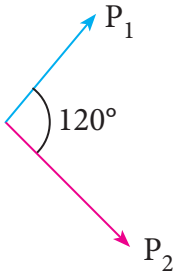
Çözüm

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

$\vec{P}_{ilk} = 0$ olduğundan $\vec{P}_{son} = 0$ olmalıdır.

$P_1 = m_1 . v_1 = 2.3 = 6$ kgm/s

$P_2 = m_2 . v_2 = 3.2 = 6$ kgm/s



$P_1 = P_2$ ve aradaki açı 120° olduğundan iki parçanın momentumlarının vektörel olarak toplandığında

$P_{1,2} = 6$ kgm/s olur. Son momentumun 0 olması için

$P_3 = -P_{1,2}$ olmalı 3. Parçanın kütlesi $m_3 = 6 - 5 = 1$ kg olur. 3. parçanın hızı

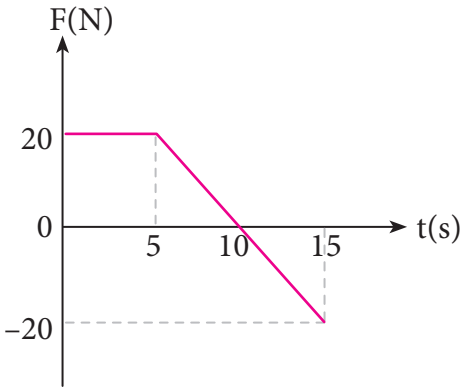
$P_3 = m_3 . v_3 = 6$ kgm/s

$1. v_3 = 6$

$v_3 = 6$ m/s ve –x yönünde olmalı

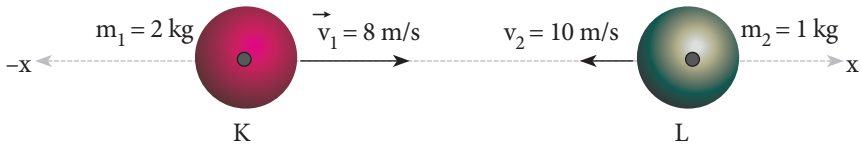
Bölüm Sonu Soruları

1. Bir cisme uygulanan kuvvetin zamana bağlı değişim grafiği şekilde verilmiştir. Bu cisme 15 s'de verilen itme, cismin hızında 25m/s'lik değişim sağladığına göre cismin kütlesi kaç gramdır? Hesaplayınız.



2. Hızı 100 m/s olan 10 g'lık bir mermi asılı duran 90 g bir bloka saplanıp kalıyor. Blokun kütle merkezi kaç cm yükselir?

3.



Sürtünmesiz yatay düzlemde K ve L küresel cisimleri şekildeki hızlarla hareket ediyorlar. Cisimler merkezi olarak çarpıştıktan sonra ortak bir hızla hareket ettiğine göre ortak hız kaç m/s'dir? Hesaplayınız.

Uygulama Sorularının Çözümleri

1. $\Delta\vec{P} = m \cdot \Delta\vec{v}$

$= m \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) = 0{,}4\ (-10 - 30)$

$= -16$ kgm/s

$\Delta\vec{P} = \vec{F} \cdot \Delta t$

16 kgm/s = F . 0,05

F = 320 N

2. Kuvvet zaman grafiğin altında kalan alan itmeyi verdiğine göre

$$I = \frac{(2+4).40}{2} - 2.30 = 60 \text{ Ns}$$

3. $\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_{ortak}$

$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = m_{top}\ \vec{v}_{ortak}$

$2000.0 + 1000 \cdot 54 = (2000+1000).\ v_{ortak}$

$54000 = 3000.\ v_{ortak}$

$v_{ortak} = 18$ m/s hızla **+x** yönünde hareket eder.

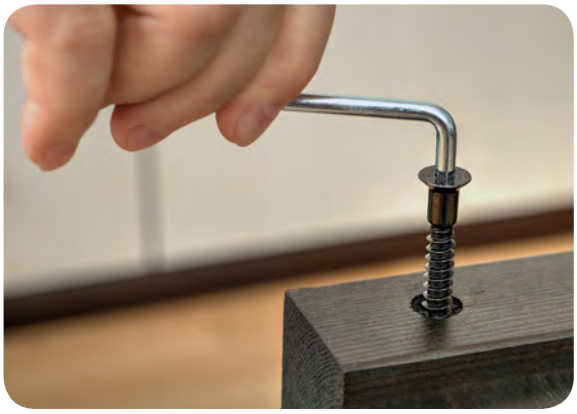
Bölüm Sonu Sorularının Cevapları

1. m = 4 kg

2. h = 500 cm

3. $v_{ort} = 2$ m/s

8.TORK



Tork diğer bir adıyla moment, günlük yaşantımızda kapı ve pencereleri kuvvet uygulayarak açmamızdan anahtarla bir cıvatayı veya vidayı çevirmemize kadar birçok alanda farkında olmadan kullandığımız fiziksel bir kavramdır. Oyun parkında tahterevallideki iki çocuğun hareketi veya eski zamanlarda kullanılan kefeli terazilerin çalışma prensibi de torkla ilgilidir.

Neler Öğreneceğiz?

Tork kavramını,

Torkun bağlı olduğu değişkenleri analiz etmeyi,

Tork ile ilgili hesaplamalar yapmayı öğreneceğiz.

8.1. Tork

Kuvvetin duran bir cismi hareket ettirdiğini veya cisimlerde şekil değişikliği meydana getirebilen etki olduğunu biliyoruz. Kuvvetin cisme kazandırdığı hareket öteleme, dönme veya yuvarlanma şeklinde olabilir. Bu bölümde bir cisme uygulanan kuvvetin döndürme etkisini inceleyeceğiz. Kuvvetin bir cismi bir eksen etrafında döndürme etkisine tork (moment) denir ve τ ile gösterilir. Tork vektörel bir büyüklük olup cisme uygulanan kuvvet ile kuvvetin dönme eksenine olan dik uzaklığının çarpımına eşittir.

O noktası etrafında dönebilen Şekil 8.1'deki çubuğa dik olarak uygulanan kuvvetin döndürme etkisi diğer bir ifadeyle torku; kuvvetin uygulandığı noktanın dönme eksenine dik uzaklık d ile uygulanan kuvvet F ile gösterildiğinde;

$\vec{\tau} = \vec{F} \cdot d$ bağıntısı ile hesaplanır.

Şekil 8.1: O noktası etrafında dönebilen çubuk

Kuvvetin birimi newton uzaklığın birimi metre olarak alındığında torkun birimi newton . metre (Nm) olur.

Şekil 8.2 de pencereye uygulanan kuvvet pencereyi menteşeleri etrafında döndürür. Pencere ve kapıların kolu dönme eksenine uzak bir noktaya monte edilir. Kapı kolları eksene yakın veya orta noktada olduğunda açmak veya kapamak için uygulamamız gereken kuvvet de değişir mi? Bunu basit bir etkinlik ile inceleyelim.

Şekil 8.2: Pencereye uygulanan kuvvetin döndürme etkisi

ETKİNLİK

Etkinlik Adı: Torkun Bağlı Olduğu Değişkenler

Etkinliğin Amacı: Kuvvetin döndürme etkisinin dönme eksenine olan uzaklığa bağlılığını incelemek

Kullanılan Malzemeler: Kapı veya pencere

Etkinliğin Yapılışı

1. Bulunduğunuz ortamın kapı veya penceresini tamamen kapalı olmayacak şekilde aralık bırakınız.

2. Kapıyı açmak için kapının menteşelerine yakın bir noktadan dik bir kuvvet uygulayarak itiniz.

3. Kapıyı açmak için bu defa menteşelerine en uzak noktadan dik kuvvet ile itiniz.

4. Açı yapacak şekilde aynı noktalara kuvvet uygulayarak aynı denemeleri yapınız.

Etkinliğin Sonuçlandırılması

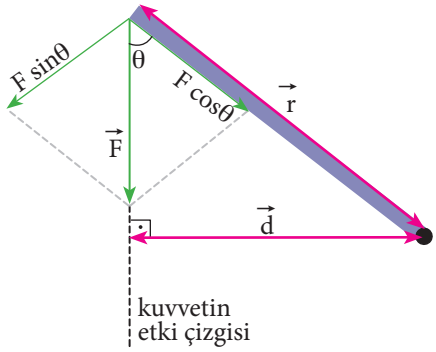
Kapıya iki farklı noktadan kuvvet uyguladınız, hangi noktadan uyguladığınızda kapı daha kolay açıldı?

Sizce döndürme etkisini hangi noktada daha küçük değerde kuvvet uygulayarak elde ettiniz?

Bu etkinlikte fark edileceği gibi uygulanan kuvvetin oluşturacağı tork kuvvetin büyüklüğü ve kuvvetin uygulama noktasına olan dik uzaklığı ile doğru orantılıdır. Dönme eksenine yaklaştıkça kapıyı açmak için daha büyük bir kuvvet gerekmekte, uzaklaştıkça uygulamamız gereken kuvvet küçülmektedir. Kuvveti açı yapacak şekilde uyguladığımızda kapıyı açabilmek için uygulanması gereken kuvvet değişiklik gösterir.

Şekil 8.3 teki O noktası etfafında dönebilen r uzunluğunda çubuğa uygulanan F kuvveti çubukla θ açısı yaptığında tork; kuvvetin etki çizgisine olan dik uzaklık (d) ile kuvvetin çarpılması ile bulunur. Kuvvetin etki çizgisine olan dik uzaklığa moment kolu veya kuvvet kolu denir. Dik üçgende d = r sinθ'ya eşittir.

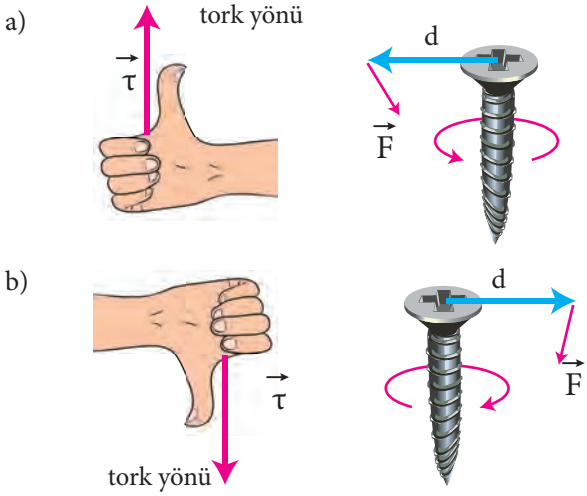
$\vec{\tau} = \vec{F} \cdot r \sin\theta$ bağıntısı ile hesaplanır.



Şekil 8.3: F kuvveti açı yaptığında

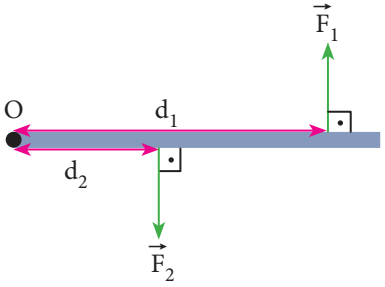
F kuvvetinin bileşenleri incelendiğinde dönmeye etki eden yalnızca F sinθ bileşenidir. F cosθ bileşeninin doğrultusu dönme ekseninden geçtiği için döndürme etkisi yoktur.

Tork vektörel bir büyüklük olduğunu belirtmiştik. Tork vektörünün doğrultusu kuvvet vektörünün ile moment kolu vektörünün oluşturduğu düzleme diktir ve yönü sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elimizin dört parmağını kuvvet doğrultusunda uzatıp daha sonra kuvvet yönünde kıvırırsak açık şekilde duran başparmağımız torkun yönünü gösterir. Şekil 8.4 te bir anahtar ile çevrilen civatanın uygulanan kuvvetin oluşturduğu torkun yönü bulunmuştur.



Şekil 8.4: Sağ el kuralı ile torkun yönünün bulunması

Şekil 8.5 teki gibi bir çubuğa birden fazla kuvvet uygulandığında kuvvetlerin her birinin torku alınarak toplanır ve sistemin toplam torku hesaplanır. $\vec{F}_1$ kuvveti saat ibresinin dönme yönünün tersi yönünde $\vec{F}_2$ kuvveti ise saat ibresinin dönme yönünde döndürmek ister. $\vec{F}_1$ kuvvetinin oluşturduğu tork sağ el kuralı ile bulunduğunda sayfa düzlemine dik ve dışarı yönlü olur. $\vec{F}_2$ kuvvetini oluşturduğu tork ise sayfa düzlemine dik ve içeri yönlü olur. Torkun işareti için genellikle saat ibresinin yönünün tersi için pozitif, saat ibresinin yönü ise negatif alınır. Burada önemli olan farklı yönde döndürme etkisine sahip olanları zıt işaretli almaktır.



Şekil 8.5: Birden fazla kuvvet uygulanması

Sistemin toplam torku;

$\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2$

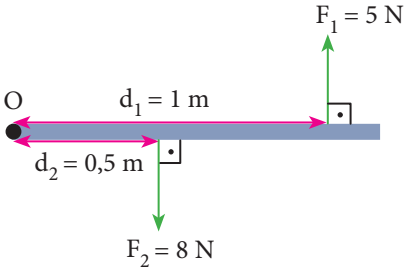
$\tau = F_1 \cdot d_1 - F_2 \cdot d_2$ olarak hesaplanır.

Sayfa düzleminden içeri yönlü bir vektörü $\otimes$ sembolü ile gösterilir.

Sayfa düzleminden dışa yönelmiş bir vektörü $\odot$ sembolü ile gösterilir.

Örnek

O noktası etrafında dönebilen şekildeki çubuğa etki eden kuvvetler ve O noktasına olan uzaklıkları verilmiştir. Sistemin toplam torkunu bulunuz?



Çözüm

$\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2$

$\tau = F_1 \cdot d_1 - F_2 \cdot d_2$

$\vec{F}_1$ kuvveti saat yönünün tersi yönde $\vec{F}_2$ kuvveti ise saat yönünde döndürmek ister.

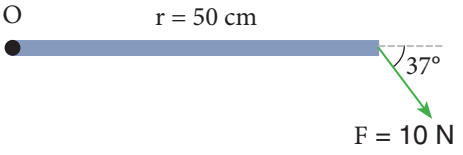
$\vec{F}_1$ kuvvetinin O noktasına göre torkunun yönü sağ el kuralı ile bulunduğunda sayfa düzleminden dışarı doğrudur ve ⊙ şeklinde gösterilir.

$\vec{F}_2$ kuvvetinin O noktasına göre torkunun yönü sağ el kuralı ile bulunduğunda sayfa düzleminden içeri doğru olarak bulunur ve ⊗ ile gösterilir.

Toplam tork $\tau = 5.1 - 8.0{,}5 = 5 - 4 = 1$ Nm olarak bulunur ve ⊙ yönü sayfa düzleminden dışarı doğrudur.

1. Uygulama

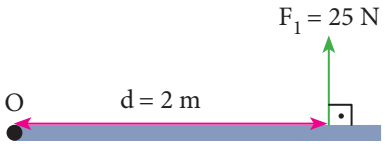
O noktasından vidalanan 50 cm uzunluğun da çubuğa yatayla 37°'lik açı yapacak şekilde 10 N'luk kuvvet uygulanıyor, sistemin torkunu bulunuz.



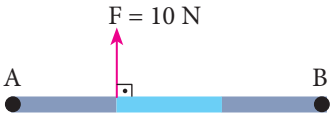
(sin37° = 0,6 cos 37 =0,8),

Bölüm Sonu Soruları

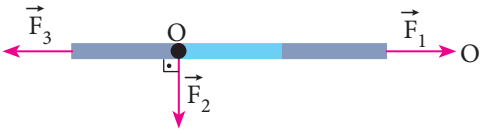
1. O noktası etrafında dönebilen 2 m uzunluğun daki çubuğa dik olarak olarak etki eden 25 N 'luk kuvvetin oluşturduğu torkun büyüklüğü ve yönünü bulunuz.



2. Şekildeki eşit bölmeli çubuğa F kuvveti uygulanıyor. F kuvvetinin A noktasına göre torkunun büyüklüğünün B noktasına göre torkunun büyüklüğüne oranını bulunuz.



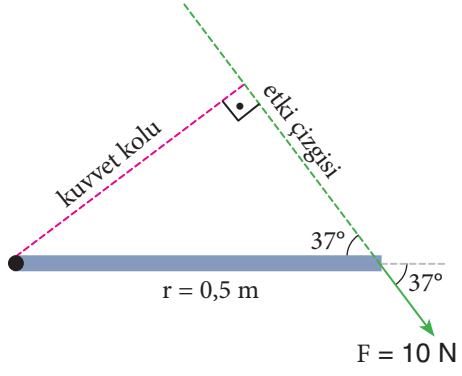
3. O noktası etrafında dönebilen çubuğa etki eden kuvvetlerden hangisinin döndürme etkisi yoktur?



Uygulama Sorularının Cevapları:

1.

Torkun büyüklüğü $\tau = F \cdot d$



Dik üçgende;

$$\sin 37° = \frac{\text{karşı kenar}}{\text{hipotenüs}}$$

$$\sin 37° = \frac{d}{r}$$

$d = r \cdot \sin 37° = 0{,}5 . 0{,}6 = 0{,}3$ m

$\tau = 10 . 0{,}3 = 3$ Nm olur. Sağ el kuralına göre; sağ elimizin dört parmağını kuvvet kolu d doğrultusunda tutup F kuvveti yönünde kıvırdığımızda başparmağımız sayfa düzlemine dik ve içeri yönü gösterir.

İkinci çözüm yöntemi de;

$\vec{F}$ kuvvetini çubuğa paralel ve çubuğa dik olan $\vec{F}_x$ ve $\vec{F}_y$ gibi birbirine dik iki bileşene ayıralım. $\vec{F}_x$ bileşininin O'ya göre torkuna $\vec{\tau}_x$, $\vec{F}_y$ bileşeninin O'ya göre torkuna ise $\vec{\tau}_y$ diyelim. Bu durumda F kuvvetinin O'ya göre torkuna $\vec{\tau}$ dersek,

$\vec{\tau} = \vec{\tau}_x + \vec{\tau}_y$ bağıntısıyla hesaplanabilir.

F kuvvetinin F_x bileşeninin etki çizgisi O noktasından geçtiği için torku sıfır olur.

Bölüm Sonu Sorularının Cevapları

1. 50 Nm ve sayfa düzleminden dışarı yöndedir.

2. $\frac{1}{2}$

3. $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$

9. DENGE VE DENGE ŞARTLARI

Doğada veya çevremizde bulunan cisimlerin dengede bulunduğu durumlara birçok örnek görebiliriz. Fizikte denge cisimlerin durduğu ve sabit hızla dönme veya öteleme hareketi olduğu durumlar için ayrı ayrı incelenir. Binaların, köprülerin, gökdelenlerin dengede kalmasını veya görseldeki gibi kayaların devrilmemesini sağlayan şey nedir?

Bu bölümde herhangi bir cismin durgun (statik) dengede kalma koşullarını inceleyeceğiz.

Neler Öğreneceğiz?

Cisimlerin denge şartlarını,

Kütle merkezi ve ağırlık merkezi kavramlarını,

Kütle merkezi ve ağırlık merkezi ile ilgili hesaplamalar yapmayı öğreneceğiz.

9. 1. Cisimlerin Denge Şartları

Cisimlerin dengede olabilmesi için sağlanması gereken koşullar vardır. Newton'ın 1. Hareket Yasası'na göre bir cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır ise cisim denge durumunu koruduğunu öğrenmiştiniz. Cismin dengede olması için cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olmasının yanında ikinci bir koşulda olarak herhangi bir noktaya göre torkunun sıfır olması gerekir. Öyleyse cismin dengede olması için gereken koşullar;

1 - Cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır olmalıdır. Cisme etki eden kuvvetler $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ ise

$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots = 0$ olmalıdır. Bu durumda bileşke kuvvetin $\vec{R}_x$ ve $\vec{R}_y$ bileşenleri sıfıra eşit olur ve

$\vec{R}_x = \vec{F}_{1x} + \vec{F}_{2x} + \vec{F}_{3x} + \ldots = 0$

$\vec{R}_y = \vec{F}_{1y} + \vec{F}_{2y} + \vec{F}_{3y} + \ldots = 0$ olarak ifade edilir.

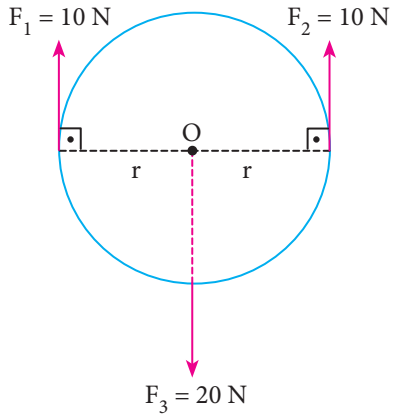
2 - Cisme etki eden kuvvetlerin herhangi bir noktaya göre torklarının toplamı sıfır olmalıdır. Cisme etki eden kuvvetlerin torkları $\vec{\tau}_1, \vec{\tau}_2, \vec{\tau}_3$ise ise toplam tork

$\vec{\tau}_{top} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_3 + \ldots = 0$ olarak ifade edilir.

Dengenin sağlanıp sağlanmadığını örnek durumlar üzerinde bu şartları uygulayarak bulmaya çalışalım.

Örnek

Şekildeki kuvvetlerin etki ettiği daire şeklindeki cismin dengede olup olmadığını bulunuz.



Çözüm

1. denge koşuluna göre cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır olmalıdır.

$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots = 0$

Bileşke kuvvetin x bileşeni bu doğrultuda etki eden kuvvet olmadığından $R_x = 0$ olur.

Bileşke kuvvetin y bileşeninde $R_y = 10 + 10 - 20 = 0$ olduğu görülür.

2. denge koşuluna göre cisme etki eden kuvvetlerin herhangi bir noktaya göre torku sıfır olmalıdır, kuvvetlerin O noktasına göre torkları toplamını alalım. O noktasına etki eden F_3 kuvvetinin döndürme etkisi yoktur.

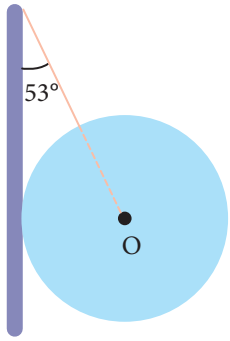
$\vec{\tau}_{top} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_3 = 0$

$\vec{\tau}_{top} = F_2 . r - F_1 . r$

$\vec{\tau}_{top} = 10 . r - 10 . r = 0$ olarak bulunur, cisim dengededir.

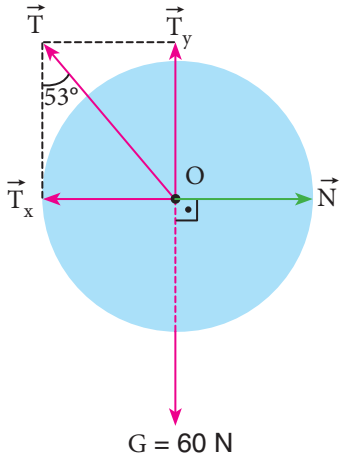
Örnek

Ağırlığı 60 N olan düzgün ve türdeş küre sürtünmesiz yüzeyde şekildeki gibi iple bağlanmıştır ve dengededir. Bu durumda küreye etki eden kuvvetleri bulunuz.(sin53˚= 0,8, cos 53˚ = 0,6)



Çözüm

İpin bağlandığı noktaya O noktası diyelim ve bu noktaya etki eden kuvvetleri gösterelim. Cismin ağırlığı $\vec{G}$, ipteki gerilme $\vec{T}$ ve duvarın tepki kuvveti $\vec{N}$ ile gösterildiğinde kuvvetlerin yatay ve düşeydeki bileşenleri şekildeki gibi gösterilir. 53˚lik açıya sahip üçgende sinüs ve cosinüs değerlerinden yararlanarak;



$T_x = T \cdot \sin 53°$ $T_y = T \cdot \cos 53°$ yazılır.

Sistem dengede olduğundan $\vec{R} = 0$ olmalıdır. Buna göre ayrı ayrı bileşenleri sıfıra eşitleyerek kuvvetleri hesaplayalım.

$\vec{R}_x = \vec{T}_x + \vec{N} = 0$ ve $\vec{R}_y = \vec{T}_y + \vec{G} = 0$

y doğrultusunda etki eden kuvvetlerin bileşkesinden yararlanarak

$T \cdot \cos 53° - G = 0$ ise $T \cdot 0 \cdot 6 - 60 = 0$

T = 100 N bulunur. Bulduğumuz T değerini x doğrultusundaki kuvvetlerin bileşke bağıntısında yerine yazarak;

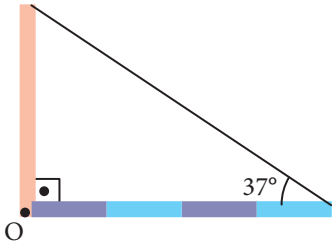
$-T \sin 53° + N = 0$

$-100 \cdot 0.8 + N = 0$ ise N = 80 N bulunur.

1.Uygulama

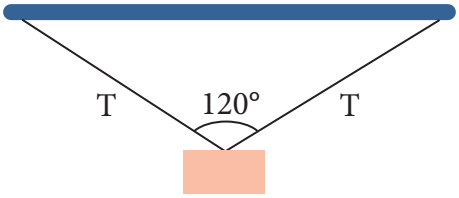
O noktasından menteşelenmiş 24 N ağırlığındaki eşit bölmeli türdeş çubuk şekildeki gibi iple duvara bağlanmıştır (Çubuk türdeş ve eşit bölmeli olduğu için ağırlığı tam orta noktadan etki eder). Çubuk dengede olduğuna göre ipteki gerilme kuvveti kaç newton'dur?

(sin37°= 0,6 cos 37˚= 0,8)



2.Uygulama

P ağırlığındaki cisim şekildeki gibi asılmıştır. İpteki gerilmeler kaç P olur?



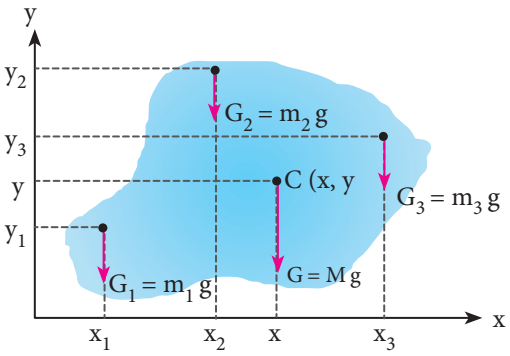
9.2. Kütle Merkezi ve Ağırlık Merkezi

Cisimlerin denge durumları incelenirken cisme etki eden yerçekimi kuvvetinin değeri dikkate alınır. Cisimler küçük noktasal parçacıkların birleşimi olarak kabul edersek; her bir parçanın ağırlığı yerin merkezine doğru ve birbirine paralel olur. Cismin ağırlığı noktasal parçacıkların ağırlıklarının bileşkesine eşittir, bileşkenin uygulama noktasına cismin **ağırlık merkezi** denir. Cismin tüm kütlesinin toplandığı kabul edilen noktaya **kütle merkezi** denir. Yerçekimi ivmesi kütle boyunca sabit olduğu durumlarda kütle merkezi ve ağırlık merkezi aynı nokta olur. Kütle merkezi skaler bir büyüklüğün ağırlık merkezi ise vektörel bir büyüklüğün uygulama noktasıdır. Çekim ivmesinin olmadığı ortamda cismin ağırlık merkezinden söz edilmez yalnızca kütle merkezi vardır.

Bir cismin ağırlık merkezinin nasıl bulunduğunu inceleyelim.

Şekil 9.1'deki m_1, m_2, m_3 .... gibi küçük parçalarından oluşan bir cismin ağırlık merkezini koordinat sisteminde bulalım.

Her birinin ağırlığı $\vec{G}_1$, $\vec{G}_2$, $\vec{G}_3$, ... olan parçacıkların ağırlıklarının bileşkesi olan $\vec{G}$, cismin ağırlığını verir. $\vec{G}$'nin uygulama noktası olan O noktası aynı zamanda cismin ağırlık merkezidir. Koordinat sisteminde belirlediğimiz bir orjine göre x (apsis);



Şekil 9.1: Ağırlık Merkezi

$$G.x = G_1.x_1 + G_2.x_2 + G_3.x_3 + \ldots$$

$$x = \frac{G_1.x_1 + G_2.x_2 + G_3.x_3 + \ldots}{G} = \frac{m_1.g.x_1 + m_2.g.x_2 + m_3.g.x_3 + \ldots}{M.g}$$

$$x = \frac{m_1.g.x_1 + m_2.g.x_2 + m_3.g.x_3 + \ldots}{(m_1 + m_2 + m_3 + \ldots)g}$$

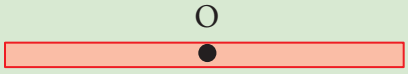
$$x = \frac{m_1.x_1 + m_2.x_2 + m_3.x_3 + \ldots}{m_1 + m_2 + m_3 + \ldots}$$ olur. y (ordinat) için aynı işlemler yapıldığında;

$$y = \frac{m_1.y_1 + m_2.y_2 + m_3.y_3 + \ldots}{m_1 + m_2 + m_3 + \ldots}$$ olur.

Düzgün olmayan bir cismin ağırlık merkezini bulmak için cisim iki farklı noktadan sabit bir noktaya asılır, cismin asıldığı noktalardan geçen düşey doğrultuların kesiştiği nokta cismin ağırlık merkezi olur. Cisim hangi noktadan asılırsa (denge durumunda) asıldığı noktanın düşey doğrultusu ağırlık merkezinden geçer? Denge durumundaki asılan bir cismin kütle merkezi asıldığı noktanın düşeyinden geçen doğru üzerinden geçecek şekilde dengede olur. Düzgün ve türdeş cisimlerin ağırlık merkezi simetri ekseni ve simetri düzlemi üzerinde olur.

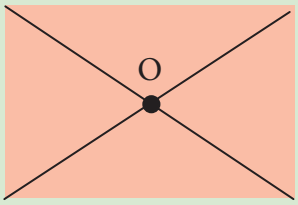
Düzgün ve türdeş cisimlerin kütle merkezleri aşağıda gösterilmiştir.

Düz Çubuk



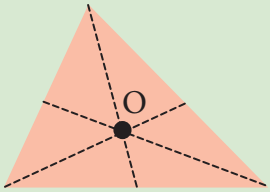
Çubuğun orta noktası

Dikdörtgen Levha



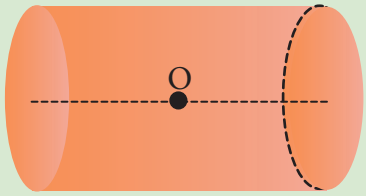
Köşegenlerin kesim noktası

Üçgen Levha



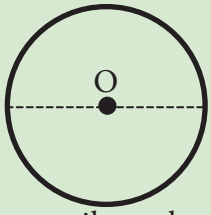
Kenar ortayların kesim noktası

Silindir



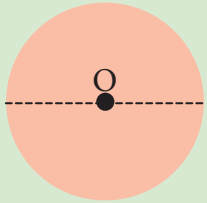
Alt ve üst tabanların merkezlerini birleştiren doğrunun orta noktasınoktası

Çember



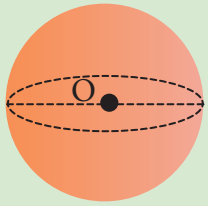
Geometrik merkezi

Dairesel Levha



Geometrik merkezi

Küre



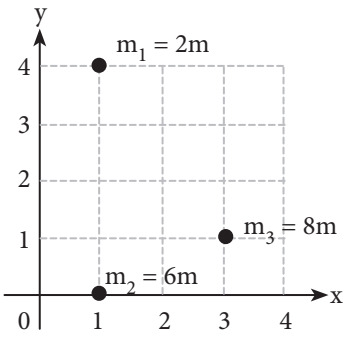
Geometrik merkezi

BİLGİ KUTUSU

Ağırlık merkezleri bulunurken cisim türdeş ve geometrik yapıda ise, ağırlık yerine çubuk şeklindeki cisimler için uzunluk levha şeklindeki cisimler için ise yüzey değerleri ölçüt alınabilir.

Örnek

Şekildeki koordinat sisteminde 2m, 8m ve 6m kütleli cisimler bulunmaktadır. Buna göre., bu cisimlerin oluşturduğu sistemin ağırlık merkezinin apsis (x) ve ordinatını (y) bulunuz.



Çözüm

$$x = \frac{m_1 . x_1 + m_2 . x_2 + m_3 . x_3 + \ldots}{m_1 + m_2 + m_3 + \ldots}$$

$$x = \frac{2m . 1 + 6\,m . 1 + 8m . 3}{2m + 6m + 8m}$$

x = 2 olarak bulunur.

$$y = \frac{m_1 . y_1 + m_2 . y_2 + m_3 . y_3 + \ldots}{m_1 + m_2 + m_3 + \ldots}$$

$$y = \frac{2m . 4 + 6\,m . 0 + 8m . 1}{2m + 6m + 8m}$$

y = 1 olarak bulunur.

Örnek

Yarıçapı r olan türdeş dairesel levhadan yarıçapı r/2 olan levha kesilip yanına yapıştırılıyor. Sistemin ağırlık merkezi O_1 den kaç r uzaklıktadır?

Çözüm

Levha düzgün ve türdeş olduğuna göre ağırlığı yüzey alanı ile doğru orantılıdır. Levhaya etki eden kuvvetler aşağıdaki gibidir.

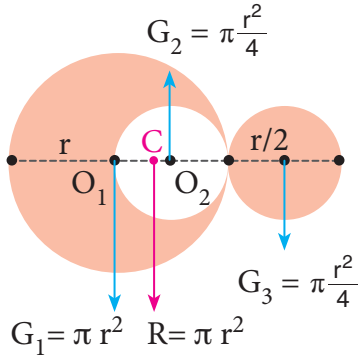
$$G_1 . x + G_2\left(\frac{r}{2}-x\right)-G_3\left(3\frac{r}{2}-x\right)=0$$

$$\pi r^2 . x+\pi\frac{r^2}{4}\left(\frac{r}{2}-x\right)-\pi\frac{r^2}{4}\left(3\frac{r}{2}-x\right)=0$$

$$x+\frac{1}{4}\left(\frac{r}{2}-x\right)-\frac{1}{4}\left(3\frac{r}{2}-x\right)=0$$

işlemler yapıldığında

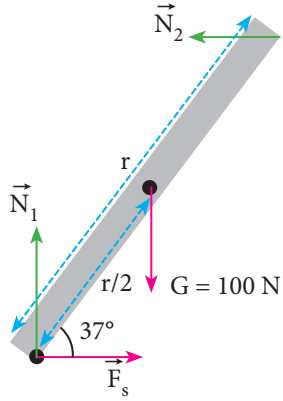
$x = \frac{r}{4}$ bulunur.



Örnek

Ağırlığı 100 N olan merdiven yatayla 37°lik açı yapacak şekilde duvara dayanmıştır (Duvarın sürtünmesi önemsenmemiştir). Yatay düzlem sürtünmelidir. Buna göre merdivenle yatay düzlem arasındaki sürtünme kuvvetini ve duvarın ve yerin merdivene uyguladığı tepki kuvvetini bulunuz (sin 37° = 0,6 cos37° = 0,6).

Çözüm



Merdivenin uzunluğunu r olarak alalım. Merdivene yatay ve düşey düzlemde etki eden kuvvetler ;

$\vec{G}$ (merdivenin ağırlığı), $\vec{N}_1$, (zeminin merdivene tepki kuvveti), $\vec{N}_2$, (duvarın merdivene tepki kuvveti), $\vec{F}_s$ (sürtünme kuvveti) şekilde gösterilmiştir. Cisim dengede olduğuna göre cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfırdır.

$\vec{R} = 0$

$\vec{R}_x = 0$ ve $\vec{R}_y = 0$ olur.

$\vec{R}_x = \vec{F}_s + \vec{N}_2 = 0$

$F_s - N_2 = 0$ olduğundan $F_s = N_2$ bulunur.

$\vec{R}_y = \vec{G} + \vec{N}_1 = 0$

$G - N_1 = 0$

$G = N_1 = 100$ N olur. 2.Denge koşuluna göre kuvvetlerin O noktasına göre torkları toplamı sıfır olmalıdır.

$\vec{N}_1$ ve $\vec{F}_s$ kuvvetlerinin etki çizgisi O noktasından geçtiği için torku sıfır olur.

$\vec{\tau}_{top} = 0$ Diğer kuvvetler için tork;

$N_2 \cdot r \cdot \sin 37^\circ - G \cdot \frac{r}{2} \cdot \sin 53^\circ = 0$

$N_2 \cdot 0{,}6 - 100 \cdot 0{,}8 = 0$

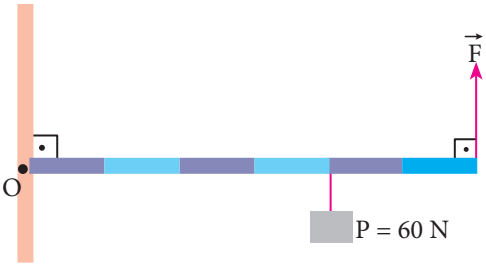
$N_2 = 133{,}3$ N

$F_s = N_2$

$F_s = 133{,}3$ N

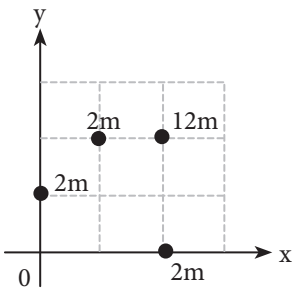
3. Uygulama

Şekildeki düzgün türdeş çubuğun ağırlığı 20 N'dur. Çubuğa şekildeki A noktasından 60 N'luk cisim asılıyor. Çubuğu dengede tutan F kuvveti kaç N'dur?

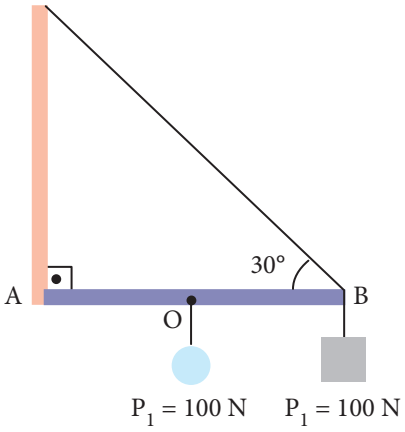


Bölüm Sonu Soruları

1. Şekildeki sistemin ağırlık merkezinin x ve y koordinatlarını bulunuz.

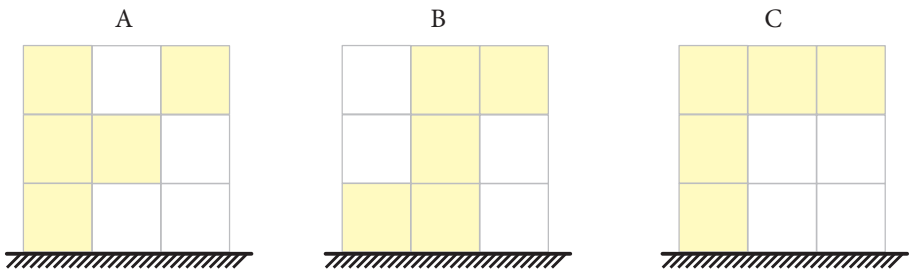


2. Şekildeki sistem yatay olarak dengede olduğuna göre ipteki gerilme kuvveti kaç N dur?(AB çubuğu ağırlıksız ve B noktasından hareketli olacak şekilde tutturulmuştur ve AO = OB $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ $\cos 30^\circ = \sqrt{\frac{3}{2}}$)



3. 100 cm uzunluğunda türdeş ve düzgün bir telin son 20 cm'lik kısmı katlanıyor. Katlanmayan 60 cm'lik kısımla birlikte oluşan yeni şeklin ağırlık merkezi telin başlangıç noktasından kaç cm uzaklıktadır?

4.

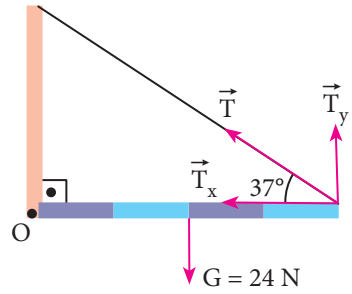


Şekildeki türdeş ve düzgün karelerden oluşmuş A, B, C cisimlerinin hangileri dengede kalır?

Uygulama Sorularının Cevapları

1.

Cisim dengede olduğunda etki eden kuvvetlerin torku sıfırdır. Çubuğa etki eden kuvvetlerin O noktasına göre torkunu alındığında ipteki gerilme kuvveti;



$\vec{\tau}_{top} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2$

$\vec{\tau}_{top} = \vec{T}\sin 37°.\, d + \vec{G}\,.\,2$

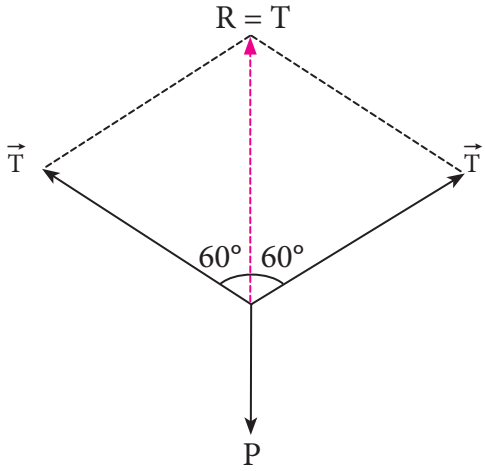
$0 = T\,.\,0{,}6\,.\,4 - 24.2$

$T = 20$ N olur.

2.

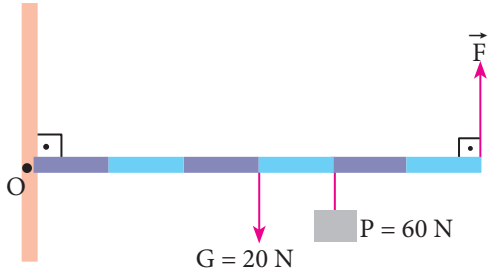
İpin düşeyle yaptığı açılar eşit olduğu için ipteki gerilmeler de eşit olur.

Bileşke vektörün bulunuşunda özel durumları belirtmiştik. Cisim dengededir, 120° için özel durum dikkate alındığında



R=T=P olur.

3.



$\vec{\tau}_{top} = 0$ olmalı

$\vec{\tau}_{top} = \vec{F} . 6 + \vec{P} . 4 + \vec{G} . 3 = 0$

$\tau_{top} = F . 6 - 60 . 4 - 20 . 3 = 0$

$F = 50$ N

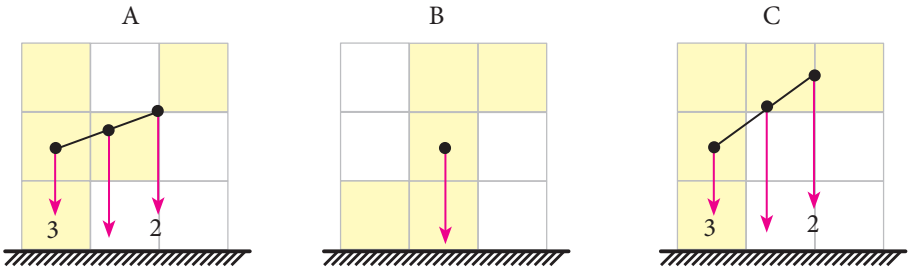
9. Bölüm Sonu Sorularının Cevapları

1. $x = \frac{5}{3}$ $\quad y = \frac{5}{3}$

2. T = 300 N

3. 46 cm

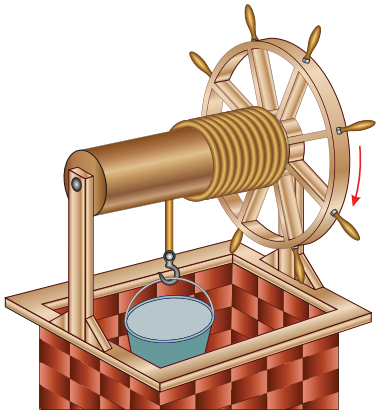
4. Ağırlık merkezinin doğrultusu cismin yere temas yüzeyinden geçen B cismi dengede kalır.



Ağırlık merkezi doğrultuları

10. BASİT MAKİNELER

İnsanlık ilk çağlardan beri gerek doğa ile mücadele sinde gerekse yaptığı işlerde kolaylık sağlamak ve daha az kuvvet uygulayarak iş yapabilmek için çeşitli yöntemler geliştirmiştir. Bu yöntemler basit makinelere dönüşerek günümüze dek ulaşmıştır. Bu basit makinelere çıkrık, vida, el arabası gibi birçok örnek verebiliriz. Bu bölümde basit makineleri inceleyeceğiz.



Neler Öğreneceğiz?

Günlük hayatta kullanılan basit makinelerin işlevlerini açıklamayı,

Basit makinelerle ilgili hesaplamalar yapmayı,

Hayatı kolaylaştırmak amacıyla basit makinelerden oluşan güvenli sistemler tasarlamayı öğreneceğiz.

10.1 Basit Makineler

Görsel 10.1: El Arabası

Görsel 10.2: Anahtar

Görsel 10.3: Tornavida

Günlük hayatta daha kolay iş yapabilmemizi sağlayan birçok sistem kullanılır; el arabası (Görsel 10.1), anahtar (Görsel 10.2), tornavida (Görsel 10.3), makara sistemleri, dişliler, makas, maşa, eğik düzlem bunlardan bazılarıdır. Bu sistemlerin çalışma prensibi basit makinelerin çalışma prensibine dayanır. Basit makineler kullanılarak kuvvetten veya yoldan kazanç sağlanabilir. Bazı basit makineler kuvvetin yönünü değiştirmek için kullanılır. Kuvvetten kazanç sağlayan bir basit makinede yoldan kayıp, yoldan kazanç sağlayan basit makinede ise kuvvetten kayıp olur. Yükün ağırlığının uygulanan kuvvete oranına kuvvet kazancı denir.

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{\text{yük}}{\text{kuvvet}} = \frac{\vec{G}}{\vec{F}}$$ Bir basit makinede;

kuvvet kazancı > 1 olduğunda yoldan kaybedildiği,

kuvvet kazancı < 1 olduğunda ise yoldan kazanıldığı anlamına gelmektedir.

Basit makinelerde işten kazanç olmaz, sürtünmeden dolayı enerjinin tamamı işe dönüşemez. Basit makineler tek olarak kullanıldığı gibi birden fazla basit makine bir arada da kullanılabilir. Şimdi basit makinelerin bazılarını inceleyelim.

Kaldıraçlar

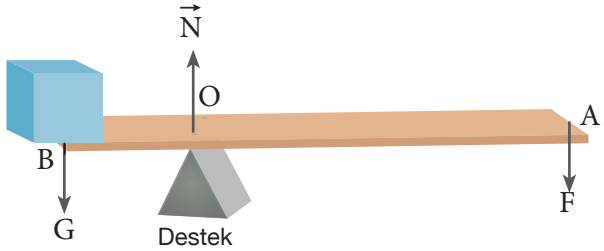
Kaldıraçlar destek ve bir çubuktan oluşan sistemlerdir. Desteğin bulunduğu noktaya göre kuvvetten ve yoldan sağlanan kazanç değişiklik göstermektedir. Kaldıraçlarda destek ile kuvvetin uygulama noktası arasındaki uzaklığa kuvvet kolu, destekle yük ağırlığının uygulama noktası arasındaki uzaklığa da yük kolu denir. 3 farklı tip kaldıraç vardır.

BİLGİ KUTUSU

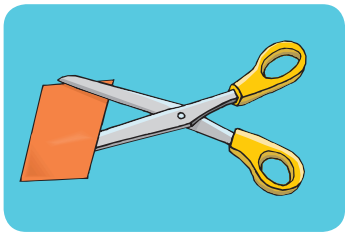
Kuvvet kolunun yük kolundan uzun olduğu durumlarda kuvvetten kazanç, kuvvet kolunun yük kolundan kısa olduğu durumlarda ise yoldan kazanç sağlanır.

a) 1.tip kaldıraçlar: Desteğin arada olduğu kaldıraçlardır (Şekil10.1). Bu tip kaldıraçlara makas (Görsel 10.4), pense ve kerpeten örnek olarak verilebilir. Çubuk üzerinde |OB| yük kolu, |AO| kuvvet koludur ve 2. denge koşulunu uygulandığında

$\vec{G} \cdot |OB| = \vec{F} \cdot |AO|$ olur.



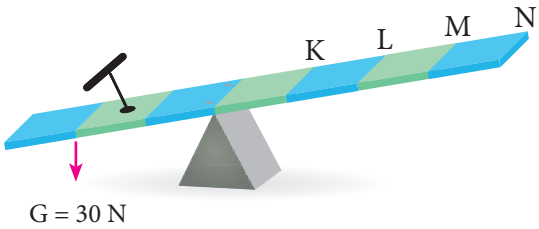
Şekil 10.1: Desteğin arada olduğu kaldıraç



Görsel 10.4: Makas

Örnek

Şekildeki tahteravallide işaretli bölmede 30 N ağırlığında çocuk oturduğu varsayalım. 20 N ağırlığındaki çocuk karşı tarafta hangi bölmeye otururs a denge sağlanır?



Çözüm

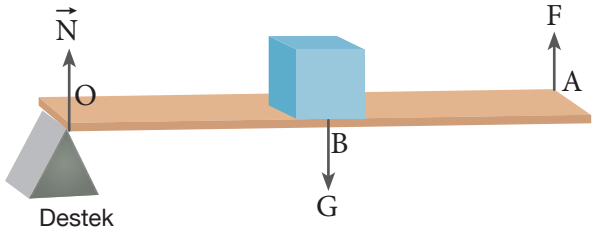
$\vec{G} \cdot 2 = \vec{F} \cdot x$

$30 \cdot 2 = 20 \cdot x$

$x = 3$ (M noktası)

b) 2. tip kaldıraçlar: Yükün arada desteğin ve kuvvetin uçta olduğu kaldıraçlardır(Şekil10.2). Bu tip kaldıraçlara el arabası ve ceviz kırıcıyı (Görsel 10.5) örnek verebiliriz. 2. denge koşuluna göre

$\vec{G} \cdot |OB| = \vec{F} \cdot |AO|$ olur.

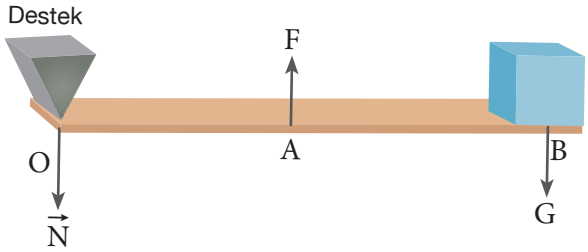


Şekil 10.2: Desteğin uçta yükün arada olduğu kaldıraç

Görsel 10.5: Ceviz kırıcı

c) 3. tip kaldıraçlar: Kuvvetin arada olduğu Yükün ve desteğin uçlarda olduğu kaldıraçlardır (Şekil 10.3). Bu tip kaldıraçlara cımbız ve maşayı örnek verebiliriz (Görsel 10.6). Örnek verebiliriz Şekil 10.3'de denge koşulunu yazdığımızda

$\vec{G} \cdot |OB| = \vec{F} \cdot |AO|$ olur.



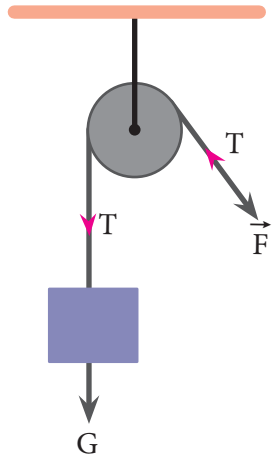
Şekil 10.3: Desteğin uçta yükün uçta olduğu

Görsel 10.6: Cımbız

Makaralar

Günlük hayatta inşaat, liman gibi alanlarda ve iş makinelerinde, makaralar kullanılarak çok ağır cisimler kaldırılmaktadır. Makaralar kuvvetten kazanç sağlamak, kuvvetin yönünü veya doğrultusunu değiştirmek için kullanılan basit makinelerdir. Makaralar sabit makaralar, hareketli makaralar, palangalar olmak üzere üç grupta incelenir.

a)Sabit Makara: Merkezinden geçen eksen etrafında dönebilen ve sabit bir noktaya tutturulmuş yalnızca kuvvetin yönünü ve doğrultusunu değiştiren makaralara **sabit makara** denir (Görsel 10.7). Sabit makaralarda kuvvetten kazanç sağlanmaz. Şekil 10.4 deki $\vec{G}$ ağırlığındaki cisme $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak cisim yukarı hareket etmesi sağlanır. Uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin ve ipteki $\vec{T}$ gerilmesinin değeri $\vec{G}$ ağırlığına eşittir ve $G = F = T$ olur. Örneğin sabit makaraya asılmış 40 N ağırlığındaki yükü kaldırmak için 40 N kuvvet uygulamak gereklidir.

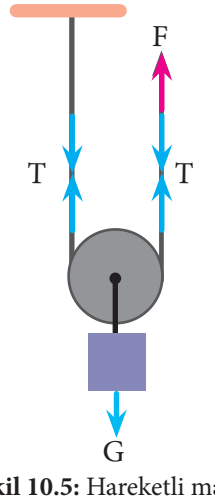


Şekil 10.4: Sabit makara ile kuvvetin yönünün değiştirilmesi

b Hareketli makara: Merkezinden geçen bir mil etrafında dönebilen ve yükle birlikte hareket edebilen makaralara **hareketli makara** denir. Şekil 10.5 te gibi ağırlığı ihmal edilen hareketli makaraya asılı $\vec{G}$ ağırlığında yük, $\vec{F}$ kuvveti ile dengededir. İplerdeki gerilmeler eşittir. F kuvvetinin değeri;

$F = \frac{G}{2}$ olur. Böylece yükün yarısı kadar kuvvet uygulayarak yükü hareket ettirilmiş olur. Hareketli makaralarda $\vec{F}$ kuvveti uygulayarak ip x kadar yukarı çekildiğinde yük x/2 kadar yer değiştirir.

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{\text{yük}}{\text{kuvvet}} = \frac{G}{F} = 2$$



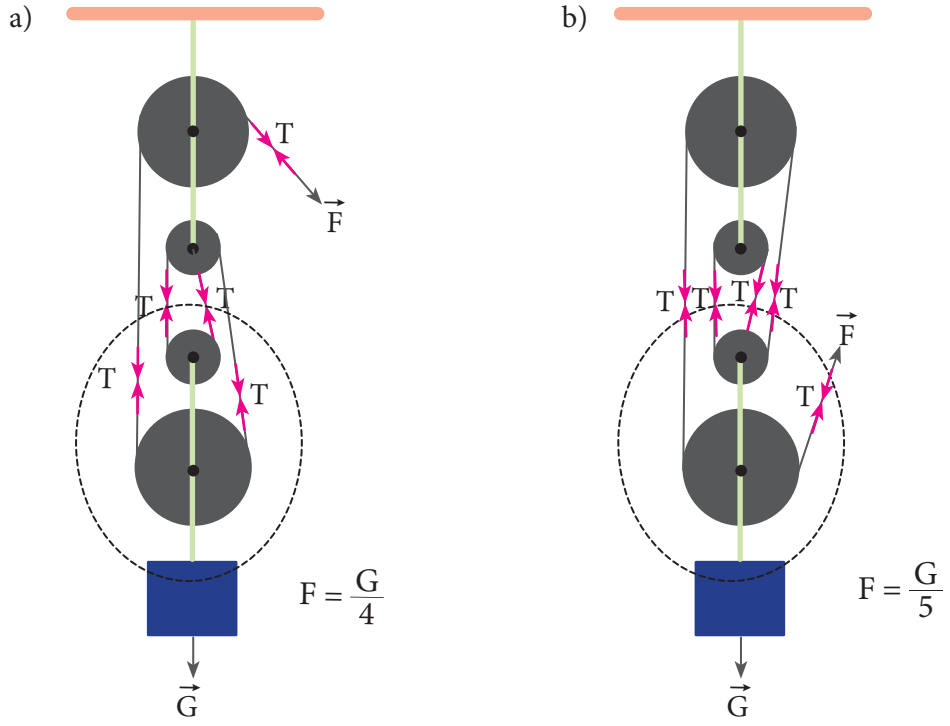
Şekil 10.5: Hareketli makara

c) Palangalar: Kuvvetten daha fazla kazanç sağlanması için birden fazla sabit ve hareketli makaranın bir arada kullanıldığı makara sistemlerine **palanga** denir.

BİLGİ KUTUSU

Palangalarda uygulanması gereken $\vec{F}$ kuvveti $F = \frac{\text{yük}}{\text{ip sayısı}}$ bağıntısı ile bulunur. Burada hareketli makaralara etki eden ip sayısı dikkate alınır.

Şekil 10.6 a'daki (makaraların ağırlıklarının ve sürtünmelerin ihmal edildiği) sistemde ve $\vec{F}$ kuvveti ile denge sağlandığında $\vec{F}$ kuvvetinin değeri;



Şekil 10.6: Palanga

F =T dir. Ağırlığın ipteki gerilmeler cinsinden

G = 4T

$T = \frac{G}{4}$ ve $F = \frac{G}{4}$ olur. Kuvvet kazancı $= \frac{\text{yük}}{\text{kuvvet}} = \frac{G}{\frac{G}{4}} = 4$ bulunur.

Şekil 10.6 a'daki sabit makaradan çıkan ip sadece kuvvetin yönünü değiştirdiği için hesaba katılmaz ve bu nedenle yük dörde bölünür. Yükün $\frac{1}{4}$'üne eşit kuvvet uygulayarak cisim hareket ettirilebilir. Kuvvetin uygulandığı ip x kadar çekildiğinde yük $\frac{x}{4}$ kadar yer değiştirir.

Şekil 10.6.a'da ve Şekil 10.6.b'deki palangaların iplerinin makaralardan farklı şekilde dolandığı görülmektedir. Bu durumda her iki palanganın kuvvetten kazancı farklı olur. Şekil 10.6 b'deki (makaraların ağırlıkları ve sürtünmeler ihmal edildiği) sistemde ve F kuvveti ile denge sağlandığında F kuvvetinin değeri;

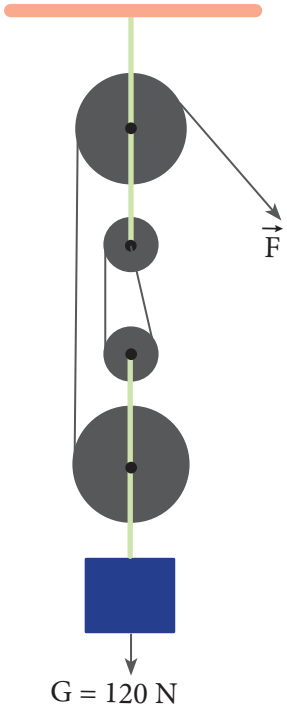
G = 5T

$T = \frac{G}{5}$ ve $F = \frac{G}{5}$ olur. Yükün $\frac{1}{5}$'ine eşit kuvvet uygulayarak cisim hareket ettirilebilir. Kuvvetin uygulandığı ip x kadar çekildiğinde yük $\frac{x}{5}$ kadar yer değiştirir.

Kuvvet kazancı $= \frac{\text{yük}}{\text{kuvvet}} = \frac{G}{\frac{G}{5}} = 5$

Örnek

Makaraların ağırlığı ve sürtünmelerin ihmal edildiği şekildeki palangada asılı olan 120 N'luk yükü kaldırmak için kaç N'luk kuvvet uygulanmalıdır? Yükü 10 cm yukarı kaldırmak için ip kaç cm çekilmelidir?



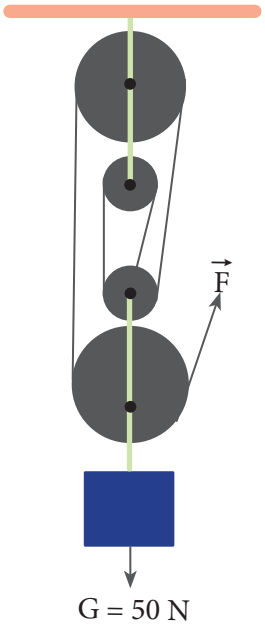
Çözüm

Şekilde görüldüğü gibi yük 4 ip tarafından çekilmektedir. Hareketli makaradan çıkan ip sadece kuvvetin yönünü değiştirdiği için hesaba katmadığımızı belirtmiştik. Buna göre;

$F = \frac{120}{4} = 30\ N$ olur. Yükü 10 cm yükseltebilmek için ipi 40 cm çekilmelidir.

Örnek

Şekildeki makaraya asılan yük 50 N ağırlığında ise yükü hareket ettirebilmek için uygulanan kuvvet kaç newton olmalıdır (makaraların ağırlıkları ve sürtünmeler ihmal edilmiştir)?



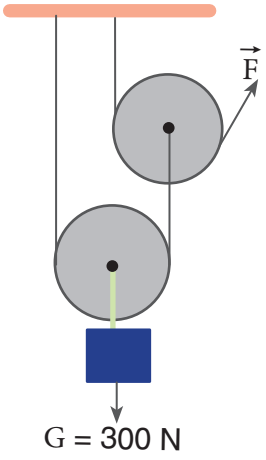
Çözüm

Şekilde ipin hareketli makaradan çıktığı görülmektedir bu ip yüke etki etmekte ve yük 5 ip tarafından paylaşılmaktadır. Buna göre;

$F = \frac{50}{5} = 10\ N$ olur.

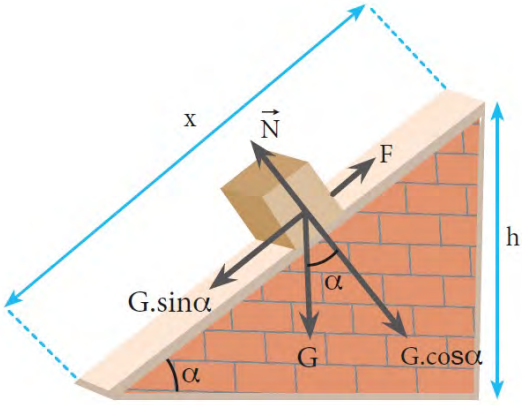
1. Uygulama

Şekildeki makara sistemini dengede tutan F kuvveti kaç newton'dur? (makaraların ağırlıkları ve sürtünmeler ihmal ediniz)



Eğik Düzlem

Yatayla belli bir açı yapan düzlemler **eğik düzlem** olarak adlandırılmaktadır. Ağır yükleri veya araçları bulunduğu noktadan daha yüksek bir noktaya çıkarmak için kullanılır. Eğik düzlemlerde kuvvetten kazanç sağlanırken yoldan kayıp olur. Merdivenlerde veya kaldırımlarda kullanılan rampalar eğik düzleme örnek olarak verilebilir. Şekil 10.6 daki sürtünmesiz eğik düzlemde G ağırlığındaki yük, F kuvveti ile x yolu boyunca çekildiğinde dengedeki G ağırlığı h kadar yükselecektir. F kuvvetinin yaptığı iş G ağırlığındaki yükün kazandığı potansiyel enerjiye eşittir. G yükünü hareket ettiren F kuvvetinin değeri,



Şekil 10.6: Eğik düzlem

$$G.\sin\alpha = F$$
$$G.\frac{h}{x} = F$$
$$F.x = G.h \text{ olur.}$$

Vida

Günlük hayatta yüzeyleri veya parçaları birbirine tutturmak için kullanılan basit makinalardır (Görsel 10.7). Vidalar kuvvetten büyük kazanç sağlamaktadır.

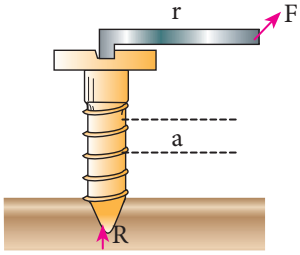
Görsel 10.7: Vida

Arabaları kaldırmak için kullanılan krikolar bu duruma örnek verilebilir. Krikoya uyguladığımız küçük değerdeki kuvvet ile arabanın yükselmesi sağlanır (Görsel 10.8).

Görsel 10.8: Kriko

Şekil 10.7 de görülen iki diş arasındaki mesafeye **vida adımı** denir.

Şekil 10.7 deki r uzunluğunda olan kola F kuvveti uygulandığında vida 1 tur atar ve bulunduğu malzeme üzerinde bir vida adımı kadar gömülür. Malzemenin vidaya gösterdiği direnme kuvvetini R, vida adımı a sembolü ile gösterildiğinde yapılan işlerin eşitliği;



Şekil 10.7: Vida

$F \cdot 2\pi r = R \cdot a$ olarak ifade edilir.

Vidanın malzeme içinde gömülme miktarına h sembolü ile gösterildiğinde, vida n tur attığında;

$h = n \cdot a$ olur.

Örnek

Bir vidanın dönebilmesi için 1 cm uzunluğundaki kuvvet koluna dik olarak 10N'luk kuvvet uygulanması gerekmektedir. Vida 3 kez döndürüldüğünde 0,6 cm saplandığına göre düzlemin vidaya uyguladığı tepki kuvvetini ve kuvvet kazancını bulunuz ($\pi = 3$)

Çözüm

$h = n \cdot a$

$0{,}6 = 3 \cdot a$

$a = 0{,}2$ cm olur.

$F \cdot 2\pi r = R \cdot a$

$10 \cdot 2.3.1 = R \cdot 0{,}2$

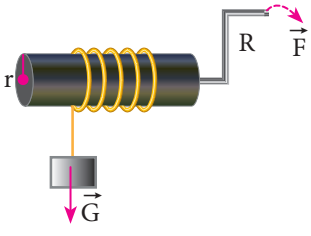
$R = \frac{60}{0{,}2} = 300$ N

Kuvvet kazancı $= \frac{\text{yük}}{\text{kuvvet}} = \frac{300}{10} = 30$

Çıkrık

Çıkrık anahtar, tornavida, olta, kapı kolu ve direksiyon gibi birçok şekilde hayatımızda yer alan bir basit makinadır. Merkezleri çakışık, yarıçapları farklı iki silindirden oluşan bir sistemdir. Yük genellikle küçük silindire bağlı olur ve büyük silindire kuvvet uygulanır (Şekil 10.8). R uzunluğundaki kol F kuvveti çevrildiğinde yük r yarıçaplı küçük silindirin çevresi kadar yükselir. 2. Denge koşuluna göre silindirlerin merkezine göre toplam tork sıfır olmalıdır. Bu durum

$\vec{F} \cdot R = \vec{G} \cdot r$ olarak ifade edilir.



Şekil 10.8: Çıkrık

2. Uygulama

İpin sarıldığı silindirin çapı 20 cm olan bir çıkrığa 100 N ağırlığında yük asılmıştır. Kuvvetin uygulandığı kolun uzunluğu 40 cm olduğuna göre kaç newtonluk kuvvet uygulanarak yük dengelenir?

Dişli Çarklar

Dişli çarklar, dönme yönünü ve hızını değiştirebilen basit makinelerdir. Mekanik saatlerin yapısında bulunan dişli çarklar sayesinde akrep ve yelkovanın dönüş süreleri ayarlanmaktadır (Görsel 10.9). Ayrıca bisikletler de ve birçok sanayi makinesinde dişli çarklar kullanılmaktadır. Birbiriyle temas halinde olan dişli çarkların diş sayıları, yarıçapları ile doğru orantılıdır. Birim zamandaki dönme (tur) sayısı ile diş sayıları ise ters orantılıdır. Diş sayısını n, yarıçapı r ve dönme sayısını f ile gösterdiğimizde;

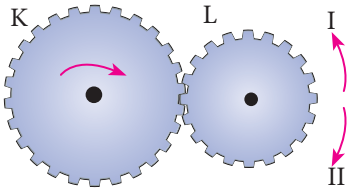
Görsel 10.9: Saatin içindeki dişli çarklar

$$n_1 \cdot f_1 = n_2 \cdot f_2 = n_3 \cdot f_3$$

$$r_1 \cdot f_1 = r_2 \cdot f_2 = r_3 \cdot f_3 \quad \text{olur.}$$

Örnek

K çarkının diş sayısı 30, L çarkının diş sayısı ise 10 olduğuna göre K dişli çarkı 5 kez döndüğünde L çarkı kaç tur atar?



Çözüm

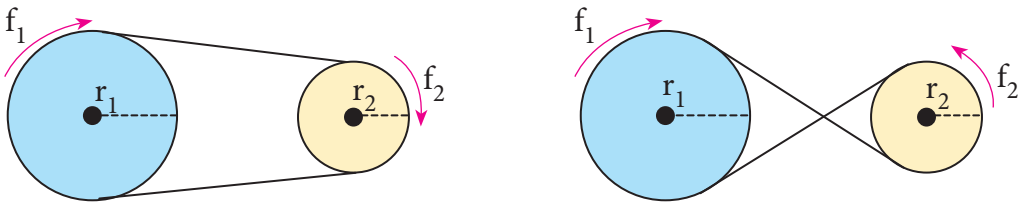
$n_1 . f_1 = n_2 . f_2$

$30 . 5 = 10 . f_2$

$f_2 = 15$ tur olarak bulunur.

Kasnaklar

Kasnaklar dönme hareketini birbirine bir kayış yardımıyla aktaran düzeneklerdir. Kayışın normal bağlanması kasnakların aynı yönde dönmesini sağlar, kayışın çapraz bağlanması ise kasnakların zıt yönde dönmesine neden olur (Şekil 10.9).



Şekil 10.9: Kasnaklar

Her iki durum içinde kasnağın dönme sayıları ve yarıçapları arasında;

$f_1 . r_1 = f_2 . r_2$ bağıntısı geçerlidir.

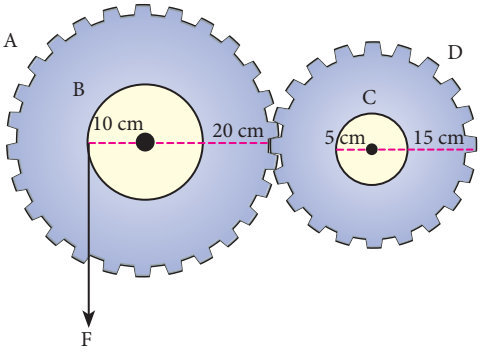
BİLGİ KUTUSU

1. Merkezleri çakışık olan kasnak ve çarkların dönme yönleri aynıdır ve dönme sayıları da eşittir.

2. Dişli ve kasnaklar ortak eksenli değilse aradaki elemanlar iletim görevi görür.

Örnek

20 cm yarıçaplı A çarkı 10 cm yarıçaplı B kasnağı, 15 cm yarıçaplı D çarkı ile 5 cm yarıçaplı C kasnağı eş merkezlidir. F kuvveti ile ip 270 cm çekildiğinde C kasnağı hangi yönde kaç tur döner? (π =3 alınız)



Çözüm

B kasnağının çevresi = $2\pi r = 2.3.10 = 60$ cm

270 cm çekildiğinde kaç tur döneceğini bulalım

270 cm=60.n

$n = \frac{9}{2}$

B kasnağı $\frac{9}{2}$ tur döner. A dişlisi B kasnağı ile eş merkezli olduğundan A kasnağı da 9/2 tur dönecektir. A ve D çarkları arasında

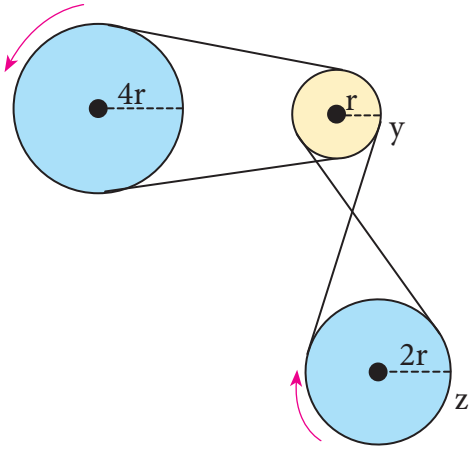
$f_A \cdot r_A = f_D\, r_D$ bağıntısında veriler yerine yazıldığında

$\frac{9}{2} \cdot 20 = f_D\, 15$

$f_D = 6$ tur döner. D dişlisi C kasnağı ile aynı merkezlidir. Dolayısı ile C kasnağıda 6 tur dönecektir.

3. Uygulama

Şekildeki kasnaklardan x kasnağı 3 tur dönüğünde z kasnağı kaç tur döner?



10.2. Basit Makinelerde Verim

Bütün basit makinelerde sürtünmeden dolayı enerji kaybı olur. Sürtünmenin olmadığı varsayılan ideal bir ortamda basit makinenin verimi % 100 kabul edilir, ancak bütün basit makinelerde sürtünme vardır. Sürtünmeli bir ortamda verim makineye

verilen enerji alınan enerjiye oranlanarak bulunur. Basit makinenin verimi aşağıdaki bağıntılar ile hesaplanabilir.

$$\text{Verim} = \frac{\text{alınan iş}}{\text{verilen iş}} = \frac{\text{alınan enerji}}{\text{verilen enerji}} = \frac{\text{yükün kazandığı enerji}}{\text{kuvvetin yaptığı iş}}$$

Örnek

Bir hareketli makarada 80N ağırlığında yük asılıdır ve makaranın ağırlığı 20 N'dur. Kuvvetin uygulandığı ip sabit hızla 1 m çekiliyor bu durumda makaranın verimini hesaplayınız.

Çözüm

Makara ağırlıksız olmadığı için ağırlığını yüke ekleyerek işlem yapmalıyız.

$$F = \frac{G + G_{makara}}{2}$$

$F = \frac{80 + 20}{2}$ =50 N olur. Hareketli makarada kuvvetin bağlı olduğu ip 1 m çekilirse yük yarısı kadar yani 0.5 m yükselir bu durumda verimi hesaplayalım

Kuvvetin yaptığı iş = F. x

= 50.1 = 50 J

Yükün kazandığı enerji = G.h

= 80.0,5

= 40 J

$$\text{Verim} = \frac{\text{yükün kazandığı enerji}}{\text{kuvvetin yaptığı iş}} = \frac{40}{50}$$

Verim = % 80

10.3. Hayatımızı Kolaylaştıran Basit Makinelerden Oluşan Sistem Tasarımları

Basit makinelerin veya basit makine sistemlerinin günlük hayatımızı kolaylaştırmak için kullanıldığını biliyoruz. Bu alanda tasarlanan ve uygulanan makas, açacak, el arabası, maşa, dişliler gibi birçok alet hayatımızın vazgeçilmezleridir. Günlük hayatımızda karşılaştığımız problemlere yönelik farklı tasarımlar geliştirebiliriz. Bazı farklı tasarımlar Görsel 10.10 ve 10.11 de verilmiştir. Siz de günlük hayatınızda karşılaştığınız bir probleme çözüm üreten bir basit makine tasarlayınız. Her alanda olduğu

gibi basit makinelerin kullanıldığı alanlarda iş güvenliği ve sağlığını artıcı tedbirler alınmalıdır. Siz de tasarımınıza başlamadan önce bu tedbirler hakkında bilgi edinmek için araştırma yapınız.

Görsel 10.10: Hamur açma makinesi

Görsel 10.11: Archimedes (Arşimed) su vidası

BİLGİ KUTUSU

Yapılan özgün tasarımlar için Türk Patent Enstitüsü'ne başvurularak patent alınabilmektedir. www.turkpatent.gov.tr genel ağ adresinden bu konuda ayrıntılı bilgi alabilirsiniz.

Bölüm Sonu Soruları

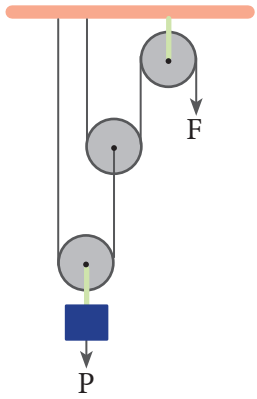
1. Aşağıda verilen aletlerin hangisi veya hangilerinde destek ortadadır?

el arabası

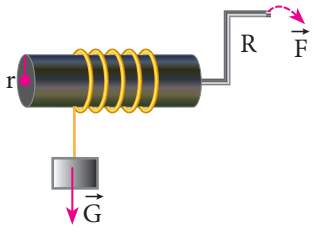
maşa

pense

2. Makaraların ağırlıkları ve sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde F kuvveti kaç P'ye eşittir.



3. $\vec{F}$ kuvveti ile $\vec{G}$ yükünün dengelendiği şekildeki çıkrıkta F kuvvetinin büyüklüğü aşağıda verilen niceliklerden hangisinin artması ile azalır.

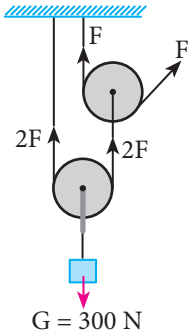


I. Silindirin yarıçapı (r)

II. Çıkrık kolunun yarıçapı (R)

III. G cisminin ağırlığı

Uygulama Sorularının Çözümleri



1. G = 4F

$$F = \frac{G}{4} = \frac{300}{4} = 75\ N$$

2. F . R = G . r

F . 0,4 = 100 . 0,1

F = 25 N

3. Dişli ve kasnaklar ortak eksenli değilse aradaki elemanlar iletim görevi görür, dolayısıyla

$f_x . 4r = f_z . 2r$

$3 . 4r = f_z . 2r$

f_z = 6 tur döner.

Bölüm Sonu Sorularının Cevapları

1. Pense

2. $\frac{1}{4}$

3. II Çıkrık kolunun yarıçapı (R)

1. ÜNİTE ÖZETİ

1. VEKTÖRLER

Yönlendirilmiş doğru parçası **vektör** olarak adlandırılır. Vektörel bir büyüklüğün özellikleri şiddeti (büyüklüğü), başlangıç (uygulama) noktası, doğrultusu, yönü olarak belirtilir. Vektörel büyüklük, harfin üzerine küçük ok konulur ve $\vec{A}$ şekilinde gösterilir.

Bir vektörün tersi, vektörün yönü ters çevrilip başına eksi (–) işareti konularak bulunur. İki vektörün yönü, doğrultusu ve şiddeti eşit ise vektörler birbirine eşit vektörler olarak adlandırılır.

Bir Vektörün Skaler Bir Sayı İle Çarpımı

Pozitif bir sayı ile çarpıldığında vektörün büyüklüğü değişir, yönü ve doğrultusu değişmez, negatif sayı ile çarpıldığında ise vektörün yönü de değişir, büyüklüğü çarpıldığı sayıya göre katı alınarak bulunur.

Kartezyen Koordinat Sistemi

Birbirine dik x ve y eksenlerinin kesişmesiyle oluşan koordinat sistemine iki boyutlu **kartezyen koordinat sistemi** denir. $\vec{A}_x$, $\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki bileşeni, $\vec{A}_y$ ise y ekseni üzerindeki bileşeni olmak üzere $\vec{A}$ vektörü $\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y$ olur. İki boyutlu Kartezyen koordinat sisteminde $\vec{A}$ (x,y) olarak ifade edilir. Birbirine dik x, y, z eksenlerinin kesişmesi ile oluşan koordinat sistemi ise **üç boyutlu koordinat sistemi** denir. $\vec{A}_x$, $\vec{A}$ vektörünün x ekseni üzerindeki bileşeni, $\vec{A}_y$ ise y ekseni üzerindeki bileşeni $\vec{A}_z$ ise z ekseni üzerindeki bileşeni olmak üzere $\vec{A}$ vektörü $\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y + \vec{A}_z$ olur. Üç boyutlu Kartezyen koordinat sisteminde $\vec{A}$ (x,y,z) olarak ifade edilir.

Vektörlerin Bileşkesinin Bulunması

Birden fazla vektörün toplanmasıyla elde edilen vektöre **bileşke vektör** denir, $\vec{R}$ sembolü ile gösterilir. Bileşke vektör uç uca ekleme veya paralel kenar yöntemleri kullanılarak bulunabilir.

Uç Uca Ekleme (Çokgen) Yöntemi

Vektörlerden bir tanesi seçilerek diğer vektör yönü doğrultusu ve büyüklüğü değiştirilmeden ucuna eklenir, varsa diğer vektörler de uç uca eklenir. Son vektör de eklendikten sonra ilk vektörün başlangıç noktasından son vektörün bitiş noktasına çizilen doğru bileşke vektörü verir.

Paralel Kenar Yöntemi

Vektörlerinin başlangıç noktaları birleştirilir, herbir vektörünün ucuna diğer vektöre paralel doğru çizilir ve çizilen doğruların kesiştiği nokta işaretlenir, bu noktadan vektörlerin birleştiği noktaya doğru çizilen bileşke vektörü verir.

Cosinüs Teoremi

Aralarında θ açısı bulunan $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin bileşkesi büyüklüğü, cosinüs teoremi ile bulunur. Cosinüs Teoremine göre bileşke vektör;

$R^2 = A^2 + B^2 + 2\,A\,.\,B\,.\,\cos\theta$ bağıntısı ile hesaplanır.

Vektörlerde Çıkarma işlemi

Çıkarılacak olan vektörün yönü ters çevrilir ve uç uca ekleme yöntemi uygulanır. Başka bir yöntem de vektörlerinin başlangıç noktaları bir araya getirilir ve çıkarılan vektörün bitiminden diğer vektörünün bitiş noktasına çizilen vektör iki vektörün farkını verir.

Vektörlerin Bileşenlere Ayrılması

A vektörünün x ekseni üzerindeki izdüşümü $\vec{A}_x$, y ekseni üzerindeki izdüşümü $\vec{A}_y$ bileşeni olarak gösterildiğinde dik üçgende $\vec{A}$ vektörünün yatayla yaptığı açının cosinüs ve sinüs değerlerinden yararlanılarak bileşenlerin sayısal değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\cos\alpha = \frac{A_x}{A} \qquad A_x = A\cos\alpha$$

$$\sin\alpha = \frac{A_y}{A} \qquad A_y = A\sin\alpha$$

$$\vec{A} = \vec{A}_x + \vec{A}_y$$

$\vec{A}$ vektörünün büyüklüğü ise $A = \sqrt{A_x^2 + A_y^2}$ olur.

Bileşke vektör, bileşenlere ayırma yöntemi yardımıyla da bulunabilir. Bütün vektörler ayrı ayrı bileşenlerine ayrıldıktan sonra vektörlerin x bileşenleri toplanarak bileşke vektörün R_x, y bileşenleri toplanarak R_y bileşeni bulunur. Bileşke vektör bu iki vektörün vektörel toplamına eşittir $\vec{R} = \vec{R}_x + \vec{R}_y$ olur. Bileşke vektörün büyüklüğü

$$R^2 = R_x^2 + R_y^2$$

$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$ bağıntısıyla hesaplanır. Bileşke vektörün x ekseni ile yaptığı açı α olarak kabul edilirse doğrultusu;

$$\tan\alpha = \frac{R_y}{R_x}$$

2. BAĞIL HAREKET

Sabit Hızlı İki Cismin Birbirine Göre Hareketi

Bir hareketlinin herhangi bir referans sistemindeki gözlemciye göre hareketine bağıl (göreceli) hareket, hızına ise **bağıl hız** denir. Hareket hâlinde olan iki cismin birine göre diğerinin hızı ($\vec{v}_{bağıl}$), gözlenenin hızı ($\vec{v}_{gözlenen}$)ile gözlemcinin hızının ($\vec{v}_{gözlemci}$) vektörel olarak farkına eşittir.

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$

Aynı doğrultuda hareket eden sabit hızlı cisimlerin bağıl hızı bulunurken;

Hareketlilerin hız vektörleri çizilir, gözlemcinin hız vektörü ters çevrilir. Daha sonra gözlenenin hız vektörü ile gözlemcinin hız vektörünün tersi ile toplanır.

Hareketli Bir Ortamdaki Sabit Hızlı Cisimlerin Farklı Gözlem Çerçevelerine Göre Hareketi

Hareketli ortamda bulunan sabit hızlı cisimlerin farklı gözlem çerçevelerine göre hareketi incelenirken bileşke hızı alınır. Cismin bileşke hızı, cismin kendi hızı (yere göre veya seçilen referans sistemine göre hızı) ile hareketli ortamın hızının bileşkesine eşittir ve

$\vec{v}_{bileşke} = \vec{v}_A + \vec{v}_B$ şeklinde ifade edilir. Bu durumu bir örnek üzerinden açıklayalım:

Hareket etmekte olan ve hızı $\vec{v}_G$ olan geminin için de bir yolcu, gemi ile aynı doğrultuda gemiye göre $\vec{v}_Y$ hızı ile yürümektedir. Kıyıda bulunan bir gözlemciye göre yolcunun hızı; $\vec{v}_{bileşke} = \vec{v}_G + \vec{v}_Y$ olarak ifade edilir. Bu ifadede vektörel toplam yapıldığı ve yönlere dikkat edilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

3. NEWTON'IN HAREKET YASALARI

1. Hareket Yasası: Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet sıfır ise bu cisim duruyorsa durmaya, hareket hâlinde ise sabit hızla hareketine devam eder.

2. Hareket Yasası (Dinamiğin Temel Prensibi): Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet sıfırdan farklı ise bu kuvvetin etkisi ile cismin hızı değişir ve ivmeli hareket yapar. Cismin ivmesinin yönü net kuvvetle aynı yönde olur. Cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımı net kuvvete eşittir ve $\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$ bağıntısı ile ifade edilir.

3. Hareket Yasası: Birbirine temas eden A ve B cisimlerinden A cismi B cismine bir etki uyguladığında B cismi de A cismine eşit fakat zıt yönde bir kuvvet uygular. Bu kuvvet tepki kuvveti olarak adlandırılır.

Net Kuvvetin Yönünün Bulunması ve Hesaplanması

Net kuvvetin hesaplanması için sisteme etki eden kuvvetler serbest cisim diyagramı üzerinde ayrı ayrı gösterilir. Ortam sürtünmeli olduğunda sürtünme kuvvetinin de hesaplanması gerekldir.

Cisim durgun hâlde iken cisimle yüzey arasındaki statik sürtünme kuvveti; $F_{ss} = k_s \cdot N$ ile hesaplanır ve duran cismi harekete geçirebilecek en küçük kuvvete eşittir.

Cisim hareket hâlinde iken cisimle yüzey arasındaki kinetik sürtünme kuvveti ise $F_{ks} = k_{ks} \cdot N$ ile hesaplanır ve cismin sabit hızla hareket etmesi için gerekli en küçük yatay kuvvete eşittir. Newton'ın 2.hareket yasasına göre;

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

$F - F_s = m \cdot a$

Statik ve kinetik sürtünme katsayıları arasındaki farkın ihmal edildiği durumlarda sürtünme katsayısı tek bir katsayı (k) olarak verilir.

$F_{net} = F - k_k \cdot N = m \cdot a$ olur.

4.BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Doğru boyunca hareket eden bir hareketlinin hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarda değişiyorsa bu hareketin ivmesi sabittir ve yaptığı hareket **düzgün değişen doğrusal hareket** veya **sabit ivmeli hareket** olarak adlandırılır.

Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket

Hareketlinin hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarda değişmesi (artması veya azalması) ivmesinin sabit olduğu anlamına gelir. Hız değişimi Δv ile gösterilir ve ilk hız ile son hız arasındaki fark $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ ile bulunur. Birim zamandaki hız değişimi olan ivme

$\vec{a} = \dfrac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$ ile ifade edilir. İvme-zaman grafiğinde grafik çizgisi ile zaman ekseni arasındaki alan hız değişimin verir.

Bir hareketlinin hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarda artıyorsa hareketlinin yaptığı harekete **düzgün hızlanan doğrusal hareket** denir. Bir hareketlinin hızı eşit zaman aralıklarında eşit miktarda azalıyorsa hareketlinin yaptığı harekete ise **düzgün yavaşlayan doğrusal hareket** denir. Düzgün hızlanan harekette ivme pozitif, düzgün yavaşlayan harekette ivme negatif olur.

Sabit ivmeli harekette konum-zaman grafiğinde t anındaki hız, eğriye o noktada çizilen teğetin eğimi ile bulunur ve bu hıza **anlık hız** denir. Sabit ivmeli harekette konum-zaman grafiğinde eğriye t_1 ve t_2 noktalarında çizilen kirişin eğimi hızı verir bu hıza bu zaman aralığındaki **ortalama hız** denir. Düzgün hızlanan hareket ve düzgün yavaşlayan hareket için türetilen formüller aşağıdaki gibidir.

Düzgün hızlanan doğrusal hareket denklemleri	**Düzgün yavaşlayan doğrusal hareket denklemleri**
$v = v_0 + a \cdot t$	$v = v_0 - a \cdot t$
$x = v_0 t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$	$x = v_0 t - \frac{1}{2} a \cdot t^2$
$v^2 = v_0^2 + 2\, a \cdot x$	$v^2 = v_0^2 - 2\, a \cdot x$

Hız-zaman grafiğinde grafik ile zaman ekseninin sınırladığı alanlardan, zaman ekseninin üstündeki alan (+), altındaki alan (–) alınırsa alanların cebirsel toplamı yer değiştirmeye eşit olur.

Hava Direncinin Olmadığı Yerde Serbest Düşme Hareketi

Hava direncinin ve diğer etkenlerin ihmal edildiği bir ortamda serbest bırakılan cisme yer çekimi kuvveti yani cismin ağırlığı kadar kuvvet etki eder. Serbest bırakılan cismin ivmesi Newton'ın II. Hareket Kanunu'ndan yaralanarak a=g olarak bulunur ve cismin ivmesinin cismin kütlesinden bağımsız olduğu görülür. m kütleli cisme etki eden kuvvet yer çekimi kuvvetin etkisindeki m cismi düzgün hızlanan hareket yapar. Düzgün hızlanan hareket formüllerinde a yerine g yazılarak serbest düşme hareketinin formülleri cisim serbest bırakıldığı için ilk hız sıfır olur.

$v = g\, t$ $\qquad$ $x = \frac{1}{2} g \cdot t^2$ $\qquad$ $v^2 = 2\, g \cdot x$ $\qquad$ ile ifade edilir.

Hava Direncinin Olduğu (Sürtünmeli) Ortamda Serbest Düşme Hareketi

Hava sürtünmesinin olduğu bir ortamda hava içinde serbest düşen cisme hareket yönüne zıt yönde bir kuvvet etki eder bu kuvvet havanın direnç kuvveti olarak adlandırılır ve R ile gösterilir. Havanın direnç kuvvetinin büyüklüğü cismin şekline, ortamın özelliklerine bağlıdır. Havanın direnç kuvveti hızın karesi ile orantılı olarak artar. Cismin hareket doğrultusuna dik en büyük kesit alanı A, cismin şekline bağlı katsayı k ile gösterildiğinde havanın direnç kuvveti;

$R = k \cdot A \cdot v^2$ bağıntısı ile ifade edilir.

Limit Hız

Serbest düşen cisme etki eden kuvvetler cismin ağırlığı ve havanın direnç kuvvetidir. Cisme etki eden kuvvetler,

$\vec{F}_{net} = \vec{G} + \vec{R}$ olarak ifade edilir.

$F_{net} = G - R$

G ve R değerleri yerine yazılırsa

$\vec{F}_{net} = m \cdot g - k \cdot A \cdot v^2$ olur.

Serbest düşen cismin hızı arttıkça net kuvvet ve ivme azalır. Bir süre sonra havanın direnç kuvveti cismin ağırlığına eşit bir değere ulaştığında net kuvvet sıfır olur. Net kuvvet sıfır olduğunda ivme sıfır olur ve cisim sabit hıza ulaşır, cismin ulaştığı bu sabit hıza **limit hız** denir. Hareketlinin ağırlığı ile havanın direnç kuvvetinin eşit olduğu bu noktada limit hız; $m \cdot g = k \cdot A\, v^2_{lim}$

$$v_{lim} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k \cdot A}}$$

Hava Direncinin Olmadığı Yerde Düşey Atış Hareketi

Bir cisme düşey doğrultuda bir ilk hız verilerek fırlatılmışsa yaptığı harekete düşey atış hareketi olarak adlandırılır. Düşey atış hareketi; aşağıdan yukarıya yukarıdan aşağıya olmak üzere iki şekildedir.

Aşağı Yönlü Düşey Atış Hareketi

Düşey doğrultuda ilk hız verildiği için serbest düşme hareketi formüllerine ilk hız eklenir ve;

$$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2}\, g \cdot t^2$$

$$v^2 = v_0^{\,2} + 2\, g \cdot h$$

$v = v_0 + g \cdot t$ formülleri elde edilir.

Yukarı Yönlü Yönlü Düşey Atış Hareketi

Yerden yukarı doğru v_0 ilk hızı ile fırlatılan cisim düzgün yavaşlayan hareket yaparak yükselir, hızı sıfır olduğunda ulaştığı maksimum yükseklikten aşağı doğru serbest düşme hareketi yapar ve yükseklik ve hız formülleri;

$$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2}\, g \cdot t^2$$

$$v^2 = v_0^{\,2} - 2\, g \cdot h$$

$v = v_0 - g \cdot t$ şeklinde olur.

5. İKİ BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Yatay Atış Hareketi

Yerden yüksekte bir noktadan yatay doğrultuda v_0 hızı ile atılan cismin yaptığı harekete **yatay atış** hareketi denir. Yatay atış hareketi yapan cisme (hava sürtünmelerinin ihmal edildiği ortamda) yatay doğrultuda etki eden bir kuvvet olmadığı için düzgün doğrusal hareket yapar ve hızı yatay doğrultudaki $v_x = v_o$ olur. Yatay doğrultuda yaptığı yer değiştirme ise $x = v_o\ t$ bağıntısı ile hesaplanır. Yatay atış hareketi yapan cisim düşey doğrultuda g ivmesi ile düzgün hızlanan hareket yapar ve ilk hızı olmayan serbest düşme hareketindeki bağıntılar geçerlidir.

Düşey doğrultudaki yer değiştirme $h = -\frac{1}{2}\ g\ t^2$, düşey doğrultudaki hızı $v_y = g\ t$, herhangi bir andaki hızı $v^2 = v_x^{\ 2} + v_y^{\ 2}$ bağıntısı ile hesaplanır.

Eğik Atış Hareketi

Yatay doğrultu ile belli bir açı yapacak şekilde fırlatılan cismin hareketi **eğik atış hareketi** olarak adlandırılır. Eğik atış hareketi yapan cismin (hava sürtünmelerinin ihmal edildiği ortamda) ilk hızının yatay bileşeni $v_{0x} = v_0 \cos\alpha$, düşey bileşeni ise

$v_{0y} = v_0 \sin\alpha$ olarak ifade edilir. Eğik atış yapan cisim yerçekimi ivmesinin etkisi altındadır ve hız vektörünün yönü ve doğrultusu zamanla değişmektedir. Cisme yatay doğrultuda etki eden kuvvet bulunmadığı için yatay doğrultuda düzgün doğrusal hareket yapar. Cismin hızının yatay bileşeni sabittir; $v_x = v_{0x}$ olur. Eğik atış hareketinde cisim düşey doğrultuda yukarı yönlü düşey atış hareketi yapar. İlk hızın büyüklüğünün düşey bileşeninin v_{0y} olan cismin t anındaki hızının düşey bileşeni; $v_y = v_{0y} - gt$ şeklindedir. Eğik atılan cisim düzgün yavaşlayan hareket yaparak yükselir ve maksimum yüksekliğe ulaşır. Cismin t anında yerden yüksekliği ise;

$h = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2}\ g \cdot t^2$ bağıntısı ile hesaplanır.

Maksimum yükseklik $h_{max} = \frac{v_{oy}^{\ 2}}{2g}$ bağıntısı ile hesaplanır. Maksimum yüksekliğe ulaştığında hızı sıfır olur bu noktadan itibaren düzgün hızlanan hareket yapar. Cismin maksimum yüksekliğe ulaşma süresi çıkış süresi, cismin havada kalış süresi uçuş süresi olarak denir ve $t_{çıkış} = \frac{v_{oy}}{g}$, $t_{uçuş} = 2\ t_{çıkış}$ olarak ifade edilir.

Eğik atışta cismin yatay doğrultuda yaptığı yer değiştirmeye **menzil** adı verilir. Menzil; $x_{menzil} = v_{ox}\ t_{uçuş}$ bağıntısı ile hesaplanır.

6. ENERJİ VE HAREKET

Yapılan İş ve Enerji Arasındaki İlişki

Sürtünmesiz yatay düzlemde m kütleli cisme etki eden F kuvvetinin yaptığı iş cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir.

$W = \Delta E_{kinetik}$

Cisme etki eden kuvvet ile cismin yaptığı yer değiştirme arasındaki grafikte zaman ekseni ile grafik arasındaki alan yapılan işi verir.

$W = F \cdot \Delta x = E_{son} - E_{ilk}$

Esneklik Potansiyel Enerjisi

Yay, lastik gibi esnek maddeleri germek için kullanılan kuvvetin büyüklüğü yayın uzunluğundaki değişim ile doğru orantılıdır, bu durum **Hook Kanunu** olarak adlandırılır. Sarmal bir yayın uzaması için gereken kuvvetin büyüklüğü;

$\vec{F}_{yay} = -k \cdot x$ bağıntısı ile bulunur (k yayın cinsine bağlı katsayı). (–) işareti yaya uygulanan kuvvet ile yaydaki gerilme kuvvetinin zıt yönlü olduğunu gösterir.

Esnek cisimlere kuvvet uygulandığında cisim üzerinde depolanan enerjiye esneklik potansiyel enerjisi denir. Esneklik potansiyel enerjisi;

$E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2$ bağıntısı ile hesaplanır. Yaya etki eden kuvvetin yaptığı iş esneklik potansiyel enerji değişimine eşittir ve $W = \Delta E_p$ olarak ifade edilir.

Mekanik Enerjinin Korunumu

Bir sisteme dışarıdan bir kuvvet etki etmediği sürece (sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda) mekanik enerji korunur. Cismin ilk durumdaki toplam enerjisi son durumdaki toplam enerjisine eşit olur ve

$E_{ilk} = E_{son}$

$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$ olarak ifade edilir.

Sürtünmeli Yüzeylerde Enerjinin Korunumu ve Dönüşümü

Sürtünmeli ortamlarda iş yapmak için harcanan enerjinin bir kısmı hedefle en işe dönüşmez. Cismin kinetik enerjisindeki değişim sürtünme kuvvetinin yaptığı işe eşittir ve $W_{sür} = \Delta Ek$ olarak ifade edilir. Net iş, uygulanan kuvvetin yaptığı iş ile sürtünme kuvvetinin yaptığı işin farkı alınarak bulunur ve $W_{net} = W - W_{sür}$ bağıntısıyla hesaplanır. Net iş, net kuvvetin yaptığı işi bularak da hesaplanabilir.

7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

Momentum çizgisel ve açısal olmak üzere iki başlık altında incelenir. Çizgisel momentum çizgisel hız kullanılarak hesaplanır. Bir cismin kütlesi ve hızının çarpımına **momentum** denir. Momentum vektörel bir büyüklüktür, P sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi kgm/s'dir. Momentum;

$\vec{P} = m \cdot \vec{v}$ bağıntısı ile hesaplanır. Momentumun zamana bağlı değişim grafiğinde grafiğin eğimi cismin kütlesini verir.

Bir cisme uygulanan kuvvet ile kuvvetin uygulama süresinin çarpımına **itme** denir. İtme I sembolü ile gösterilir ve birimi N.s'dir. İtme vektörel bir büyüklük olup $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$ bağıntısı ile hesaplanır. Kuvvetin zamana bağlı değişim grafiğinde grafikle zaman ekseni arasında kalan alan itmeyi verir. Bir cismin momentumunda meydana gelen değişiklik cisme etki eden net kuvvet ile uygulama süresinin çarpımına eşittir ve

$\Delta\vec{P} = \vec{F} \cdot \Delta t$

$\Delta\vec{P} = \vec{I}$ olarak ifade edilir.

Çizgisel Momentumun Korunumu

Cisme etki eden kuvvetlerin toplamı (net kuvvet) sıfır ise sistemin momentumu sabittir başka bir ifade ile momentum korunur. Çarpışmalar patlamalar gibi tepkili sistemlerde momentum korunmaktadır. Sistemin çarpışmadan önceki momentumları toplamı, çarpışmadan sonraki momentumları toplamına eşittir, bu durum **momentumun korunumu kanunu** olarak adlandırılır. Çarpışmadan sonraki momentumları P' ile gösterildiğinde momentum korunumu

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

$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}'_1 + \vec{P}'_2$ olarak ifade edilir.

Çarpışmalar

Dış kuvvetlerden yalıtılmış bir ortamda momentum korunur. Cisimlerin kütle merkezleri doğrultusunda gerçekleşen çarpışmalar **merkezî çarpışmalar** olarak adlandırılmaktadır. Kütle merkezi doğrultusunda gerçekleşmeyen çarpışmalara ise **merkezî olmayan çarpışmalar** denir.

Çarpışmadan önce ve sonra toplam momentum ve toplam kinetik enerjinin sabit kaldığı (korunduğu) çarpışmalara **esnek çarpışma** denir. Esnek çarpışan iki cisim kütle merkezleri doğrultusunda çarpışıyorlarsa yaptıkları çarpışmaya **merkezî esnek çarpışma** olarak adlandırılır. Esnek çarpışmalarda kinetik enerjinin korunumundan yararlanılarak $\vec{v}_1 + \vec{v}'_1 = \vec{v}'_2 + \vec{v}_2$ eşitliği elde edilir.

Çarpışma öncesinde ve sonrasında toplam momentumun korunduğu ancak kinetik enerjinin korunmadığı çarpışmalara **esnek olmayan çarpışma** olarak adlandırılır. Araçları çarpışması ve cisimlerin birbirlerine kenetlenerek ortak hızla hareket ettiği durumları esnek olmayan çarpışmaya örnek verilebilir. Ortak kütlenin kinetik enerjisi, cisimlerin ilk kinetik enerjileri toplamından küçük olur. Cisimlerin kenetlenmesi sırasında ısı açığa çıkar.

8. TORK

Kuvvetin, uygulandığı cismi bir eksen etrafında döndürme etkisi **tork** olarak adlandırılır. τ sembolü ile gösterilir ve birimi N . m'dir. Tork, kuvvetin büyüklüğü ve kuvvetin dönme eksenine olan dik uzaklığına bağlı bir vektörel bir büyüklüktür.

Tork cisme uygulanan kuvvet ile kuvvetin dönme eksenine olan dik uzaklığın çarpımına eşittir; $\vec{\tau} = \vec{F} \cdot d$ bağıntısı ile hesaplanır.

O noktası çubukla etrafında dönebilen r uzunluğunda çubuğa uygulanan F kuvveti θ açısı yaptığında tork; kuvvetin etki çizgisine olan dik uzaklık ile kuvvetin çarpımı ile bulunur. Kuvvetin etki çizgisine olan dik uzaklığa moment kolu veya kuvvet kolu denir. F kuvveti çubukla θ açısı yaptığında kuvvetin bileşenlerinden yalnızca çubuğa dik olan bileşenin döndürme etkisi vardır. Doğrultusu dönme ekseninden geçen bileşenin döndürme etkisi yoktur. Bu durum bir kapı veya camı menteşesi doğrultusunda itildiğinde döndürme etkisinin olmaması örnek olarak verilir.

Torkun yönü sağ el kuralı ile bulunur, sağ elimizin dört parmağı kuvvetin doğrultusunda uzatıp daha sonra kuvvet yönünde kıvrıldığında açık duran baş parmak torkun yönünü gösterir.

9. DENGE VE DENGE ŞARTLARI

Bir cismin dengede olabilmesi için gereken şartlar;

1. Cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır olmalıdır.

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \ldots = 0$$

$$\vec{R}_x = 0, \vec{R}_y = 0$$

2. Cisme etki eden kuvvetlerin herhangi bir noktaya göre torkları toplamı sıfır olmalıdır.

$$\vec{\tau}_{top} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 + \vec{\tau}_3 + \ldots = 0$$

Kütle ve Ağırlık Merkezi

Bir cismi küçük noktasal parçacıklardan oluşmuş kabul edildiğinde cismin ağırlığı bu noktasal parçacıkların ağırlıklarının bileşkesinin uygulama noktasına ise **ağırlık merkezi** denir. Cisim tüm kütlesinin toplandığı kabul edilen noktaya ise **kütle merkezi** denir. Yer çekimi ivmesinin sabit olduğu durumda kütle ve ağırlık merkezi aynı nokta olur. Düzgün ve türdeş cisimlerin ağırlık merkezi simetri ekseni ve simetri düzlemi üzerinde olur.

10. BASİT MAKİNELER

Basit makineler iş yapma kolaylığı sağlayan makinelerdir. Bu basit makineler; makara sistemleri, kaldıraç, çıkrık, vida, dişliler, eğik düzlem ve kasnaklardır. Makas, anahtar, el arabası veya tornavida gibi gereçlerin çalışma prensibi basit makinelerin çalışma prensibine dayanır.

Basit makineler; kuvvetin yönünü değiştirmek veya kuvvetten ya da yoldan kazanç sağlamakta kullanılabilir. Kuvvetten kazanç sağlayan bir basit makinede yoldan kayıp, yoldan kazanç sağlayan bir basit makinede kuvvetten kayıp vardır. Basit makinelerde işten kazanç olmaz.

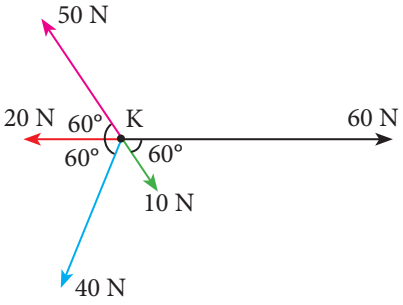
Yükün ağırlığının uygulanan kuvvete oranına **kuvvet kazancı** denir.

Basit makinelerde sürtünmeden dolayı yapılan işin tamamı enerjiye dönüşemez. Sürtünmeli bir basit makinede verim % 100 olamaz. Basit makinelerde verim aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır;

$$\text{Verim} = \frac{\text{alınan iş}}{\text{verilen iş}} = \frac{\text{alınan enerji}}{\text{verilen enerji}} = \frac{\text{yükün kazandığı enerji}}{\text{kuvvetin yaptığı iş}}$$

1. ÜNİTE DEĞERLENDİRME SORULARI

1. K noktasına etki eden kuvvetler şekilde verilmiştir. K noktasına etki eden kuvvetlerin bileşkesi kaç newtondur?



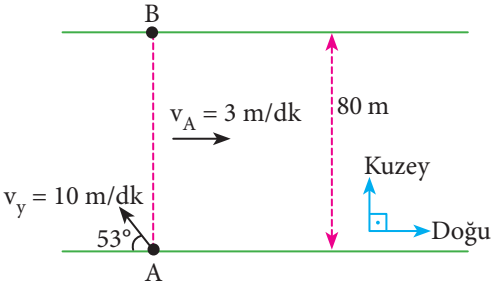
A) 60 N B) 40 N C) 30 N D) 0

2. A ve B araçları doğuya doğru sabit hızlarla gitmektedir. A aracının hızı 3v, B aracının v dir. B aracındaki gözlemci A aracını hangi hızla görür?

A) doğu yönünde 3v B) doğu yönünde v

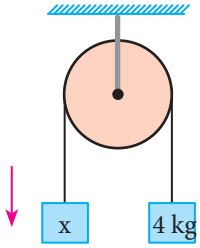
C) batı yönünde 4v D) doğu yönünde 2v

3. Doğuya doğru sabit ve 3 m/dk hızla akan nehrin kıyısındaki A noktasından suya göre şekildeki gibi v_y = 10 m/s hızla harekete başlayan yüzücünün karşı kıyıya vardığı nokta B'den kaç metre uzaktadır? (sin53° = 0,8, cos53° = 0,6)



A) 15 B) 30 C) 45 D) 50

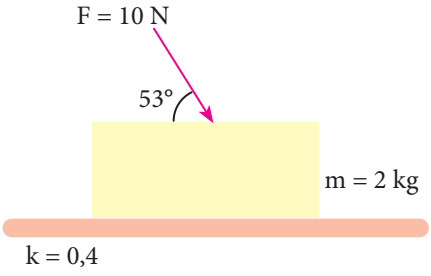
4. Şekildeki sistem serbest bırakıldığında X cisminin ivmesi ok yönünde ve 6 m/s² ye eşit oluyor. Buna göre X cisminin kütlesi kaç kg olur?



A) 16 B) 12 C) 8 D) 6

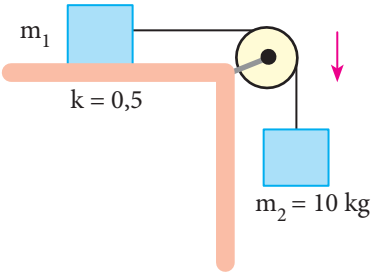
5. Sürtünmeli yatay düzlemde bulunan cisme şekildeki gibi F kuvveti etki etmektedir. Buna göre cisim 4 s'de kaç metre yol alır?

(sin53° = 0,8, cos53° = 0,6)



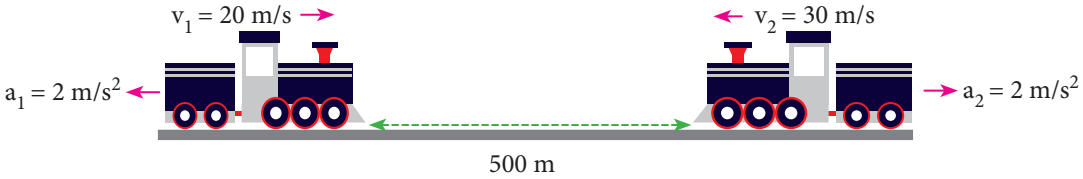
A) 15 B) 20 C) 24 D) 25

6. Şekildeki düzenekte kütleler sabit hızla hareket ettiğine göre m_2 kütlesi kaç kg'dır?



A) 5 B) 10 C) 15 D) 20

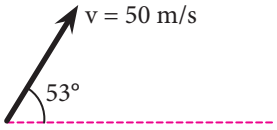
7.



Tek hatlı demir yolundaki trenler aralarında 500 m'lik mesafe kaldığıda şekilde belirtilen ivmelerde yavaşlamaya başlıyor. Trenler durduğunda aralarındaki mesafe kaç metre olur?

A) 25 B) 100 C) 175 D) 200

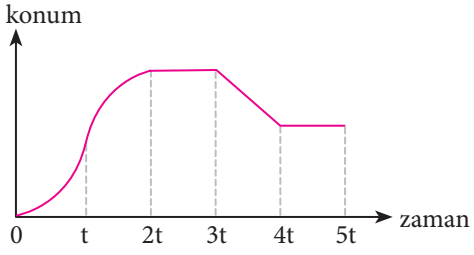
8. Hava sürtünmesinin ihmal edildiği bir ortada bir okçu, okunu yatay ile 53°'lik açı yapacak şekilde 50 m/s hızla fırlatıyor. Okun maksimum yükseklikteki hızı ve yere çarpma hızı aşağıdaki seçeneklerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

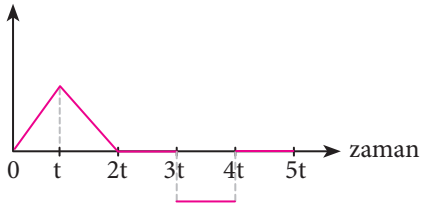


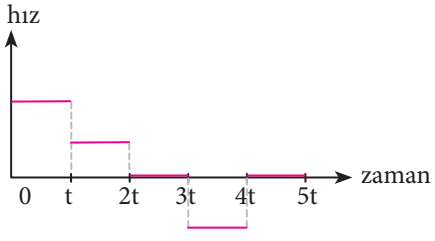
A) 20 m/s – 20 m/s B) 30 m/s – 50 m/s

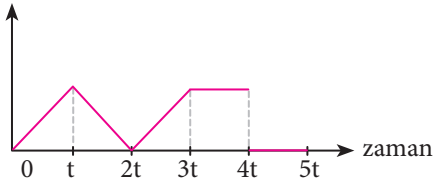
C) 20 m/s – 50 m/s D) 50 m/s – 30 m/s

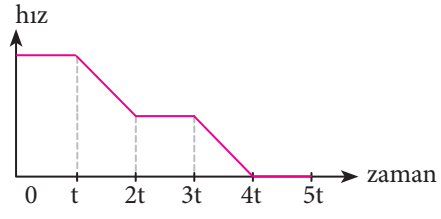
9. Konum-zaman grafiği şekilde verilen bir hareketlinin hız-zaman grafiği aşağıdakilerden hangisidir?



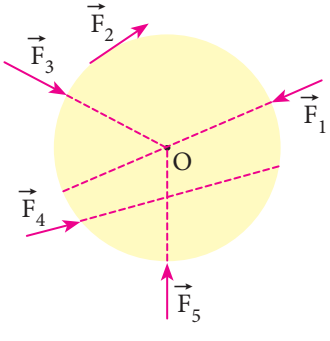
A)


B)


C)


D)


10. O noktası etrafında dönebilen şekildeki levhaya uygulanan kuvvetlerin hangisi veya hangilerinin döndürme etkisi vardır?



A) $\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_5$

B) $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_4$

C) $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_4$

D) $\vec{F}_1$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}_5$

11. Torkun birimi aşağıdakilerden hangisidir?

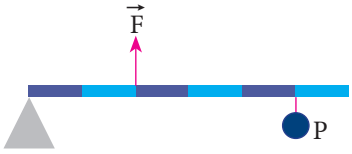
A) metre

B) Newton . metre

C) Newton

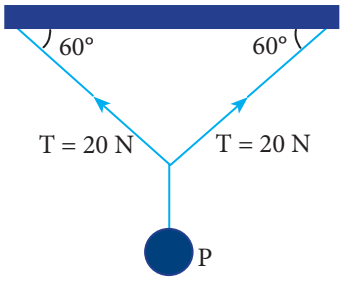
D) Nevton . saniye

12. Eşit bölmeli türdeş çubuğun ağırlığı P kadardır. F kuvveti ile çubuk dengede olduğuna göre F kuvveti kaç P değerindedir?



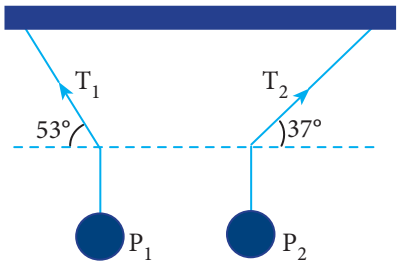
A) 1 B) 2 C) 3 D) 4

13. Şekildeki sistem dengededir. Buna göre P cismi kaç newtondur?



A) 40 B) $10\sqrt{3}$ C) 20 D) 10

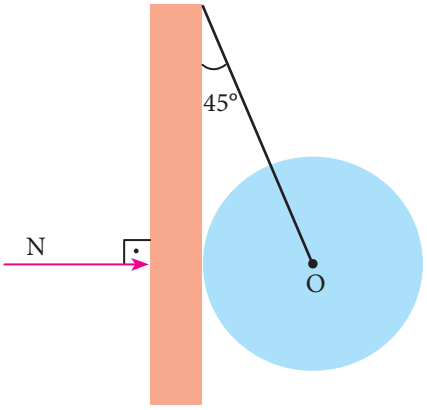
14. Şekildeki sistem dengede olduğuna göre, ipler-deki gerilme kuvvetleri oranı $\frac{T_1}{T_2}$ kaçtır?



A) $\frac{4}{3}$ B) 1 C) $\frac{T_1}{T_2}$ D) $\frac{1}{3}$

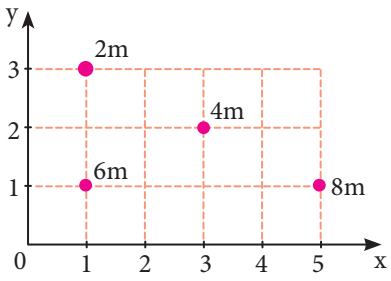
15. Şekilde verilen küre dengededir. Duvarın tepki kuvveti N kürenin ağırlığı P ile gösterildiği $\frac{N}{P}$ oranı kaçtır?

$(\sin 45° = \cos 45° = \frac{\sqrt{2}}{2})$



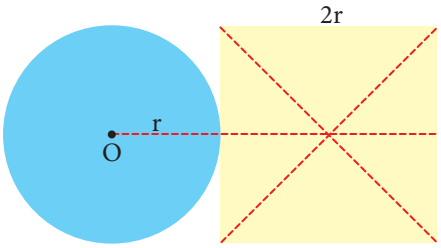
A) 1 B) 2 C) 3 D) 4

16. 2m, 4m, 6m, ve 8m kütleli cisimlerin yerleştirildiği şekildeki koordinat sisteminin kütle merkezinin koordinatları aşağıdakilerden hangisidir?



A) $\left(3, \frac{5}{4}\right)$ B) $\left(\frac{7}{5}, 3\right)$ C) $\left(3, \frac{7}{5}\right)$ D) $\left(6, \frac{3}{2}\right)$

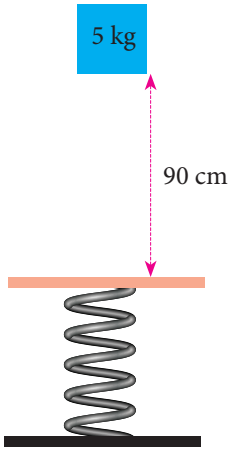
17. Aynı levhadan kesilmiş şekildeki A ve B levhalarının birleştirilmesi ile oluşan şeklin kütle merkezi O noktasından kaç r uzaklıkdadır? $(\pi = 4)$



A) $\left(\frac{8}{5}\right)$ B) $\frac{8}{7}$ C) $\frac{5}{8}$ D) 1

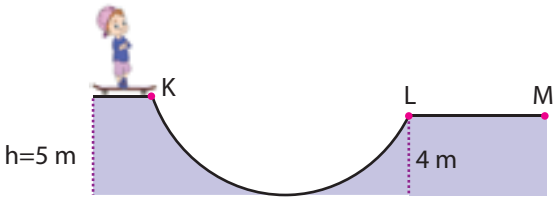
18. 5 kg kütleli cisim 90 cm yüksekten serbest bırakıldığında yayı 10 cm sıkıştırdığına göre yay sabitini bulunuz?

($g = 10\ m/s^2$)



A) 10000 B) 2500 C) 5000 D) 500 E) 50

19.



Kaykay yapan bir çocuk 5 m yüksekten ilk hızsız harekete başlıyor ve M noktasında duruyor. Kaykay parkurunun KL arası sürtünmesiz LM arası sürtünmelidir. LM arasındaki yüzeyin sürtünme katsayısı 0,2 olduğuna göre LM uzunluğu kaç metredir?

A) 25 B) 20 C) 15 D) 5

20 I. Momentumları birbirine eşit olan iki cisim, merkezi ve esnek çarpıştığında sahip oldukları hızlarla geri döner.

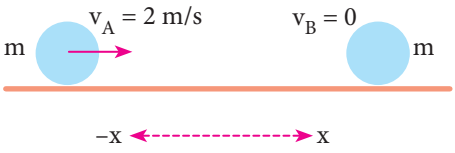
II. Bir cismin momentumunda meydana gelen değişiklik cisme etki eden net kuvvet ile kuvvetin uygulama süresinin çarpımına eşittir.

III. Kütleleri eşit olan hareketli ve duran iki cisim merkezi ve esnek olarak çarpıştığında hareketli cismin tüm momentumu duran cisme aktarılır.

Yukarıda verilen cümlelerden hangisi doğrudur?

A) II B) I ve II C) I ve III D) I, II ve III

21. Şekildeki hız ve kütleye sahip iki cisim merkezi ve esnek olarak çarpıştığında çarpışmadan sonraki hızları için aşağıdakilerden hangisi doğrudur?



A) $v'_A = 2$ m/s **– x** yönünde $v'_B = 0$

B) $v'_A = 0$ $v'_B = 2$ m/s – x yönünde

C) $v'_A = 0$ $v'_B = 2$ m/s **+ x** yönünde

C) $v'_A = 1$ m/s **– x** yönünde $v'_B = 1$ m/s + x yönünde

22. Basit makinelerle ilgili aşağıda verilen cisimlerden hangisi <u>yanlıştır</u>?

A) Kuvvetten kazanç sağlandığında yoldan kayıp olur.

B) İşten kazanç vardır.

C) Yoldan kazanç sağlandığında kuvvetten kayıp olur.

D) Basit makineler % 100 verimle çalışamaz?

ÜNİTE SONU DEĞERLENDİRME SORULARININ CEVAP ANAHTARI

1. D	2. D	3. B	4. A	5. C	6. D	7. C	8. B	9. A	10. C	11. B	12. D	13. C
14. A	15. A	16. C	17. B	18. A	19. D	20. D	21. C	22. B				

SÖZLÜK

A

analiz: Çözümleme

B

bağıl: İzafî, nisbî.

balistik: Fişeğin ateşlemesi ile mermi çekirdeğinin namludan çıkıp hedefe ulaşmasına kadar olan hareketlerini, hedef üzerindeki tahribatlarını ve mermi çekirdeğinin bu hareketine etki eden faktörleri inceleyen alan.

bileşen: Bir bileşiği kuran bölümler, bir bileşke oluşturan kuvvetlerden her biri.

D

diyagram: Herhangi bir olayın değişimini gösteren grafik, bir bütünün ayrıntılarını gösteren taslak.

G

göreceli: Varlığı başka bir şeyin varlığına bağlı bulunan, mutlak olmayan, göreli, bağıntılı, izafi, nispi, rölatif.

İ

ivme: Birim zamandaki hız değişimi.

izdüşüm: Belirli bir uzam bilgisel (geometrik) yolla, uzayın bir noktasına ya da maktaların bir kümesine, bir doğrunun ya da bir yüzeyin bir noktasını ya da noktaların bir kümesini karşılık getirme işlemi.

K

koordinat: Bir yüzey üzerinde veya uzayda bir noktanın yerini bulmaya yarayan ana çizgilerden yatay olanı, apsis.

L

limit: Sınır

M

mekanik: 1.Kuvvetlerin maddeler ve hareketler üzerine etkisini inceleyen fizik dalı. 2. Denge veya hareket kurallarıyla ilgili.

menzil: Bir merminin ulaşabileceği uzaklık, erim

merkezî: Merkezde olan, merkezi oluşturan.

momentum: Bir cismin hareket miktarı, kütlenin hız ile çarpımı

N

nörobilim: Sinir bilimi

O

orjin: Köken, başlangıç, kaynak.

P

palanga: Bir halatla makaradan oluşan, ağır cisimleri kaldırmaya, sağa sola döndürmeye yarayan donanım

patent: Herhangi bir ürün, yöntem veya aletin patent ofisi tarafından yeni icat edilmiş olduğu kabul edilip yasalar ile korunması.

R

referans: Kaynak

roket: Atış sırasında mekanik olarak yön verilen, yörüngesinin başlangıcında öz itmeli olarak yol alan ve daha sonra yalnız balistik kanunlarına bağlı kalan mermi. 2. Bir çeşit füze.

T

tork: Motorlu araçlarda üretilen gücün tekerleklerden yere aktarılmasını sağlayan dönme kuvveti

V

vektör: Yönlendirilmiş doğru parçası

KAYNAKÇA

JEARL, Walker, *Fiziğin Temelleri 1.Kitap* (Hallıday & Resnık), çev: Bülent G. Akınoğlu, H. Murat Alev.

Ortaöğretim Fizik Dersi (9, 10, 11 ve 12. Sınıflar) Öğretim Programı, Ankara, 2018.

SERWAY, Raymond, A., Beichner, Robert J., *Fen ve Mühendislik İçin Fizik 1*, çev: Kemal Çolakoğlu,

Rıchards - Sears - Wehr - Zemansky, *Modern Üniversite Fiziği*, Çağlayan Basımevi - İstanbul

Türkçe Sözlük, TDK Yayınları, Ankara, 2013

GENEL AĞ KAYNAKÇASI

www.tdk.gov.tr/ 08.07.2014

www.tubitak.gov.tr 10.07.2014

www.biltek.tubitak.gov.tr 10.07.2014

www.fulbright.org.tr 31.05.2018

GÖRSEL KAYNAKÇA

Görseller, www.shutterstock.com ve www.123rf.com adreslerinden alınmış olup, diğer çizim ve görseller bu kitap için hazırlamıştır.