

ORTAÖĞRETİM

FEN LİSESİ

FİZİK

11

Ders Kitabı

YAZARLAR

İsa YILMAZ

Kamil SOYARSLAN

Murat ERAT

Şeyda BOZARSLAN



T.C. MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI

HAZIRLAYANLAR

EDİTÖR

Prof. Dr. Mustafa YILMAZLAR

DİL UZMANLARI

Filiz ŞEN

Kevser Gülşah AKTÜRK

Nilüfer TURHAN

REHBERLİK VE GELİŞİM UZMANI

Günay ERDEM ÖZKAN

GÖRSEL VE GRAFİK TASARIM UZMANLARI

Çiğdem ARICI DURAK

Kübra BASMAZ

Neslihan GÖKPINAR



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,
Medeniyet 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 dünya da cüda.

Ruhumun senden îlâhî, 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 cerâhamdan îlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'sım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalar 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

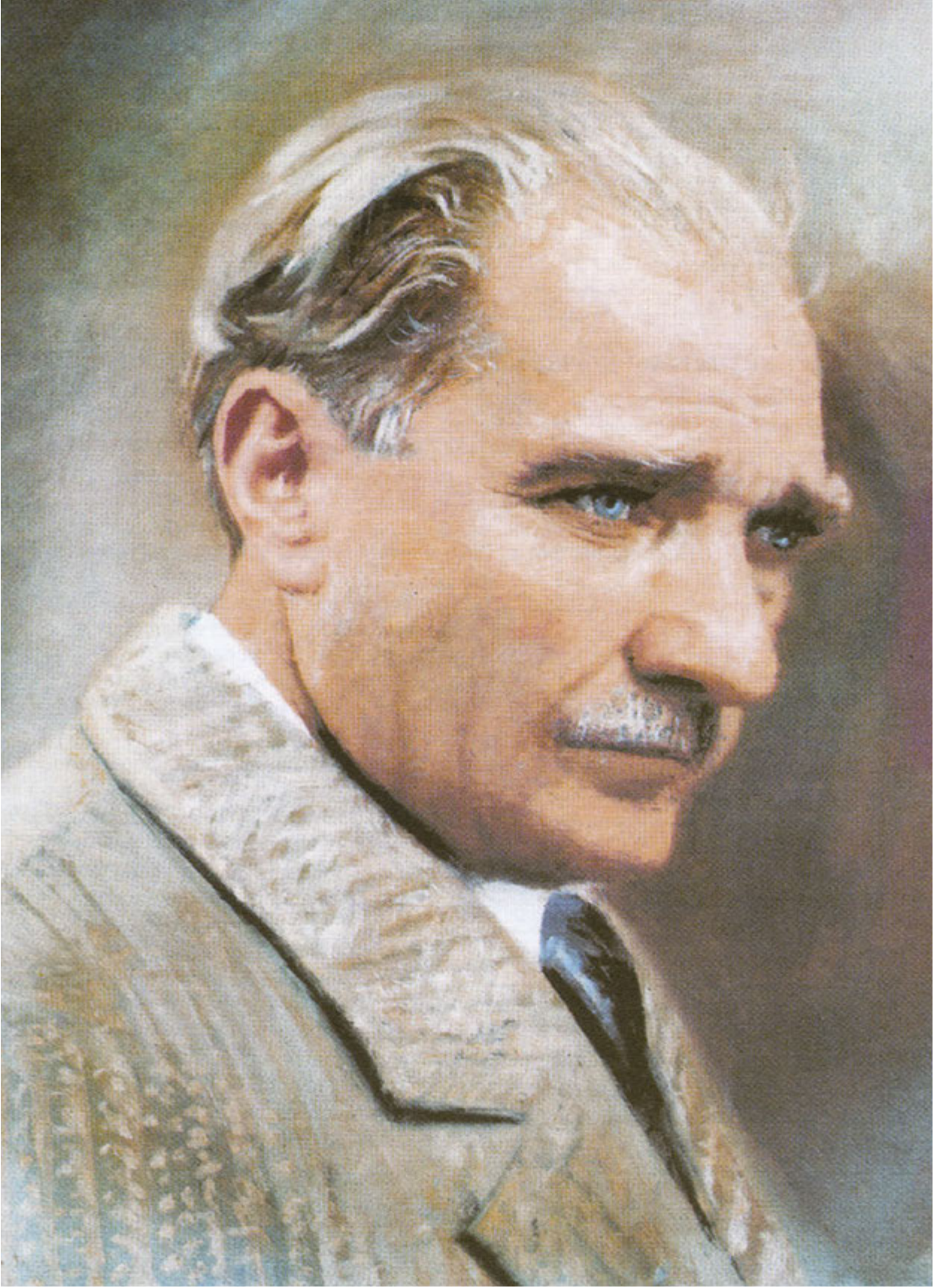
GENÇLİĞE HİTABE

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 namûsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünya da 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

Kitabın Tanıtımı.....	9
-----------------------	---



1. ÜNİTE KUVVET VE HAREKET

Güvenlik İşaretleri	11
1.1. Vektörler	14
1.1.1. Vektörlerin Özellikleri	14
1.1.2. İki ve Üç Boyutlu Kartezyen Koordinat Sisteminde Vektör Çizimi	16
1.1.3. Vektörlerin Bileşkesinin Bulunması	19
1.1.4. Vektörün İki Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemindeki Bileşenleri	26
1.2. Bağıl Hareket.....	30
1.2.1. Sabit Hızlı Hareketlilerin Bağıl Hareketi.....	30
1.2.2. Hareketli Bir Ortamdaki Sabit Hızlı Cisimlerin Bağıl hareketi.....	34
1.3. Newton'ın Hareket Yasaları.....	40
1.3.1. Sürtünmesiz Düzlemde Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvetin Hesaplanması.....	42
1.3.2. Sürtünlü Düzlemde Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvetin Hesaplanması	52
1.4. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket.....	59
1.4.1. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareketin Grafik ve Denklemleri	59
1.4.2. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket Grafikleri ve Hesaplamaları	61
1.4.3. Hava Direncinin İhmal Edildiği Ortamlardaki Serbest Düşme Hareketi	68
1.4.4. Atmosferdeki Serbest Düşme Hareketi	71
1.4.5. Limit Hız.....	72
1.4.6. Düşey Doğrultuda Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri	74
1.5. İki Boyutta Hareket.....	81
1.5.1. Yatay Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri.....	81
1.5.2. Eğik Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri.....	89
1.6. Enerji ve Hareket	98
1.6.1. İş-Kinetik Enerji Dönüşümü	101
1.6.2. Mekanik Enerji.....	112
1.6.3. Sürtünlü Yüzeylerde Enerji Korunumu Ve Dönüşümleri.....	121
1.7. İtme ve Çizgisel Momentum	124
1.7.1. İtme	124
1.7.2. Çizgisel Momentum	125
1.7.3. Çizgisel Momentumun Korunumu	130
1.7.4. Çarpışmalar ve Çizgisel Momentumun Korunumu.....	132
1.8. Tork.....	148
1.9. Denge ve Denge Şartları	157
1.9.1. Cisimlerin Denge Şartı	157
1.9.2. Ağırlık Merkezi ve Kütle Merkezi	161
1.10. Basit Makineler	171
1.10.1. Günlük Hayatta Kullanılan Basit Makineler	172
1. Ünite Ölçme ve Değerlendirme	194



2. ÜNİTE ELEKTRİK VE MANYETİZMA

2.1. Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan	212
2.1.1. Yüklü Cisimler Arasındaki Elektriksel Kuvvet.....	212

2.1.2. Noktasal Yük İçin Elektrik Alan	215
2.1.3. Noktasal Yüklerde Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan ile İlgili Hesaplamalar	217
2.2. Elektriksel Potansiyel.....	224
2.2.1. Noktasal Yükler İçin Elektriksel Potansiyel ile İlgili Kavramlar	225
2.2.2. Düzgün Elektrik Alan İçinde İki Nokta Arasındaki Elektriksel Potansiyel Farkı.....	234
2.2.3. Elektriksel Potansiyel ile İlgili Hesaplamalar	237
2.3. Düzgün Elektrik Alan ve Sığa	241
2.3.1. Yüklü İletken ve Paralel Levhalar Arasındaki Elektrik Alan	242
2.3.2. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanının Bağlı Olduğu Değişkenler	243
2.3.3. Yüklü Parçacıkların Düzgün Elektrik Alanındaki Davranışı	245
2.3.4. Sığa (Kapasite).....	248
2.3.5. Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler	249
2.3.6. Kondansatörün İşlevi	252
2.3.7. Yüklenmiş Bir Sığaçta Yük ve Gerilim	253
2.3.8. Sığaçta Depolanan Enerji	255
2.3.9. Kondansatörlerde Eşdeğer Sığa, Yük ve Potansiyel Farkı	257
2.3.10. Sığaç Modeli	262
2.4. Manyetizma ve Elektromanyetik İndüklenme	263
2.4.1. Üzerinden Akım Geçen Telin Oluşturduğu Manyetik Alan	264
2.4.2. İletken Tel üzerinden Geçen Akımın Oluşturduğu Manyetik Alanla İlgili Hesaplamalar	269
2.4.3. Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet	274
2.4.4. Manyetik Alan İçerisinde Akım Taşıyan Dikdörtgen Tel Çerçeveye Etki Eden Kuvvetlerin Döndürme Etkisi	276
2.4.5. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi	279
2.4.6. Manyetik Akı	281
2.4.7. İndüksiyon Akımı	282
2.4.8. Manyetik Akı ve İndüksiyon Akımı ile İlgili Hesaplamalar.....	287
2.4.9. Öz-indüksiyon Akımı	290
2.4.10. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışı.....	291
2.4.11. Elektromotor Kuvveti	293
2.5. Alternatif Akım	295
2.5.1. Alternatif Akım Kavramı	295
2.5.2. Alternatif Akım ve Doğru Akımın Karşılaştırılması	296
2.5.3. Alternatif Akım Devreleri	298
2.5.4. İndüktans, Kapasitans, Rezonans ve Empedans	299
2.6. Transformatörler.....	302
2.6.1. Tranformatörlerin Çalışma Prensibi.....	302
2.6.2. Transformatörlerin Kullanım Amaçları	303
2.6.3. Transformatörlerle İlgili Hesaplamalar	304
2.6.4. Enerji Transferlerinde Güç Kaybı	306
2. Ünite Ölçme ve Değerlendirme	309
1. Ünite Çalışma Köşesi Cevap Anahtarı.....	323
2. Ünite Çalışma Köşesi Cevap Anahtarı.....	325
1. Ünite Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı	328
2. Ünite Ölçme ve Değerlendirme Cevap Anahtarı	329
Sözlük	331
Dizin	335
Kaynakça.....	339
Görsel Kaynakça	340

Kitabın Tanıtımı

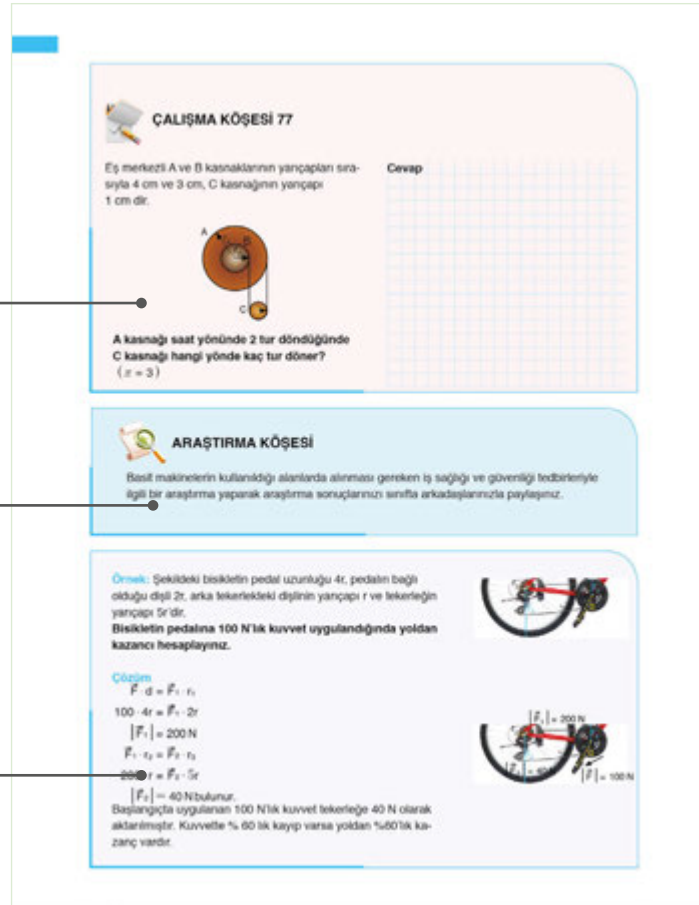


Ünite giriş sayfaları; ünite kapağı, üniteyle ilgili anahtar kavramlar, konu başlıkları ve ısınma turları bölümlerinden oluşur.

Kazanımları pekiştirmek için hazırlanan ve cevapları cevap anahtarında mevcut olan bölüm

Konuyla ilgili araştırma önerilerinin yer aldığı bölüm

Konuyla ilgili soru ve cevapların verildiği bölüm



2. ÜNİTE: KUVVET VE HAREKET

Anne-kızın ağırlıkları için Tablo-1'de verilen (W) değerleri kullanarak denge durumlarının sağlandığı değerler (D) ile Tablo-1'i doldurunuz.

Tablo-1:

Annenin (Mother) Ağırlığı (W ₁)	Kızının (Sara) Ağırlığı (W ₂)	Annenin (Mother) bulunduğu bölme (D ₁)	Kızının (Sara) bulunduğu bölme (D ₂)
3-	2-	1	1
4-	3-	1	1
1-	4-	1	1

Anne-kızın bulunduğu bölmeyi (D) sabit tutarak denge durumlarının sağlandığı değerler ile Tablo-2'yi doldurunuz.

Tablo-2:

Anne (Mother)'nin Ağırlığı (W ₁)	Kız (Sara)'nın Ağırlığı (W ₂)	Anne (Mother)'nin bulunduğu bölme (D ₁)	Kız (Sara)'nın bulunduğu bölme (D ₂)
1	1	3-	4-
1	1	2-	3-
1	1	1-	2-

Sonuçlandırma:

1. Hangi durumlarda denge sağlanmıştır?
2. Denge durumuna etki eden değişkenler nelerdir?

Tahterevalli simülasyonundan gördüğümüz gibi denge, kuvvet olarak kullanılan ağırlıkların döndürme etkisi kullanılarak sağlanmaktadır.

Tork etkisinden yararlanmak için kullanılan herhangi bir kuvvetin uygulama noktasının dönme eksenine olan dik uzaklığına **kuvvet kolu** denir. Kuvvet kolunun uzunluğu genellikle d ile sembolize edilir. Tork, kuvvet ve kuvvet kolu ile doğru orantılıdır.

MERAKLISINA

Kuvvetin döndürme etkisi konulu simülasyonu

146

Etkileşimli kitap, video, ses, animasyon, uygulama, oyun, soru vb. ilave kaynaklara ulaşabileceğiniz karekodu gösterir. Daha fazlası için <http://ogmmateryal.eba.gov.tr> adresini ziyaret edebilirsiniz.

Konuyla ilgili çalışmalar yapan kurumların Genel Ağ içeriklerine ulaşım sağlayan bölüm

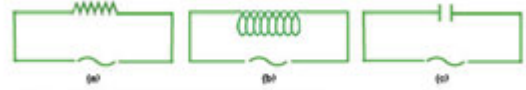
Etkinlik köşesi için gerekli güvenlik işaretlerini içeren bölüm

Konu ile ilgili simülasyon, uygulama ve deneyleri içeren bölüm

2. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA

2.5.3. Alternatif Akım Devreleri

Alternatif akım devrelerinde devre elemanı olarak tek başına, ikipeli veya birden fazla direnç, bobin ve sağak kullanılabilir. Bobin ya da akım makarası manyetik alanda, sağak ise elektrik alanda geçici olarak elektrik enerjisi depolamak amacıyla kullanılır. Şekil 2.77'de alternatif uygulanmış devreye sırasıyla bağlanmış direnç (R), bobin (L) ve kondansatör (C) verilmiştir.



Şekil 2.77: Alternatif uygulanmış devreye direnç, bobin ve kondansatör

ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Alternatif ve doğru akım

Etkinliğin Amacı: Alternatif ve doğru akım devrelerinde direnç, bobin ve kondansatör devre elemanlarını incelemek, değerleri kontrol ederek gerçekleştiren değişiklikleri göstermek ve yorumlamak.

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: AC ve DC güç kaynağı, 1 kΩ direnç, 100 nF kondansatör, 50 mH bobin, ampermetre, bağlantı kablosu ve yalıtılan alümin.

Yönerge:

- Etkinliği öğretmen eşliğinde yapınız.
- Yalıtılan alüminlerinizi etkinlik süresince çıkarmayınız.

1. Adım:

- Sembolik olarak verilen direnç, bobin ve kondansatör devrelerini AC güç kaynağı kapalı olarak Şekil I, Şekil II ve Şekil III'e gösterildiği gibi kurunuz.



Şekil I Şekil II Şekil III

- AC güç kaynağını açıldığında tabloda belirtilen değerlere getirerek devreye ait akım ve gerilim değerlerini ilgili bölüme yazınız.

Devre Elemanı	Güç Kaynağı (V)	Akımın Maksimum Değeri (A)	Gerilimin Maksimum Değeri (V)
R	80		
	1000		
L	80		
	1000		
C	80		
	1000		

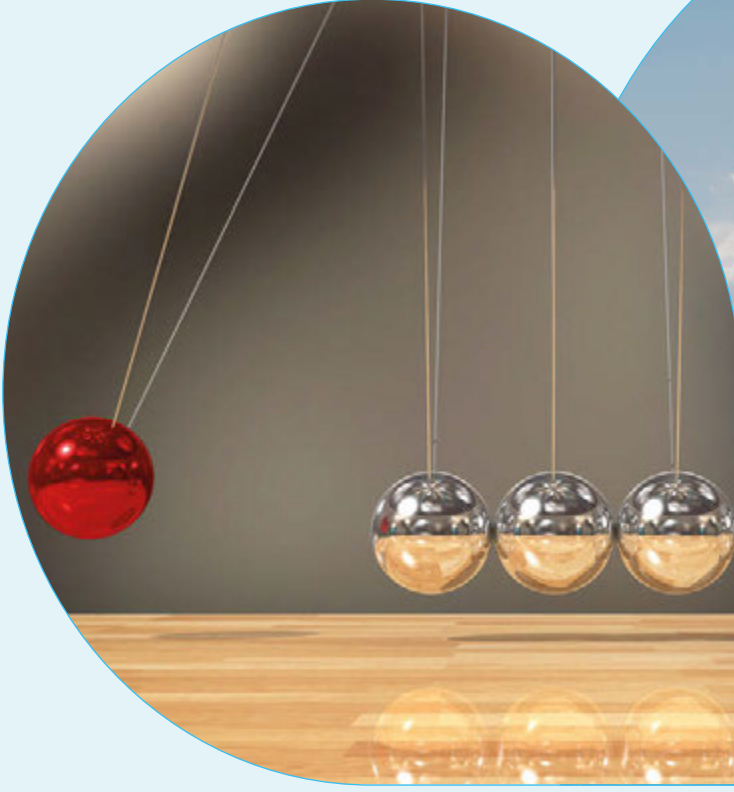
258

GÜVENLİK İŞARETLERİ

ISI GÜVENLİĞİ  Bu piktogram, yapılacak işlemden çok sıcak bir yüzeyin veya ısıtıcının olduğunu gösterir. El, ayak ve diğer organların yanmaması için ısıya dayanıklı eldiven kullanılmalıdır.	ELEKTRİK GÜVENLİĞİ  Bu piktogram yapılacak işlemlerde elektriği şehir hattından kullanmak gerektiğini, güç kaynağı kullanırken iletken kısımlara dokunmanın tehlikeli olacağını belirtir.
GÖZ GÜVENLİĞİ  Bu piktogram, deneye başlamadan önce gözlük takmak gerektiğini belirtir. Gözlüksüz çalışmak göz sağlığı için zarar vericidir.	ÇEVREYE ZARARLI (EKOTOKSİK)  Suya ve doğadaki canlılara zarar vericidir. Suya ve doğaya kontrolsüz atılmamalıdır.
ELBİSE GÜVENLİĞİ  Bu piktogram, laboratuvar deneylerinde kullanılan malzemelerin elbiselere sıçrayarak aşındırıcı etkisinden korunmak için önlük veya tulum kullanılmasının uygun olacağını gösterir.	KOROZİF (AŞINDIRICI)  Metalleri ve canlı dokuları aşındırabilen maddedir. Deriye ve göze hasar verir. Göz ve deriyi korumak için önlemler alınmalıdır.
KESİCİ-DELİCİ CİSİM GÜVENLİĞİ  Bu piktogram, yapılacak işlemlerde kesici-delici gereçlerin kullanıldığını ve işlemler sırasında yaralanmalara yol açabileceğini belirtir.	TOKSİK (ZEHİRLİ)  Ağız, deri ve solunum yolu ile zehirlenmelere neden olur. Kanserojen etki yapabilir. Vücut ile temas ettirilmemelidir. Zehirlenme belirtileri görüldüğünde tıbbi yardım alınmalıdır.
SICAK CİSİM GÜVENLİĞİ  Bu piktogram, yapılacak işlemden bir ısıtıcı ya da sıcak bir yüzeyin olduğunu gösterir. El, ayak ve diğer organların yanmaması için özen gösterilmelidir.	RADYOAKTİF  Radyasyona neden olur. Canlı dokularına kalıcı hasar veren kanserojen etki yapar. Bu işaretin bulunduğu yerlerden uzak durulmalıdır.
KIRILABİLİR CAM GÜVENLİĞİ  Bu piktogram, cam malzemelerin kırılabileceğini gösterir. Cam malzemelerin aşırı ısıtılmaması ve ani sıcaklık değişimlerine maruz kalmaması sağlanmalıdır.	OKSİTLEYİCİ, YAKICI MADDE  Havasız ortamda bile yanabilirler. Yanabilen maddelerle karıştırılırsa patlayabilir. Tutuşturucularla teması önlenmelidir.
YANGIN GÜVENLİĞİ  Bu piktogram, yapılacak işlemlerde yangın çıkması için gerekli önlemlerin alınması gerektiğini ifade eder.	PATLAYICI  Kıvılcım, ısınma, alev, vurma, çarpma ve sürtünmeye maruz kaldığında patlayabilir. Ateş, kıvılcım ve ısıdan uzak tutulmalıdır.
TOKSİK (ZEHİRLİ) MADDE GÜVENLİĞİ  Bu piktogram, uygulanacak işlemlerde zehirli kimyasal maddenin kullanıldığını belirtir.	TAHİRİŞ EDİCİ  Alerjik deri reaksiyonlarına neden olur. Ozon tabakasına zarar verebilir. Vücutta ve göze temasından kaçınılmalıdır. Korumacı giysi giyilmelidir.

1

■ ÜNİTE



KUVVET VE HAREKET

Anahtar Kavramlar

Vektör, bağıl hareket, ivmeli hareket, serbest düşme, düşey atış, yatay atış, eğik atış, limit hız, enerji, Hooke (Huk) Yasası, itme, çizgisel momentum, çizgisel momentumun korunumu, tork, denge, kütle merkezi, ağırlık merkezi

Konu Başlıkları

- 1.1. Vektörler
 - 1.1.1. Vektörlerin Özellikleri
 - 1.1.2. İki ve Üç Boyutlu Kartezyen Koordinat Sisteminde Vektör Çizimi
 - 1.1.3. Vektörlerin Bileşkesinin Bulunması
 - 1.1.4. Vektörün İki Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemindeki Bileşenleri
- 1.2. Bağıl Hareket
 - 1.2.1. Sabit Hızlı Cisimlerin Birbirine Göre Bağıl Hareketi
- 1.3. Newton'ın Hareket Yasaları
 - 1.3.1. Sürtünmesiz Düzlemde Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvetin Hesaplanması
 - 1.3.2. Sürtüneli Düzlemde Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvetin Hesaplanması
 - 1.3.3. Sürtüneli Ortamda Net Kuvvetin Hesaplanması
- 1.4. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket
 - 1.4.1. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket ile İlgili Grafik ve Denklemler
 - 1.4.2. Hava Direncinin İhmal Edildiği Ortamlarda Düşme Hareketi
 - 1.4.3. Hava Direnç Kuvveti ve Limit Hız
 - 1.4.4. Düşey Doğrultuda Yukarıdan Aşağıya Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri
 - 1.4.5. Düşey Doğrultuda Aşağıdan Yukarıya Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri
- 1.5. İki Boyutta Hareket
 - 1.5.1. Yatay Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri
 - 1.5.2. Eğik Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri
- 1.6. Enerji ve Hareket
 - 1.6.1. İş-Kinetik Enerji Dönüşümü
 - 1.6.2. İş-Yer Çekimi Potansiyel Enerji Dönüşümü
 - 1.6.3. Hooke Yasası ve Esneklik Potansiyel Enerji
 - 1.6.4. Mekanik Enerji ve Korunumu
 - 1.6.5. Sürtüneli Yüzeylerde Enerji Korunumu ve Dönüşümleri
- 1.7. İtme ve Çizgisel Momentum
 - 1.7.1. İtme
 - 1.7.2. Çizgisel Momentum
 - 1.7.3. Çizgisel Momentumun Korunumu
- 1.8. Tork
- 1.9. Denge ve Denge Şartları
- 1.10. Basit Makineler

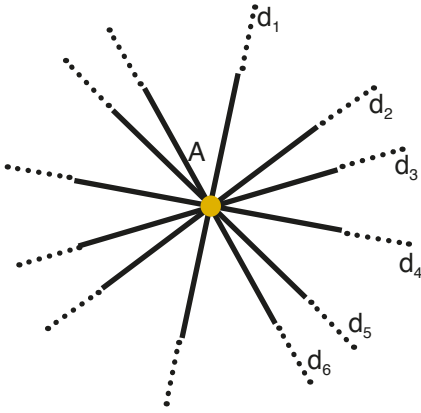
Isınma Turları

1. Hareketsiz bir referans noktası bulunabilir mi? Neden?
2. Niceliklerin kendisiyle toplanması her zaman iki katını almakla eşdeğer midir? Neden?
3. Aynı hızla yukarı atılan farklı büyüklükteki kütlelerden hangisi daha önce yere düşer? Neden?
4. Aynı malzemeden üretilmiş kamyon ve otomobil eşit hızla çarpıştığında kamyonun daha az hasar görmesinin nedeni ne olabilir?
5. Günlük hayatta kullanılan makineler, gelişen günümüz teknolojisiyle üretildiği hâlde makine-lerden yüzde yüz verim alınamamasının nedeni nedir?

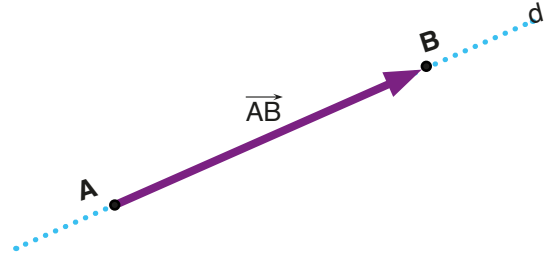
1.1. Vektörler

Fizikte nicelikler ikiye ayrılır. Bunlardan biri, yalnızca sayı ve birimle ifade edilen skaler niceliklerdir. Örneğin 300 Cd ışık şiddeti, 2,7 kg fıstık, 5 A akım şiddeti vb. Diğeri ise sayı ve birimin yanı sıra niceliklerin yön ve doğrultusu bilinmediğinde tanımlanamayan vektörel niceliklerdir. Örneğin kuvvet, hız, elektrik alan, manyetik alan, ivme vb.

Bir noktadan sonsuz sayıda doğru geçer. Aşağıda Şekil 1.1'de, belirlenen bir A noktasından geçebilecek sonsuz sayıdaki $d_1, d_2, d_3, \dots$ doğrularından bir kısmı çizilmiştir. Şekil 1.2'de görüldüğü üzere A ve B olarak belirlenen iki noktadan geçecek şekilde çizilebilecek doğru, tek bir tane d doğrusudur. d doğrusu üzerinde A noktasından başlayıp B noktasında biten, yönlü $\overrightarrow{AB}$ doğru parçasına **vektör** denir. Doğru parçasının vektör olduğunu belirtmek için sembolü üzerine ($\rightarrow$) işareti konur ya da koyu renkle yazılarak **AB** vektörü şeklinde ifade edilebilir. Bu kitapta niceliklerin vektör olduğunu belirtmek için sembolleri üzerine ($\rightarrow$) işareti konacaktır.



Şekil 1.1: A noktasından geçen bazı doğrular



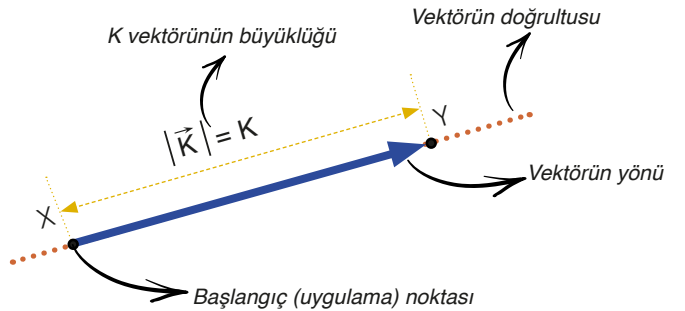
Şekil 1.2: A ve B noktası arasına çizilen $\overrightarrow{AB}$ vektörü

1.1.1. Vektörlerin Özellikleri

Vektörlerin tam olarak ifade edilmesi için

1. Başlangıç (uygulama) noktası,
 2. Doğrultusu,
 3. Yönü,
 4. Büyüklüğü (şiddeti)
- olmak üzere dört temel özelliğinin bilinmesi gerekir.

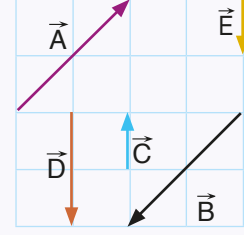
X noktasında başlayıp Y noktasında bitecek Şekil 1.3'te çizilen bir $\vec{K}$ vektörü ele alındığında doğru parçasının sonuna konan ok, vektörün yönünü ifade eder. X ve Y noktasından geçecek şekilde çizilebilecek tek bir doğru, vektörün doğrultusu olarak ifade edilir. Yönlendirilmiş doğru parçasının uzunluğu ise vektörün büyüklüğünü ifade eder. Vektörel gösterimde vektörler, büyüklükleriyle orantılı olarak çizilir. $\vec{K}$ vektörünün büyüklüğü mutlak değere içine alınan $|\vec{K}|$ ya da normal bir yazımla K olarak ifade edilebilir.



Şekil 1.3: $\vec{K}$ vektörünün gösterimi

Örnek: Eşit bölmeli düzlem üzerinde $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$, $\vec{D}$ ve $\vec{E}$ vektörleri verilmiştir.

Başlangıç noktası, doğrultusu, yönü ve büyüklüğü aynı olan vektörleri gruplandırınız.



Çözüm: Vektörlerden

$\vec{E}$ ve $\vec{D}$ yönleri aynı,

$\vec{A}$ ile $\vec{B}$ doğrultuları aynı,

$\vec{C}$, $\vec{D}$ ve $\vec{E}$ doğrultuları aynı,

$\vec{A}$ ile $\vec{B}$ ve $\vec{E}$ ile $\vec{C}$ birbirleriyle aynı büyüklükte olan zıt yönlü vektörlerdir. Başlangıç noktaları aynı olan vektör bulunmamaktadır.



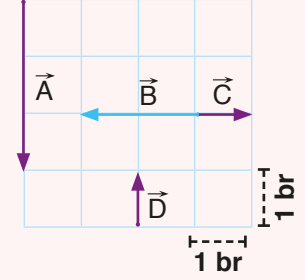
ÇALIŞMA KÖŞESİ 1

Eşit bölmelendirilmiş bir düzlem üzerinde $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörleri verilmiştir. Buna göre

- I. $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin başlangıç noktaları aynıdır.
- II. $\vec{A}$ ve $\vec{D}$ vektörlerinin doğrultusu aynıdır.
- III. $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin doğrultusu aynıdır.
- IV. $\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörlerinin büyüklükleri eşittir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) I ve II B) II ve III C) I, II ve III D) III ve IV E) I, II, III ve IV



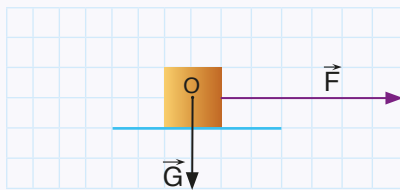
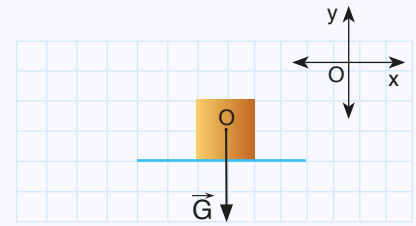
Fizik biliminde sıkça kullanılan yer değiştirme ($\Delta \vec{x}$), kuvvet ($\vec{F}$), ağırlık ($\vec{G}$), hız ($\vec{v}$), ivme ($\vec{a}$), elektrik alan ($\vec{E}$), manyetik alan ($\vec{B}$) gibi sayısal değeri ile biriminin yanında, yön ve doğrultuya da sahip nicelikleri modellemek için vektörlerden yararlanılmaktadır.

Örnek: Ağırlığı ($\vec{G}$) olan cisme, ağırlığının iki katı büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvveti x doğrultusunda uygulanmaktadır.

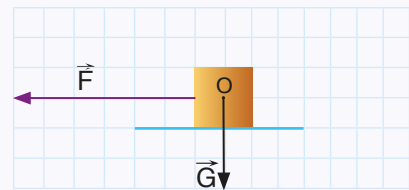
Cismin üzerine etki eden kuvvetleri çiziniz.

Çözüm: Ağırlık 3 kare br olduğundan cisme x doğrultusunda uygulanabilecek 6 kare br'lik iki $\vec{F}$ kuvveti vardır.

Bunlardan biri +x yönünde Şekil I'de çizilen, diğeri de -x yönünde Şekil II'de çizilen $\vec{F}$ kuvvetidir.



Şekil I

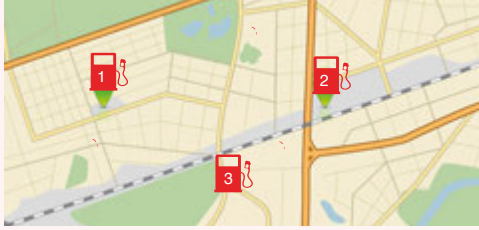


Şekil II



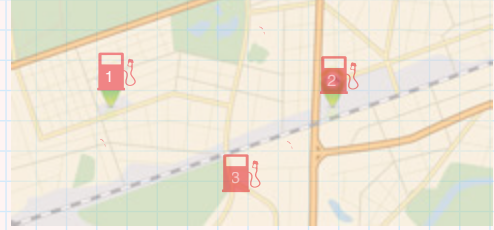
ÇALIŞMA KÖŞESİ 2

Bir tanker, krokisi verilen 1, 2 ve 3 numaralı benzinlikler arasında dağıtım yapmaktadır.



Tankerin benzin istasyonlarının her birinden diğerlerine yapabileceği yer değiştirme vektörlerini çiziniz.

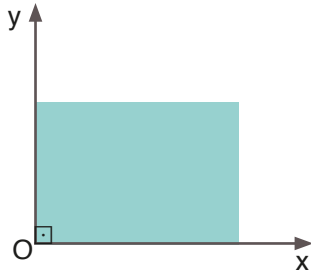
Cevap



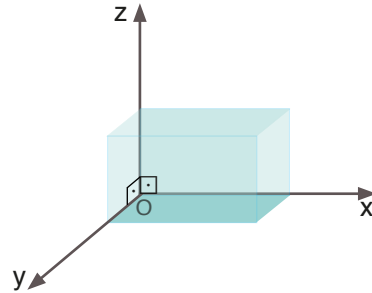
1.1.2. İki ve Üç Boyutlu Kartezyen Koordinat Sisteminde Vektör Çizimi

Birbirine dik koordinatlardan oluşan sisteme **kartezyen koordinat sistemi** denir. Dik koordinatların kesişim noktasına **orijin** denir ve "O" harfi ile sembolize edilir.

Bir olay x ve y koordinatlarında gerçekleşiyorsa olayın **iki boyutlu** olduğu ve **düzlemde** gerçekleştiği anlaşılır (Şekil 1.4). Olay x, y ve z koordinatlarında gerçekleşiyorsa **üç boyutlu** olup olayın **uzayda** gerçekleştiği anlaşılır (Şekil 1.5).



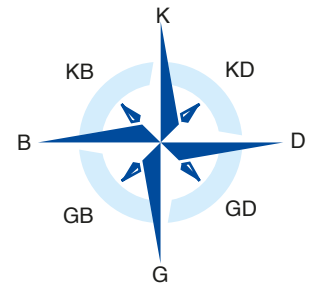
Şekil 1.4: İki boyutlu kartezyen koordinat sistemi ve dikdörtgensel bölgeyle sınırlanmış düzlem



Şekil 1.5: Üç boyutlu kartezyen koordinat sistemi ve dikdörtgenler prizmasıyla sınırlanmış uzay

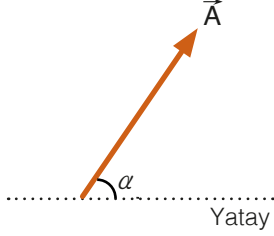
Kartezyen koordinat sistemi birbirine dik ve orijinde birbirini kesecek şekilde yerleştirilmiş iki veya üç sayı doğrusundan oluşur. Bu sayı doğrularında x koordinatı dendiğinde x eksen, y koordinatı dendiğinde y eksen ve z koordinatı dendiğinde z eksen anlaşılmalıdır. Eksenler yön belirtmez, doğrultu belirtir.

Doğrultu belirtmede doğu-batı, kuzey-güney, kuzeydoğu-güneybatı, kuzeybatı-güneydoğu, doğrultuları da kullanılmaktadır (Şekil 1.6).

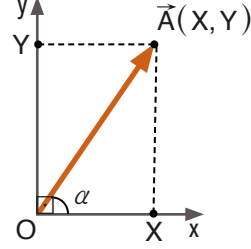


Şekil 1.6: Coğrafi yönler

Yatay eksenle α açısı yapan Şekil 1.7'deki bir $\vec{A}$ vektörü ile, iki boyutlu kartezyen koordinatları belirlenmek istenmektedir. Öncelikle vektör; yön, doğrultu ve büyüklüğü değiştirilmeden başlangıç noktası orijine gelecek şekilde aynı düzlemde taşınır. Vektörün bitiş noktasından koordinatlara paralel doğrular çizilir. Doğruların x eksenine kesişim noktası, vektörün X koordinatını; y eksenine kesişim noktası, vektörün Y koordinatını verir. Koordinatları bu yolla elde edilen $\vec{A}$ vektörü Şekil 1.8'deki gibi gösterilir.



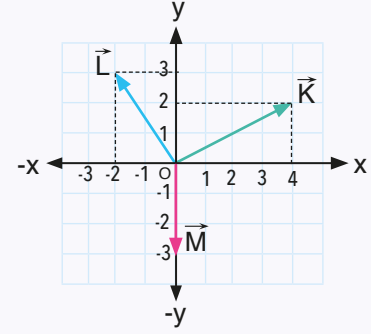
Şekil 1.7: Yatay eksenle α açısı yapan A vektörü



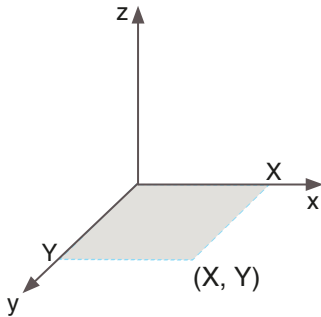
Şekil 1.8: İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde orijine taşınan A vektörü ve koordinatlarının gösterimi

Örnek: $\vec{K}(4, 2)$, $\vec{L}(-2, 3)$ ve $\vec{M}(0, -3)$ vektörlerini kartezyen koordinat sisteminde gösteriniz.

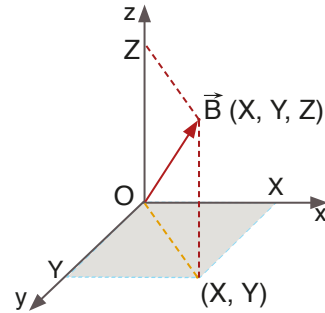
Çözüm: Verilen $\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörleri kartezyen koordinat sisteminde yandaki gibi çizilebilir.



$\vec{B}(X, Y, Z)$ şeklinde verilen $\vec{B}$ vektörü üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde çizilmek istendiğinde öncelikle (X, Y) noktası, x-y koordinatlarının oluşturduğu düzlemde işaretlenir (Şekil 1.9). (X, Y) noktasından x-y düzlemine dik (z koordinatına paralel) z koordinatının değeri kadar gidilerek B (X, Y, Z) noktasına ulaşılır. $\vec{B}$ vektörü(X, Y, Z); başlangıç noktası orijinde, ucu da geline son noktada olan vektördür (Şekil 1.10).



Şekil 1.9: x-y düzlemindeki (X, Y) noktası

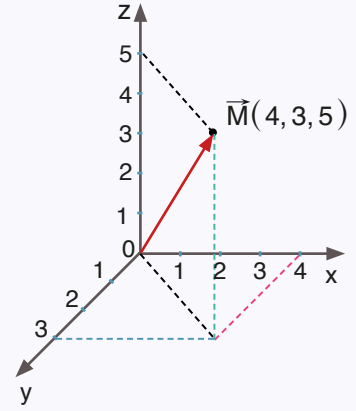


Şekil 1.10: Üç boyutlu $\vec{B}$ vektörünün gösterimi

Örnek: Uzayda bulunan $\vec{M}$ (4, 3, 5) vektörünü kartezyen koordinat sisteminde çiziniz.

Çözüm: $\vec{M}$ vektörünün üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde çizilmesi için 4, 3 noktası x-y koordinatlarının oluşturduğu düzlemde işaretlenir. Bu noktadan z koordinatına paralel 5 birim gidilerek (4, 3, 5) noktasına ulaşılır. Başlangıç noktası orijin, bitiş noktası son gelinen (4, 3, 5) noktası olacak şekilde çizilen vektör $\vec{M}$ (4, 3, 5) vektörüdür.

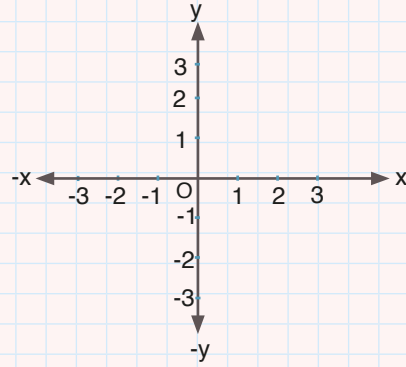
$\vec{M}$ vektörünün çiziminin daha kolay algılanabilmesi için x, y, z koordinat sisteminde 4 birim mavi, 3 birim pembe, 5 birim yeşil renkte gösterilmiştir. Elde edilen $\vec{M}$ vektörü ise kırmızı renkte çizilmiştir.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 3

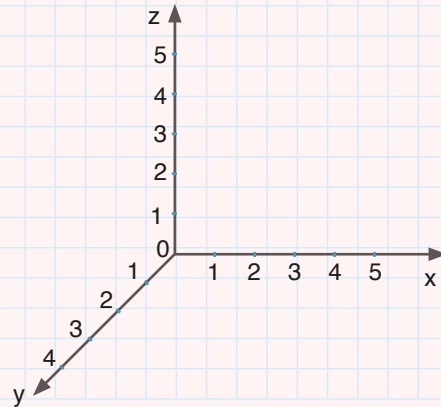
A) $\vec{S}$ (2, -2) ve $\vec{R}$ (-3, 3) vektörlerini iki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde çiziniz.

Cevap



B) $\vec{K}$ (5, 2, 4) ve $\vec{L}$ (1, 4, 3) vektörlerini üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminde çiziniz.

Cevap



1.1.3. Vektörlerin Bileşkesinin Bulunması

Cisimlere bazen birden fazla vektörel nicelik etki edebilir. Mesela uçaklarda bulunan çift motorların (Görsel 1.1), köpek kızaklarında kızıağı çeken köpeklerin (Görsel 1.2), kayıklarda kürek çeken kayıkçıların (Görsel 1.3) hareketi sağlamak için uyguladığı kuvvet sayısı birden fazladır.



Görsel 1.1: Çift motorlu uçak



Görsel 1.2: Kızak çeken köpekler



Görsel 1.3: Kürek çeken kayıkçılar

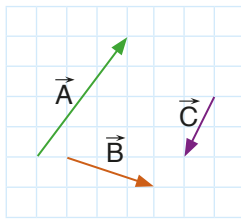
Hareketini farklı yön ve doğrultularda sürdürerek belli bir rotayı takip eden uçağın, akıntılı sularda hareket ederken akıntı yönünde sürüklenen kayığın, arazi şartlarına göre kar üzerinde sağa sola manevralar yaparak ilerleyen köpek kızaklarının hareketi süresince aldığı toplam yol ile yer değiştirme büyüklükleri de birbirinden farklıdır. Hareketlilerin hareketi süresince, skaler bir büyüklük olan kat ettikleri toplam yol cebirsel toplama işlemi ile bulunur. Ancak vektörel bir nicelik olan yer değiştirmeyi bulmak için farklı yöntemler kullanılması gerekir.

Yer değiştirmede olduğu gibi aynı cins iki ya da daha fazla vektörün toplanmasıyla elde edilen vektöre **bileşke vektör** denir. Bileşke vektör $\vec{R}$ ile sembolize edilir. Bileşke vektörü bulmak için genellikle iki yöntem kullanılır.

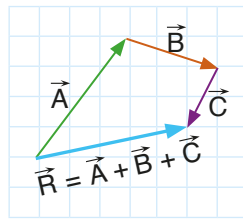
1. Uç Uca Ekleme Yöntemi

Bu yöntemde, herhangi bir sıra gözetmeksizin toplanacak vektörler yön ve doğrultuları değiştirilmeden, birinin bittiği yerden diğeri başlatılarak uç uca eklenir. Elde edilen geometrik şekilde, ilk vektörün başlangıç noktasından son vektörün ucuna çizilen vektör, bileşke $\vec{R}$ vektörüne eşittir (Şekil 1.11).

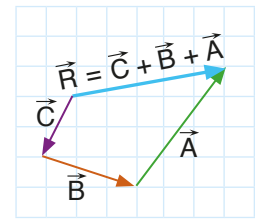
Yön ve doğrultuları Şekil 1.11.a'da verilen $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin bileşkeleri $\vec{R}$ vektörünün uç uca ekleme yöntemiyle bulunması Şekil 1.11.b'de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 1.11: Uç uca ekleme yöntemiyle bileşke vektörün bulunması

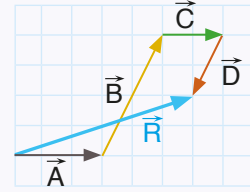
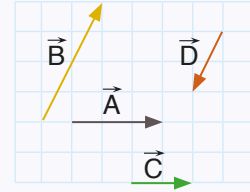
Skaler büyüklüklerdeki toplama işleminde olduğu gibi vektörlerin toplanmasında da değişme özelliği vardır. Bu yüzden vektörlerin toplanmasında değişme özelliği kullanılarak

$$\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} = \vec{C} + \vec{B} + \vec{A}$$

işlemiyle aynı sonuca ulaşılır (Şekil 1.11.c).

Örnek: $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$ ve $\vec{D}$ vektörlerinin bileşkesini uç uca ekleme yöntemini kullanarak gösteriniz.

Çözüm: Verilen vektörler herhangi bir sıra gözetmeksizin uç uca eklendiğinde bileşke vektör $\vec{R} = \vec{A} + \vec{B} + \vec{C} + \vec{D}$ işlemi yapılarak yandaki gibi bulunur.



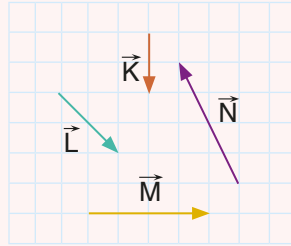
ÇALIŞMA KÖŞESİ 4

Yanda verilen $\vec{K}$, $\vec{L}$, $\vec{M}$ ve $\vec{N}$ vektörlerini kullanarak

a) $\vec{K} + \vec{L} + \vec{M}$

b) $\vec{K} + \vec{L} + \vec{M} + \vec{N}$

toplamda elde edilen bileşke vektörlerini uç uca ekleme yöntemi ile bulunuz.



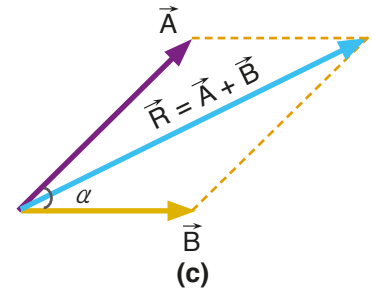
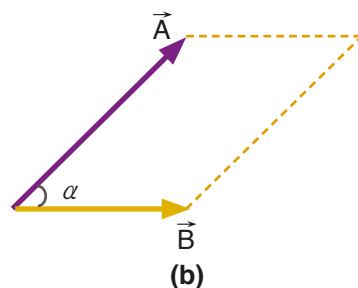
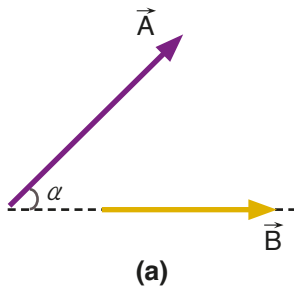
Cevap



2. Paralel Kenar Yöntemi

Paralel kenar yöntemiyle iki vektörü toplamak için vektörlerin yönleri değiştirilmeden çıkarılır. Başlangıç noktaları, bir noktaya taşınır. Her bir vektörün ucundan diğer vektöre paraleller çizilerek şekil düzgün paralelkenara tamamlanır. Bileşke $\vec{R}$ vektörü, vektörlerin başlangıç noktasından paralelkenarın karşı köşesine kadar çizilerek elde edilen vektördür.

Şekil 1.12.a'da yatayla α açısı yapan $\vec{A}$ vektörü ile yataydaki $\vec{B}$ vektörü verilmiştir. $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin bileşkesinin paralel kenar yöntemiyle bulunma aşamaları sırasıyla Şekil 1.12.b ve Şekil 1.12.c'de gösterilmiştir.

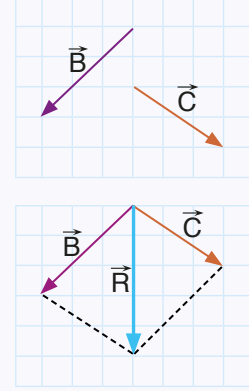


Şekil 1.12: Paralel kenar yöntemiyle bileşke vektörün bulunması

Paralel kenar yönteminde yalnızca iki vektörün bileşkesi bulunabilir. Toplanacak vektörün sayısı ikiden fazla olduğunda önce ikisi paralel kenar yöntemiyle toplanır. Daha sonra elde edilen sonuçla diğer bir vektör toplanarak işleme tüm vektörler dâhil edilene kadar devam edilir.

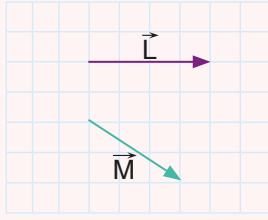
Örnek: $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörünün bileşkesini paralel kenar yöntemi kullanarak bulunuz.

Çözüm: $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörlerinin bileşkesinin bulunması için paralel kenar yöntemi yanda verildiği gibi uygulanır.

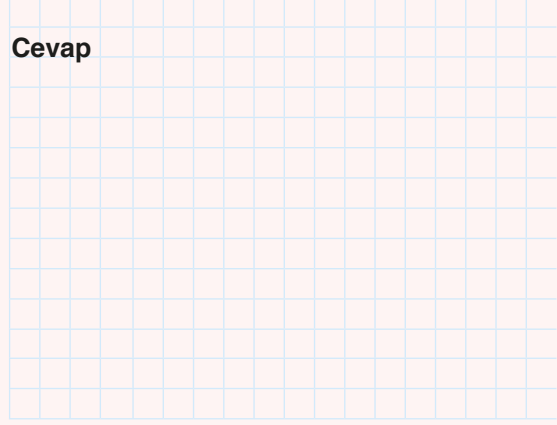


ÇALIŞMA KÖŞESİ 5

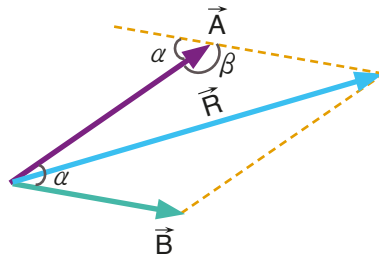
$\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin bileşkesini paralel kenar yöntemi ile bulunuz.



Cevap



Paralel kenar yöntemiyle çizilerek bulunan iki vektörün bileşkesinin büyüklüğü, kosinüs teoremi yardımıyla hesaplanır. Buna göre Şekil 1.13'te verilen $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin bileşkesinin büyüklüğü

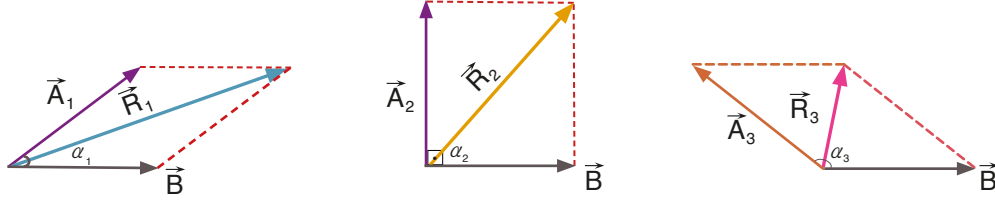


Şekil 1.13: Bileşke vektörün paralel kenar yöntemiyle gösterimi

$|\vec{R}|^2 = |\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 - 2 \cdot |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \beta$ eşitliği ile hesaplanır. Bu eşitlik β açısının geniş açı olması sebebiyle (–), eşitlikte β açısının bütünleri olan vektörler arasındaki α açısı kullanıldığında eşitlik

$|\vec{R}|^2 = |\vec{A}|^2 + |\vec{B}|^2 + 2 \cdot |\vec{A}| \cdot |\vec{B}| \cdot \cos \alpha$ şeklinde yazılır. Elde edilen sonuç skalerdir.

Bu eşitlikte, iki vektör arasındaki α açısı büyüdükçe $\cos \alpha$ çarpanının trigonometrik değeri küçüleceği için bileşke vektör büyüklüğünün küçüldüğü anlaşılır. Örneğin Şekil 1.14'te verilen aynı büyüklükteki $\vec{A}_1$, $\vec{A}_2$ ve $\vec{A}_3$ vektörleri ile $\vec{B}$ vektörü arasındaki açılar



Şekil 1.14: Vektörler arasındaki açıya göre bileşke vektörün değişimi

$\alpha_1 < 90^\circ$ olduğunda bileşke vektör $\vec{R}_1$,

$\alpha_2 = 90^\circ$ olduğunda bileşke vektör $\vec{R}_2$,

$\alpha_3 > 90^\circ$ olduğunda bileşke vektör $\vec{R}_3$

şeklinde ise bileşke vektörlerin büyüklükleri arasında

$$|\vec{R}_1| > |\vec{R}_2| > |\vec{R}_3| \text{ ilişkisi vardır.}$$

Vektörler arasındaki açı 180° olduğunda bileşke vektörün büyüklüğü minimum, 0° olduğunda maksimum değerini alır. Vektörler arasındaki açı 0° ile 90° aralığında olduğunda bileşke vektör büyük olan vektöre daha yakın olup büyüklüğü her zaman $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin her ikisinden de daha büyük bir değere sahiptir.

Örnek: $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin büyüklükleri sırasıyla 20 N ve 10 N'dır.

$\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ kuvvetleri arasındaki α açısı

a) 90°

b) 143°

olduğunda bileşke vektörünün büyüklüğü kaç N'dır?

($\cos 90^\circ = 0$; $\cos 143^\circ = -0,8$)

Çözüm:

a) $\alpha = 90^\circ$ ise bileşke vektörün büyüklüğü

$$|\vec{R}_1|^2 = |\vec{F}_1|^2 + |\vec{F}_2|^2 + 2|\vec{F}_1| \cdot |\vec{F}_2| \cdot \cos 90^\circ$$

$$= 20^2 + 10^2 + 2 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 0$$

$$= 400 + 100 + 0$$

$$|\vec{R}_1|^2 = 500 \text{ ise } |\vec{R}_1| = 10\sqrt{5} \text{ N olur.}$$

b) $\alpha = 143^\circ$ ise bileşke vektörün büyüklüğü

$$|\vec{R}_2|^2 = |\vec{F}_1|^2 + |\vec{F}_2|^2 + 2|\vec{F}_1| \cdot |\vec{F}_2| \cdot \cos 143^\circ$$

$$= 20^2 + 10^2 + 2 \cdot 20 \cdot 10 \cdot (-0,8)$$

$$= 500 - 320$$

$$|\vec{R}_2|^2 = 180 \text{ ise } |\vec{R}_2| = 6\sqrt{5} \text{ N olur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 6

Büyüklükleri eşit ve 10 N olan $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri arasındaki α açısı

a) 53°

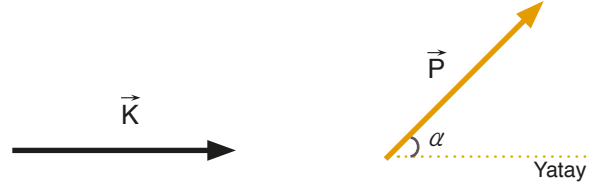
b) 127°

olduğunda bileşke vektörlerin büyüklüğü kaç N olur?

($\cos 53^\circ = 0,6$ ve $\cos 127^\circ = -0,6$)

Cevap

Kosinüs teoreminin bir sonucu olarak Şekil 1.15'te verilen eşit büyüklükteki $\vec{K}$ ve $\vec{P}$ vektörlerinin bileşkesi, aralarındaki açığa göre özel değerler alır. $\vec{K}$ ve $\vec{P}$ vektörlerinin arasındaki açı α olmak üzere



Şekil 1.15: Eşit büyüklükteki $\vec{K}$ ve $\vec{P}$ vektörleri

1. $\alpha = 0^\circ$ olduğunda büyüklüğü, yön ve doğrultuları aynı olan iki vektör elde edilir. Bu tür vektörlere **eşit vektör** denir. Eşit vektörlerin yalnızca başlangıç noktaları farklı olabilir. Eşit iki vektörün bileşkesi, vektörlerden birinin büyüklüğünün iki katına eşittir, aynı yön ve doğrultudadır ($\cos 0^\circ = 1$).

$$\begin{aligned}
 |\vec{R}|^2 &= |\vec{K}|^2 + |\vec{P}|^2 + 2 \cdot |\vec{K}| \cdot |\vec{P}| \cdot \cos 0^\circ \\
 &= |\vec{K}|^2 + |\vec{K}|^2 + 2 \cdot |\vec{K}| \cdot |\vec{K}| \cdot 1 = 4|\vec{K}|^2 \\
 \vec{R} &= 2\vec{K} \text{ ya da } \vec{R} = 2\vec{P}
 \end{aligned}$$

2. $\alpha = 60^\circ$ olduğunda bileşke vektörün büyüklüğü, vektörlerden birinin büyüklüğünün $\sqrt{3}$ katına eşittir ve bileşke vektör açıortay doğrultusundadır ($\cos 60^\circ = 1/2$).

$$\begin{aligned}
 |\vec{R}|^2 &= |\vec{K}|^2 + |\vec{P}|^2 + 2 \cdot |\vec{K}| \cdot |\vec{P}| \cdot \cos 60^\circ \\
 &= |\vec{K}|^2 + |\vec{K}|^2 + 2 \cdot |\vec{K}| \cdot |\vec{K}| \cdot \frac{1}{2} = 3|\vec{K}|^2 \\
 |\vec{R}| &= \sqrt{3}|\vec{K}| \text{ ya da } |\vec{R}| = \sqrt{3}|\vec{P}|
 \end{aligned}$$

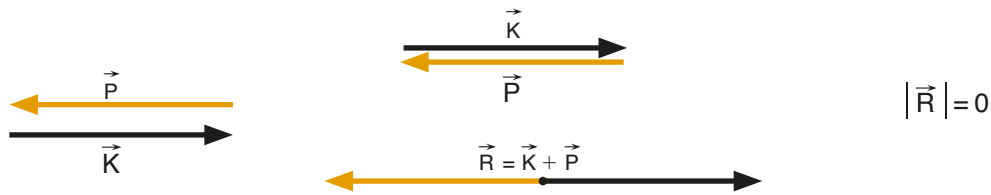
3. $\alpha = 90^\circ$ olduğunda bileşke vektörün büyüklüğü, vektörlerden birinin büyüklüğünün $\sqrt{2}$ katına eşittir ve bileşke vektör açıortay doğrultusundadır ($\cos 90^\circ = 0$).

$$\begin{aligned}
 |\vec{R}|^2 &= |\vec{K}|^2 + |\vec{P}|^2 + 2 \cdot |\vec{K}| \cdot |\vec{P}| \cdot \cos 90^\circ \\
 &= |\vec{K}|^2 + |\vec{K}|^2 + 2 \cdot |\vec{K}| \cdot |\vec{K}| \cdot 0 = 2|\vec{K}|^2 \\
 |\vec{R}| &= \sqrt{2}|\vec{K}| \text{ ya da } |\vec{R}| = \sqrt{2}|\vec{P}|
 \end{aligned}$$

4. $\alpha = 120^\circ$ olduğunda bileşke vektörün büyüklüğü vektörlerden birinin büyüklüğüne eşittir ve bileşke vektör açıortay doğrultusundadır ($\cos 120^\circ = -\frac{1}{2}$).

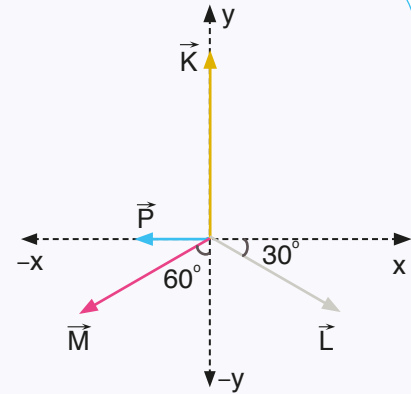
$$\begin{aligned}
 |\vec{R}|^2 &= |\vec{K}|^2 + |\vec{P}|^2 + 2 \cdot |\vec{K}| \cdot |\vec{P}| \cdot \cos 120^\circ \\
 &= |\vec{K}|^2 + |\vec{K}|^2 + 2 \cdot |\vec{K}| \cdot |\vec{K}| \cdot \left(-\frac{1}{2}\right) = |\vec{K}|^2 \\
 |\vec{R}| &= |\vec{K}| \text{ ya da } |\vec{R}| = |\vec{P}|
 \end{aligned}$$

5. $\alpha = 180^\circ$ olduğunda büyüklük ve doğrultuları aynı, yönleri zıt olan iki vektör elde edilir. Bu tür vektörlere **zıt vektörler** ya da **birbirinin negatifi olan vektörler** denir. Zıt iki vektörün bileşke değeri sıfırdır.



Örnek: Başlangıç noktaları x-y koordinat sisteminin orijiniinde olan $\vec{K}$, $\vec{L}$, $\vec{M}$ ve $\vec{P}$ vektörlerinin büyüklükleri sırasıyla 25 N, 20 N, 20 N ve 10 N'dır.

Vektörlerin bileşkesi kaç N'dır?



Çözüm: Eşit büyüklükte olan $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin aralarındaki açı 120° olduğundan bileşkeleri $\vec{R}_1$ ile gösterildiğinde

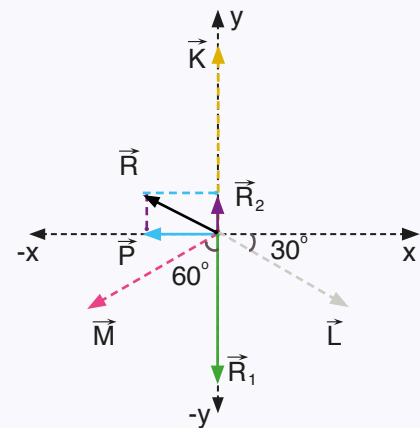
$\vec{R}_1$ -y yönünde ve 20 N şiddetinde olur.

$\vec{R}_1$ ile $\vec{K}$ zıt yönlü ve $\vec{K}$ küçük olduğundan, bileşkeleri $\vec{R}_2$ ile gösterildiğinde $\vec{R}_2$ +y yönünde 5 N olur.

$\vec{R}_2$ ve $\vec{P}$ vektörlerinin arasındaki açı 90° olduğundan

$\vec{K}$, $\vec{L}$, $\vec{M}$ ve $\vec{P}$ vektörünün de bileşkesi olan $\vec{R}$ vektörünün büyüklüğü için

$$\begin{aligned} |\vec{R}|^2 &= |\vec{R}_2|^2 + |\vec{P}|^2 \\ &= 5^2 + 10^2 \\ |\vec{R}|^2 &= 125 \text{ N}^2 \text{ ise} \\ |\vec{R}| &= 5\sqrt{5} \text{ N olarak bulunur.} \end{aligned}$$



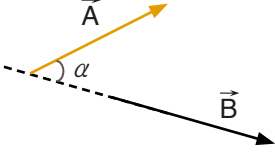
ÇALIŞMA KÖŞESİ 7

Eşit büyüklükteki $\vec{X}$ ve $\vec{Y}$ vektörleri arasındaki açı 60° ve bileşke vektörün büyüklüğü $\vec{R}$ 'dir.

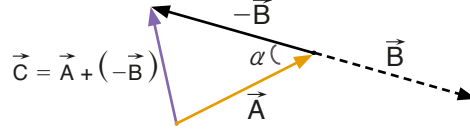
Vektörlerden biri ters çevrilirse bileşke vektörün büyüklüğü kaç $\vec{R}$ olur?

Cevap

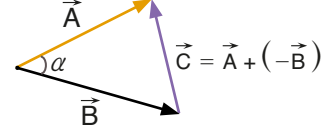
Vektörlerde Çıkarma İşlemi: Vektörlerde çıkarma işleminde “bir vektörün negatifi” tanımından yararlanılır. Şekil 1.16’daki gibi $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri verildiğinde $\vec{A} - \vec{B}$ işlemi yapılırken $\vec{A}$ ile $-\vec{B}$ vektörü toplanır (Şekil 1.17). Çıkarma işleminde kullanılabilecek yöntemlerden biri de başlangıç noktaları birleştirilen vektörlerin uçları arasına $\vec{C}$ gibi bir vektör çizmektir (Şekil 1.18).



Şekil 1.16: A ve B vektörleri



Şekil 1.17: Çıkarılacak vektörün zıddı alınarak yapılan çıkarma işlemi



Şekil 1.18: Başlangıç noktalarını birleştirerek yapılan çıkarma işlemi

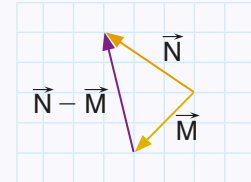
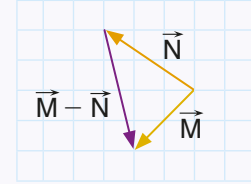
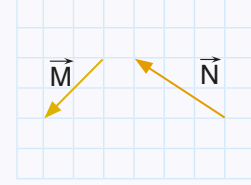
Çizilen $\vec{C}$ vektörü $\vec{A}$ ile $\vec{B}$ vektörleri arasındaki vektör farkıdır. $\vec{C}$ vektör farkı, çıkan vektörün ucundan başlatılarak eksilen vektörün ucuna kadar çizilir. Şekil 1.17 ve Şekil 1.18’de verilen her iki durumda da $\vec{A} - \vec{B}$ ile elde edilen $\vec{C}$ vektörü $\vec{C} = \vec{A} - \vec{B} = \vec{A} + (-\vec{B})$ şeklinde ifade edilir.

Örnek: $\vec{M}$ ve $\vec{N}$ vektörlerini kullanarak

- $\vec{M} - \vec{N}$
- $\vec{N} - \vec{M}$ vektörlerini bulunuz.

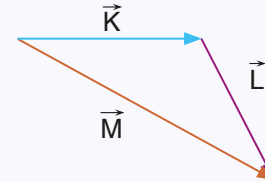
Çözüm:

- $\vec{M}$ ve $\vec{N}$ vektörlerinin başlangıç noktaları birleştirilip $\vec{N}$ vektörünün ucundan $\vec{M}$ vektörünün ucuna çizilen vektörle $\vec{M} - \vec{N}$ elde edilir.
- $\vec{N}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin başlangıç noktaları birleştirilip $\vec{M}$ vektörünün ucundan $\vec{N}$ vektörünün ucuna çizilen vektörle $\vec{N} - \vec{M}$ elde edilir.



Örnek: Aynı düzlemde bulunan $\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörleri şekildeki gibidir. Buna göre

- $\vec{L}$ vektörünü, $\vec{K}$ ve $\vec{M}$ vektörü cinsinden ifade ediniz.
- Üç vektörün bileşkesini $\vec{M}$ vektörü cinsinden ifade ediniz.



Çözüm: $\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörleri uç uca eklenerek, $\vec{M}$ ise bileşke vektör olarak çizilmiştir. Bu durumda

a) $\vec{K} + \vec{L} = \vec{M}$

$\vec{L} = \vec{M} - \vec{K}$ olur.

b) $\vec{R} = \vec{K} + \vec{L} + \vec{M}$

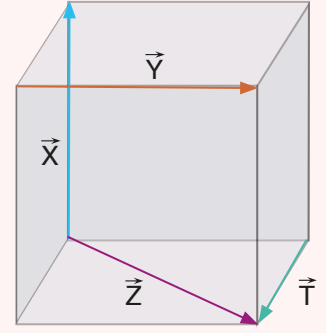
$\vec{R} = \vec{M} + \vec{M} = 2\vec{M}$ olur.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 8

Dikdörtgenler prizması üzerinde verilen $\vec{X}$, $\vec{Y}$, $\vec{Z}$ ve $\vec{T}$ vektörleri şekildeki gibidir.

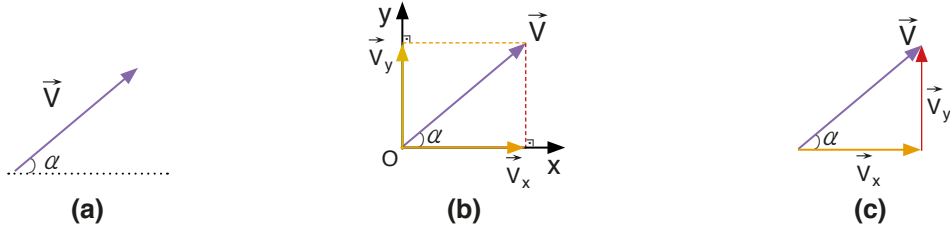
Buna göre $\vec{X} + \vec{Y} - \vec{Z} + \vec{T}$ işleminin sonucunda elde edilen bileşke vektörünü çiziniz.



1.1.4. Vektörün İki Boyutlu Kartezyen Koordinat Sistemindeki Bileşenleri

Vektörlerin koordinat sisteminde eksenler üzerindeki izdüşümlerine **vektörün bileşenleri** denir. Yatay eksenle α açısı yapan Şekil 1.19.a'daki gibi bir $\vec{V}$ vektörünün bileşenlerini bulmak için $\vec{V}$ vektörü, iki boyutlu kartezyen koordinat sisteminin orijinine taşınarak Şekil 1.19.b'de verildiği gibi X ve Y koordinatı işaretlenir. Başlangıç noktası orijin olacak şekilde orijinle koordinatlar arasına çizilen vektörler, $\vec{V}$ vektörünün bileşenlerine eşittir. x eksenindeki bileşeni V_x , y eksenindeki bileşeni ise V_y ile gösterilir. V_x ve V_y bileşenleri vektörün dik bileşenleridir.

Vektörün bileşenlerinin büyüklükleri Şekil 1.19.c'de elde edilen dik üçgen yardımıyla



Şekil 1.19: İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde bileşenlerine ayrılan $\vec{V}$ vektörü

$$\cos \alpha = \frac{\text{Komşu dik kenar uzunluğu}}{\text{Hipotenüs}} = \frac{|\vec{V}_x|}{|\vec{V}|} \text{ olduğundan } |\vec{V}_x| = |\vec{V}| \cdot \cos \alpha \text{ ve}$$

$$\sin \alpha = \frac{\text{Karşı dik kenar uzunluğu}}{\text{Hipotenüs}} = \frac{|\vec{V}_y|}{|\vec{V}|} \text{ olduğundan } |\vec{V}_y| = |\vec{V}| \cdot \sin \alpha \text{ eşitlikleriyle hesaplanır.}$$

Vektör ve bileşenleriyle elde edilen dik üçgende Pisagor bağıntısı kullanılarak $\vec{V}$ vektörünün büyüklüğü

$$|\vec{V}| = \sqrt{|\vec{V}_x|^2 + |\vec{V}_y|^2} \text{ eşitliğiyle hesaplanır.}$$

Bileşke $\vec{V}$ vektörünün yatayla yaptığı açı ise

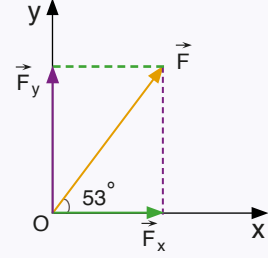
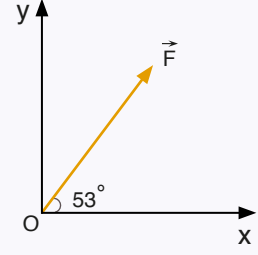
$$\tan \alpha = \frac{|\vec{V}_y|}{|\vec{V}_x|} \text{ eşitliği yardımıyla belirlenir.}$$

Örnek: Yatayla 53° açı yapan, büyüklüğü 100 N olan $\vec{F}$ kuvvetinin yatay ve düşey bileşenlerini çiziniz. Büyüklüklerini hesaplayınız.

($\sin 53^\circ = 0,8$; $\cos 53^\circ = 0,6$)

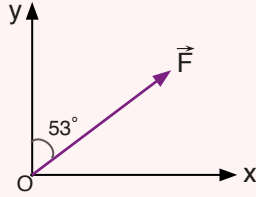
Çözüm: $\vec{F}$ kuvvetinin yatay ve düşey bileşenlerinin büyüklükleri.

$$\begin{aligned} |\vec{F}_x| &= |\vec{F}| \cdot \cos 53^\circ & |\vec{F}_y| &= |\vec{F}| \cdot \sin 53^\circ \\ &= 100 \cdot 0,6 & &= 100 \cdot 0,8 \\ |\vec{F}_x| &= 60 \text{ N} & |\vec{F}_y| &= 80 \text{ N olarak bulunur.} \end{aligned}$$



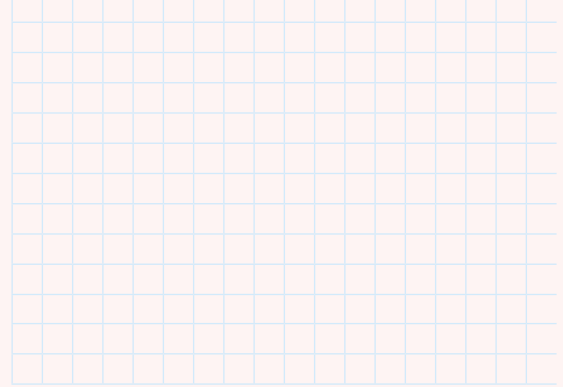
ÇALIŞMA KÖŞESİ 9

Büyüklüğü 50 N olan $\vec{F}$ kuvveti düşeyle 53° açı yapmaktadır.



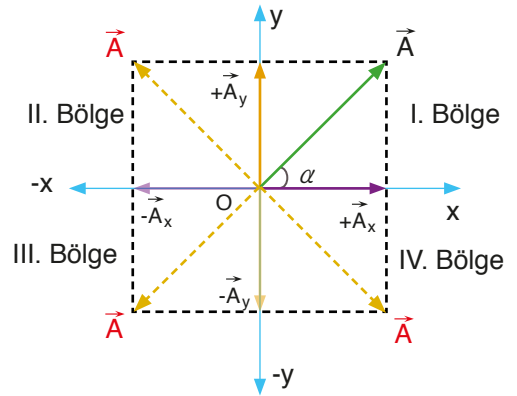
$\vec{F}$ kuvvetinin yatay ve düşey bileşenlerini çiziniz. Büyüklüklerini hesaplayınız.
($\cos 53^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = 0,8$)

Cevap



Vektör bileşenlerinin büyüklükleri her zaman pozitif ve skaler bir büyüklüktür. Orijin referans alındığında bileşenlerinin önlerine + ve - işareti koymak bu gerçeği değiştirmez. Bu işaretler vektörün bileşenlerinin yönünü ifade eder. Vektör bileşenleri +x ve +y yönünde olduğunda pozitif, -x ve -y yönünde olduğunda negatif işaretlenir. Bileşenlerin işaretini belirleyen etmen, yatayla yaptığı açının trigonometrik değeridir. $\vec{A}$ vektörünün yatay eksenle yaptığı α açısı, x ve y bileşenleri sırasıyla $\vec{A}_x$ ve $\vec{A}_y$ olmak üzere

$0^\circ < \alpha < 90^\circ$ (I. Bölge) ise $\vec{A}_x$ ve $\vec{A}_y$ pozitif
 $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ (II. Bölge) ise $\vec{A}_x$ negatif, $\vec{A}_y$ pozitif
 $180^\circ < \alpha < 270^\circ$ (III. Bölge) ise $\vec{A}_x$ ve $\vec{A}_y$ negatif
 $270^\circ < \alpha < 360^\circ$ (IV. Bölge) ise $\vec{A}_x$ pozitif, $\vec{A}_y$ negatif işaretini alır (Şekil 1.20).



Şekil 1.20: A vektörünün I, II, III ve IV. bölge-lerdeki bileşenlerinin gösterimi

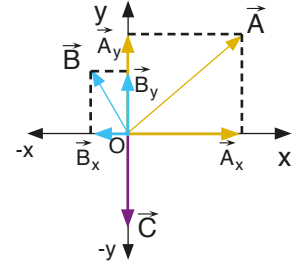
İki ya da daha fazla vektörün bileşkesini bulmanın diğer bir yolu da her bir vektörün bileşenlerini ayrı ayrı hesaplayıp toplamaktır. Bileşenler arasında toplama işlemi yapılırken yönlerini belirten işaretlere dikkat edilmesi gerekir. Şekil 1.21’de verilen, başlangıç noktaları x-y koordinat sisteminin orijini olan $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörünün x ve y bileşenleri, bulundukları bölgeye ve işaretlerine dikkat edilip kendi aralarında toplanarak işleme devam edilir.

$$\vec{R}_x = \vec{A}_x + \vec{B}_x + \vec{C}_x$$

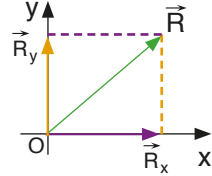
$$\vec{R}_y = \vec{A}_y + \vec{B}_y + \vec{C}_y$$

Elde edilen, R_x ve R_y Şekil 1.22’de verildiği gibi kartezyen koordinat sisteminde çizilerek Pisagor bağıntısı yardımıyla bileşke vektörün büyüklüğü

$$|\vec{R}| = \sqrt{|\vec{R}_x|^2 + |\vec{R}_y|^2} \text{ eşitliğiyle elde edilir.}$$



Şekil 1.21: Başlangıç noktaları x-y koordinat sisteminin orijini-ne taşınan $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörleri



Şekil 1.22: R vektörünün yatay ve düşey bileşenleri

Örnek: İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminin orijini-deki $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetlerinin büyüklükleri eşit ve 10 N’dır.

a) Kuvvetlerin bileşenlerinin büyüklüğü nedir?

b) Bileşke kuvvetin büyüklüğü kaç N’dır?

($\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$)

Çözüm:

a) Bileşke kuvvetinin bulunabilmesi için $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetlerinin yatay ve düşey bileşenlerinin bulunması gerekir.

$\vec{F}_1$ kuvvetinin yatay ve düşey bileşenleri,

$$|\vec{F}_{1x}| = |\vec{F}_1| \cdot \cos 37^\circ = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ N}$$

$$|\vec{F}_{1y}| = |\vec{F}_1| \cdot \sin 37^\circ = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ N}$$

$\vec{F}_2$ kuvvetinin yatay ve düşey bileşenleri,

$$|\vec{F}_{2x}| = |\vec{F}_2| \cdot \cos 53^\circ = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ N}$$

$$|\vec{F}_{2y}| = |\vec{F}_2| \cdot \sin 53^\circ = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ N}$$

$\vec{F}_3$ kuvvetinin yatay ve düşey bileşenleri,

$$|\vec{F}_{3x}| = |\vec{F}_3| \cdot \sin 37^\circ = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ N}$$

$$|\vec{F}_{3y}| = |\vec{F}_3| \cdot \cos 37^\circ = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ N olarak bulunur.}$$

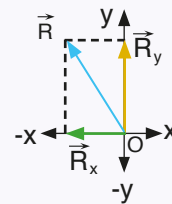
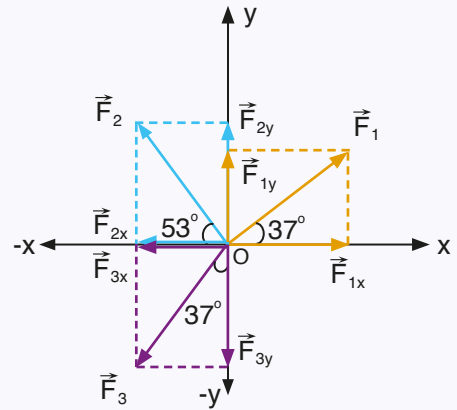
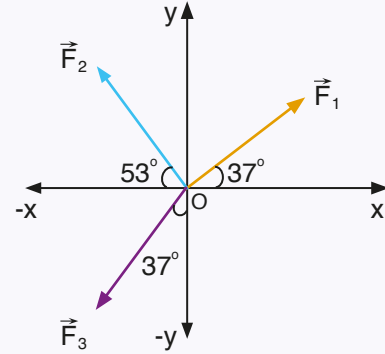
b) Bileşenler kendi aralarında toplandığında bileşke vektörün bileşenleri yardımıyla büyüklüğü,

$$\vec{R}_x = \vec{F}_{1x} + \vec{F}_{2x} + \vec{F}_{3x} = 8 + (-6) + (-6) = -4 \text{ N}$$

$$\vec{R}_y = \vec{F}_{1y} + \vec{F}_{2y} + \vec{F}_{3y} = 6 + 8 + (-8) = 6 \text{ N}$$

$$|\vec{R}| = \sqrt{|\vec{R}_x|^2 + |\vec{R}_y|^2}$$

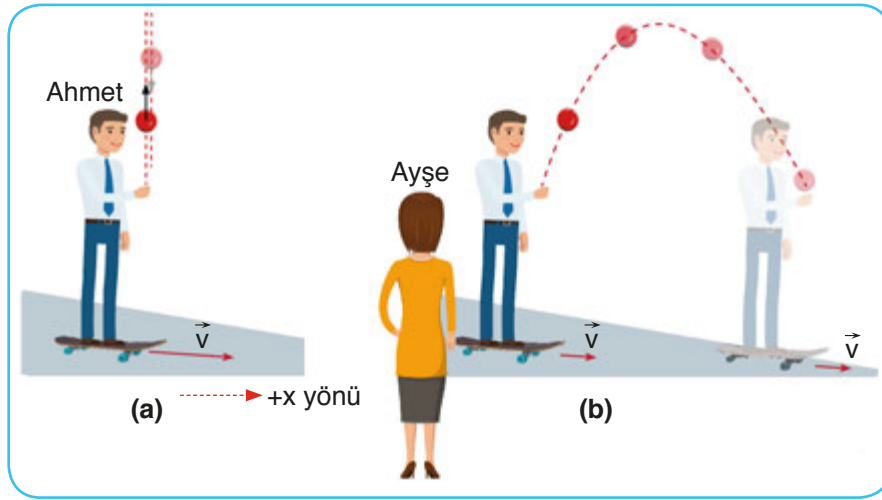
$$= \sqrt{(-4)^2 + (6)^2} = \sqrt{52} \text{ N olarak bulunur.}$$



1.2. Bağıl Hareket

Bir cismin hareket durumu, hareketinde referans alınan noktaya ya da gözlem çerçevesine göre farklı şekilde yorumlanır. Örneğin hareket halindeki bir otobüste yan yana oturan iki yolcu birbirine göre hareketsiz, yerdeki bir gözlemciye göre hareketlidir. Hareketteki bu durum hareketin göreceli olmasıyla ifade edilir.

Hareketin göreceliği Şekil 1.23'te $+x$ yönünde $\vec{v}$ hızıyla kaykayıyla hareket eden Ahmet'in yukarı atıp yere düşmeden yakaladığı topun hareketinde de gözlemlenir. Ahmet topun yörüngesini düşey doğrultuda Şekil 1.23.a'da verildiği gibi görürken yerde durmakta olan Ayşe ise topun yörüngesini Şekil 1.23.b'de verildiği gibi parabol olarak görecektir.



Şekil 1.23: Kaykayıyla hareket eden Ahmet ve durmakta olan Ayşe'nin topun yörüngesini farklı görmesi

Duran ya da hareket eden bir nesnenin konumunun veya hızının başka bir gözlemciye göre yorumlanmasına **bağıl hareket** denir.

Günlük hayatta sıkça karşılaşılan yürüyen merdivenler, asansörler, hareket hâlindeki otomobiller, trenler ve uçakların birbirine göre hareketleri birer bağıl hareket örneğidir. Yürüyen merdivende duran veya asansördeki insanlar birbirlerine göre hareket etmezken yerde duran gözlemcilere göre hareket hâlinindedir.

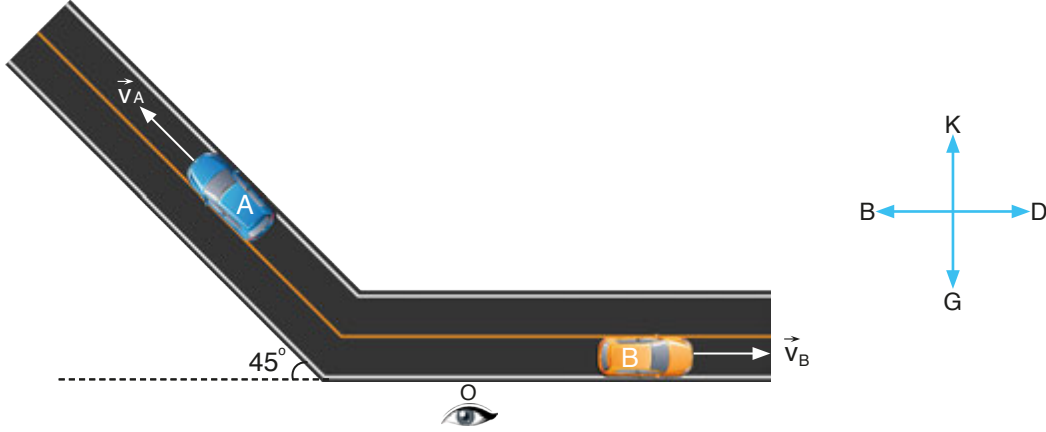
Aynı şekilde trenle yapılan yolculuklarda tren duruyorken yandaki başka bir trenin harekete geçmesiyle içinde bulunulan tren hareket ediyor gibi algılanabilir. Bu durum hareketin göreceli olmasından kaynaklanır.

1.2.1. Sabit Hızlı Hareketlilerin Bağıl Hareketi

Bağıl harekette hareketlilerin yörüngelerinde olduğu gibi hızlarında da birbirine göre farklılık olacaktır. Örneğin aynı yönde 80 km/h ve 107 km/h hızlarla hareket eden iki otomobil düşünülürse yavaş giden otomobildeki yolcuya göre hızlı giden otomobilin hızı 27 km/h olarak algılanır. Diğer yandan yolun kenarında duran bir gözlemci ise hızlı giden otomobili yine 107 km/h hızla hareket ediyor görecektir.

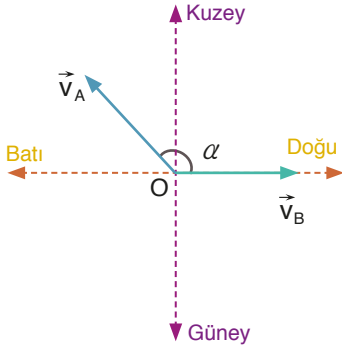
Bir hareketlinin başka bir hareketli gözlemciye göre hızına **bağıl hız** denir.

B otomobili sabit hızla doğu yönünde $\vec{v}_B$, A otomobili de sabit hızla kuzeybatı yönünde $\vec{v}_A$ hızlarıyla hareket ederek O noktasında durmakta olan bir gözlemciden uzaklaşıyor olsun (Şekil 1.24).

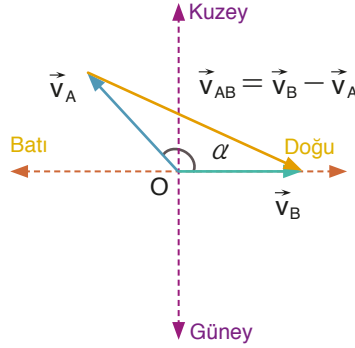


Şekil 1.24: Kuzeybatı yönünde hareket eden A otomobili ve doğu yönünde hareket eden B otomobili

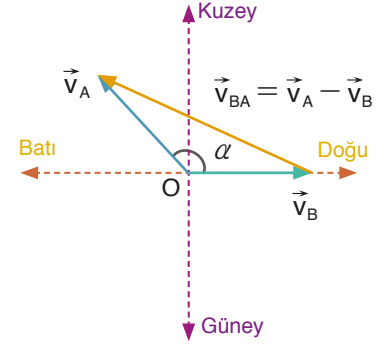
O noktasındaki gözlemciye göre A ve B otomobillerinin mutlak hızları sırasıyla $\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_B$ olur. A ve B otomobillerinin birbirine göre bağıl hızları, hareketlilerin hızını temsil eden hız vektörleri yardımıyla bulunur (Şekil 1.25). B otomobilinin A otomobilindeki bir gözlemciye göre bağıl hızı $\vec{v}_{AB}$, A otomobilinin B otomobilindeki bir gözlemciye göre bağıl hızı ise $\vec{v}_{BA}$ ile gösterilir. $\vec{v}_{AB}$ ve $\vec{v}_{BA}$ başlangıç noktaları birleştirilen $\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_B$ hızlarında gözlemcinin hız vektörünün ucundan, gözlenenin hız vektörünün ucuna kadar çizilerek elde edilen hız vektörüne eşittir (Şekil 1.26) ve (Şekil 1.27). Dikkat edilirse $\vec{v}_{AB}$ ile $\vec{v}_{BA}$ eşit büyüklükte zıt vektörlerdir. Bu yüzden A ile B hareketlileri birbirini eşit büyüklükte ancak zıt yöndeki bağıl hızlarla hareket ediyor gibi görünür.



Şekil 1.25: A ve B hareketlilerinin mutlak hız vektörleri



Şekil 1.26: B'nin A'ya göre bağıl hız vektörü



Şekil 1.27: A'nın B'ye göre bağıl hız vektörü

Burada bağıl hız, $\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_B$ vektörleri arasındaki vektör farkı olduğundan, bağıl hız için

$$\vec{v}_{\text{bağıl}} = \vec{v}_{\text{gözlenen}} - \vec{v}_{\text{gözlemci}} \text{ eşitliği elde edilir.}$$

$\vec{v}_{\text{bağıl}}$ vektörünün büyüklüğü

$$|\vec{v}_{\text{bağıl}}|^2 = |\vec{v}_{\text{gözlenen}}|^2 + |\vec{v}_{\text{gözlemci}}|^2 - 2 \cdot |\vec{v}_{\text{gözlenen}}| \cdot |\vec{v}_{\text{gözlemci}}| \cdot \cos \alpha \text{ eşitliği ile bulunur.}$$

Burada α açısı, gözlenen ve gözlemci hız vektörleri arasındaki açıdır.

Örnek: Batı yönünde 60 km/h sabit hızla hareket eden bir motosikletli

- a) Doğu yönünde 40 km/h sabit hızla giden treni,
b) Güney yönünde 80 km/h hızla hareket eden otomobili,
hangi yönde kaç km/h hızla gidiyor gibi görür?

Çözüm: Trenin ve otomobilin motosikletliye göre hızı,

$$\vec{v}_{\text{bağlı}} = \vec{v}_{\text{gözlener}} - \vec{v}_{\text{gözlemci}} \text{ eşitliğiyle bulunur.}$$

- a) Motosikletin hızı $\vec{v}_M$ trenin hızı $\vec{v}_T$ ile sembolize edilerek hareketlilerin hız vektörleri çizilip, başlangıç noktaları birleştirildiğinde trenin motosikletliye göre hızı $\vec{v}_{MT}$ yanda verildiği gibi doğu yönünde bulunur. Motosikletli ve tren aynı doğrultuda hareket ettiğinden $\vec{v}_{MT}$ hızı

$$\left| \vec{v}_{MT} \right| = \left| \vec{v}_T \right| - \left| \vec{v}_M \right|$$

$$\left| \vec{v}_{MT} \right| = 40 - (-60) = 100 \text{ km/h}$$

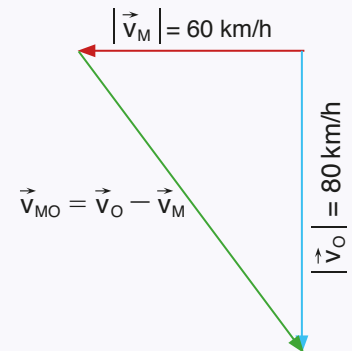
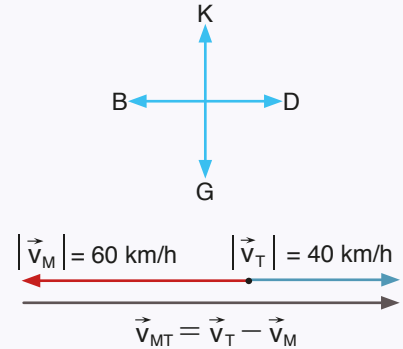
büyükliğünde ve trenle aynı yönde bulunur.

- b) Motosikletin hızı $\vec{v}_M$ ve otomobilin hızı $\vec{v}_O$ 'ın başlangıç noktaları birleştirildiğinde otomobilin motosikletliye göre hızı $\vec{v}_{MO}$ güneydoğu yönünde bulunur. $\vec{v}_{MO}$ hızının büyüklüğü ise

$$|\vec{v}_{MO}|^2 = |\vec{v}_O|^2 + |\vec{v}_M|^2 - 2 \cdot |\vec{v}_O| \cdot |\vec{v}_M| \cdot \cos \alpha$$

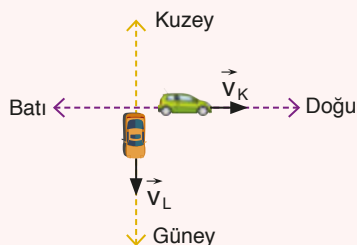
$$\begin{aligned} |\vec{v}_{MO}|^2 &= 80^2 + 60^2 - 2 \cdot 80 \cdot 60 \cdot \cos 90^\circ \\ &= 6400 + 3600 \end{aligned}$$

$|\vec{v}_{MO}| = \sqrt{10000} = 100 \text{ km/h}$ hızla güneydoğu yönünde gidiyor görür.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 11

Doğu yönünde ilerleyen K ve güney yönünde ilerleyen L otomobillerinin hızlarının büyüklükleri birbirine eşit ve $20\sqrt{2}$ m/s'dir.



**K otomobilindeki bir gözlemci L otomobilini
hangi yönde kaç m/s hızla hareket ediyor
görür?**

Cevap

Örnek: P ve R otomobilleri düz bir yolda, aynı yönde hareket etmektedir. Otomobillerin hızlarının büyüklükleri sırasıyla 50 m/s ve 30 m/s aralarındaki uzaklık ise 400 m'dir.



- a) P otomobilinin R otomobiline göre bağıl hızı kaç m/s'dir?
b) P otobili R otomobiline yetiştiği anda kaç metre yer değiştirmiştir?



Çözüm:

- a) P ve R otomobilleri aynı yönde hareket ettiğinden P otomobilinin R'ye göre bağıl hızı**

$$\begin{aligned} |\vec{v}_{RP}| &= |\vec{v}_P| - |\vec{v}_R| \\ &= 50 - 30 = 20 \text{ m/s olur.} \end{aligned}$$

- b)** Hareket hâlindeki otomobillerden P otomobilinin kendisinden $|KL| = 400$ m uzaklıktaki R otomobiline yetişmesi için R otomobilinin aldığı yoldan 400 m daha fazla yol alması gerekir. Bu durumda P otomobilinin R otomobiline yetişme süresi t ise

$$|KL| = |\vec{v}_{RP}| \cdot t$$

$$400 = 20 \cdot t$$

$t = 20$ s olarak bulunur.

t = 20 s'de P otomobilinin yaptığı yer değiştirme $\Delta \vec{x}_P$ ise büyüklüğü

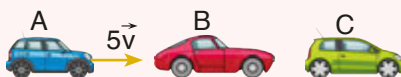
$$|\Delta \vec{x}_P| = |\vec{v}_P| \cdot t$$

$$|\Delta \vec{x}_P| = 50 \cdot 20 = 1000 \text{ m olur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 12

A, B ve C araçları $+x$ yönünde hareket etmektedir. A aracı yere göre $5\vec{v}$ hızıyla giderken içindeki durgun gözlemci B aracını kendisinden $2\vec{v}$ hızıyla uzaklaşıyor gibi görmektedir. Aynı anda B aracındaki durgun gözlemci C aracının kendisine doğru $2\vec{v}$ hızıyla yaklaştığını görmektedir.



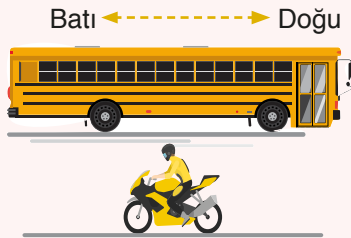
**C aracındaki durgun gözlemci, A aracını
hangi yönde ve kaç $\vec{v}$ hızla gidiyormuş
gibi görür?**

Cevap



ÇALIŞMA KÖŞESİ 13

Doğu yönünde $5\vec{v}$ hızı ile ilerleyen otobüsteki yolcu, araca göre $\vec{v}$ hızı ile batıya doğru ilerlerken yerdeki bir motosikletliyi $7\vec{v}$ hızı ile batı yönünde giderken görmektedir.



Motosikletlinin yere göre hızı kaç $\vec{v}$ 'dir?

Cevap

1.2.2. Hareketli Bir Ortamdaki Sabit Hızlı Cisimlerin Bağlı Hareketi

Bir gezinti teknesi İstanbul Boğazı'nda hareket etmektedir. Boğaz kenarında balık tutan kişilerin ve tekne-
de oturan yolcuların, tekne üzerinde yürüyen yolcunun hareketini yorumlamaları birbirinden farklı olacak-
tır. (Görsel 1.4).

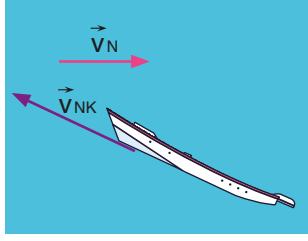


Görsel 1.4: Boğaz'da hareket eden gezinti teknesi ve balık tutan kişiler

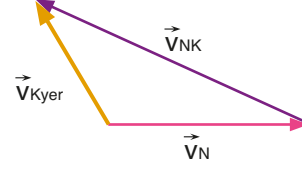
Gözlem çerçevesine göre farklı şekillerde yorumlanan hareketi, karmaşıklığından kurtarıp anlaşılır bir şekilde ifade etmek için hareketsiz bir referans noktasına göre tanımlamak gerekir. Yeryüzünde hareketli bir ortamda hareket eden nesneler için referans noktası yeryüzünde seçilen sabit bir noktadır. Bu yüzden problem çözümlerinde verilen bağıl hızların değerleri, yere göre düşünülüp hesaplamaların buna göre yapılması gerekir.

Bağıl hızı verilen bir hareketlinin yere göre hızı, aşağıdaki gibi bir düşünceyle bulunabilir. Yere göre akıntı hızı $\vec{v}_N$ olan nehirdeki kayak, nehre göre $\vec{v}_{NK}$ bağıl hızıyla hareket etmektedir (Şekil 1.28). Kayığın yere göre hızı $\vec{v}_{Kyer}$, hareketlerin hızlarını temsil eden Şekil 1.29'daki hız vektörleri toplanarak

$$\vec{v}_{Kyer} = \vec{v}_N + \vec{v}_{NK} \text{ eşitliğiyle bulunur.}$$

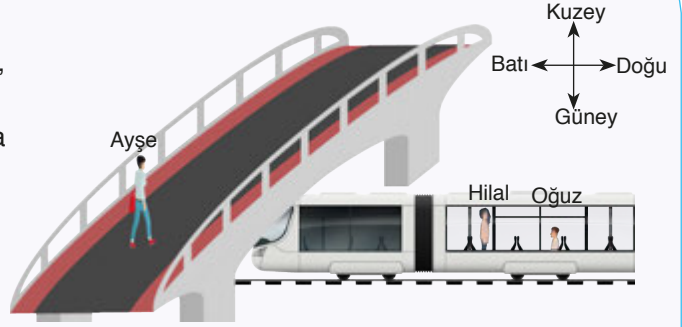


Şekil 1.28: Nehirde hareket eden kayak



Şekil 1.29: Nehrin ve kayığın hız vektörleri

Örnek: Batı yönünde hareket eden tren yere göre 15 m/s hızla hareket etmektedir. Trenin içindeki yolculardan Oğuz oturmakta, Hilal ise trene zıt yönde ve Oğuz'a göre 3 m/s hızla yürümektedir. Ayşe ise tren yoluna dik ve kuzey yönünde 5 m/s hızla üst geçitten geçmektedir. Buna göre



- Oğuz ve Hilal'in yere göre hızı kaçtır?
- Hilal'in Ayşe'ye göre hızı kaçtır?

Çözüm:

- Oğuz trende oturduğu için trenle aynı hızla hareket eder. Bu yüzden yere göre hızı trenin yere göre hızına eşit ve 15 m/s'dir. Hilal hareket hâlindeki trende yürüdüğünden yere göre hızı yanda verildiği gibi trene göre hızı ($\vec{v}_{TH}$) ile trenin hızı ($\vec{v}_T$) toplanarak bulunur. Bu durumda Hilal'in yere göre hızı $\vec{v}_H$ ile sembolize edilirse

$$\vec{v}_H = \vec{v}_T + \vec{v}_{TH}$$

$$|\vec{v}_H| = 15 - 3$$

$$|\vec{v}_H| = 12 \text{ m/s olarak bulunur.}$$

$$\begin{aligned} |\vec{v}_O| &= 15 \text{ m/s} \\ |\vec{v}_{HO}| &= 3 \text{ m/s} \quad |\vec{v}_H| = 12 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Birbirine dik olan Hilal'in yere göre hızı ($\vec{v}_H$) ve Ayşe'nin yere göre hızı ($\vec{v}_A$) yanda verildiği gibi başlangıç noktaları birleştirildiğinde, Hilal'in Ayşe'ye göre hızı ($\vec{v}_{AH}$)'nın büyüklüğü pisagor bağıntısı kullanılarak

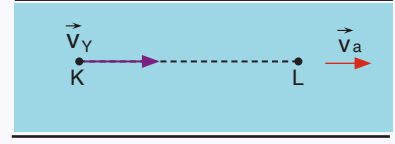
$$\begin{aligned} |\vec{v}_{AH}|^2 &= |\vec{v}_A|^2 + |\vec{v}_H|^2 \\ &= 5^2 + 12^2 \end{aligned}$$

$$|\vec{v}_{AH}|^2 = 169$$

$$|\vec{v}_{AH}| = 13 \text{ m/s bulunur.}$$

$$\begin{aligned} |\vec{v}_{AH}| &= 13 \text{ m/s} \\ |\vec{v}_A| &= 5 \text{ m/s} \\ |\vec{v}_H| &= 12 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Örnek: Bir yüzücü K noktasından akıntı hızının $\vec{v}_a$ olduğu nehirde akıntıyla aynı yönde, suya göre 1 m/s büyüklüğündeki $\vec{v}_Y$ hızı ile 100 m yüzerek 10 s'de L noktasına ulaşmaktadır. **Yüzücü L noktasından akıntıya ters yönde aynı hızla 10 s daha yüzerse yüzücünün K noktasına uzaklığı kaç m olur?**



Çözüm: Yüzücü K noktasından $\vec{v}_Y$ hızı ile akıntıyla aynı yönde yüzdüğünden yere göre hızı $\vec{v}_{Yer1}$ ile gösterilirse

$$\vec{v}_{Yer1} = \vec{v}_a + \vec{v}_Y$$

$$|\vec{v}_{Yer1}| = |\vec{v}_a| + |\vec{v}_Y|$$

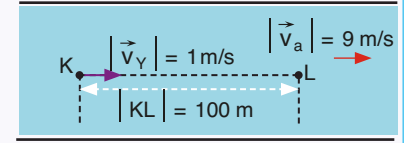
$$|KL| = |\vec{v}_{Yer1}| \cdot t$$

$$|KL| = (|\vec{v}_a| + |\vec{v}_Y|) \cdot t$$

$$100 = (|\vec{v}_a| + 1) \cdot 10$$

$$10 = |\vec{v}_a| + 1$$

$$|\vec{v}_a| = 9 \text{ m/s bulunur.}$$



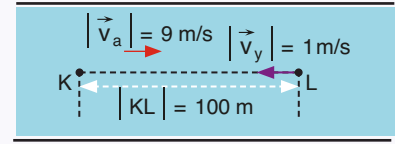
Yüzücü L noktasından akıntıya ters yönde yüzdüğünden yere göre hızı $\vec{v}_{Yer2}$

$$\vec{v}_{Yer2} = \vec{v}_a + \vec{v}_y$$

$$|\vec{v}_{Yer2}| = |\vec{v}_a| - |\vec{v}_y|$$

$$= 9 - 1$$

$$|\vec{v}_{Yer2}| = 8 \text{ m/s bulunur.}$$

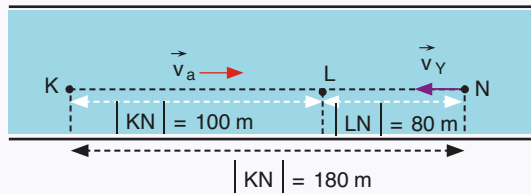


Burada yüzücünün suya göre hızı akıntı hızından küçük olduğundan ($v_y < v_a$) yüzücü akıntıyla aynı yönde L noktasının sağına doğru sürüklenmeye başlar.

Yüzücünün 10 s sürede N noktasına ulaştığı varsayılırsa

$$|LN| = \vec{v}_{Yer2} \cdot t$$

$$|LN| = 8 \cdot 10 = 80 \text{ m bulunur.}$$



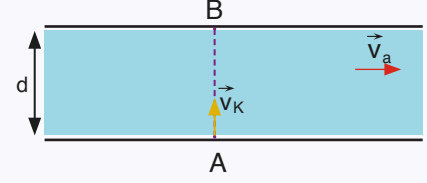
Yüzücü toplam 20 s yüzdükten sonra K noktasından

$$|KN| = |KL| + |LN|$$

$$|KN| = 100 + 80 = 180 \text{ m uzakta olur.}$$

Örnek: Akıntı hızı 8 m/s, genişliği 18 m olan nehirde bir kayık A noktasından akıntıya dik olarak tam karşısındaki B noktasına doğru 6 m/s hızla harekete geçmektedir.

- Kayık karşı kıyıya kaç saniyede geçer?
- Kayığın yere göre hızı kaç m/s'dir?
- Kayığın karşı kıyıya çıktığı noktanın A ve B noktalarına uzaklığı kaç m'dir?



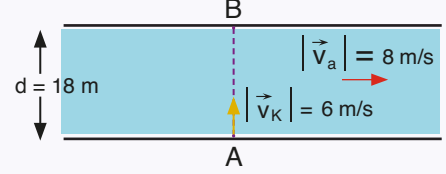
Çözüm:

- Kayık akıntı hızına dik doğrultuda hareket ettiğinden nehrin akıntı hızı, karşı kıyıya geçme süresince kayığın hızının büyüklüğünü değiştirmez, hareket doğrultusunu değiştirir.

Buna göre kayığın karşı kıyıya ulaşma süresi t,

$$d = |\vec{v}_k| \cdot t$$

$$t = \frac{d}{|\vec{v}_k|} = \frac{18}{6} = 3 \text{ s'dir.}$$



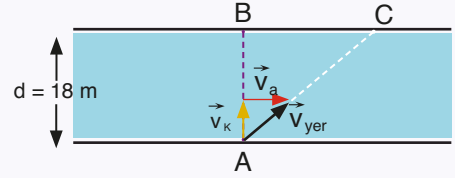
- Kayığın yere göre hızı akıntı hızı ($\vec{v}_{yer}$) ile kayığın hızının toplamı olduğundan büyüklüğü

$$\vec{v}_{yer} = \vec{v}_k + \vec{v}_a$$

$$|\vec{v}_{yer}|^2 = |\vec{v}_k|^2 + |\vec{v}_a|^2$$

$$= 6^2 + 8^2 = 100$$

$$|\vec{v}_{yer}| = 10 \text{ m/s bulunur.}$$



- Kayık, karşı kıyıya ulaşma süresince $\vec{v}_{yer}$ hızının yön ve büyüklüğündeki hızla hareket eder. Karşı kıyıya $\vec{v}_{yer}$ hızının doğrultusundaki C noktasına çıkar. C noktasının A noktasına uzaklığı $|AC|$

$$|AC| = |\vec{v}_{yer}| \cdot t$$

$$= 10 \cdot 3 = 30 \text{ m bulunur.}$$

Kayık, karşı kıyıya ulaşma süresince nehrin akıntı hızı $\vec{v}_a$ 'nın yön ve büyüklüğündeki hızla sürükleneceğinden karşı kıyıya çıktığı anda B noktasına olan $|BC|$ uzaklığı

$$|BC| = |\vec{v}_a| \cdot t$$

$$= 8 \cdot 3 = 24 \text{ m bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 14

$\vec{v}$ büyüklüğündeki hıza sahip yürüyen bant üzerinde, banda göre $\vec{v}/2$ büyüklüğünde hızla aynı yönde yürüyen bir yolcu, bandın bir ucundan diğer ucuna t sürede ulaşmaktadır.



Yolcunun yürüyen bantla zıt yönde koşarak aynı t sürede bir uçtan diğer uca ulaşabilmesi için banda göre hızının büyüklüğü kaç $\vec{v}$ olması gerekir?

Cevap



ÇALIŞMA KÖŞESİ 15

Bir kuğu, akıntı hızı 4 m/s ve genişliği 27 m olan bir nehirde akıntıya dik bir şekilde yüzerek karşı kıyıya 9 s'de ulaşmaktadır. Buna göre



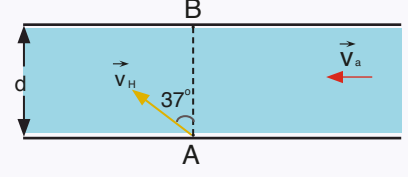
- a) Kuğunun suya göre hızı kaç m/s'dir?
b) Kuğunun yere göre hızı kaç m/s'dir?
c) Kuğu kaç metre sürüklenir?

Cevap

Örnek: Bir hız teknesi, akıntı hızı $\vec{v}_a$ 'nın 10 m/s, genişliği 200 m olan nehirde suya göre 25 m/s hızla şekilde verildiği gibi yol almaktadır.

Hız teknesi karşı kıyıya çıktığında A noktasının tam karşısındaki B noktasına olan uzaklığı kaç m olur?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$)



Çözüm: Hız teknesinin hızı bileşenlerine ayrılırsa

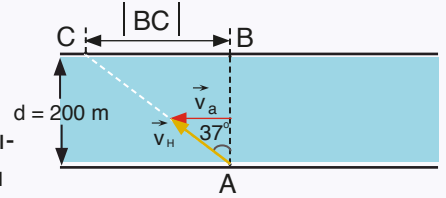
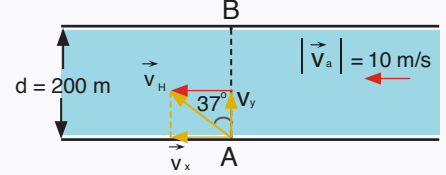
$$\begin{aligned} |\vec{v}_x| &= |\vec{v}_H| \cdot \sin 37^\circ \\ |\vec{v}_x| &= 25 \cdot 0,6 = 15 \text{ m/s} \\ |\vec{v}_y| &= |\vec{v}_H| \cdot \cos 37^\circ \\ |\vec{v}_y| &= 25 \cdot 0,8 = 20 \text{ m/s bulunur.} \end{aligned}$$

Hız teknesinin karşı kıyıya ulaşma süresi

$$\begin{aligned} d &= |\vec{v}_y| \cdot t \\ t &= d \cdot |\vec{v}_y| \\ t &= \frac{200}{20} = 10 \text{ s bulunur.} \end{aligned}$$

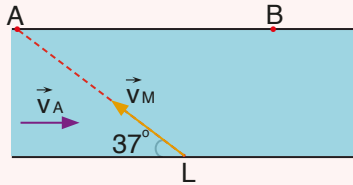
Hız teknesi karşı kıyıya akıntı yönünde sürüklenerek B noktasının solundaki C noktasında çıksın. Buna göre B ve C noktaları arasındaki uzaklık

$$\begin{aligned} |BC| &= (|\vec{v}_x| + |\vec{v}_a|) \cdot t \\ &= (15 + 10) \cdot 10 \\ |BC| &= 25 \cdot 10 = 250 \text{ m bulunur.} \end{aligned}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 16

Akıntı hızının 6 m/s olduğu nehirde suya göre hızı 5 m/s olan motor L noktasından A noktasına doğru harekete başlayarak karşı kıyıdaki B noktasında çıkmaktadır.



A ve B noktaları arasındaki uzaklık 180 m olduğuna göre nehrin genişliği kaç metredir?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$)

Cevap



1.3. Newton'ın Hareket Yasaları

Isaac Newton (Aysek Nivtın) 5 Temmuz 1687 tarihinde "Tabiat Felsefesinin Matematiksel İlkeleri" isimli çalışmasını yayınlamıştır. Bu çalışmasında kendi adıyla bilinen yasaları ile cisimlerin hareket nedenlerini, üzerlerine etkiyen kuvvetlere bağlayarak etraftaki cisimlerin hareketleri hakkında bilgi edinmesini sağlamıştır.

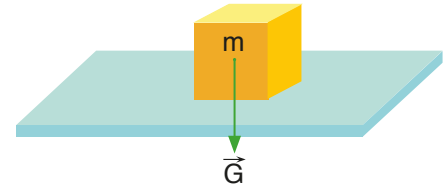
Cisimler üzerine uygulanan kuvvetlerin yapacağı etkiyi tek başına yapabilen bir kuvvete **net kuvvet** denir ve $\vec{F}_{\text{Net}}$ ile gösterilir. Net kuvveti bulmak için serbest cisim diyagramlarından yararlanılır.

Net kuvveti oluşturan muhtemel kuvvetlerden dördü şunlardır:

Ağırlık: Yönü, cismin üzerinde bulunduğu gezegenin merkezine doğru olan özel bir kuvvettir. Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu bir yerde bulunan m kütleli bir cismin ağırlığı

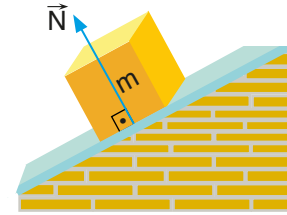
$\vec{G} = m\vec{g}$ formülüyle hesaplanır.

Şekil 1.30'da verildiği gibi cisimler üzerinde her zaman etkin olan ağırlık, düşey doğrultuda yerin merkezine doğru $-y$ yönünde çizilen bir vektörle temsil edilir.



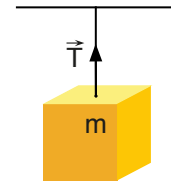
Şekil 1.30: m kütleli cismin ağırlığı

Tepki Kuvveti: Yüzey üzerindeki herhangi bir noktadan geçecek şekilde, yüzeye dik olarak çizilen doğruya yüzeyin normali denir. Temas ettiği yüzey üzerinde duran ya da hareket eden cisimlere yüzey tarafından normal doğrultusunda uygulanan kuvvete **tepki kuvveti** denir ve $\vec{N}$ ile gösterilir (Şekil 1.31).



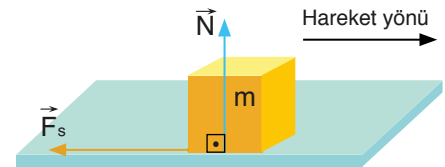
Şekil 1.31: m kütleli cismin tepki kuvveti

Gerilme Kuvveti: Bir cisme ip, halat, tel vb. tarafından uygulanan çekme kuvvetidir. Gerilme kuvveti bir itme kuvveti oluşturmaz. $\vec{T}$ ile gösterilir (Şekil 1.32). Ağırlığı ihmal edilen bir ip üzerindeki her noktanın gerilme kuvveti birbirine eşittir.



Şekil 1.32: m kütleli cismin asıldığı ipteki gerilme kuvveti

Sürtünme Kuvveti: Cisimlere üzerinde bulundukları yüzey tarafından uygulanan başka bir kuvvet çeşidi de sürtünme kuvvetidir. Sürtünme kuvveti genellikle $\vec{F}_s$ ile gösterilir ve SI birim sisteminde birimi Newton'dır (N). Her zaman tepki kuvvetine dik, yüzeye paralel olan sürtünme kuvveti, duran cisimlerde statik sürtünme kuvveti adını alır. Hareket hâlindeki cisimlerde ise kinetik sürtünme kuvveti adını alır ve genellikle harekete ya da zorlamaya zıt yönlüdür (Şekil 1.33). Sürtünme katsayısı k , cisme uygulanan tepki kuvveti $\vec{N}$ olan bir cisme etki eden sürtünme kuvvetinin büyüklüğü,



Şekil 1.33: m kütleli cisme etki eden sürtünme kuvveti

$F_s = k \cdot N$ eşitliğiyle hesaplanır.

9. sınıf fen lisesi öğretim programında Newton'ın hareket kanunları incelenmişti. Ancak burada kısaca hatırlatmak yerinde olacaktır.

I. Kanun (Eylemsizlik Prensibi)

Boşluğa serbest bırakılan her cisim yere düşerken elmanın dalında durma şartı ne olabilir? Tabii ki elmayı yere düşüren ağırlık kuvvetinin etkisini yok edecek başka bir kuvvet olması gerekir. Bu kuvveti sağlayan elma dalıdır. Elma dalı tarafından elmanın ağırlığına eşit ve zıt yönde bir çekme kuvveti uygulanırsa elma, dalından kopmadan durabilir (Görsel 1.5).



Görsel 1.5: Dalında duran elmaya etki eden kuvvetler

Cisimlerin içinde bulunduğu durumu koruma eğilimine **eylemsizlik** denir. Dalından kopan elma yere düştüğünde bazen bir miktar yuvarlanarak hareket edip durmaktadır. Peki sizce elmayı durduran ne olabilir? Kuşkusuz bu sorunun cevabı yer tarafından elmaya etki eden ve hareketine zıt yöndeki sürtünme kuvvetidir. Buradan sürtünme kuvveti olmadığında elmanın hareketinin sürekli olacağı sonucuna da ulaşılabilir (Görsel 1.6). Buna benzer gözlem sonuçları genelleştirilerek Newton'ın I. kanunu, bir cisme etki eden net kuvvet sıfır ise cisim ya durmaktadır ya da sabit hızla hareketine devam etmektedir şeklinde ifade edilebilir.



Görsel 1.6: Yerde bir süre yuvarlanarak duran elma

II. Kanun (Dinamiğin Temel Prensibi)

Elma zamanla büyüyerek olgunlaşır. Öyle bir an gelir ki elma sapı artık elma ağırlığından dolayı gerilme kuvvetine dayanamaz ve koparak elmanın yere düşmesine sebep olur. Hava direnci ihmal edilirse elma dalından koptuğunda elmaya etki eden tek kuvvet, elmanın ağırlığıdır. Elmanın dalından koptuğu anda hızı sıfır iken yere belli bir hıza ulaşarak düşer (Görsel 1.7).

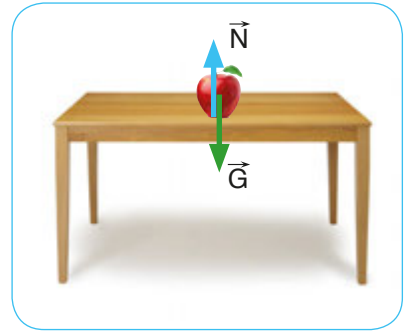
Bu gözlem sonucunda da bir cisme etki eden net kuvvet sıfırdan farklı bir değere sahipse cismin ivmeli hareket yaptığı sonucuna ulaşılır. Newton'ın II. Kanununa göre, cismin kazanacağı $\vec{a}$ ivmesi $\vec{F}_{\text{Net}}$ kuvveti ile doğru, cismin kütlesiyle ters orantılıdır. Dinamiğin temel prensibi olarak da bilinen bu kanun kısaca $\vec{F}_{\text{Net}} = m \cdot \vec{a}$ şeklinde formüle edilir.



Görsel 1.7: Dalından düşen elma

III. Kanun (Etki-Tepki Prensibi)

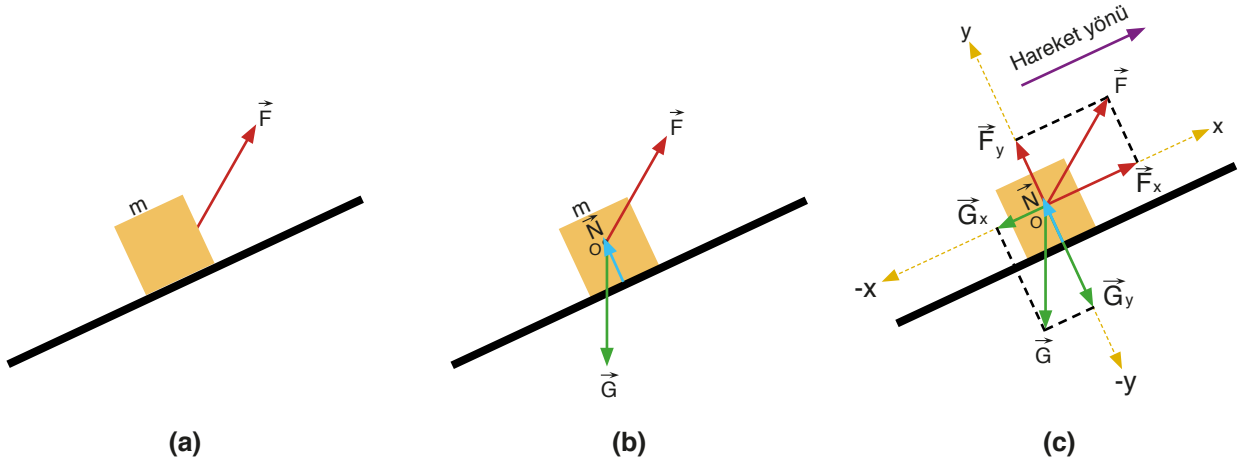
Dalından koparak düşen elma yerden alınarak Şekil 1.34'teki gibi masaya bırakılmaktadır. Elma, masaya ağırlığı büyüklüğünde bir etki kuvveti uygulayacaktır. Elmanın dalındaki denge durumu gibi masada da dengede durabilmesi için masa tarafından elmaya ağırlığına eşit büyüklükte zıt yönlü bir kuvvet uygulaması gerekir. Masanın elmaya uyguladığı bu kuvvet tepki kuvvetidir. Newton'ın III. kanununa göre etki kuvveti, tepki kuvvetine eşit büyüklükte ancak zıt yönlüdür. Buna göre elmanın üzerinde bulunduğu masaya uyguladığı etki kuvveti ile masanın elmaya uyguladığı tepki kuvveti arasında $\vec{N} = -\vec{G}$ eşitliği vardır.



Şekil 1.34: Masa üzerinde duran elma

1.3.1. Sürtünmesiz Düzlemde Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvetin Hesaplanması

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu bir ortamdaki sürtünmesiz düzlemde Şekil 1.35.a'daki gibi verilen m kütleli bir cisme $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında cisme etki eden net kuvvetin hesaplanmasında genel bir inceleme yapmak yerinde olacaktır. Bunun için öncelikle cisim üzerine etkiyen kuvvetler gösterilerek serbest cisim diyagramı elde edilir (Şekil 1.35.b). Daha sonra koordinatlarından biri cismin üzerinde bulunduğu yüzeye paralel, orijini ise cismin kütle merkezine gelecek şekilde x-y koordinat sistemi çizilir (Şekil 1.35.c). Cisme etki eden kuvvetlerin başlangıç noktaları çizilen koordinat sisteminin orijinine gelecek şekilde taşınarak her kuvvetin bileşeni hesaplanır.



Şekil 1.35: Sürtünmesiz düzlemdeki m kütleli cisme etki eden kuvvetler

Cismin üzerinde hareket edebileceği düzleme paralel olan koordinat üzerindeki bileşenlerin toplamı, dinamiğin temel prensibinde kullanılan net kuvvete eşittir.

$$\vec{F}_{xNet} = \vec{F}_x + \vec{G}_x$$

$|\vec{F}_x| > |\vec{G}_x|$ olduğunda cisim +x yönünde hareket eder. Bu durumda net kuvvetin büyüklüğü

$$|\vec{F}_{xNet}| = |\vec{F}_x| - |\vec{G}_x| \text{ eşitliğiyle bulunur.}$$

Buna göre genelleştirilirse net kuvvetin büyüklüğü, düzleme paralel koordinat üzerinde cismin hareket yönündeki kuvvetlerin büyüklüklerinin toplamından, harekete zıt yöndeki kuvvetlerin büyüklüklerinin toplamının çıkarılmasıyla elde edilir. Net kuvvetin sıfır olması durumunda cisim ya durur ya da ivmesiz bir hareket yapar. Net kuvvetin sıfırdan farklı olması durumunda ise $\vec{F}_{xNet}$ kuvveti yönünde ivmeli bir hareket yapar. Cismin hareketinde kazanacağı ivme dinamiğin temel prensibinden

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

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{xNet}}{m} \text{ formülü ile bulunur.}$$

Koordinat sistemi üzerinde cisme y doğrultusunda etki eden net kuvvet

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

olacaktır. $|\vec{G}_y| > |\vec{F}_y|$ olduğunda y doğrultusunda herhangi bir hareket olmayacağından $|\vec{F}_{yNet}| = 0$ olur.

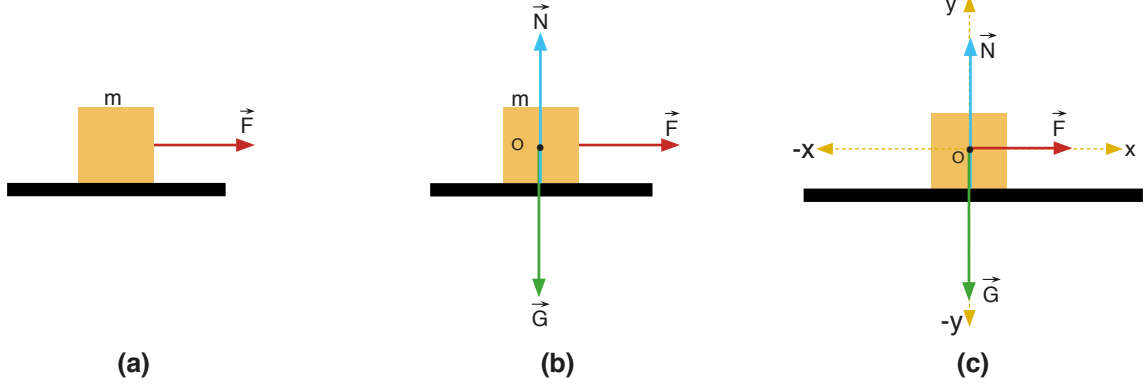
Buna göre $\vec{F}_{yNet} = \vec{F}_y + \vec{G}_y + \vec{N} = 0$ eşitliği elde edilir. Eşitlikteki tepki kuvveti +y yönünde olup büyüklüğü için

$$|\vec{N}| = |\vec{G}_y| - |\vec{F}_y| \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Cisim tepki kuvvetine dik bir doğrultuda hareket eder.

Yatay Sürtünmesiz Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

Sürtünmesiz yatay düzlem üzerindeki m kütleli cisme Şekil 1.36.a'da verilen $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında cismin serbest cisim diyagramı Şekil 1.36.b'de verildiği gibi olur. Cisme etki eden kuvvet bileşenlerinin x-y koordinat sistemindeki gösterimi Şekil 1.36.c'de verildiği gibi olacaktır.



Şekil 1.36: Yatay sürtünmesiz düzlemde $\vec{F}$ kuvveti uygulanan cismin serbest cisim diyagramı

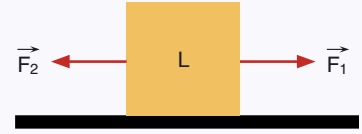
Cisme $+x$ yönünde uygulanan net bir kuvvet olduğundan kuvvet yönünde ivmeli hareket yapar ve ivmesi

$$\vec{F}_{\text{Net}} = \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad \text{formülü ile bulunur.}$$

Örnek: Sürtünmesiz yatay düzlemde durmakta olan 5 kg kütleli L kolisine büyüklükleri 25 N ve 15 N olan yatay doğrultudaki $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri etki etmektedir.

L kolisinin serbest cisim diyagramını çizerek hangi yönde kaç m/s^2 lik ivme ile hareket ettiğini bulunuz.



Çözüm: Serbest cisim diyagramı verilen L kolisinin ivmesinin bulunabilmesi için $\vec{F}_{\text{Net}}$ kuvvetinin bulunması gerekir.

$|\vec{F}_1| > |\vec{F}_2|$ olduğundan

$$\vec{F}_{\text{Net}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = |\vec{F}_1| - |\vec{F}_2|$$

$$= 25 - 15$$

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = 10 \text{ N bulunur.}$$

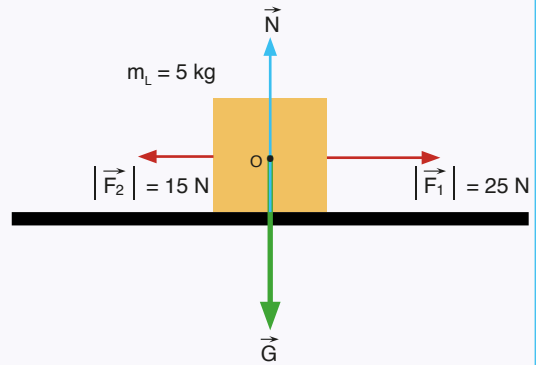
Dinamiğin temel prensibinden kolinin ivmesi

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = m \cdot |\vec{a}|$$

$$10 = 5 \cdot |\vec{a}|$$

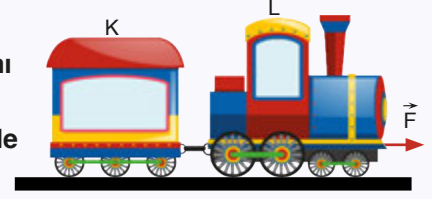
$$|\vec{a}| = \frac{10}{5} = 2 \text{ m/s}^2 \text{ bulunur.}$$

Koli $\vec{F}_1$ kuvveti yönünde 2 m/s^2 ivmeyle hareket eder.



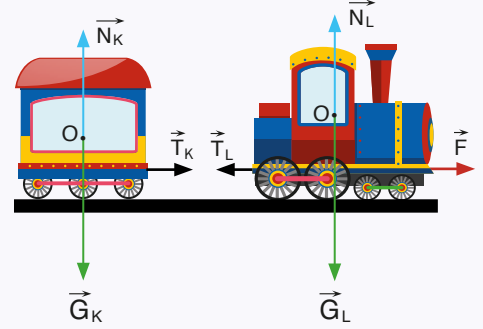
Örnek: K vagonu ve L lokomotifi sürtünmesi ihmal edilen yatay düzleme paralel $\vec{F}$ kuvveti tarafından çekilmektedir. $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü 150 N, K vagonu 20 kg, L lokomotifi 30 kg'dır. t

- a) K vagonu ve L lokomotifinin serbest cisim diyagramını çiziniz.
- b) K vagonu ve L lokomotifini arasındaki bağlantı zincirinde meydana gelen gerilme kuvvetini bulunuz.
($|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)



Çözüm:

- a) K vagonu ve L lokomotifinin serbest cisim diyagramı yanda verildiği gibidir. Burada $\vec{T}_K$ K vagonuna bağlantı zinciri tarafından uygulanan etki kuvveti, $\vec{T}_L$ ise L lokomotifinin aradaki bağlantı zinciri aracılığı ile K vagonuna gösterdiği tepki kuvvetidir.

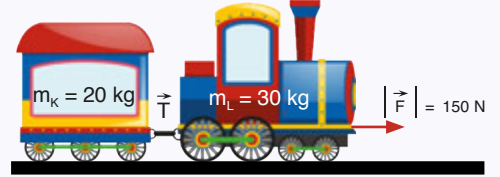


- b) Sistemin ivmesinin büyüklüğü

$$|\vec{a}| = \frac{|\vec{F}_{\text{Net}}|}{m_T}$$

$$|\vec{a}| = \frac{150}{(20 + 30)}$$

$$|\vec{a}| = 3 \text{ m/s}^2 \text{ bulunur.}$$



Aralarında bağlantı zinciri bulunan K vagonu ve L lokomotifini arasındaki eşit büyüklükte $\vec{T}_K$ ve $\vec{T}_L$ gerilme kuvvetleri

I. yol: Vagona etki eden net kuvvet $\vec{T}_K$ olduğundan

$$|\vec{F}_{K\text{Net}}| = m_K \cdot |\vec{a}|$$

$$|\vec{T}_K| = m_K \cdot |\vec{a}|$$

$$= 20 \cdot 3$$

$$|\vec{T}_K| = 60 \text{ N olarak bulunur.}$$

II. yol: Lokomotifine etki eden net kuvvet $|\vec{F}| - |\vec{T}_L|$ olduğundan

$$|\vec{F}_{L\text{Net}}| = m_L \cdot |\vec{a}|$$

$$|\vec{F}| - |\vec{T}_L| = m_L \cdot |\vec{a}|$$

$$150 - |\vec{T}_L| = 30 \cdot 3$$

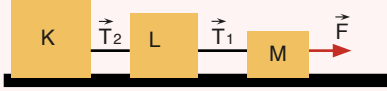
$$|\vec{T}_L| = 150 - 90$$

$$|\vec{T}_L| = 60 \text{ N olarak bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 17

K, L ve M cisimleri sürtünmesiz bir ortamda, büyüklüğü 9 N olan $\vec{F}$ kuvveti tarafından çekilmektedir. K, L ve M cisimlerinin kütleleri sırasıyla 4,5 kg, 2,5 kg ve 2 kg'dır. K ve L cisimleri arasındaki ip gerilme kuvveti $\vec{T}_2$, L ve M cisimleri arasındaki ip gerilme kuvveti $\vec{T}_1$ olduğuna göre



- a) Sistemin ivmesi kaç m/s^2 dir?
 b) $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ gerilme kuvvetlerinin büyüklükleri kaçtır?
 ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap



Örnek: Sürtünmesiz yatay düzlemde bulunan L ve K cisimlerinin kütleleri sırasıyla 4 kg ve 3 kg'dır.

Cisimler yatay düzleme paralel 35 N'lık $\vec{F}$ kuvveti ile itildiklerinde L cisminin K cismine uyguladığı etki kuvveti $\vec{F}_{LK}$ ve K'nın L'ye gösterdiği tepki kuvveti $\vec{F}_{KL}$ kaç N olur?

Çözüm: Newton'ın II.Kanunu olan dinamiğin temel prensibinden sistemin ivmesinin büyüklüğü

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = m_T \cdot |\vec{a}|$$

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = (m_L + m_K) \cdot |\vec{a}|$$

$$35 = (4 + 3) \cdot |\vec{a}|$$

$$|\vec{a}| = 5 \text{ m/s}^2 \text{ bulunur.}$$

L cisminin K cismine uyguladığı etki kuvveti $\vec{F}_{LK}$, K'ye hareketi sırasında etki eden net kuvvete eşittir. K'nın ivmesi sistemin ivmesine eşit olacağından

$$|\vec{F}_{LK}| = |\vec{F}_{\text{Net}}|$$

$$= m_K \cdot |\vec{a}|$$

$$|\vec{F}_{LK}| = 3 \cdot 5 = 15 \text{ N bulunur.}$$

K cisminin L cismine uyguladığı tepki kuvvetini hesaplamak için

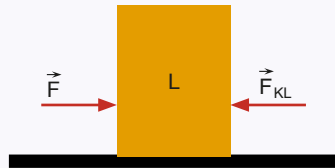
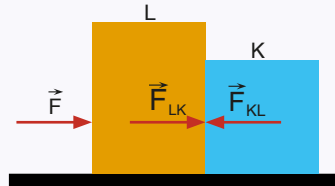
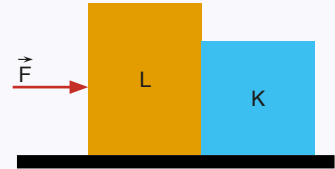
$$|\vec{F}_{L\text{Net}}| = |\vec{F}| - |\vec{F}_{KL}|$$

$$m_L \cdot |\vec{a}| = |\vec{F}| - |\vec{F}_{KL}|$$

$$4 \cdot 5 = 35 - |\vec{F}_{KL}|$$

$$|\vec{F}_{KL}| = 35 - 20 = 15 \text{ N bulunur.}$$

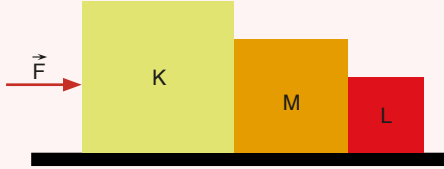
Görüldüğü gibi L cisminin K cismine etki kuvvetinin büyüklüğü ile K cisminin L cismine gösterdiği tepki kuvvetinin büyüklüğü eşittir.





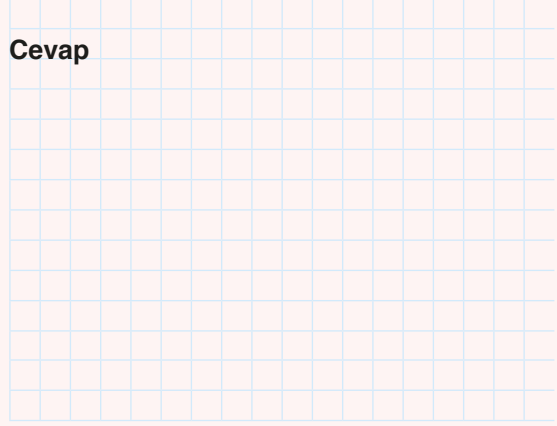
ÇALIŞMA KÖŞESİ 18

Sürtünmesiz bir yüzeyde bulunan K, L ve M cisimlerinin kütleleri sırasıyla 4 kg, 2 kg ve 3 kg'dır. K cismine 18 N'lık $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır.



Buna göre K cisminin M cismine uyguladığı $\vec{F}_{KM}$ etki kuvveti ve L'nin M cismine uyguladığı $\vec{F}_{LM}$ tepki kuvvetinin büyüklüğü kaç N olur?

Cevap



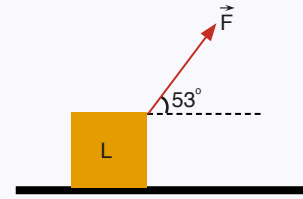
Örnek: Sürtünmesiz yatay düzlemdeki L cismine 5 Newton'lık bir kuvvet yatayla 53° açı yapacak şekilde uygulanmaktadır.

L cisminin kütlesi 3 kg olduğuna göre

a) L cisminin serbest cisim diyagramını çiziniz.

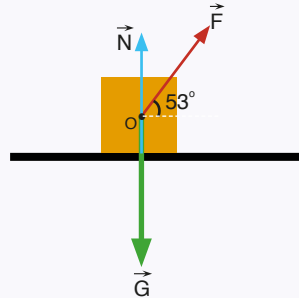
b) Cismin ivmesi kaç m/s^2 dir?

($|\vec{g}| = 10 m/s^2$, $\sin 53^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = 0,6$)



Çözüm:

a) Serbest cisim diyagramı aşağıda verildiği gibi olur.



b) L cismine etki eden $\vec{F}$ kuvvetinin bileşenlerinin büyüklükleri

$$|\vec{F}_x| = |\vec{F}| \cdot \cos \alpha$$

$$= 5 \cdot \cos 53^\circ$$

$$|\vec{F}_y| = |\vec{F}| \cdot \sin \alpha$$

$$= 5 \cdot \sin 53^\circ$$

$$|\vec{F}_x| = 5 \cdot 0,6 = 3 \text{ N}$$

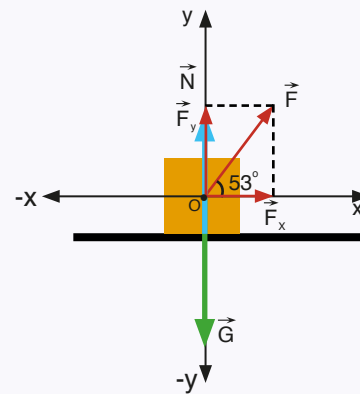
$$|\vec{F}_y| = 5 \cdot 0,8 = 4 \text{ N}$$

olur. Cisim yatay doğrultuda +x yönünde

$$|\vec{F}_{Net}| = |\vec{F}_x| = m \cdot |\vec{a}|$$

$$3 = 3 \cdot |\vec{a}|$$

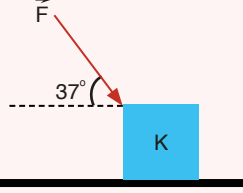
$$|\vec{a}| = 1 m/s^2 \text{ ivme ile hareket eder.}$$





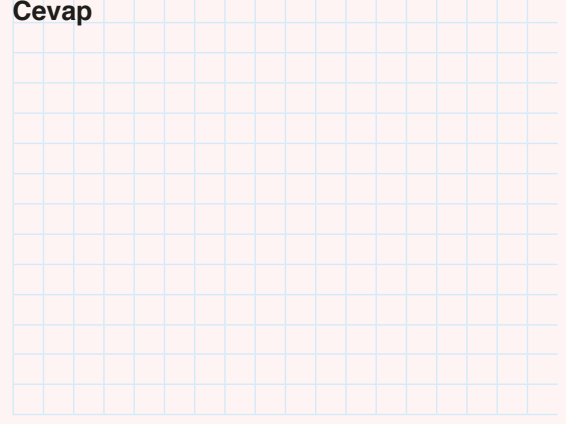
ÇALIŞMA KÖŞESİ 19

Sürtünmesiz yatay düzlemde kütlesi 2 kg olan K cisminin yatayla 37° açı yapan $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır.



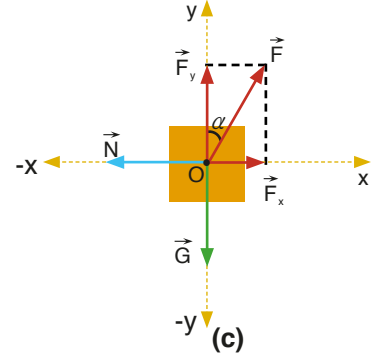
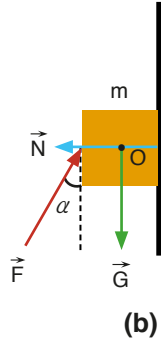
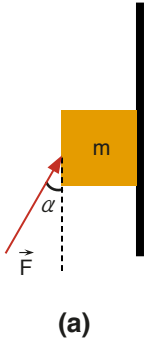
K cisminin serbest cisim diyagramını çizerek $0,2 \text{ m/s}^2$ lik ivmeyle hareket etmesi için gereken $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğünü bulunuz.
($\cos 37^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = 0,6$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap



Düşey Sürtünmesiz Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

Sürtünmesiz düşey düzlemdeki m kütleli cisme Şekil 1.37.a'da verildiği gibi düşeyle α açısı yapan $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında cismin serbest cisim diyagramı Şekil 1.37.b'de verildiği gibi olur. Cisme etki eden kuvvet bileşenlerinin x-y koordinat sistemindeki gösterimi Şekil 1.37.c'de verildiği gibi olur.



Şekil 1.37: Düşey sürtünmesiz düzlemde üzerine düşeyle α açısı yapacak şekilde $\vec{F}$ kuvveti uygulanan cismin serbest cisim diyagramı

$\vec{F}$ kuvvetinin bileşenleri

$$|\vec{F}_x| = |\vec{F}| \cdot \sin \alpha \quad |\vec{F}_y| = |\vec{F}| \cdot \cos \alpha \text{ eşitlikleriyle hesaplanır.}$$

Cismin hareketi y doğrultusunda olacağından bu doğrultu üzerindeki kuvvet bileşenlerinin toplamı net kuvvete eşittir.

$$\vec{F}_{y\text{Net}} = \vec{F}_y + \vec{G}$$

Bu eşitlikte $|\vec{F}_y| > |\vec{G}|$ olduğunda cisim düşey doğrultuda +y yönünde ivmeli hareket yapar. Cismin ivmesi,

$$|\vec{F}_{y\text{Net}}| = |\vec{F}_y| - |\vec{G}| = m \cdot |\vec{a}| \text{ eşitliğiyle bulunur.}$$

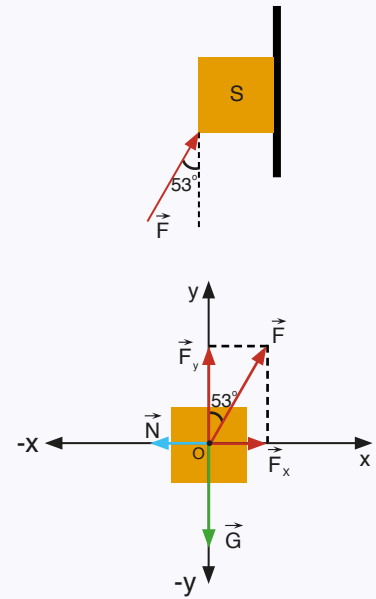
Düşey düzlemin tepki kuvveti $\vec{F}_x$ 'e eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür.

Örnek: Sürtünmesiz düşey düzlemde kütlesi 1,5 kg olan S cisminin dengede kalabilmesi için $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N olmalıdır?

$$(\sin 53^\circ = 0,8; \cos 53^\circ = 0,6 \quad |\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$$

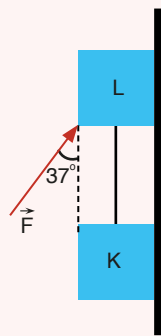
Çözüm: S cisminin sürtünmesiz düşey düzlemde dengede kalabilmesi için $\vec{F}$ kuvvetinin düşey bileşeninin büyüklüğü cismin ağırlığı $\vec{G}$ vektörünün büyüklüğüne eşit ve zıt yönlü olması gerekir. Buradan hareketle

$$\begin{aligned} |\vec{F}_y| &= |\vec{G}| \\ |\vec{F}| \cdot \cos 53^\circ &= |\vec{G}| \\ |\vec{F}| \cdot 0,6 &= 1,5 \cdot 10 \\ |\vec{F}| &= 25 \text{ N olur.} \end{aligned}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 20

Sürtünmesiz düşey düzlemde kütlesi 0,5 kg olan K cismi ile kütlesi 1,5 kg olan L cismi ağırlıksız ve esnek olmayan bir ip ile bağlanmıştır.

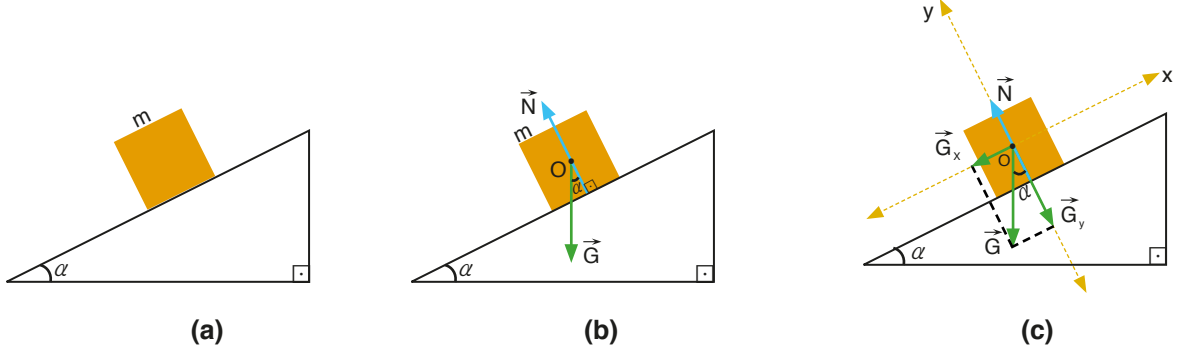


L cisminin düşey doğrultuda aşağı yönde $0,4 \text{ m/s}^2$ ivme ile hareket etmesi için $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N olmalıdır?
($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap

Sürtünmesiz Eğik Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu ortamda Şekil 1.38.a'da verilen eğim açısı α olan sürtünmesiz eğik düzlemde m kütleli bir cisim bırakıldığında cismin serbest cisim diyagramı Şekil 1.38.b'de verildiği gibidir. Cismin ağırlığının bileşenlerinin x-y koordinat sistemindeki gösterimi Şekil 1.38.c'de verildiği gibi olur.



Şekil 1.38: Sürtünmesiz eğik düzlemde bırakılan m kütleli cismin serbest cisim diyagramı

Ağırlık bileşenleri

$$|\vec{G}_x| = |\vec{G}| \cdot \sin \alpha$$

$$|\vec{G}_y| = |\vec{G}| \cdot \cos \alpha \text{ formülü ile bulunur.}$$

Cismin hareketi eğik düzlemde paralel olan x doğrultusunda olacağından bu doğrultu üzerindeki kuvvet bileşenlerinin toplamı net kuvvete eşittir. Sürtünmesiz eğik düzlemde x doğrultusunda cisme etki eden tek kuvvet cismin ağırlığının bu doğrultu üzerindeki x bileşenidir. Bu durumda

$$|\vec{F}_{x\text{Net}}| = |\vec{G}_x| \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Buna göre cisim -x yönünde ivmeli bir hareket yapar. Elde edilen eşitlikte dinamiğin temel prensibi kullanıldığında sürtünmesiz eğik düzlemde serbest bırakılan cisimler için kazanacağı $\vec{a}$ ivmesinin değeri

$$m \cdot |\vec{a}| = |\vec{G}| \cdot \sin \alpha$$

$$m \cdot |\vec{a}| = m \cdot |\vec{g}| \cdot \sin \alpha$$

$$|\vec{a}| = |\vec{g}| \cdot \sin \alpha \text{ olarak elde edilir.}$$

Dikkat edilirse sürtünmesiz eğik düzlemde $\vec{a}$ değeri yalnızca eğik düzlemin eğim açısı ve yer çekimi ivmesine bağlı olup cismin kütlesine bağlı değildir.

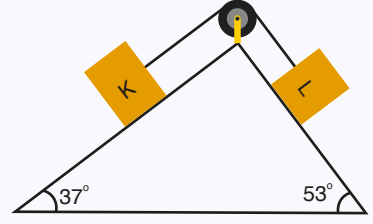
Eğik düzlemde serbest bırakılan cisme yüzey tarafından gösterilen tepki kuvveti $\vec{N}$ vektörünün büyüklüğü verilen $\vec{G}$ ağırlığının y bileşeni büyüklüğüne eşittir. Bu durumda

$$|\vec{N}| = |\vec{G}_y| \text{ eşitliği yazılabilir.}$$

Örnek: Sürtünmesiz eğik düzlemde birbirine esnek olmayan iple bağlı K cisminin kütlesi 2 kg, L cisminin kütlesi ise 3 kg'dır.

Cisimler serbest bırakıldıklarında, sistemin ivmesinin büyüklüğü kaç m/s^2 olur?

($\sin 53^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = 0,6$ $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm:

K ve L cisimlerinin serbest bırakıldığında hangi yönde hareket edeceklerini tespit etmek için ağırlıklarının yatay bileşenleri hesaplanacak olursa

$$|\vec{G}_{Kx}| = |\vec{G}_K| \cdot \sin 37^\circ$$

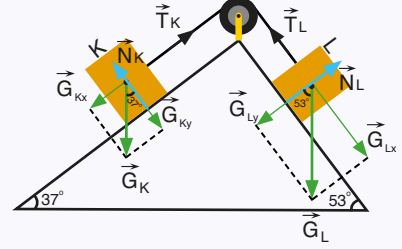
$$= m_K \cdot |\vec{g}| \cdot \sin 37^\circ$$

$$|\vec{G}_{Kx}| = 2 \cdot 10 \cdot 0,6 = 12 \text{ N}$$

$$|\vec{G}_{Lx}| = |\vec{G}_L| \cdot \sin 53^\circ$$

$$= m_L \cdot |\vec{g}| \cdot \sin 53^\circ$$

$$|\vec{G}_{Lx}| = 3 \cdot 10 \cdot 0,8 = 24 \text{ N}$$



değerleri elde edilir.

$|\vec{G}_{Lx}| > |\vec{G}_{Kx}|$ olduğundan, L cismi bulunduğu eğik düzlem üzerinde makaradan uzaklaşacak şekilde hareket eder.

Buna göre K ve L cisimlerinin hareket yönleri dikkate alınarak her biri için dinamiğin temel prensibi eşitliği yazılarak eşitlikler taraf tarafa toplanırsa $|\vec{T}_K| = |\vec{T}_L|$ olduğundan sistemin ivmesi

$$|\vec{T}_K| - |\vec{G}_{Kx}| = m_K \cdot |\vec{a}| \quad (1)$$

$$|\vec{G}_{Lx}| - |\vec{T}_L| = m_L \cdot |\vec{a}| \quad (2)$$

$$|\vec{G}_{Lx}| - |\vec{G}_{Kx}| = (m_K + m_L) \cdot |\vec{a}|$$

$$24 - 12 = (2 + 3) \cdot |\vec{a}|$$

$$|\vec{a}| = \frac{12}{5} \text{ m/s}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

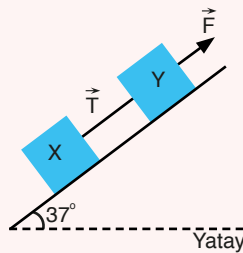


ÇALIŞMA KÖŞESİ 21

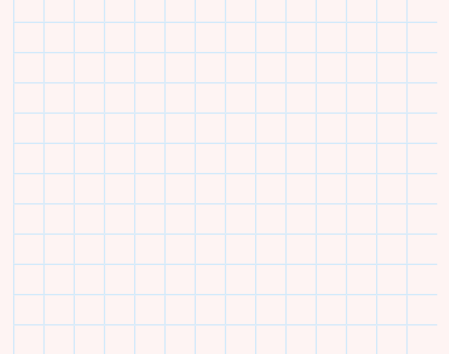
Eğim açısı 37° olan sürtünmesiz eğik düzlemde kütleleri sırasıyla 4 kg ve 6 kg olan X ve Y cisimleri arasındaki ip en fazla 40 N gerilme kuvvetine dayanabilmektedir.

X ve Y cisimleri arasındaki ip kopmadan hareketin devam edebilmesi için $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğünün en büyük değeri kaç Newton olmalıdır?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$;
 $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Cevap



Örnek: Restorasyon çalışması devam eden tarihi bir binada çalışan bir işçi; kütlesi 90 kg olan inşaat malzemesini, kütlesi 10 kg olan tekerlekli bir düzenek ile eğim açısı 37° olan rampadan çıkarmakta zorlanmaktadır. Bunu fark eden arkadaşı yardıma gelerek rampadaki tekerlekli düzeneğe yere paralel kuvvetler uygulayarak yükü çıkarmışlardır.

Yük rampada sabit hızla hareket ettiğine göre yüke uygulanan toplam kuvvet kaç N'dır?

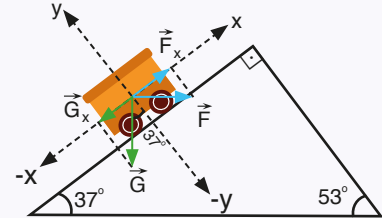
($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$, tekerlekli düzenek için sürtünmeler ihmal edilecektir.)

Çözüm: İşçilerin hareket ettireceği kütle, yükün kütlesi (m_v) ile tekerlekli düzeneğin kütlesinin (m_{Tek}) toplamıdır. Bu durumda

$$\begin{aligned} |\vec{G}| &= (m_Y + m_{\text{Tek}}) \cdot |\vec{g}| \\ &= (90 + 10) \cdot 10 \\ |\vec{G}| &= 1000 \text{ N olur.} \end{aligned}$$

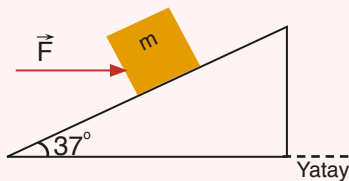
Tekerlekli düzeneğin rampada sabit hızla hareket etmesi için işçilerin uygulaması gereken yatay kuvvet $\vec{F}$ 'nin x bileşeni ile $\vec{G}$ ağırlığının x doğrultusundaki bileşeninin büyüklüklerinin eşit olması gerekir. Bu durumda x doğrultusundaki kuvvetin büyüklüğü

$$\begin{aligned}\vec{F}_x &= \vec{G}_x \\ |\vec{F}| \cdot \cos 37^\circ &= |\vec{G}| \cdot \sin 37^\circ \\ |\vec{F}| \cdot 0,8 &= 1000 \cdot 0,6 \\ |\vec{F}| &= \frac{600}{0,8} \\ |\vec{F}| &= 750 \text{ N olarak elde edilir.}\end{aligned}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 22

Eğim açısı 37° olan sürtünmesiz eğik düzlemdeki m kütleli cisme yatay zemine paralel $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır.



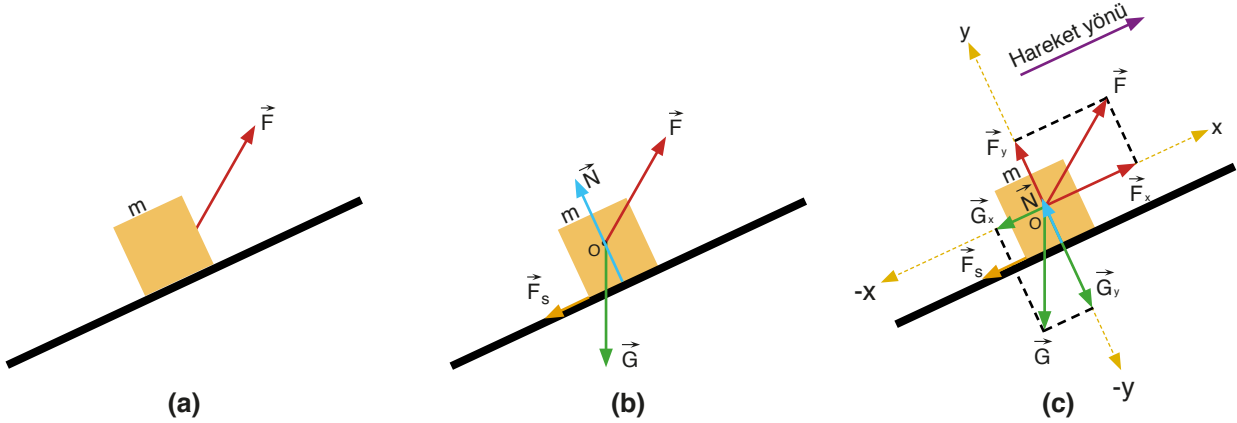
Cismin sabit hızla hareket edebilmesi için $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğünün alabileceği en büyük değer, cismin ağırlığının kaç katı olmalıdır?

$$(\sin 37^\circ = 0,6; \cos 37^\circ = 0,8; |\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$$

Cevap

1.3.2. Sürtünlü Düzlemde Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvetin Hesaplanması

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu bir ortamda sürtünlü düzlemde Şekil 1.39.a'daki gibi verilen m kütleli bir cisme, $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında cisme etki eden net kuvvetin hesaplanmasında genel bir inceleme yapmak yerinde olacaktır. Bunun için cisim üzerine etkiyen kuvvetler gösterilerek serbest cisim diyagramı elde edilir Şekil (1.39.b). Daha sonra eksenlerinden biri, cismin üzerinde bulunduğu yüzeye paralel; orijini ise cismin kütle merkezine gelecek şekilde çizilen x-y koordinat sistemi üzerinde kuvvet bileşenleri gösterilir Şekil (1.39.c).



Şekil 1.39: Sürtünlü düzlemdeki m kütleli cismin serbest cisim diyagramı

Cismin bulunduğu düzlem üzerinde kuvvet bileşenlerinden hangisi büyük ise cisim o yönde hareket eder. Harekete zıt yönde olan sürtünme kuvveti de küçük olan kuvvet yönünde olur. Buna göre

$|\vec{F}_x| > (|\vec{G}_x| + |\vec{F}_s|)$ olduğunda sürtünme kuvveti $\vec{G}_x$ ile aynı yönlü olup cisim $\vec{F}_x$ yönünde, $|\vec{G}_x| > (|\vec{F}_x| + |\vec{F}_s|)$ olduğunda sürtünme kuvveti $\vec{F}_x$ ile aynı yönlü olup cisim $\vec{G}_x$ yönünde hareket edebilir. Cisim bu iki durumdan hangisine uyarsa hareket denklemi ona uygun olacak şekilde yazılır. Bu durumda hareket yönü belirtilen Şekil 1.39. c'deki m kütleli cisim için net kuvvetin büyüklüğü

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = |\vec{F}_x| - (|\vec{G}_x| + |\vec{F}_s|) \quad \text{eşitliğiyle bulunur.}$$

Tepki kuvveti cismin üzerinde hareket edebileceği düzleme dik olan koordinat üzerinde olup cismin düzlem üzerinde hareket edebilmesi için $G_y > F_y$ olması gerekir. Bu durumda tepki kuvveti $+y$ yönünde olup büyüklüğü

$$|\vec{N}| = |\vec{G}_y| - |\vec{F}_y| \quad \text{eşitliğiyle bulunur. Buna göre sürtünme kuvveti}$$

$$F_s = k \cdot N \quad \text{eşitliğiyle hesaplanır.}$$

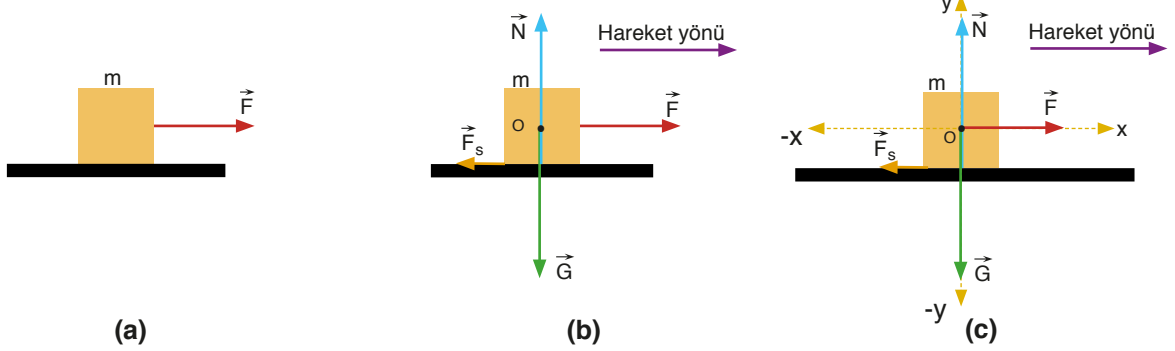
Cisim net kuvvetin sıfırdan farklı olması durumunda kuvvet yönünde ivmeli bir hareket yapar. Cismin hareketinde kazanacağı ivme $\vec{a}$ olduğunda net kuvvetin büyüklüğü eşitliğinde $\vec{F}_s$ yerine yazılarak dinamiğin temel prensibi yardımı ile

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = |\vec{F}_x| - (|\vec{G}_x| + k \cdot |\vec{N}|)$$

$$m \cdot |\vec{a}| = |\vec{F}_x| - (|\vec{G}_x| + k \cdot |\vec{N}|) \quad \text{eşitliği elde edilir.}$$

Yatay Sürtünmeli Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

Kütlesi m olan bir cisim, sürtünmeli yatay düzlem üzerinde yukarıdaki Şekil 1.40.a'da verildiği gibi hareketsiz durmaktadır. Cismi hareket ettirebilmek için uygulanması gereken $\vec{F}$ kuvvetinin, statik sürtünme kuvveti ($\vec{F}_{\text{Statik}}$)'nin maksimum değerinden büyük olması gerekir. $|\vec{F}| > |\vec{F}_{\text{Statik}}|$ şartı sağlandığında cisim $+x$ yönünde hareket eder ve serbest cisim diyagramı Şekil 1.40.b'de verildiği gibi olacaktır. Cisme etki eden kuvvetlerin x-y koordinat sistemindeki gösterimi Şekil 1.40.c'de de verildiği gibi olur.



Şekil 1.40: Sürtünmeli yatay düzlemde yatay F kuvveti uygulanan m kütleli cisim

Bu durumda cisim üzerine etki eden net kuvvet

$$\vec{F}_{\text{Net}} = \vec{F} + \vec{F}_s$$

$|\vec{F}_{\text{Net}}| = |\vec{F}| - |\vec{F}_s|$ eşitliğiyle bulunur. $\vec{G}$ ve $\vec{N}$ kuvvetleri eşit büyüklükte ve zıt yönlü olduğundan

$$\vec{N} = -\vec{G} \text{ elde edilir.}$$

Düzlemin sürtünme katsayısı k ve tepki kuvveti $\vec{N}$, net kuvvet eşitliğinde yerine yazıldığında cismin kazanacağı $\vec{a}$ ivmesinin büyüklüğü

$$m \cdot |\vec{a}| = |\vec{F}| - k \cdot |\vec{N}|$$

$$|\vec{a}| = \frac{|\vec{F}| - k \cdot |\vec{N}|}{m} \text{ formülü ile elde edilir.}$$

Örnek: Sürtünmeli yatay düzlemde durmakta olan 2 kg kütleli K cismi $\vec{F}$ kuvveti ile hareket ettirilmek istenmektedir. K cismi $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü 10 N olduğu anda harekete geçme sınırına gelmektedir.

Buna göre düzlemdeki statik sürtünme katsayısı kaçtır?

Çözüm: Statik sürtünme katsayısı (k_s) duran cisme etki eden net kuvvetin maksimum değerinin statik sürtünme kuvvetine ($\vec{F}_{\text{Statik}}$) eşitlenmesiyle bulunur.

$$|\vec{F}_x| = |\vec{F}| \cdot \cos 53^\circ = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ N}$$

$$|\vec{F}_y| = |\vec{F}| \cdot \sin 53^\circ = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ N,}$$

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

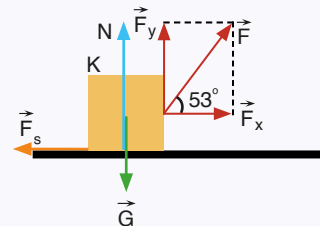
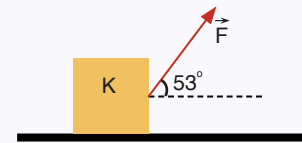
$$|\vec{F}_{\text{Statik}}| = |\vec{F}_x|$$

$$k_s \cdot |\vec{N}| = |\vec{F}_x|$$

$$k_s \cdot (|\vec{G}| - |\vec{F}_y|) = |\vec{F}_x|$$

$$k_s \cdot (20 - 8) = 6$$

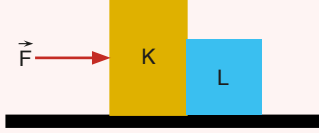
$$k_s = \frac{6}{12} = 0,5$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 23

Sürtünme katsayısının 0,5 olduğu yatay düzlemde kütleleri 3 kg ve 2 kg olan K ve L cisimleri yatay düzleme paralel 30 N değerindeki kuvvetle itilmektedir.



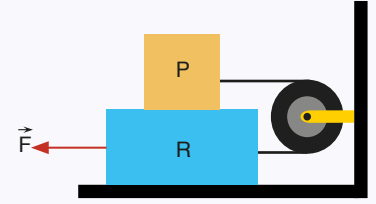
- Sistemin ivmesini bulunuz.
- K cisminin L cismine uyguladığı $\vec{F}_{KL}$ etki kuvvetinin büyüklüğünü bulunuz.
- L cisminin K cismine uyguladığı $\vec{F}_{LK}$ tepki kuvvetinin büyüklüğünü bulunuz. ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$).

Cevap



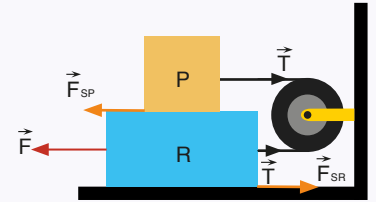
Örnek: Üst üste konulan P ve R cisimleri kullanılarak oluşturulan düzenekte cisimler arasındaki yüzey ve yatay düzlem sürtünmelidir. Yatay düzlemin sürtünme katsayısı $k_R = 0,5$ P ve R cisimlerinin kütleleri sırasıyla 2 kg ve 8 kg'dır.

R cismine yatay 60 N'lık sabit $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında cisimler sabit hızla hareket ettiklerine göre P ile R cisimlerinin yüzeyleri arasındaki sürtünme katsayısı k_P kaçtır? ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm: P ve R cisimlerinin sabit hızla hareket edebilmesi için üzerine etki eden net kuvvet büyüklükleri sıfır olması gerekir. Bu durumda k_P

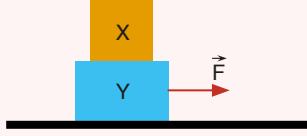
$$\begin{aligned}
 \vec{F}_{PNet} &= 0 & \vec{F}_{RNet} &= 0 \\
 \vec{F}_{SP} + \vec{T} &= 0 & \vec{F} + \vec{F}_{SR} + \vec{F}_{SP} + \vec{T} &= 0 \\
 |\vec{F}_{SP}| - |\vec{T}| &= 0 & |\vec{F}| - |\vec{F}_{SR}| - 2 \cdot |\vec{F}_{SP}| &= 0 \\
 |\vec{F}_{SP}| &= |\vec{T}| & |\vec{F}| &= |\vec{F}_{SR}| + 2 \cdot |\vec{F}_{SP}| \\
 & & |\vec{F}| &= k_R \cdot (m_R + m_P) \cdot |\vec{g}| + 2 \cdot k_P \cdot m_P \cdot |\vec{g}| \\
 60 &= \frac{1}{2} \cdot (8 + 2) \cdot 10 + 2 \cdot k_P \cdot 2 \cdot 10 \\
 10 &= 40 \cdot k_P \\
 k_P &= \frac{1}{4} \text{ bulunur.}
 \end{aligned}$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 24

Sürtünmesiz yatay düzlemde üzerinde 2 kg kütleli X cismi bulunan 3 kg kütleli Y cisminin, yatayda 30 N büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır.



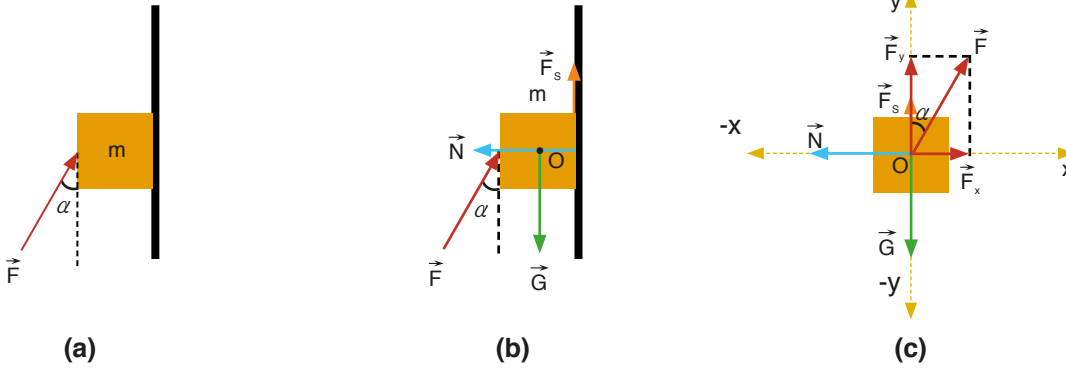
X cisminin Y cismi üzerinden düşmeden hareketin gerçekleşebilmesi için cisimler arasındaki sürtünme kuvveti en az kaç N olmalıdır? ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$).

Cevap



Düşey Sürtünmeli Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

Sürtünme katsayısının k olduğu Şekil 1.41.a'da verilen düşey düzlemdeki m kütleli cisme düşeyle α açısı yapan $\vec{F}$ kuvveti uygulansın. $|\vec{G}| > (|\vec{F}_y| + |\vec{F}_s|)$ olduğunda cisim aşağı yönde düşey düzleme sürtünerek -y yönünde hareket eder. Bu durumda serbest cisim diyagramı Şekil 1.41.b'de verildiği gibi olur. Cisme etki eden kuvvetlerin x-y koordinat sistemindeki bileşenlerinin gösterimi ise Şekil 1.41.c'de verildiği gibi olur.



Şekil 1.41: Sürtünmeli düşey düzlemde üzerine F kuvveti uygulanan m kütleli cismin serbest cisim diyagramı

Cisme uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin bileşenleri

$$|\vec{F}_x| = |\vec{F}| \cdot \sin \alpha$$

$$|\vec{F}_y| = |\vec{F}| \cdot \cos \alpha \text{ formülleri ile bulunur.}$$

Düşey düzlemin tepki kuvveti $\vec{N}$ 'nin büyüklüğü kuvvet bileşenlerinden F_x 'in büyüklüğüne eşittir. Bu durumda cismin -y yönündeki hareketinde kazanacağı $\vec{a}$ ivmesinin büyüklüğü

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = |\vec{G}| - (|\vec{F}_y| + |\vec{F}_s|)$$

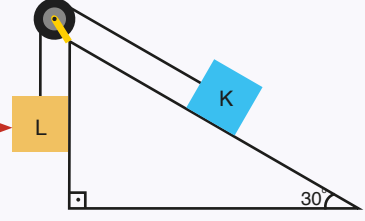
$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = |\vec{G}| - (|\vec{F}_y| + k \cdot |\vec{N}|)$$

$$m \cdot |\vec{a}| = m \cdot |\vec{g}| - |\vec{F}| \cdot \cos \alpha - k \cdot |\vec{F}| \cdot \sin \alpha \text{ formülü ile bulunur.}$$

Örnek: Sürtünmesiz eğik düzlem üzerinde bulunan 14 kg kütleli K cisminin kütlesi 1 kg olan L cismi, esnek olmayan bir ip ile bağlanmıştır. L cisminin temas ettiği düşey yüzey sürtünmeli olup sürtünme katsayısının 0,3 olduğu bilinmektedir.

Cisimlerin hareketsiz kalabilmesi için yatay doğrultuda L cisminin uygulanması gereken $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü en az kaç Newton olmalıdır?

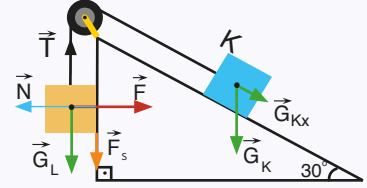
($\sin 30^\circ = 0,5$; $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)



Çözüm:

$$\begin{aligned} |\vec{G}_{Kx}| &= m_K \cdot |\vec{g}| \cdot \sin 30^\circ & |\vec{G}_L| &= m_L \cdot |\vec{g}| \\ &= 14 \cdot 10 \cdot 0,5 & &= 1 \cdot 10 \\ &= 70 \text{ N} & &= 10 \text{ N} \end{aligned}$$

Cisimler serbest bırakıldığında $|\vec{G}_{Kx}| > |\vec{G}_L|$ olduğundan K cismi eğik düzlemde makaradan uzaklaşacak, L cismi ise düşey düzlemde makaraya yaklaşacak şekilde hareket eder. Buna göre sürtünme kuvveti -y yönünde seçilir. Cisimler hareketsiz kaldığında $|\vec{G}_{Kx}| = |\vec{T}|$ olacağından $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü

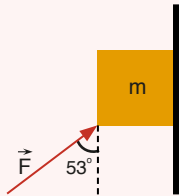


$$\begin{aligned} |\vec{T}| &= |\vec{G}_L| + k \cdot |\vec{N}| \\ |\vec{G}_{Kx}| &= |\vec{G}_L| + k \cdot |\vec{F}| \\ 70 &= 10 + 0,3 \cdot |\vec{F}| \\ |\vec{F}| &= \frac{70 - 10}{0,3} = 200 \text{ N olarak bulunur.} \end{aligned}$$



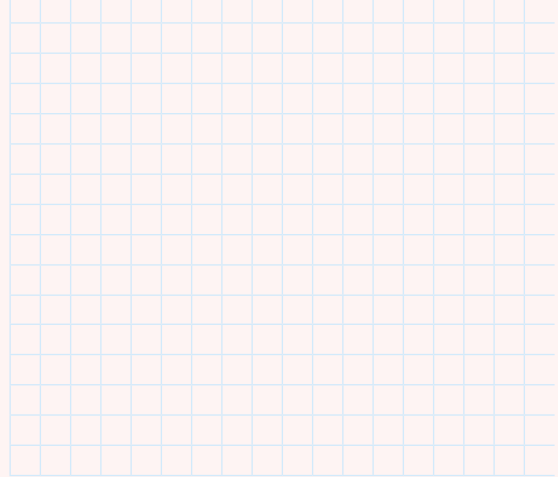
ÇALIŞMA KÖŞESİ 25

Sürtünme katsayısı 0,5 olan düşey düzlemdeki m kütleli cisme 50 N büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır.



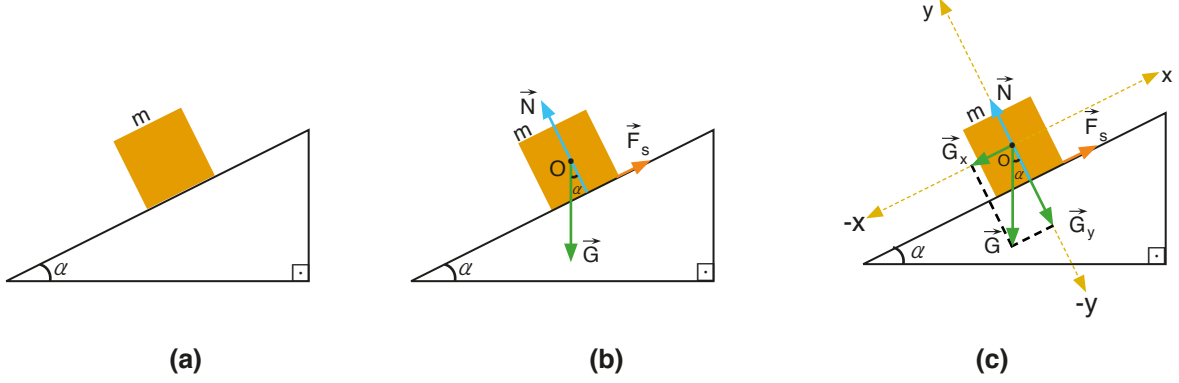
Cisim düzleme sürtünerek 5 m/s^2 değerindeki ivmeyle düştüğüne göre kütlesi kaç kg'dır?
($\cos 53^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap



Sürtünmeli Eğik Düzlemlerdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu ortamda Şekil 1.42.a'da verilen eğim açısı α olan sürtünmeli eğik düzlemde m kütleli bir cisim bırakılmaktadır. Sürtünme katsayısının k olduğu düzlemde cisim, aşağı doğru kayarak hareket ediyorsa serbest cisim diyagramı Şekil 1.42.b'de verildiği gibidir. Cisme etki eden kuvvetlerin bileşenlerinin x-y koordinat sisteminde gösterimi Şekil 1.42.c'de verildiği gibi olacaktır.



Şekil 1.42: Sürtünmeli eğik düzlemde bırakılan m kütleli cismin serbest cisim diyagramı

Ağırlık bileşenleri

$$|\vec{G}_x| = |\vec{G}| \cdot \sin \alpha$$

$$|\vec{G}_y| = |\vec{G}| \cdot \cos \alpha \text{ formülleri ile bulunur.}$$

Eğik düzlemin tepki kuvveti $\vec{N}$ 'nin büyüklüğü ise

$$|\vec{N}| = |\vec{G}_y| = |\vec{G}| \cdot \cos \alpha = m \cdot |\vec{g}| \cdot \cos \alpha \text{ formülü ile bulunur.}$$

Cismin hareketi x doğrultusunda olduğundan bu doğrultu üzerindeki kuvvet bileşenlerinin toplamı net kuvvete eşittir. $|\vec{G}_x| > |\vec{F}_s|$ olduğunda cisim eğik düzlemde $-x$ yönünde hareket eder.

Bu durumda cismin kazanacağı $\vec{a}$ ivmesinin büyüklüğü

$$|\vec{F}_{\text{Net}}| = |\vec{G}_x| - |\vec{F}_s|$$

$$m \cdot |\vec{a}| = m \cdot |\vec{g}| \cdot \sin \alpha - k \cdot |\vec{N}|$$

$$m \cdot |\vec{a}| = m \cdot |\vec{g}| \cdot \sin \alpha - k \cdot m \cdot |\vec{g}| \cdot \cos \alpha$$

$$|\vec{a}| = |\vec{g}| \cdot \sin \alpha - k \cdot |\vec{g}| \cdot \cos \alpha$$

$$|\vec{a}| = |\vec{g}| \cdot (\sin \alpha - k \cdot \cos \alpha) \text{ formülü ile bulunur.}$$

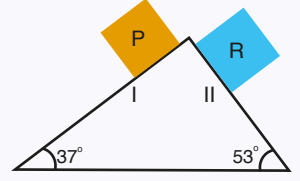
Dikkat edilirse sürtünmesiz eğik düzlemde olduğu gibi sürtünmeli eğik düzlemde de düzlemde bırakılan cisimlerin ivme değeri, kütlelerine bağlı değildir. İvme; eğik düzlemin eğim açısı, yer çekimi ivmesi ve sürtünme katsayısına bağlıdır.

Örnek: Kütleleri m ve $2m$ olan P ve R cisimleri üzerinde bulundukları eğik düzlemde serbest bırakılmaktadır. P cisminin hareket ettiği I. eğik düzlem sürtünmesiz, R cisminin hareket ettiği II. eğik düzlem sürtünmeli olup sürtünme katsayısı $0,5$ 'tir.

Buna göre cisimlerin ivmeleri arasındaki

$$\frac{|\vec{a}_P|}{|\vec{a}_R|} \text{ oranı kaçtır?}$$

$$(\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6; \cos 37^\circ = \sin 53^\circ = 0,8; g = 10 \text{ m/s}^2)$$



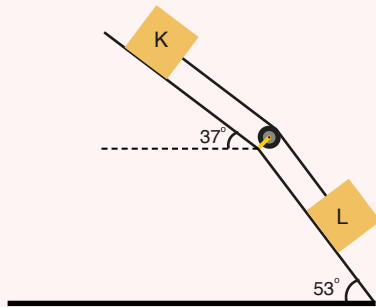
Çözüm: P cisminin sürtünmesiz eğik düzlemdeki ivme değeri ve sürtünmeli eğik düzlemdeki R cisminin ivme değeri bulunarak oranlanırsa

$$\begin{aligned} |\vec{a}_P| &= |\vec{g}| \cdot \sin \alpha \\ |\vec{a}_R| &= |\vec{g}| \cdot (\sin \beta - k \cdot \cos \beta) \\ \frac{|\vec{a}_P|}{|\vec{a}_R|} &= \frac{|\vec{g}| \cdot \sin \alpha}{|\vec{g}| \cdot (\sin \beta - k \cdot \cos \beta)} \\ &= \frac{\sin 37^\circ}{(\sin 53^\circ - 0,5 \cdot \cos 53^\circ)} \\ \frac{|\vec{a}_P|}{|\vec{a}_R|} &= \frac{0,6}{(0,8 - 0,5 \cdot 0,6)} = \frac{0,6}{0,8 - 0,3} = 1,2 \text{ sonucu elde edilir.} \end{aligned}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 26

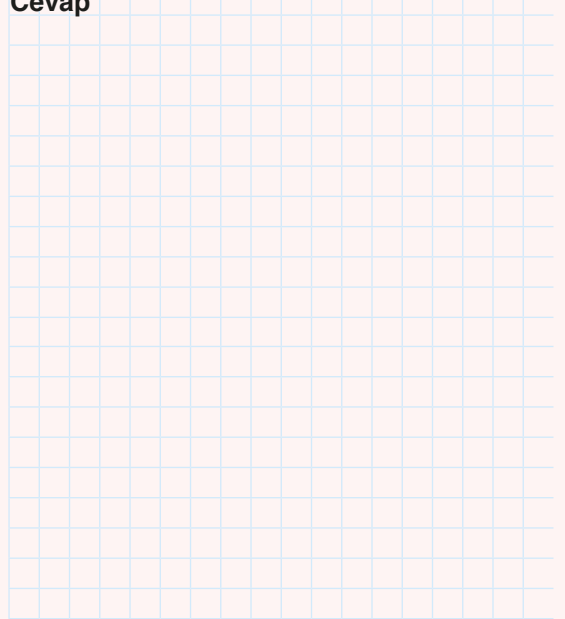
Kütleleri eşit ve 5 kg olan birbirine ipe bağlı K ve L cisimlerinden K sürtünmeli, L sürtünmesiz eğik düzlemde hareket etmektedir.



Cisimler serbest bırakıldıklarında 5 m/s^2 ivme ile hareket ettiklerine göre sürtünmeli yüzeyin sürtünme katsayısı ve ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğü nedir?

$$(\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6; \cos 37^\circ = \sin 53^\circ = 0,8; |\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$$

Cevap



1.4. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket

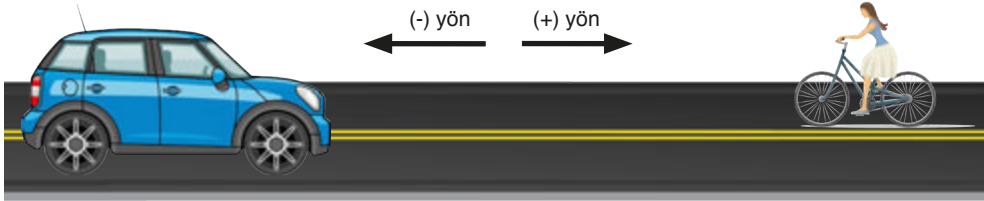
Hareket eden bir cismin hızının hareket süresince değişmemesi, hareketin sabit hızlı hareket olduğunu gösterir. Cismin üzerine etki eden net kuvvetin sıfır olmasıyla gerçekleşen bu hareket 9. sınıf fen lisesi öğretim programında incelenmiş ve **düzgün doğrusal hareket** olarak tanımlanmıştır. Düzgün doğrusal harekette cisim eşit zaman aralıklarında eşit yer değiştirmeler yapar. Bu duruma hareket halindeki asansör ve yürüyen merdiven örnek olarak verilebilir.

Hareket eden bir cismin hızının artarak ya da azalarak değişmesi, onun ivmeli hareket yaptığını gösterir. Dinamiğin temel prensibine göre sabit ivmeli hareket yapan bir cismin üzerine etki eden net kuvvet sabit olmalıdır.

Doğrusal bir yolda hızı düzgün olarak artan ya da azalan cisimlerin yapmış olduğu harekete **bir boyutta sabit ivmeli hareket** denir.

1.4.1. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareketin Grafik ve Denklemleri

Doğrusal bir yolda hareket için seçilebilecek birbirine zıt iki yön vardır. Yönlerden biri pozitif (+) işaretlendiğinde diğeri negatif (-) işaretlenir. Örneğin Şekil 1.43'te verilen doğrusal yoldaki hareketlilerden arabanın yönü pozitif (+) ise bisikletlinin yönü negatif (-) olarak tanımlanır.

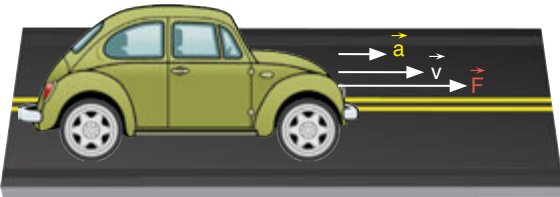


Şekil 1.43: Doğrusal yolda birbirine zıt yönde hareket eden araba ve bisikletli

Hızın artması ya da azalması, hareketliye etki eden kuvvetin yönüne bağlıdır. Hareket halindeki bir cisme hareket yönü ile aynı yönde bir kuvvet uygulandığında ivmesi (+) işareti alır ve hız düzgün olarak artar (Şekil 1.44). Cismin hızının düzgün bir şekilde arttığı bu durumdaki harekete **düzgün hızlanan doğrusal hareket** denir.

Kuvvet, hareketlinin yönü ile zıt yönde olduğunda ivme (-) işareti alır ve hız düzgün olarak azalır (Şekil 1.45).

Cismin hızının düzgün bir şekilde azaldığı bu durumdaki harekete **düzgün yavaşlayan doğrusal hareket** denir.



Şekil 1.44: Düzgün hızlanan harekette hız ivme ve kuvvet vektörleri



Şekil 1.45: Düzgün yavaşlayan harekette hız ivme ve kuvvet vektörleri

Örneğin asansörlerin harekete başlayıp maksimum hıza ulaşana kadar veya maksimum hıza ulaştıktan sonra durana kadar yaptığı hareket (Görsel 1.8), uçakların kalkış sırasında doğrusal pistte yaptığı hareket (Görsel 1.9), bir boyutta sabit ivmeli harekettir.



Görsel 1.8: Asansör

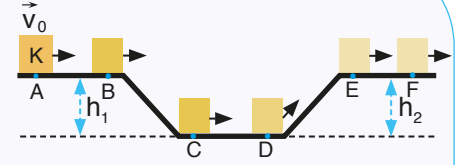


Görsel 1.9: Doğrusal pistteki uçak

Örnek: Sürtünmesiz ortamda A noktasından $\vec{v}_0$ hızı ile geçen K cismi; şekildeki yatay ve eğik düzlem üzerinde hareket ederek F noktasından $\vec{v}_F$ hızıyla geçmektedir.

h_1 ve h_2 yüksekliği eşit olduğuna göre

- a) K cisminin B, C, D ve E noktalarındaki $\vec{v}_B$, $\vec{v}_C$, $\vec{v}_D$ ve $\vec{v}_E$ hızlarının büyüklük sıralaması nedir?
- b) AB, BC, CD, DE ve EF yollarındaki hareket çeşitleri nelerdir?



Çözüm:

- a) K cismi, A noktasından $|\vec{v}_0|$ hızı ile geçtiğinde sürtünme olmadığı için B noktasındaki hızı olan $|\vec{v}_B|$, A noktasındaki hızına eşit olur. $|\vec{v}_A| = |\vec{v}_B|$ olur.
- K cismi, C noktasına gelirken eğimden dolayı hızı artacağından $|\vec{v}_C| > |\vec{v}_B|$ olur.
- D noktasındaki hızı, C noktasındaki hızına eşit olur. $|\vec{v}_D| = |\vec{v}_C|$ dir. Cisim D noktasından E noktasına giderken eğimden dolayı cismin hızı azalacağından E noktasındaki hızı $|\vec{v}_E|$, D noktasındaki hızından küçük olacaktır $|\vec{v}_E| < |\vec{v}_D|$ olur.
- K cisminin F noktasındaki hızı, E noktasındaki hızına eşit olacağından $|\vec{v}_F| = |\vec{v}_E|$ olur.

Bu durumda B, C, D ve E noktalarındaki hızlar $|\vec{v}_C| = |\vec{v}_D| > |\vec{v}_B| = |\vec{v}_E|$ şeklinde sıralanır.

- b) K cismi, AB yolunda düzgün doğrusal hareket yapmaktadır. BC yolunda eğimden dolayı ağırlık etkisi ile net kuvvet oluşacağından K cismi, düzgün hızlanan hareket yapacaktır. K cismi, CD yolunda düzgün doğrusal hareket yapar. DE yolunda tekrar, ağırlığından dolayı net kuvvet oluşacağından bu sefer K cismi, düzgün yavaşlayan doğrusal hareket yapacaktır. EF yolunda tekrar düzgün doğrusal hareket yapar.

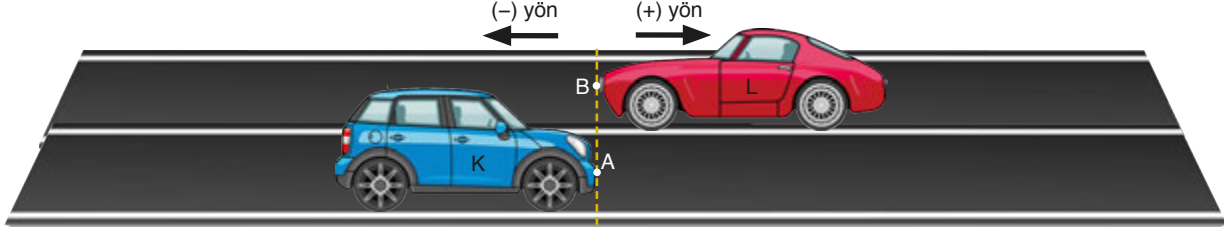


ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Bir boyutta sabit ivmeli harekete günlük hayattan verilebilecek örnekleri araştırınız. Hareketin neden sabit ivmeli olduğunu açıklayarak sınıf ortamında paylaşınız.

1.4.2. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket Grafikleri ve Hesaplamaları

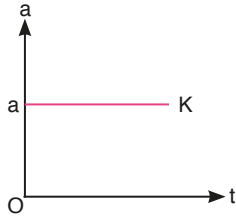
Grafik çizimlerinde Şekil 1.46'da verildiği gibi (+) yönde hareket eden K hareketlisinin ivmesi ($\vec{a}_K$), hızı ($\vec{v}_K$) ve yer değiştirmesi ($\Delta\vec{x}_K$) değerleri pozitif; negatif yönde hareket eden L hareketlisinin ivmesi ($\vec{a}_L$), hızı ($\vec{v}_L$) ve yer değiştirmesi ($\Delta\vec{x}_L$) değerleri (-) işareti alır.



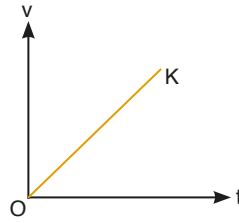
Şekil 1.46: (+) seçilen yönde hareket eden K ve (-) seçilen yönde hareket eden L hareketlileri

Zaman, her zaman pozitif olacağından K hareketlisinin grafiği koordinat sistemindeki I. bölgede, L hareketlisinin grafiği IV. bölgede gösterilir.

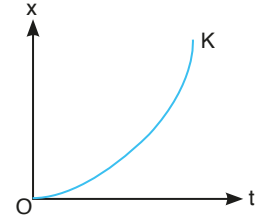
A noktasından pozitif yönde harekete başlayan K hareketlisinin (a-t) grafiği, Şekil 1.47'de, (v-t) grafiği Şekil 1.48'de, (x-t) grafiği Şekil 1.49'da verildiği gibi çizilir. K hareketlisi duruyorken harekete başladığı için (v-t) grafiği orijinden başlatılmıştır. Bu şekildeki harekete **ilk hızsız düzgün hızlanan hareket** denir.



Şekil 1.47: K hareketlisine ait (a-t) grafiği

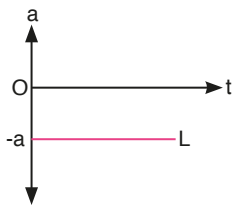


Şekil 1.48: K hareketlisine ait (v-t) grafiği

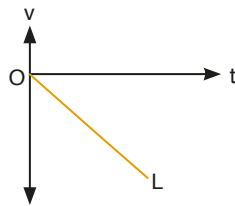


Şekil 1.49: K hareketlisine ait (x-t) grafiği

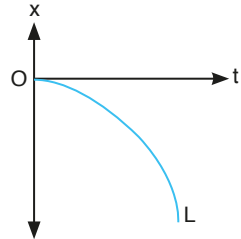
B noktasından negatif yönde harekete başlayan L hareketlisinin (a-t) grafiği Şekil 1.50'de, (v-t) grafiği Şekil 1.51'de, (x-t) grafiği Şekil 1.52'de verildiği gibi çizilir. L hareketlisi (-) yönde ilk hızsız düzgün hızlanan hareket yapmaktadır.



Şekil 1.50: L hareketlisine ait (a-t) grafiği

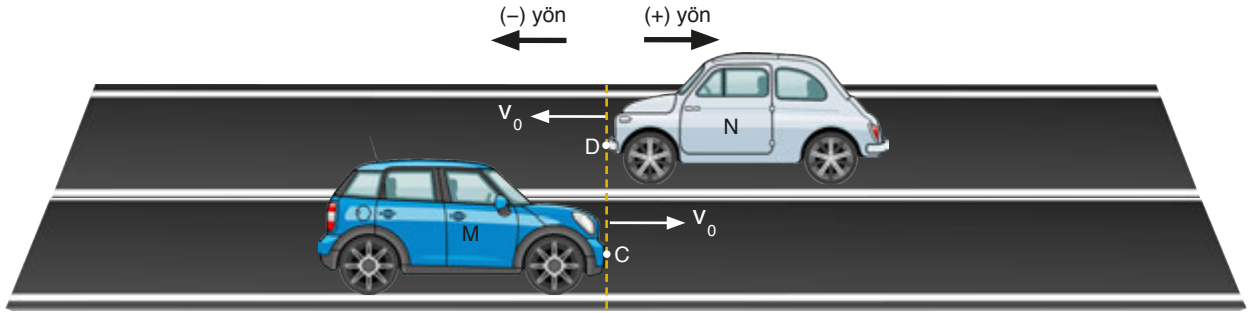


Şekil 1.51: L hareketlisine ait (v-t) grafiği



Şekil 1.52: L hareketlisine ait (x-t) grafiği

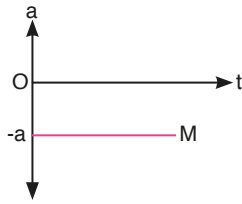
Aynı düşünceyle Şekil 1.53'te verilen v_0 hızına sahip M ve N araçları durmak için $\vec{a}$ ivmesiyle yavaşladığını düşünelim. Bu durumda yapılan harekete **düzgün yavaşlayan doğrusal hareket** denir.



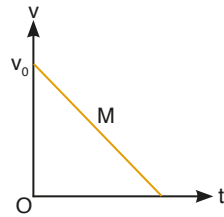
Şekil 1.53: (+) seçilen yönde düzgün yavaşlayan M ve (-) seçilen yönde düzgün yavaşlayan hareket yapan N hareketlisi

Pozitif yönde v_0 hızı ile hareket hâlindeyken $\vec{a}$ ivmesiyle yavaşlayarak duran M hareketlisi için hareket grafikleri aşağıdaki gibi elde edilir.

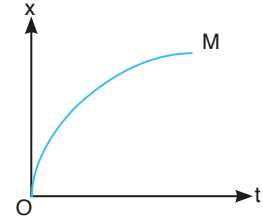
M hareketlisinin (a-t) grafiği Şekil 1.54, (v-t) grafiği Şekil 1.55, (x-t) grafiği Şekil 1.56'da verildiği gibidir. Pozitif yönde hareket eden M hareketlisinin ivmesi, harekete zıt yönde olduğundan hızı azalır ve (-) işareti alır.



Şekil 1.54: M hareketlisine ait (a-t) grafiği



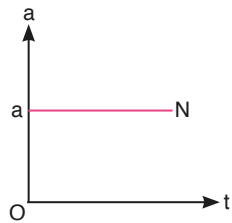
Şekil 1.55: M hareketlisine ait (v-t) grafiği



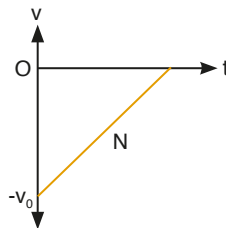
Şekil 1.56: M hareketlisine ait (x-t) grafiği

Negatif yönde v_0 hızı ile hareket hâlindeyken $\vec{a}$ ivmesiyle yavaşlayarak duran N hareketlisi için hareket grafikleri de aşağıdaki gibi elde edilir.

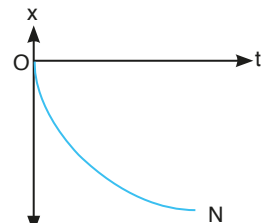
N hareketlisinin (a-t) grafiği Şekil 1.57, (v-t) grafiği Şekil 1.58, (x-t) grafiği Şekil 1.59'de verildiği gibidir. N hareketlisinin ivmesi, harekete zıt yönde olduğundan hızı azalır ancak hareket negatif yönde olduğundan ivme (+) işareti alır.



Şekil 1.57: N hareketlisine ait (a-t) grafiği



Şekil 1.58: N hareketlisine ait (v-t) grafiği

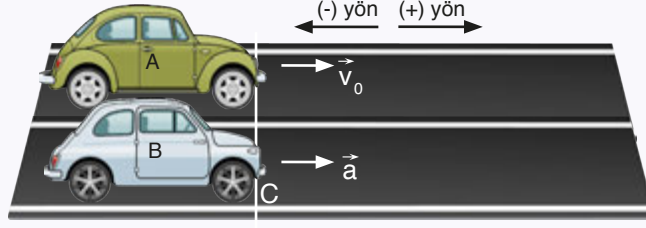


Şekil 1.59: N hareketlisine ait (x-t) grafiği

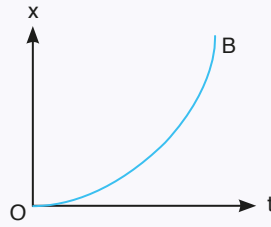
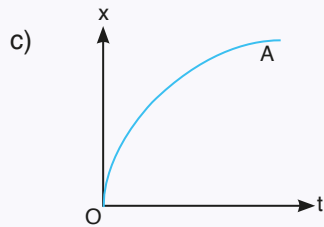
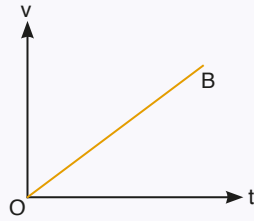
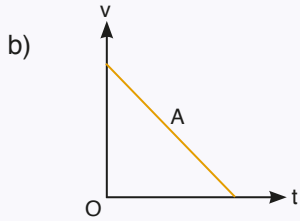
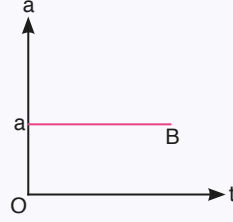
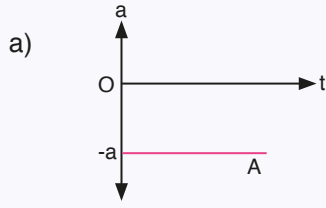
Örnek: Düz bir yolda (+) yönde ilerleyen A aracı, C çizgisinden geçerken hızı $\vec{v}_0$ ve yavaşlama ivmesi $-\vec{a}$ 'dır. B aracı ise C çizgisinde durmakta iken $\vec{a}$ ivmesi ile (+) yönde hızlanmaktadır.

Buna göre

- Hareketlilerin ivme-zaman grafiğini çiziniz.
- Hareketlilerin hız-zaman grafiğini çiziniz.
- Hareketlilerin konum-zaman grafiğini çiziniz.

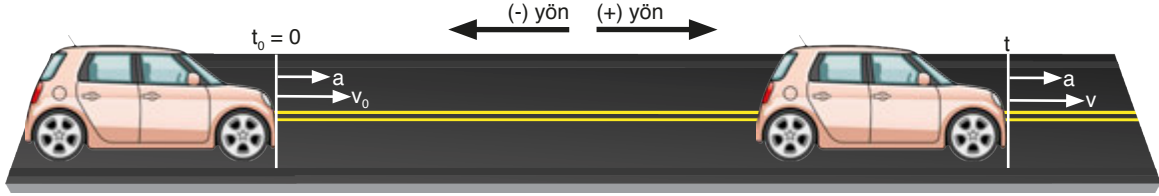


Çözüm:



İvmenin tanımından ve bir boyutta sabit ivmeli hareket için elde edilen ivme-zaman grafiklerinin özelliklerinden yararlanarak sabit ivmeli hareketin hız denklemini elde etmek mümkündür. Bu tanıma göre $t_0 = 0$ anında $\vec{v}_0$ hızına sahip Şekil 1.60'ta verilen otomobilin t anındaki hızı, $\vec{v}$ olacak şekilde düzgün hızlanan hareket yaptığında $\vec{a}$ değeri

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \text{ formülü ile bulunur.}$$



Şekil 1.60: Düzgün hızlanan doğrusal hareket yapan bir otomobil

Formülde

$$\Delta \vec{v} = \vec{v} - \vec{v}_0$$

$\Delta t = t - t_0$ değerleri yerine yazıldığında hareketlinin t anındaki hızı için

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0}$$

$$\vec{v} - \vec{v}_0 = \vec{a} \cdot (t - t_0)$$

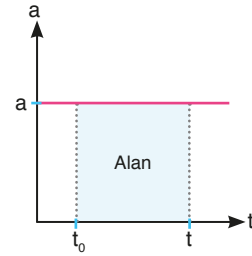
$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t \text{ formülü ile bulunur.}$$

Düzgün hızlanan doğrusal hareket yapan bir hareketlinin a - t grafiği Şekil 1.61'de verildiği gibi çizilir. Grafiğin $(t - t_0)$ zaman aralığının altında kalan (zaman eksenine grafik çizgisinin sınırladığı) alan hesaplandığında;

$\text{Alan} = (t - t_0) \cdot |\vec{a}|$ eşitliği elde edilir.

Birim analizi yapıldığında alanın biriminin m/s olduğu görülür. Bu da hız birimi olduğundan bu alana hız denebilir.

Bu durumda $\text{Alan} = \Delta v = (t - t_0) \cdot a$ eşitliği yazılabilir.



Şekil 1.61: Düzgün hızlanan doğrusal hareket yapan bir hareketlinin a - t grafiği

Elde edilen eşitlik ivme-zaman grafiklerinin altında kalan alanın hareketlinin hız değişimine eşit olduğunu söyler. Alan hesaplamalarında pozitif bölgede kalan $\vec{a}$ değerine (+); negatif bölgede kalan $\vec{a}$ değerine (-) işareti verilerek toplama işlemi yapılır.

Burada $t_{ilk} = t_0 = 0$ anında $\vec{v}_{ilk} = \vec{v}_0$ ve $t_{son} = t$ anında $\vec{v}_{son} = \vec{v}$ yazıldığında

$$\Delta \vec{v} = \vec{a} \cdot \Delta t$$

$$\vec{v}_{son} - \vec{v}_{ilk} = \vec{a} \cdot (t_{son} - t_{ilk})$$

$$\vec{v} - \vec{v}_0 = \vec{a} \cdot (t - t_0)$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t \text{ formülü elde edilir.}$$

İvme zaman grafiği Şekil 1.61'de verilen hareketli, hareketi incelenmeye başlanan $t_0 = 0$ anında $\vec{v}_0$

hızına sahip olduğundan yaptığı hareket **ilk hızlı düzgün hızlanan hareket** adını alır.

İlk hızlı düzgün hızlanan doğrusal hareket için hız-zaman grafiği Şekil 1.62’de verildiği gibidir.

Hız-zaman grafiğinin altında kalan alan yer değiştirmeye eşittir. Bu bilgiden yararlanarak hareketlinin yer değiştirme denklemi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$|\Delta \vec{x}| = A_1 + A_2$$

$$\Delta \vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \Delta \vec{v} \cdot t$$

Burada $\Delta \vec{v}$ değeri yerine yazılırsa hareketin konum denklemi

$$\Delta \vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot (t - t_0) \cdot t$$

$$\Delta \vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t \cdot t$$

$$\Delta \vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2 \text{ olarak elde edilir. Yer değiştirme vektörel olarak yazılırsa}$$

$$\Delta \vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2 \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Hız zaman grafiğinde eğrinin yatay (zaman) eksenine yaptığı açının tanjant değerine **grafiğin eğimi** denir. Grafik eğimi

$$\tan \alpha = \frac{|\Delta \vec{v}|}{\Delta t} = |\vec{a}| \text{ olacağından hız-zaman grafiğinde başka bir özellik olarak eğiminin } \vec{a} \text{ değerine eşit}$$

olduğu sonucuna ulaşılır. Hız denkleminde t yalnız bırakıldığında

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$$

$$t = \frac{|\vec{v}| - |\vec{v}_0|}{|\vec{a}|} \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Konum denklemi

$$\Delta x = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

$$\Delta x = t \cdot \left(v_0 + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t \right)$$

şeklinde yazılarak t değeri yerine yazıldığında hareketli, Δx kadar yer değiştirdiği andaki hızı için

$$\Delta \vec{x} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\vec{a}} \cdot \left[\vec{v}_0 + \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot \left(\frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\vec{a}} \right) \right]$$

$$\Delta \vec{x} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\vec{a}} \cdot \left[\vec{v}_0 + \frac{1}{2} \cdot (\vec{v} - \vec{v}_0) \right] \text{ parantez içi toplanıp içler dışlar çarpımı yapılarak}$$

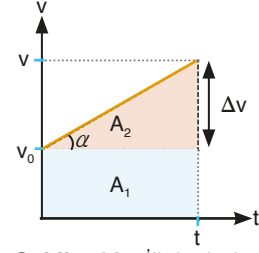
$$2 \cdot \vec{a} \cdot \Delta \vec{x} = (\vec{v} - \vec{v}_0) \cdot (2 \cdot \vec{v}_0 + \vec{v} - \vec{v}_0)$$

$$2 \cdot \vec{a} \cdot \Delta \vec{x} = (\vec{v} - \vec{v}_0) \cdot (\vec{v} + \vec{v}_0)$$

$$2 \cdot \vec{a} \cdot \Delta \vec{x} = \vec{v}^2 - \vec{v}_0^2$$

$$\vec{v}^2 = \vec{v}_0^2 + 2 \cdot \vec{a} \cdot \Delta \vec{x} \text{ formülü elde edilir.}$$

Elde edilen son formülde zaman kullanılmadığından **zamansız hız formülü** adı verilir.



Şekil 1.62: İlk hızlı düzgün hızlanan hareketlinin v-t grafiği

Buraya kadar ilk hızlı düzgün hızlanan doğrusal hareket için elde edilen

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t$$

$$\vec{v}^2 = \vec{v}_0^2 + 2 \cdot \vec{a} \cdot \Delta\vec{x}$$

$$\Delta\vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2$$

hareket denklemlerinde $|\vec{v}_0| = 0$ alınarak ilk hızlı düzgün hızlanan doğrusal hareket denklemleri

$$\vec{v} = \vec{a} \cdot t$$

$$\vec{v}^2 = 2 \cdot \vec{a} \cdot \Delta\vec{x}$$

$$\Delta\vec{x} = \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2 \text{ elde edilir.}$$

Hızın azalarak ivmenin (-) işareti aldığı düzgün yavaşlayan doğrusal hareket denklemleri ise

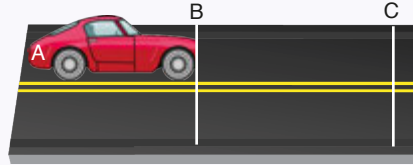
$$\vec{v} = \vec{v}_0 - \vec{a} \cdot t$$

$$\vec{v}^2 = \vec{v}_0^2 - 2 \cdot \vec{a} \cdot \Delta\vec{x}$$

$$\Delta\vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2 \text{ elde edilir.}$$

Örnek: A aracı B çizgisinde durmakta iken $0,5 \text{ m/s}^2$ lik ivme ile hızlanarak C çizgisine 10 s'de ulaştığına göre B-C arasında yapılan yer değiştirmenin büyüklüğü kaç metredir?

Çözüm: B-C arasında yapılan yer değiştirmenin büyüklüğü bulunacak olursa



$$\Delta\vec{x} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2$$

formülü kullanıldığında aracın ilk hızı $|\vec{v}_0| = 0$ olduğundan

$$\Delta\vec{x} = \frac{1}{2} \cdot \vec{a} \cdot t^2$$

formülünde verilenler yerine konulduğunda

$$|\Delta\vec{x}| = \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 10^2$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0,5 \cdot 100$$

$$|\Delta\vec{x}| = 25 \text{ m bulunur.}$$

Örnek: Şekildeki A aracı 36 km/h hız ile yolda ilerlerken kırmızı ışığın yandığını görüp, frene basarak, 4 m/s^2 lik sabit ivme ile yavaşlayarak trafik ışığına geldiğinde durmaktadır.

a) Araç frene bastıktan sonra kaç s'de durur?

b) Sürücü frene bastığı anda kırmızı ışığa uzaklığı kaç metredir?



Çözüm:

a) Öncelikle km/h verilen A aracının hızı m/s cinsinden yazılmalıdır. $36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$ 'dir. Araç durduğunda hızı sıfır olacağından $\vec{v} = \vec{v}_0 - \vec{a} \cdot t$ formülü kullanılarak kaç s'de durduğu bulunur. Buna göre

$$0 = 10 - 4 \cdot t$$

$$t = 10 / 4$$

$$t = 2,5 \text{ s sonra araç durur.}$$

b) Zamansız hız formülü kullanılarak aracın durana kadar aldığı yol bulunur. Buna göre

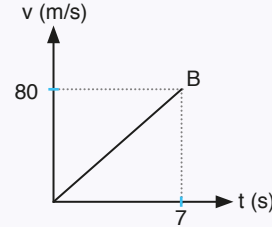
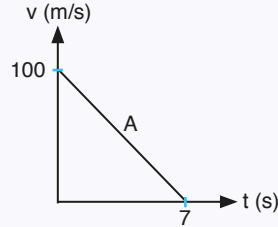
$$\vec{v}^2 = \vec{v}_0^2 - 2 \cdot \vec{a} \cdot \Delta \vec{x}$$

$$0 = 10^2 - 2 \cdot 4 \cdot |\Delta \vec{x}|$$

$$|\Delta \vec{x}| = 100/8$$

$$|\Delta \vec{x}| = 12,5 \text{ m olarak bulunur.}$$

Örnek: Başlangıçta yan yana olan A ve B araçlarına ait hız-zaman grafikleri verilmiştir.



Araçlar aynı yönde hareket ettiğine göre 7 s sonra A ve B araçlarının arasındaki uzaklık kaç metredir?

Çözüm: Hız-zaman grafikleri altında kalan alan, yerdeğiştirmenin büyüklüğünü vereceğinden A aracı için hız-zaman grafiğinin altındaki üçgenin alanı hesaplandığında

$$|\Delta \vec{x}_A| = 100 \cdot \frac{7}{2}$$

$$= 350 \text{ m olur.}$$

B aracı için hız-zaman grafiğinin altındaki üçgenin alanı hesaplandığında

$$|\Delta \vec{x}_B| = 80 \cdot \frac{7}{2}$$

$$= 280 \text{ m olur.}$$

7 s sonra A aracı ve B aracı arasındaki mesafe

$$|\Delta \vec{x}_A| - |\Delta \vec{x}_B| = 350 - 280 = 70 \text{ m olur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 27

Yan yana durmakta olan A ve B otomobilleri aynı anda sırasıyla +x yönünde 2 m/s^2 ve -x yönünde 3 m/s^2 ivmeyle harekete başlamak-tadır.

Otomobiller harekete başladıktan 3 saniye sonra hızlarını sabitlediklerine göre, hareketlerinin ilk 5 saniyelerine ait ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grafiklerini çizerek yorumlayınız.

Cevap



1.4.3. Hava Direncinin İhmal Edildiği Ortamlardaki Serbest Düşme Hareketi

Yer çekimi ivmesinin g olduğu sürtünmesiz ortamlarda, Şekil 1.63'te verildiği gibi ilk hızsız olarak belli bir h yüksekliğinden boşluğa bırakılan cisimlerin yaptığı harekete, **serbest düşme hareketi** denir.

Serbest bırakılan m kütleli her cisme etki eden F_{net} kuvveti, dinamiğin temel prensibine göre kendi ağırlığına eşit olacağından serbest düşme sırasında

$$\vec{F}_{\text{Net}} = m \cdot \vec{g}$$

$$m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}$$

$$\vec{a} = \vec{g} \quad \text{büyüklüğündeki bir ivmeyle harekete geçer.}$$

Cismin düşme sırasında yaptığı hareket, düşey doğrultu ve -y yönündeki $\vec{g}$ ivmesiyle yapılan ilk hızsız düzgün hızlanan doğrusal harekettir.

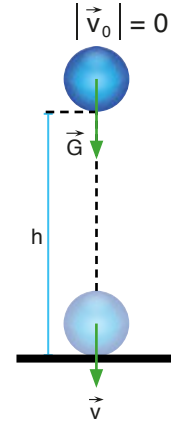
Yeryüzü yakınlarında yer çekimi ivmesi, yaklaşık olarak 10 m/s^2 oldu-

ğundan denklem ile elde edilen sonuç, sürtünmesiz ortamda serbest bırakılan her cismin kütle değerinden bağımsız olarak hızını her saniye 10 m/s artıracağını ifade eder.

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu sürtünmesiz bir ortamda, t süresince serbest düşme hareketi yapan bir cisme ait hareket denklemleri, ilk hızlı düzgün hızlanan doğrusal hareket için elde edilen hareket denklemlerinde $\vec{v}_0$ yerine 0, X yerine h , $\vec{a}$ yerine $\vec{g}$ kullanılarak Tablo 1.1'de verildiği gibi elde edilir.

Tablo 1.1: İlk Hızsız Düzgün Hızlanan ve Serbest Düşme Hareketleri İçin Hareket Denklemleri

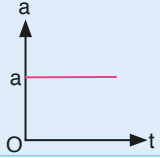
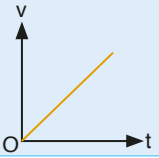
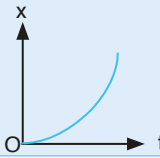
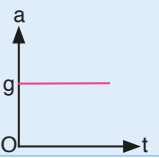
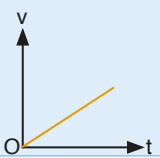
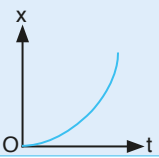
İlk hızsız düzgün hızlanan doğrusal hareket denklemleri	Serbest düşme hareketi denklemleri
$v = a \cdot t$	$v = g \cdot t$
$v^2 = 2 \cdot a \cdot \Delta x$	$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$
$\Delta x = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$	$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$



Şekil 1.63: Serbest düşen cisim

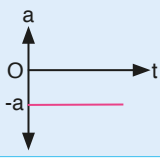
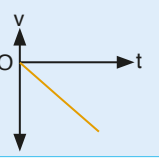
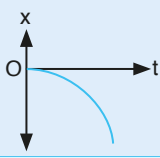
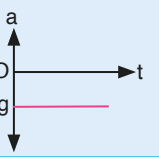
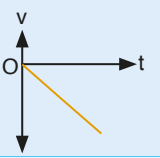
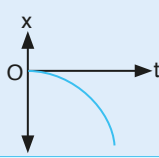
Serbest düşme hareketinin grafikleri, cismin hareket yönü (+) seçildiğinde (+) yönde yapılan ilk hızsız düzgün hızlanan hareket grafiklerine benzer şekilde Tablo 1.2’de verildiği gibi çizilebilir.

Tablo 1.2: (+) Seçilen Yönde Yapılan İlk Hızsız Düzgün Hızlanan ve Serbest Düşme Hareketi Grafikleri

Pozitif (+) yöndeki ilk hızsız düzgün hızlanan doğrusal hareket grafikleri			Pozitif (+) yöndeki serbest düşme hareketi grafikleri		
					

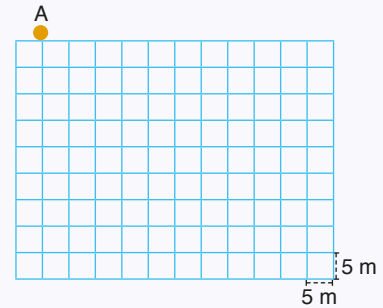
Cismin hareket yönü (-) seçildiğinde ise serbest düşme hareketi için hareket grafikleri, Tablo 1.3’te verildiği gibi (-) yönde yapılan ilk hızsız düzgün hızlanan harekete benzer şekilde olacaktır.

Tablo 1.3: (-) Seçilen Yönde Yapılan İlk Hızsız Düzgün Hızlanan ve Serbest Düşme Hareketi Grafikleri

Negatif (-) yöndeki ilk hızsız düzgün hızlanan doğrusal hareket grafikleri			Negatif (-) yöndeki serbest düşme hareketi grafikleri		
					

Örnek: A cismi, sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda serbest bırakılarak saniyede bir fotoğraf çeken ve cisme kilitlenmiş hareketlenme özelliğine sahip uçangöze (drone) görüntülenmek istenmektedir. Cismin hareketi, her bir bölmesi 5 m olan ölçekli bir perde önünde gerçekleştiğine göre

- Uçangöz, A cismi bırakıldıktan sonra A cisminin perde önünden geçme süresince kaç kare fotoğraf yakalar?
- Yakalanan görüntülerdeki hız değerlerini ve cismin düşme miktarları nedir? ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm:

- Perdenin her bir bölmesi 5 m olduğundan kareler sayıldığında yüksekliği 45 m olarak bulunur. Cismin 45 m yükseklikten düşme süresi $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

$$45 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2 \text{ buradan } t = 3 \text{ s bulunur.}$$

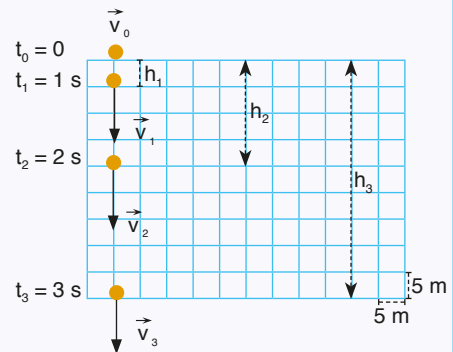
Bu durumda uçangöz 3 kare fotoğraf çeker.

- Perde önündeki hareketi 3 s süren cismin her bir saniyedeki hız ve düşme miktarlarının büyüklükleri

$$t_1 = 1 \text{ s ise } v_1 = g \cdot t_1 = 10 \cdot 1 = 10 \text{ m/s, } h_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_1^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1^2 = 5 \text{ m}$$

$$t_2 = 2 \text{ s ise } v_2 = g \cdot t_2 = 10 \cdot 2 = 20 \text{ m/s, } h_2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 2^2 = 20 \text{ m}$$

$$t_3 = 3 \text{ s ise } v_3 = g \cdot t_3 = 10 \cdot 3 = 30 \text{ m/s, } h_3 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_3^2 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 3^2 = 45 \text{ m olarak elde edilir.}$$





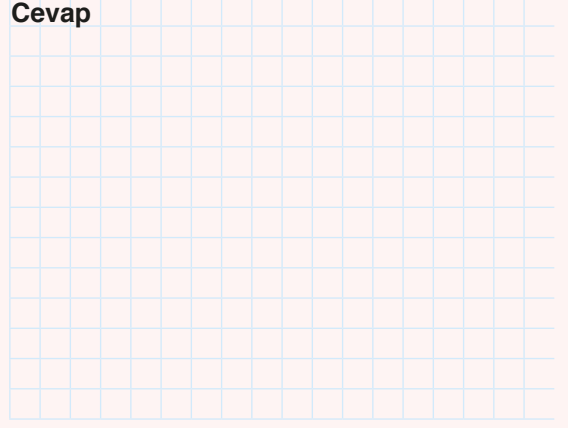
ÇALIŞMA KÖŞESİ 28

Ailesiyle birlikte İstanbul'a tatile giden Kübra, 15 Temmuz Şehitler Köprüsü üzerinden geçmektedir.



Kübra, köprünün yaklaşık yüksekliğini fizik dersinde öğrendiği serbest düşme hareketi bilgilerinden yararlanarak nasıl hesaplayabilir?

Cevap



Serbest düşme hareketinde $\vec{g}$ 'nin yön ve büyüklüğü sabit olduğundan, grafiklerinde özel veriler elde edilebilir. Örneğin yeterince yüksek bir noktadan serbest düşmeye bırakılan bir cismin t süresinde kazandığı hız $\vec{v}$, düşme miktarı ise $\vec{h}$ olsun. Hareketin $2t$, $3t$, $4t$ ve $5t$ sürelerindeki hızları sırasıyla $\vec{v}_2, \vec{v}_3, \vec{v}_4$ ve $\vec{v}_5$ 'in $\vec{v}$ cinsinden, düşme miktarları $\vec{h}_2, \vec{h}_3, \vec{h}_4$ ve $\vec{h}_5$ 'in değerleri ise $\vec{h}$ cinsinden bulunabilir.

$$t_1 = t \text{ ise } v_1 = g \cdot t_1 = g \cdot t = v$$

$$h_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_1^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = h$$

$$t_2 = 2 \cdot t \text{ ise } v_2 = g \cdot t_2 = g \cdot 2t = 2v$$

$$h_2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_2^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot (2t)^2 = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 4h$$

$$t_3 = 3 \cdot t \text{ ise } v_3 = g \cdot t_3 = g \cdot 3t = 3v$$

$$h_3 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_3^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot (3t)^2 = 9 \cdot \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 9h$$

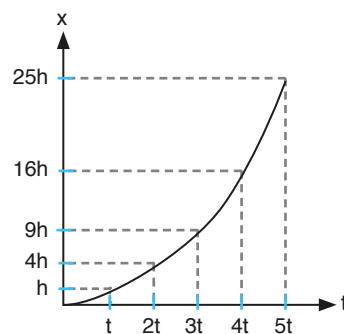
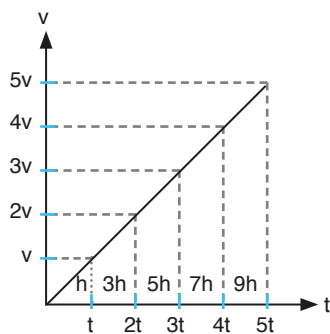
$$t_4 = 4 \cdot t \text{ ise } v_4 = g \cdot t_4 = g \cdot 4t = 4v$$

$$h_4 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_4^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot (4t)^2 = 16 \cdot \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 16h$$

$$t_5 = 5 \cdot t \text{ ise } v_5 = g \cdot t_5 = g \cdot 5t = 5v$$

$$h_5 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_5^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot (5t)^2 = 25 \cdot \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = 25h$$

Bu durumda hareketlinin hız-zaman ve konum-zaman grafiği Şekil 1.64'te verildiği gibi elde edilir.

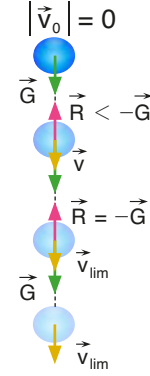


Şekil 1.64: Serbest düşme hareketi yapan cismin v-t ve x-t grafikleri

1.4.4. Atmosferdeki Serbest Düşme Hareketi

Bir önceki konuda olan havasız ortamdaki serbest düşme hareketinde, serbest bırakılan her cisme etki eden net kuvvet cismin ağırlığına eşitti. Aynı hareket sürtünmelerin olduğu atmosfer ya da sıvı gibi akışkan ortamlarda gerçekleştiğinde harekete zıt yönde bir sürtünme kuvveti ortaya çıkar. Bu kuvvete **ortamın direnç kuvveti** denir ve **R** ile gösterilir.

R'nin büyüklüğü ortamın yoğunluğuna, cismin hız ve şekline bağlıdır (Şekil 1.65).



Şekil 1.65: Atmosfer ortamında serbest düşme hareketi yapan cisim



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Atmosferde düşen cisimlere etki eden direnç

Etkinliğin Amacı: Hava direnç kuvvetinin bağlı olduğu değişkenleri belirlemek

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: 5 adet kâğıt bardak, 2 adet orta boy çöp poşeti, ip, makas, cetvel, delgeç, kronometre

Yönerge

- Çöp poşetlerini keserek 15×15 cm ve 20×20 cm boyutlarında iki adet parça elde ediniz.
- Elde ettiğiniz her bir parçanın dört kenarını deliniz.
- 12 cm uzunluğunda 8 tane ip kesin.
- Her bir deliğe 12 cm uzunluğunda ip bağlayınız.
- Kâğıt bardaklardan birinin geniş olan tarafına aralıkları eşit olacak şekilde dört delik açınız.
- Poşetten gelen ipleri kâğıt bardağa açılan deliklerden geçirerek düğüm atınız.
- 1,5 m yükseklikten hazırlanan bardağın tabanı yere doğru olacak şekilde serbest bırakınız ve kronometreyi çalıştırınız.
- Bardak yere düştüğü anda kronometreyi durdurunuz.
- Bardak sayısını artırarak (iç içe koyarak) uygulamayı tekrarlayınız.
- Kronometrede okunan süreyi, aşağıdaki tabloda verilen bardak sayısı ve poşet ölçü değerlerine göre tablodaki ilgili bölüme yazınız.
- Her iki durum için elde edilen sürelerle bakarak yükseklik süre oranını bulunuz ve tabloya yazınız.

Bardak sayısı	Poşet Ölçüsü (cm)	Süre (s)	Yükseklik/ Süre
2			
5			
2			
5			

Sonuçlandırma

1. Poşet ölçüsü sabit tutularak kâğıt bardak sayısında yapılan değişiklik kâğıt bardağın/bardakların yere düşme süresini nasıl etkilemiştir?
2. Kâğıt bardağın sayısı sabit tutularak poşet ölçüsünde yapılan değişiklik kâğıt bardağın/bardakların yere düşme süresini nasıl etkilemiştir?

Yukarıda yapılan etkinlik ve bu alandaki çalışmalarda, ortamın yoğunluğu (direnç sabiti) k olup SI birim sisteminde birimi kg/m^3 tür. Cismin harekete dik en büyük kesit alanı A ve hızı $\vec{v}$ ile sembolize edildiğinde $\vec{R}$ 'nin; k , A ve $|\vec{v}|^2$ ile doğru orantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

1.4.5. Limit Hız

Paraşütle atlayan sporcunun paraşütü açılana kadar gerçekleşen düşme hareketinde (Görsel 1.10) olduğu gibi cisim, yüksek hızlara ulaştığında $\vec{R}$ kuvvetinin $|\vec{v}|^2$ ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda elde edilen veriler doğrultusunda $\vec{R}$ kuvvetinin büyüklüğü

$$|\vec{R}| = k \cdot A \cdot |\vec{v}_{\text{lim}}|^2 \text{ eşitliği ile hesaplanır.}$$

Cismin ağırlığı $\vec{R}$ kuvvetinden büyük olduğu sürece cisim, düşerken sürekli azalan bir ivmeyle hızlanmaya devam eder. Hız arttıkça direnç kuvvetinin değeri artar ve öyle bir an gelir ki $\vec{G}$ 'ye eşit olur.

Cisim bu ana kadar ulaşabileceği en büyük hıza ulaşmıştır. Ortamın direnç kuvveti cisim ağırlığına eşit olduğu andaki hızına **limit hız** denir ve $\vec{v}_{\text{lim}}$ ile gösterilir. Limit hıza ulaşan cismin üzerindeki net kuvvet sıfır olacağından Newton'ın I. Hareket Kanunu gereği $\vec{v}_{\text{lim}}$ hız ile düzgün doğrusal hareket yapar.

Örneğin havadan düşen dolu taneleri, yağmur damlaları ve kar tanelerine hava direnç kuvveti etki ederek limit hıza ulaşması sağlanır (Şekil 1.66). Bu sayede dolu tanelerinin ve yağmur damlalarının canlılara zarar vermemesi sağlanmaktadır.

Direnç kuvveti sabitinin k olduğu bir ortamda Şekil 1.67'de verildiği gibi en büyük izdüşüm kesit alanı A olan m kütleli bir cismin $\vec{R} = -\vec{G}$ eşitliği gerçekleştiği andaki limit hızı

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

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

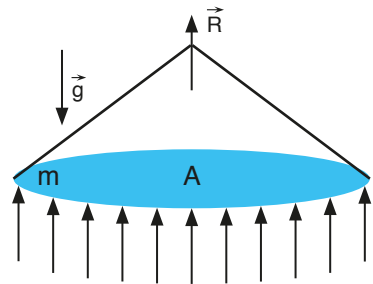
$$|\vec{v}_{\text{lim}}| = \sqrt{\frac{m \cdot |\vec{g}|}{k \cdot A}} \text{ eşitliğiyle hesaplanır.}$$



Görsel 1.10: Paraşütle atlayan sporcu



Şekil 1.66: Yağmur damlasına etki eden hava direnç kuvveti

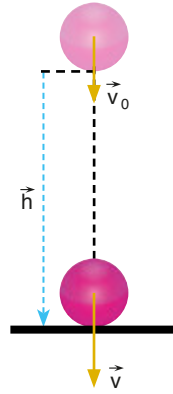


Şekil 1.67: Serbest düşen cisimlere etki eden hava direnç kuvveti

1.4.6. Düşey Doğrultuda Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri

Yerden h kadar yükseklikten $\vec{v}_0$ ilk hızı ile düşey doğrultuda aşağıya doğru atılan bir cismin yaptığı harekete **yukarıdan aşağıya atış hareketi** denir (Şekil 1.68). Yukarıdan aşağıya doğru atış hareketinin serbest düşme hareketinden farkı, cisme ilk hız kazandırılmasıdır. Bu yüzden $\vec{v}_0$ ilk hızı ile aşağıya atılan bir cismin düşme sırasında yaptığı hareket, ilk hızlı düzgün hızlanan doğrusal bir harekettir.

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu sürtünmesiz bir ortamda h yüksekliğinden $\vec{v}_0$ ilk hızı ile aşağıya atılarak t sürede yere düşen bir cisme ait hareket denklemleri, serbest düşme hareketi için elde edilen hareket denklemlerinden yararlanarak Tablo 1.4'te verildiği gibi elde edilebilir.



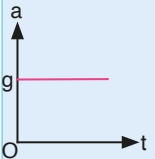
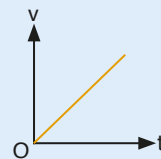
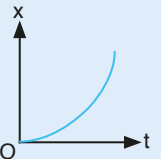
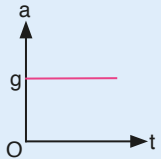
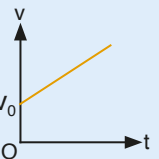
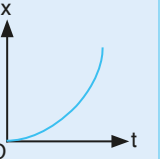
Şekil 1.68: $\vec{v}$ yüksekliğinden $\vec{v}_0$ hızı ile atılan cisim

Tablo 1.4: Serbest Düşme ve Aşağıya Atış Hareketleri İçin Hareket Denklemleri

Serbest düşme hareketi denklemleri	Aşağıya düşey atış hareketi denklemleri
$v = g \cdot t$	$v = v_0 + g \cdot t$
$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$	$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h$
$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$	$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

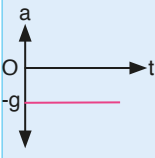
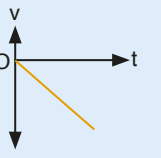
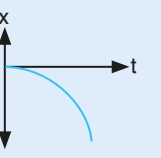
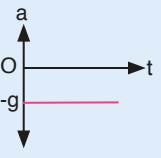
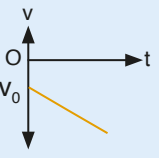
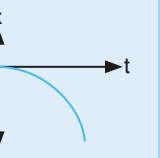
Aşağıya düşey atış hareketinin grafikleri, cismin hareket yönü (+) seçildiğinde (+) yönde seçilen serbest düşme grafiklerine benzer şekilde Tablo 1.5'te verildiği gibi çizilebilir.

Tablo 1.5: Pozitif (+) Yönde Serbest Düşme ve Düşey Aşağıya Atış Hareketi Yapan Cismin Grafikleri

(+ yöndeki serbest düşme hareketi grafikleri			(+ yönde düşey aşağıya atış hareketi grafikleri		
					

Cismin hareket yönü (–) seçildiğinde ise aşağıya atış hareketi için hareket grafikleri, Tablo 1.6'da verildiği gibi (–) yönde seçilen serbest düşme hareketine benzer şekilde olacaktır.

Tablo 1.6: Negatif (–) Yönde Serbest Düşme ve Düşey Aşağıya Atış Hareketi Yapan Cismin Grafikleri

(– yöndeki serbest düşme hareketi grafikleri			(– yönde düşey aşağıya atış hareketi grafikleri		
					

Örnek: h yüksekliğindeki T cismi düşey doğrultuda 15 m/s hızla aşağıya doğru atıldığı anda 80 m yükseklikteki M cismi de serbest düşmeye bırakılmaktadır.

Cisimler yere aynı büyüklükteki hızla düştüklerine göre h yüksekliği kaç m'dir?

Çözüm: Zamansız hız formülü yardımıyla 80 m yükseklikten serbest bırakılan M cisminin yere düşme hızı

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$$

$$= 2 \cdot 10 \cdot 80$$

$v = 40 \text{ m/s}$ olarak bulunur.

Zamansız hız formülü, yere düşme hızı $v = 40 \text{ m/s}$ ve ilk hızı $v_0 = 15 \text{ m/s}$ olan T cismi için kullanıldığında atıldığı yükseklik h_T

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

$$40^2 = 15^2 + 2 \cdot 10 \cdot h_T$$

$$1600 = 225 + 20 \cdot h_T$$

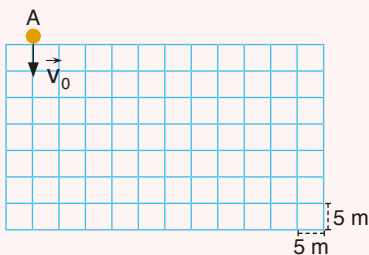
$$h_T = 1375/20$$

$h_T = 68,75$ m olarak bulunur.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 30

A cismi, sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda 5 m/s 'lik $\vec{v}_0$ hızı ile düşey doğrultuda aşağı atılmaktadır. Saniyede bir fotoğraf çeken ve cisme kilitlenmiş hareketlenme özelliğine sahip uçangöz tarafından A cisminin fotoğrafı çekilmek istenmektedir. Cismin hareketi, her bir bölümü 5 m olan ölçekli bir perde önünde gerçekleştiğine göre

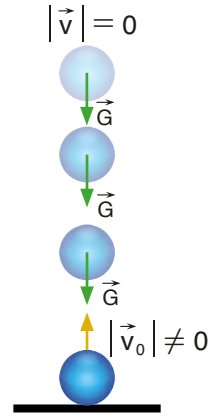


- a) Cisim atıldıktan sonra uçangöz cismin perde önünden geçtiği sürede kaç kare fotoğraf yakalar?
- b) Yakalanan görüntülerdeki hız değerlerini ve cismin düşme miktarlarını perde üzerinde gösteriniz.
- ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap

Düşey doğrultuda $\vec{v}_0$ ilk hızı ile aşağıdan yukarıya atılan bir cismin yaptığı harekete **aşağıdan yukarı atış hareketi** denir. Aşağıdan yukarı atış hareketi, cismin düşey doğrultuda yukarı çıkarken ağırlığıyla zıt yönde yaptığı düzgün yavaşlayan doğrusal hareket ile aşağı düşerken ağırlığı ile aynı yönde yaptığı serbest düşme hareketinden oluşmaktadır (Şekil 1.69).

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu sürtünmesiz bir ortamda $\vec{v}_0$ ilk hızı ile düşey doğrultuda yukarı atılan bir cismin hareketinin t süresi için hareket denklemleri, yukarıdan aşağıya atış hareketi denklemlerinden yararlanarak Tablo 1.7’de verildiği gibi elde edilebilir. Tabloda verilen h ifadesi cismin t anında atıldığı noktaya olan uzaklığını ifade eder.



Şekil 1.69: Aşağıdan yukarı atış hareketi yapan cisim

Tablo 1.7 : Yukarıdan Aşağıya ve Aşağıdan Yukarı Düşey Atış Hareketi Denklemleri

Yukarıdan aşağıya düşey atış hareketi denklemleri	Aşağıdan yukarıya düşey atış hareketi denklemleri
$v = v_0 + g \cdot t$	$v = v_0 - g \cdot t$
$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h$	$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$
$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$	$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

$\vec{v}_0$ ilk hızı ile Şekil1.70’de verildiği gibi düşey doğrultuda yukarı atılan cismin yükselmesi, hızı sıfır olana kadar devam edecektir. Cismin hızının sıfır olduğu andaki yerden yüksekliğine **maksimum yükseklik** denir ve $\vec{h}_{maks.}$ ile gösterilir. Cismin maksimum yükseklikte bulunduğu andaki konumunun noktasal olarak gösterimi **tepe noktası** olarak isimlendirilir. Tepe noktası T ile sembolize edilir. Cismin atıldıktan sonra T noktasına çıkana kadar geçen süreye **çıkış süresi** ($t_{çık}$), T noktasından sonra düşene kadar geçen süreye ise **iniş süresi** (t_{in}) denir. Cisim atıldıktan düşene kadar geçen süre ise **uçuş süresi** ($t_{uç}$) olarak adlandırılır. Çıkış süresi ile iniş sürelerinin toplamı her zaman hareketlinin havada kaldığı uçuş süresine eşit olacağından

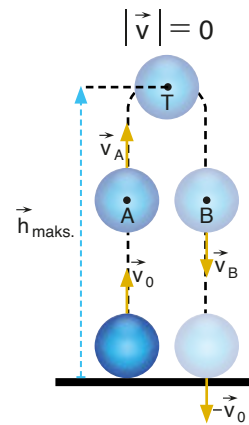
$$t_{uç} = t_{çık} + t_{in} \text{ eşitliği vardır.}$$

Hava direncinin ihmal edildiği ortamlarda atıldığı noktadan tekrar aynı yükseklikteki noktaya düşen cisimlerde çıkış süresi iniş süresine eşit olacağından uçuş süresi iniş veya çıkış süresinin iki katına eşit olur. Buna göre

$$t_{çık} = t_{in}$$

$$t_{uç} = 2 \cdot t_{çık} = 2 \cdot t_{in} \text{ eşitlikleri yazılabilir.}$$

Çıkış süresinin iniş süresine eşit olduğu bu durumlarda cisimler yukarı çıkarken kaybettiği hız değerlerini aşağıya düşme sırasında tekrar kazanarak atıldıkları noktaya $\vec{v}_0$ hızına eşit büyüklük ve zıt yöndeki hızla düşerler. Cisim, hareketi sırasında T noktası haricinde kalan her bir noktadan, biri yukarı çıkarken biri aşağı inerken olmak üzere iki defa geçecektir.



Şekil 1.70: Aşağıdan yukarı atış hareketi yapan cisim

Hızların eşitlik durumu aynı yükseklikte bulunan bu noktalar için de geçerlidir. Bu durumda aynı yükseklikteki A ve B noktalarında cismin sahip olduğu $\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_B$ hızları için de $\vec{v}_A = -\vec{v}_B$ eşitliği vardır.

Cismin, A noktasından T noktasına ulaşma süresi ile T noktasından B noktasına ulaşma süreleri birbirine eşittir. Bu süre t ile gösterilirse cisim, $(t_{\text{çık}} - t)$ anında A noktasında, $(t_{\text{çık}} + t)$ anında ise aynı yükseklikteki B noktasında bulunur.

Tepe noktasında cismin hızının sıfır olacağı bilgisi, hız denklemlerinde kullanılarak yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu bir ortamda, $\vec{v}_0$ hızı ile düşey doğrultuda yukarı atılan cisimlerin $t_{\text{çık}}$ süreleri ve $h_{\text{maks.}}$ yükseklikleri

$$v = v_0 - g \cdot t$$

$$0 = v_0 - g \cdot t_{\text{çık}}$$

$$v_0 = g \cdot t_{\text{çık}} \text{ ise } t_{\text{çık}} = \frac{v_0}{g}$$

$$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$$

$$0 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h_{\text{maks.}}$$

$$h_{\text{maks.}} = \frac{v_0^2}{2 \cdot g} \text{ formülü ile bulunur.}$$

Yükseklik denkleminde $t_{\text{çık}}$ süresi kullanıldığında $h_{\text{maks.}}$

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

$$h_{\text{maks.}} = v_0 \cdot t_{\text{çık}} - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{\text{çık}}^2$$

$$h_{\text{maks.}} = g \cdot t_{\text{çık}} \cdot t_{\text{çık}} - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{\text{çık}}^2$$

$$h_{\text{maks.}} = g \cdot t_{\text{çık}}^2 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{\text{çık}}^2$$

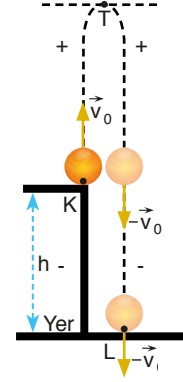
$$h_{\text{maks.}} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{\text{çık}}^2 \text{ olarak elde edilir.}$$

Aşağıdan yukarı atış hareketinde cismin yukarı yöndeki hareketi, (+) yönde düzgün yavaşlayan, aşağı yöndeki hareketi ise (-) yönde düzgün hızlanan bir hareket olarak gerçekleşir. Bu durumda zıt yönlerde gerçekleşen bu hareket grafikleri birleştirilerek aşağıdan yukarı atış hareketinin hareket grafikleri Tablo 1.8'de verildiği gibi olur.

Tablo 1.8 : Pozitif (+) ve Negatif (-) Yöndeki Düzgün Yavaşlayan ve Aşağıdan Yukarı Atış Hareketi Grafikleri

(+) seçilen yöndeki düzgün yavaşlayan hareket ve (-) seçilen yöndeki düzgün hızlanan hareket grafikleri	Aşağıdan yukarı atış hareketi grafikleri

$\vec{v}_0$ hızı ile yerden h kadar yükseklikteki K noktasında aşağıdan yukarıya atılan bir cisim olsun. T noktasına çıkış süresi $t_{\text{çık}}$ ile T noktasından tekrar aynı yüksekliğe gelme süreleri eşittir (Şekil 1.71). Bu durumda cisim aşağıya düşerken K noktasından atıldığı $\vec{v}_0$ 'a eşit büyüklükteki $-\vec{v}_0$ hızıyla geçer. Cismin bu noktadan sonraki hareketi, K noktası referans alınarak (+) ve (-) olarak işaretlenen (-) bölgede devam eder. Cismin yukarı hareketinde aldığı KT yüksekliğinden, inişte aldığı TL yüksekliği daha büyük olduğundan cismin $t_{\text{çık}}$ süresi, t_{in} süresinden küçüktür. Cisim aşağıdan yukarı atıldığında t_{in} süresinin $t_{\text{çık}}$ süresinden büyük olduğu bu durumlarda cisim atıldıktan sonra geçen $2t_{\text{çık}}$ süresinden daha büyük süreler için yapılan h hesaplamalarında sonucun (-) çıkması, cismin atıldığı yükseklikten daha aşağıdaki bir noktada olduğunu ifade eder. Serbest düşme, yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya atış hareketlerinde cisimlerin hareketi yalnızca düşey doğrultuda bir boyutta gerçekleşir.



Şekil 1.71: Aşağıdan yukarıya $\vec{v}_0$ hızı ile atılan cisim

Örnek: Düşey doğrultuda 15 m/s hızla yukarı yönde atılan cismin yere düşme süresi 5 s'dir.

- a) h yüksekliğini bularak sonucu yorumlayınız.
b) Hareketin (v - t) grafiğini çiziniz.

Çözüm:

$$t = 5 \text{ s}$$

$$v_0 = 15 \text{ m/s}$$

a)

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

$$h = 15 \cdot 5 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 5^2$$

$$= 75 - 125$$

$$h = -50 \text{ m}$$

Sonucun -50 m çıkması, cismin atıldığı noktadan 50 m aşağıya düştüğünü başka bir ifadeyle atıldığı yüksekliğin 50 m olduğunu ifade eder.

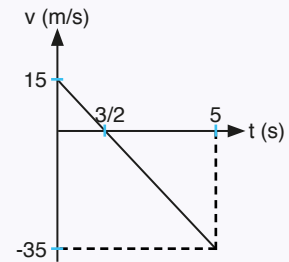
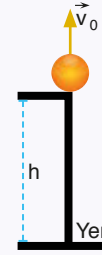
- b) Cismin (v - t) grafiğini çizmek için 5 s sonraki hızının bilinmesi gerekir.

$$v = v_0 - g \cdot t$$

$$= 15 - 10 \cdot 5$$

$$v = -35 \text{ m/s olur.}$$

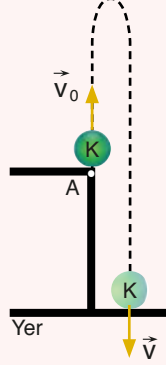
Hareketli 3/2 ile 5.saniyeler arasında v_0 hızına zıt yönde hareket ettiğinden sonuç (-) çıkmıştır.





ÇALIŞMA KÖŞESİ 32

K cismi yerden yüksekliği 80 m olan A noktasından 40 m/s büyüklüğündeki $\vec{v}_0$ hızı ile düşey yukarı atılmaktadır.



K cisminin $t_{\text{çık}}$ ve t_{in} sürelerini bulunuz.
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap



Örnek: 30 m/s hızla yükselmekte olan bir balondan K topu balona göre 20 m/s hızla yukarı atılmaktadır.

K topu atıldığı anda balon yerden 80 m yükseklikte olduğuna göre K topunun yere çarpma hızı kaç m/s'dir?
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Çözüm: K topu balona göre atıldığı için yere göre hızının büyüklüğüne v'_K denirse

$$V'_K = V_B + V_{BK} = 30 + 20 = 50 \text{ m/s olur.}$$

$$\begin{aligned} h_{\text{max}} &= \frac{v'^2_K}{2 \cdot g} \\ &= \frac{50^2}{2 \cdot 10} \\ &= \frac{2500}{20} \end{aligned}$$

$$h_{\text{max}} = 125 \text{ m olur.}$$

K topunun çıktığı toplam yükseklik

$$h_T = h_{\text{max}} + h_B$$

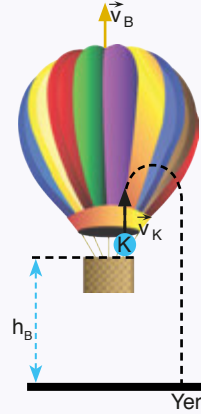
$$h_T = 125 + 80$$

$$h_T = 205 \text{ m olur.}$$

Yere çarpma hızının büyüklüğü

$$\begin{aligned} v^2 &= 2 \cdot g \cdot h \\ &= 2 \cdot 10 \cdot 205 \\ &= 4100 \end{aligned}$$

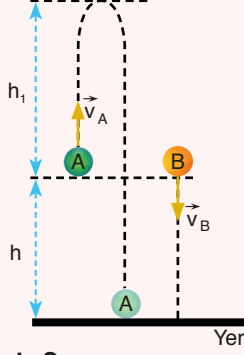
$$v = \sqrt{4100} \cong 64,03 \text{ m/s olur.}$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 33

h yüksekliğinden aynı büyüklükteki hızlarla yukarı düşey yönde atılan A topu ile aşağı düşey yönde atılan B topu 3 s farkla yere çarpmaktadır.



h_1/h oranı kaçtır?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap



1.5. İki Boyutta Hareket

Bu kısımda hem düşey hem de yatay doğrultuda olmak üzere iki boyutta gerçekleşen hareket çeşitleri incelenecektir. Bu incelemede hareketlilerin yalnız yer çekimi etkisinde kaldığı düşünülerek hava direnci ihmal edilmektedir.

1.5.1. Yatay Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri

Belli bir yükseklikten $\vec{v}_0$ ilk hızı ile yatay doğrultuda atılan bir cismin yaptığı harekete **yatay atış hareketi** denir. Yere paralel olarak uçan yangın söndürme uçağından bırakılan suyun yere düşerken yapmış olduğu hareket (Görsel 1.11), yüksek bir yerden yatay olarak atış yapan okçunun attığı ok (Görsel 1.12) yere düşme sırasında yatay atış hareketi yapar.



Görsel 1.11: Uçaktan bırakılan su hareketi



Görsel 1.12: Hedefe yatay olarak atılan ok



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Yatay olarak atılan cisimlerin hareketi

Etkinliğin Amacı: Yatay atış hareketinin incelenmesi ve yorumlanması

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, kâğıt, kalem

Yönerge

- Yatay atış konulu simülasyona ulaşmak için kitabınızı pdf dosya üzerinden açınız ve ekran görüntüsüne tıklayınız.

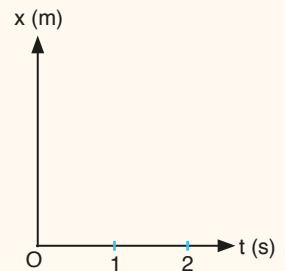
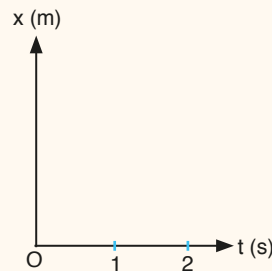
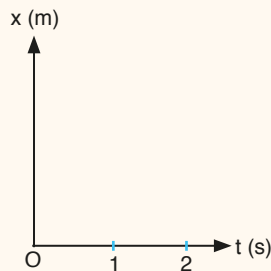
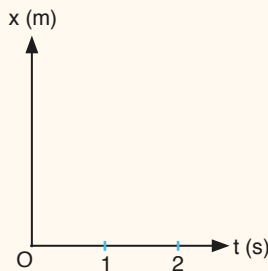


- Açılan sayfada bulunan kullanıcı seçeneklerinden Lab butonunu seçerek çift tıklayınız.
- Simülasyonu başlatmadan önce atışın yapılacağı top görselini tutarak yüksekliğini 15 m yapınız.
- Ekran dışına taşan görüntünün tam olarak görülebilmesi için sol üstte bulunan “-” ve “+” butonunu, ölçümler için ise verilen metre görselini kullanabilirsiniz.
- Sağdaki ayarlar tablosundan Gravity (yer çekimi ivmesi) değerini 10 m/s^2 olarak ayarlayınız.
- Açıyı 0 yaparak ilk hızı sırasıyla 5, 10, 20 ve 30 m/s seçip, her hız değeri için ateş butonuna tıklayarak atışlar yapınız.
- Atış sonrası yörüngeler üzerinde gösterilen nokta işaretleri, atılan topun 1/10 s aralıklarla “○” ise 1 s aralıklarla geçtiği konumları göstermektedir.
- Simülasyonda verilen metre ile ölçüm yapılabilecek uygun boyuta ulaştığınızda atış sonrası hareketin 1. saniyesinde ve topun düştüğü anda ölçtüğünüz atış yapılan noktaya olan yatay uzaklık değerlerini Tablo-1’e işleyiniz.

Tablo-1

v (m/s)	5	10	20	30
1. saniye için X_1 (m)				
Düştüğü an için X_2 (m)				

- Tabloda elde ettiğiniz veriler yardımıyla 5, 10, 20 ve 30 m/s hızla atılan topun yatay doğrultuda yaptıkları harekete ait (x-t) grafiklerini boş bırakılan alana çiziniz.

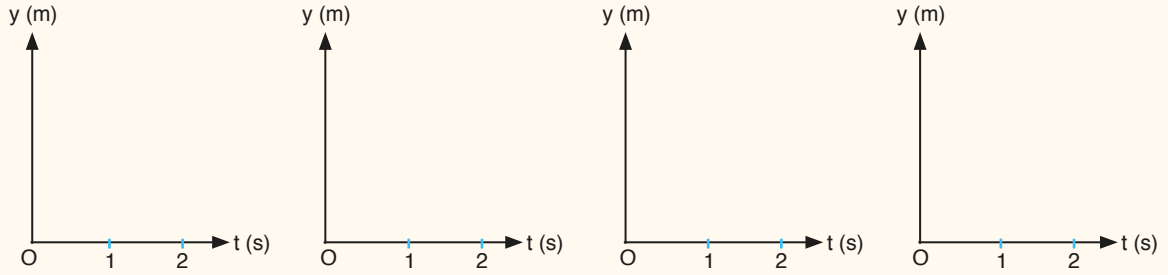


- Atış yapılan her hız değeri için 1. saniyesine ve topun düştüğü ana ait düşey doğrultudaki düşme miktarlarını ölçerek elde ettiğiniz verilerle Tablo-2'yi doldurunuz.

Tablo-2

v (m/s)	5	10	20	30
1. saniye için Y_1 (m)				
Düştüğü an Y_2 (m)				

- Tabloda elde ettiğiniz veriler yardımıyla 5, 10, 20 ve 30 m/s hızla atılan topun düşey doğrultuda yaptığı hareket için (y-t) grafiklerini boş bırakılan alana çiziniz.

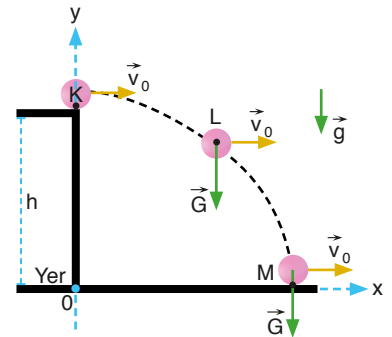


Sonuçlandırma

- Topun yatay doğrultuda hareketi için elde ettiğiniz (x-t) grafiğini yorumladığınızda hareket türü için ne söyleyebilirsiniz?
- Topun düşey doğrultuda hareketi için elde ettiğiniz (y-t) grafiğini yorumladığınızda hareket türü için ne söyleyebilirsiniz?

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu sürtünmesiz bir ortamda Şekil 1.72'de verildiği gibi h yüksekliğindeki K noktasından yatay olarak $\vec{v}_0$ ilk hızı ile atılan bir cisim, yörüngesi üzerindeki L noktasından geçerek M noktasında yere düşmektedir.

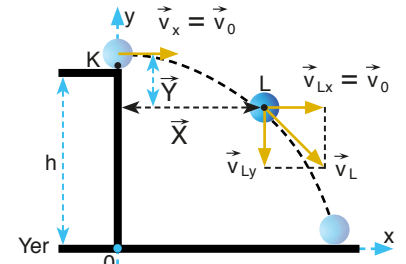
Yatay atış hareketi yapan cismin hareketi x ve y doğrultularında aynı anda gerçekleşen iki hareketten oluşmaktadır. Bu yüzden hareketin x-y koordinat sisteminde incelenmesi yerinde olacaktır. İki hareketten biri, ilk hızı olmayan ağırlık ($\vec{G}$) ile hareket yönünün aynı olduğu y doğrultusunda gerçekleşen serbest düşme hareketidir. İlk hız kazan-dırılan x doğrultusunda ise ağırlık hareket doğrultusuna dik olarak etki eder. Ağırlığın hareket doğrultusunda bir bileşeni olmadığından $\vec{v}_0$ hızı hareket boyunca sabit kalır. Bu yüzden cismin ikinci hareketi, x doğrultusunda ve $\vec{v}_0$ sabit hızı ile yapılan bir düzgün doğrusal harekettir.



Şekil 1.72: Yatay atılan K cismi

Cisim atıldıktan t süre sonra K noktasından Şekil 1.73'te verildiği gibi L noktasına ulaşmaktadır. Cisim L noktasında iken hareket denklemleri, serbest düşme ve düzgün doğrusal hareket denklemlerinden yararlanılarak

$$\begin{aligned} X &= v_0 \cdot t & Y &= \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \\ v_{Lx} &= v_0 & v_{Ly} &= g \cdot t \\ v_{Ly}^2 &= 2 \cdot g \cdot Y & v_L &= \sqrt{v_{Lx}^2 + v_{Ly}^2} = \sqrt{v_0^2 + v_{Ly}^2} \end{aligned}$$



Şekil 1.73: K cisminin L noktasındaki hızı ve konumu

şeklinde elde edilir. Burada cismin L noktasına ulaştığı t anı için elde edilen hareket denklemlerinde

X : L noktasının K noktasına olan yatay uzaklığı,

Y : L noktasının K noktasına olan düşey uzaklığı,

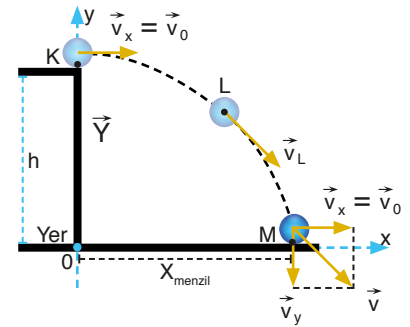
v_{Lx} : Cismin L noktasına ulaştığındaki yatay hızı,

v_{Ly} : Cismin L noktasına ulaştığındaki düşey hızı,

v_L : Cismin L noktasına ulaştığındaki bileşke hızı olup bileşke hız her an hareketin yörüngesine teğettir.

Yatay atış hareketi yapan cisimlerin yatayda gidebildikleri maksimum uzaklığa **menzil** denir ve X_{menzil} ile gösterilir. K noktasından atılan cisim Şekil 1.74'te verildiği gibi M noktasına düştüğünde $|OM|$ uzaklığı cismin menziline eşit olur. Hareket denklemleri, hareketin $t_{u\check{c}}$ süresi kullanıldığında cismin atıldığı noktanın yerden yüksekliği (h), menzili (X_{menzil}) ve yere düşme hızı v için

$$\begin{aligned} X_{\text{menzil}} &= v_0 \cdot t_{u\check{c}} \\ h &= \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{u\check{c}}^2 \\ v_x &= v_0 \\ v_y &= g \cdot t_{u\check{c}} \\ v_y^2 &= 2 \cdot g \cdot h \\ v &= \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} \text{ olur.} \end{aligned}$$



Şekil 1.74: K noktasından atılan cismin menzili ve düşme hızı

Cisim K noktasından yatay olarak atıldıktan sonra yer çekimi etkisiyle yönü ve doğrultusu sürekli değişerek büyüyen bir hızla hareket eder. Yere M noktasında kazanabileceği en büyük hızla düşer. Uçuş süresi ve yere düşme hızı cismin kütlesinden bağımsızdır.

Yatay atış hareketinin $+x$ yönündeki düzgün doğrusal, $-y$ yönündeki serbest düşme hareketlerine ait grafikleri Tablo 1.9'da verildiği gibidir.

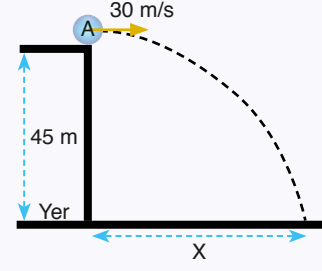
Tablo 1.9: Yatay Atış Hareketi Grafikleri

Yatay atılan cismin yatay doğrultuda yaptığı düzgün doğrusal hareket grafikleri	Yatay atılan cismin düşey doğrultuda yaptığı serbest düşme hareketi grafikleri

Örnek: Şekilde A topu sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda 45 m yükseklikten 30 m/s hızla atılmaktadır.

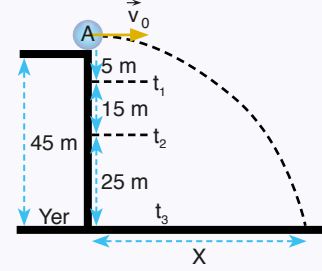
Buna göre

- a) A topu yere kaç s'de düşer?
 b) Yere çarpma hızı kaç m/s'dir?
 c) X menzil uzaklığı kaç m'dir?
 ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm:

- a) A topunun düşey doğrultuda her bir saniyedeki düşme miktarı şekildeki gibi olacağından, 45 m yüksekliğinden 3 s'de düşer.

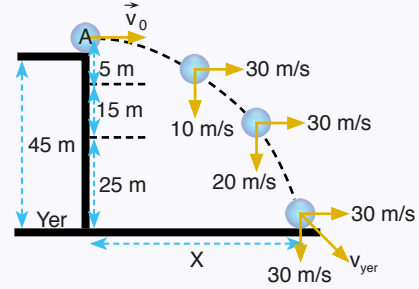


- b) A topunun her bir saniyedeki yatay ve düşey hız bileşenleri şekildeki gibi olacağından yere çarpma hızı

$$\begin{aligned} v_{\text{Yer}} &= \sqrt{v_0^2 + v_y^2} \\ &= \sqrt{30^2 + 30^2} \\ &= \sqrt{900 + 900} \\ &= \sqrt{1800} \\ v_{\text{Yer}} &= 30\sqrt{2} \text{ m/s olur.} \end{aligned}$$

- c) A topunun menzili

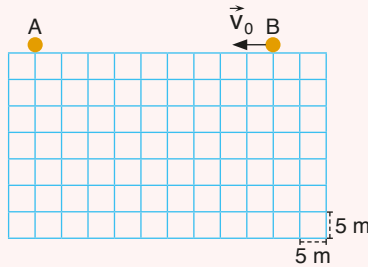
$$\begin{aligned} X_{\text{menzil}} &= v_0 \cdot t_{\text{uç}} \\ X_{\text{menzil}} &= 30 \cdot 3 = 90 \text{ m olarak bulunur.} \end{aligned}$$



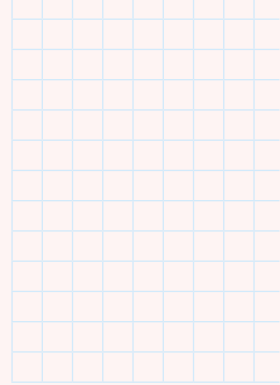
ÇALIŞMA KÖŞESİ 34

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda, A ve B cisimlerinden A serbest bırakıldığı anda B yatay doğrultuda 10 m/s büyüklüğündeki $\vec{v}_0$ hızı ile atılmaktadır. Cisimlerin hareketi saniyeleri sayan ve cisimlere kilitlemiş hareketlenme özelliğine sahip uçangözle görüntülenmektedir. Hareket her bir bölmesi 5 m olan ölçekli bir perde önünde gerçekleşmektedir.

Buna göre yakalanan görüntü sayısını bularak hız değerlerini, düşey ve yatayda aldıkları yolları perde üzerinde gösteriniz.
 ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Cevap



Örnek: Bir orman yangınına "Alo 177" orman yangın ihbar hattından öğrenen yangın söndürme helikopter pilotu deposuna su alıp harekete geçmektedir. Pilot, helikopterin su tankının yerden yüksekliği 320 m olacak şekilde 100 m/s sabit yatay hızla uçmaktadır. Yangın bölgesine olan mesafe ölçümünde yatay uzaklık 20 km olarak ölçülmektedir.



Pilotun hedefteki yangın bölgesine suyun tamamını boşaltabilmesi için mesafe ölçümünden sonraki hareketinin kaçınıcı s'sinde suyu bırakması gerekir?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$; sürtünmeleri ihmal ediniz.)

Çözüm: 20 km = 20000 m

Helikopter 100 m/s sabit hızla hareket ettiğinde yangın bölgesine ulaşma süresi t_{Hel}

$$t_{\text{Hel}} = \frac{X}{v}$$

$$t_{\text{Hel}} = \frac{20000}{100}$$

$t_{\text{Hel}} = 200 \text{ s}$ olarak bulunur.

Suyun yere ulaşma süresi t_{su}

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

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

$$t_{\text{su}}^2 = \frac{640}{10}$$

$$t_{\text{su}}^2 = 64 \text{ s}^2$$

$$t_{\text{su}} = 8 \text{ s olur.}$$

Pilot, hedefteki yangın bölgesine suyun tamamını boşaltabilmek için hareketinin

$$t = t_{\text{Hel}} - t_{\text{su}}$$

$t = 200 - 8 = 192$. saniyesinde suyu boşaltmaya başlamalıdır.

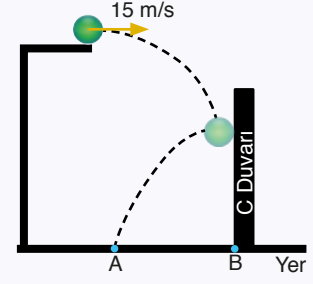


Örnek: 45 m yükseklikten 15 m/s büyüklüğündeki yatay hızla atılan tenis topu 2 s sonra C duvarına çarparak A noktasına düşmektedir.

Çarpma esnasında sürtünme ve enerji kaybı olmadığına göre

$|AB|$ mesafesi kaç m'dir?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm: Tenis topu, 45 metre yükseklikten yatay atıldığından düşme süresi 3 saniye olacaktır. Duvara çarptıktan 1 saniye sonra yere düştüğünden ve enerji kaybı olmadığından

$$|AB| = X = v_0 \cdot t$$

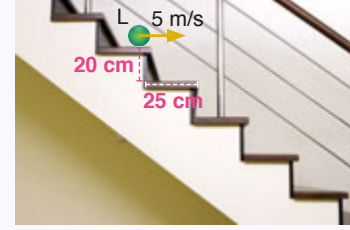
$$= 15 \cdot 1$$

$$|AB| = 15 \text{ m bulunur.}$$

Örnek: Yüksekliği 20 cm ve genişliği 25 cm olan bir merdivenden L cismi 5 m/s hızla yatay doğrultuda atılmaktadır.

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda L cismi kaçınıcı basamağa düşer?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm: L cisminin n. basamağına düştüğü kabul edilirse L cismi düşeyde 0,20 n, yatayda 0,25 n yol alacaktır. L cisminin düştüğü yükseklik

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

$$0,20 \cdot n = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2 \text{ olur} \quad (I)$$

L cisminin yatayda aldığı yol

$$X = v_0 \cdot t$$

$$0,25 \cdot n = 5 \cdot t \text{ olur.} \quad (II)$$

I ve II eşitliği oranlanırsa

$$\frac{0,20 \cdot n}{0,25 \cdot n} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2}{5 \cdot t}$$

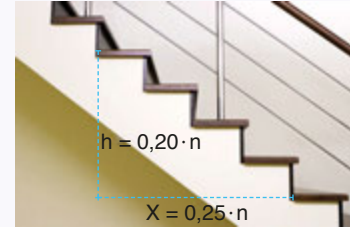
$$t = \frac{4}{5} \text{ s bulunur.}$$

Bulunan t değeri, I. eşitlikte yerine yazılırsa

$$0,20 \cdot n = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^2$$

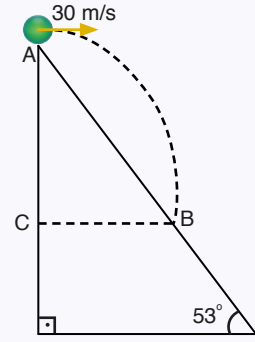
$$0,40 \cdot n = \frac{160}{25}$$

$$n = 16 \text{ olarak bulunur.}$$



Örnek: A noktasından 30 m/s'lik yatay hızla atılan demir küre B noktasına çarptığına göre

- a) Demir kürenin A noktasından B noktasına gelme süresi kaç s'dir?
 b) $|AB|$ uzunluğu kaç m'dir?
 c) $|AC|$ uzunluğu kaç m'dir?
 ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm:

- a) Şekildeki açılara göre

$|AC| = 4k$, $|AB| = 5k$, $|CB| = 3k$ olduğu görülür. Bu durumda demir kürenin düşeyde aldığı yol

$$|AC| = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{uç}^2$$

$$4k = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{uç}^2 \text{ olur.} \quad (1)$$

Yatayda aldığı yol ise

$$|CB| = v_0 \cdot t_{uç}$$

$$3k = v_0 \cdot t_{uç}$$

$$3k = 30 \cdot t_{uç} \text{ olur.} \quad (2)$$

1. ve 2. denklemler oranlanırsa

$$\frac{4k}{3k} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t_{uç}^2}{30 \cdot t_{uç}}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{t_{uç}}{6}$$

$$t_{uç} = 8 \text{ s bulunur}$$

- b) Yukarıdaki 1 denklemden k bulunacak olunursa

$$4k = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{uç}^2$$

$$4k = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 8^2$$

$$k = \frac{320}{4}$$

$k = 80 \text{ m}$ bulunur. Bu durumda

$$|AB| = 5k$$

$$|AB| = 5 \cdot 80$$

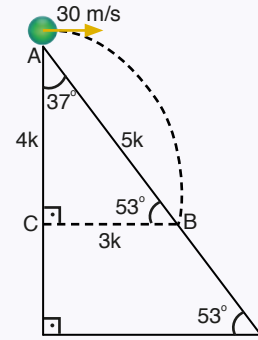
$$|AB| = 400 \text{ m bulunur.}$$

- c) $4k = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{uç}^2$

$$|AC| = 4k$$

$$|AC| = 4 \cdot 80$$

$$|AC| = 320 \text{ m bulunur.}$$



1.5.2. Eğik Atış Hareketi Denklem ve Grafikleri

Yatayla α açısı yapacak şekilde $\vec{v}_0$ ilk hızı atılan cisimlerin yaptığı harekete **eğik atış hareketi** denir. Durmakta olan futbol topuna yapılan vuruş sonrası futbol topunun yaptığı hareket (Görsel 1.13), basketbolcuların atış sonrası basketbol topunun yaptığı hareket (Görsel 1.14), uzun atlama yapan sporcunun atlama sonrası yaptığı hareket (Görsel 1.15), yatayla belli bir açı yapacak şekilde gerçekleştirilen birer eğik atış hareketi örneğidir.



Görsel 1.13: Durmakta olan futbol topuna yapılan vuruş



Görsel 1.14: Basketbol topunun yaptığı hareket



Görsel 1.15: Uzun atlama yapan sporcu



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Eğik atış hareketi

Etkinliğin Amacı: Eğik atış hareketinin incelenmesi ve yorumlanması

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, kâğıt, kalem

Yönerge:

- Eğik atış konulu simülasyona ulaşmak için kitabınızı pdf dosya üzerinden açınız ve ekran görüntüsüne tıklayınız.



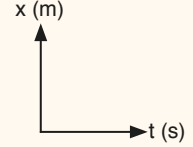
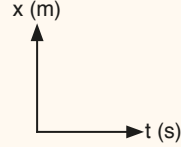
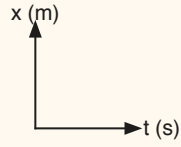
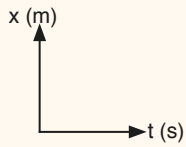
- Açılan sayfada bulunan kullanıcı seçeneklerinden Lab butonunu seçerek çift tıklayınız.
- Simülasyonu başlatmadan önce atışın yapılacağı top görselini tutarak yüksekliğini 15 m yapınız.
- Ekran dışına taşan görüntünün tam olarak görülebilmesi için sol üstte bulunan “-” ve “+” butonunu, ölçümler için ise verilen metre görselini kullanabilirsiniz.
- Sağdaki ayarlar tablosundan Gravity (yer çekimi ivmesi) değerini 10 m/s^2 olarak ayarlayınız.
- Açıyı 37° yaparak, ilk hızı 10 m/s seçip, ateş butonuna tıklayarak atış yapınız.

- Atış sonrası yörüngeler üzerinde gösterilen nokta işaretleri atılan topun 1/10 s aralıklarla, "○" ise 1 s aralıklarla geçtiği konumları göstermektedir.
- Simülasyonda verilen metre ile ölçüm yapılabilecek uygun boyuta ulaştığınızda atış sonrası hareket için ölçtüğünüz yatay uzaklık değerlerini Tablo-1'e işleyiniz.

Tablo-1: Atış Yapılan Top İçin Yatay Uzaklık Değerleri

v (m/s)	10	20	30
X_1 (m)			
X_2 (m)			
X_3 (m)			
X_4 (m)			

- 10 m/s hız için yaptığınız işlem basamaklarını 20 ve 30 m/s değerindeki hızlarla da gerçekleştirerek Tablo 1'i doldurunuz.
- Tabloda elde ettiğiniz veriler yardımıyla 10, 20 ve 30 m/s hızla atılan topun yatay doğrultuda yaptığı hareket için yatay konum-zaman (x-t) grafiklerini aşağıda boş bırakılan alana çiziniz.

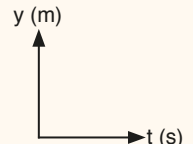
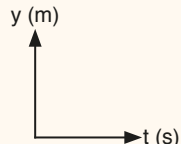
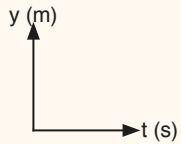
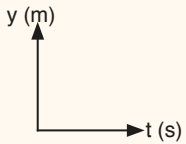


- Atış yapılan her hız değeri için hareket süresince atış yapılan noktaya olan düşey uzaklık değerlerini ölçünüz.
- Düşey uzaklık için elde ettiğiniz değerler yardımı ile Tablo-2'yi doldurunuz.

Tablo-2: Atış Yapılan Top İçin Düşey Uzaklık Değerleri

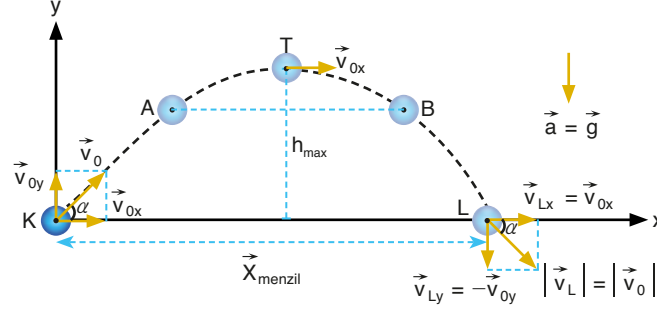
v (m/s)	10	20	30
Y_1 (m)			
Y_2 (m)			
Y_3 (m)			
Y_4 (m)			

- Tabloda elde ettiğiniz veriler yardımıyla 50, 100 ve 150 m/s hızla atılan topun düşey doğrultuda yaptığı hareket için düşey konum (y-t) grafiklerini boş bırakılan alana çiziniz.

**Sonuçlandırma**

- Atış yapılan topların yatay doğrultuda hareketi için elde ettiğiniz (x-t) grafiğini yorumladığınızda hareket türü için ne söyleyebilirsiniz?
- Atış yapılan topların düşey doğrultuda hareketi için elde ettiğiniz (y-t) grafiğini yorumladığınızda hareket türü için ne söyleyebilirsiniz?

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu sürtünmesiz bir ortamda Şekil 1.75' te verildiği gibi K noktasından $\vec{v}_0$ ilk hızı ile yatayla α açısı yapacak şekilde atılan bir cisim parabolik bir yörünge izleyerek A, T ve A ile aynı yükseklikteki B noktasından geçerek L noktasında yere düşmektedir.



Şekil 1.75: K noktasından eğik atılan cisim

Yatay atış hareketi gibi eğik atış hareketi de x ve y doğrultularında, aynı anda birbirinden bağımsız olarak gerçekleşen iki hareketten oluşmaktadır.

Bu yüzden hareketin $\vec{v}_0$ hızı x ve y bileşenlerine ayrılarak hareketin x-y koordinat sisteminde incelenmesi olayı daha anlaşılır kılacaktır.

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

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

Cismin atıldıktan sonra yaptığı hareketten biri, v_{0y} hızı ile y doğrultusunda yukarı atılarak gerçekleşen aşağıdan yukarı atış hareketi, ikincisi ise sabit v_{0x} hızı ile x doğrultusunda gerçekleşen düzgün doğrusal harekettir.

Cisim atıldıktan sonraki düşey doğrultuda v_{0y} hızı, her bir saniyede $\vec{g}$ kadar azalarak yükselirken yatay doğrultuda sabit v_{0x} hızı ile yol alır. T noktasına ulaştığında düşey hız sıfır olacağından tepe noktasından sonraki hareketi h_{maks} yüksekliğinden v_{0x} hızı ile yapılan bir yatay atış hareketi olarak gerçekleşir. Bu durumda cismin $t_{çık}$ ve $t_{uç}$ süresini belirleyen hız bileşeni v_{0y} olduğundan

$t_{çık} = \frac{v_{0y}}{g}$ olarak elde edilir. Cisim, atıldığı K noktası ile aynı yükseklikteki L noktasına düşerse T noktasından sonraki $t_{iniş}$ süresi, $t_{çık}$ süresine eşit olacağından

$$t_{uç} = 2 \cdot t_{çık} = 2 \cdot t_{iniş}$$

$$t_{uç} = 2 \cdot \frac{v_{0y}}{g} \text{ elde edilir.}$$

Bu durumda cisim L noktasına $\vec{v}_0$ 'a eşit büyüklükteki bir hızla düşer. Çıkış ve uçuş süreleri için elde edilen eşitlikler kullanıldığında h_{maks} yükseklik formülü

$$\begin{aligned} h_{maks} &= \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{çık}^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot g \cdot \left(\frac{v_{0y}}{g} \right)^2 \end{aligned}$$

$$h_{maks} = \frac{1}{2} \cdot \frac{v_{0y}^2}{g} \text{ olarak elde edilir.}$$

Çıkış ve uçuş süreleri için elde edilen eşitlikler menzil formülünde kullanıldığında ise

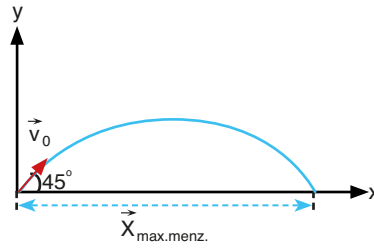
$$\begin{aligned}
 X_{\text{menzil}} &= v_{0x} \cdot t_{\text{uç}} \\
 X_{\text{menzil}} &= v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t_{\text{uç}} \\
 &= v_0 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2 \cdot v_{0y}}{g} \\
 &= v_0 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sin \alpha}{g} \\
 X_{\text{menzil}} &= \frac{2 \cdot v_0^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha}{g} \text{ olur.}
 \end{aligned}$$

Burada matematikte kullanılan $\sin 2\alpha = 2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$ eşitiği kullanılarak X_{menzil} formülü

$$X_{\text{menzil}} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \text{ olarak elde edilir.}$$

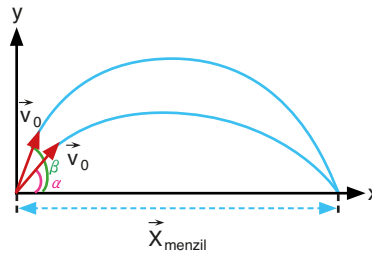
X_{menzil} için elde edilen denkleme göre $\vec{v}_0$ hızı sabit tutularak atış yapıldığında

- $\alpha = 45^\circ$ olduğunda $\sin 2\alpha = 1$ olacağından X_{menzil} 'in maksimum değeri elde edilir (Şekil 1.76).



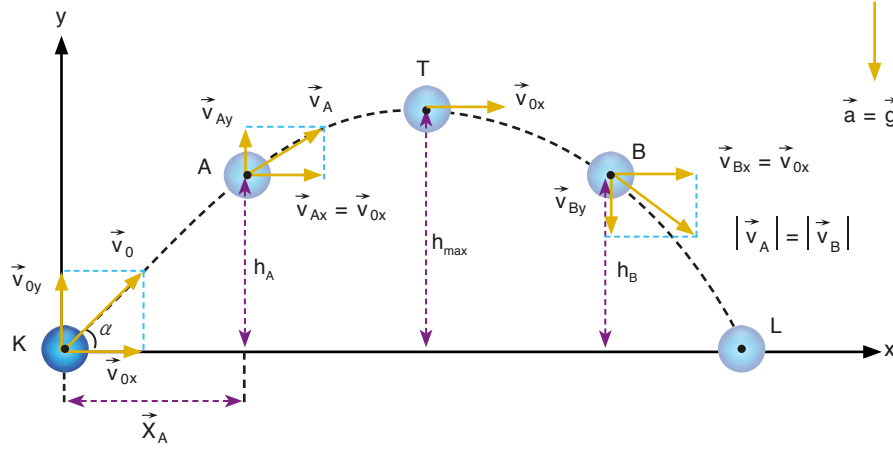
Şekil 1.76: Maksimum menzile ulaşan cisim

- Birbirini 90° ye tamamlayan (tümlem açıları) α ve β gibi tümlem açıları için $\sin 2\alpha = \sin 2\beta$ eşitliği sağlanacağından, tümlem açılarda $\vec{X}_{\text{menzil}}$ değerleri birbirine eşittir (Şekil 1.77).



Şekil 1.77: Aynı hızla tümlem açıyla atılan cisimlerin eşit menzil uzaklığı

Cismin uçuş süresinden (t_{uc}) daha küçük olan zaman anında (t) Şekil 1.78'de verilen A noktasına ulaşan bir cismin hareket denklemleri düşey doğrultudaki aşağıdan yukarı atış hareketi, yatay doğrultudaki düzgün doğrusal hareketi göz önünde bulundurularak



Şekil 1.78: Eğik atıldığında aynı yükseklikten geçen cisim

$$X_A = v_{0x} \cdot t$$

$$h_A = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$v_{Ax} = v_{0x}$$

$$v_{Ay} = v_{0y} - g \cdot t$$

$$v_{Ay}^2 = v_{0y}^2 - 2 \cdot g \cdot h_A$$

$$v_A = \sqrt{v_{Ax}^2 + v_{Ay}^2} = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{Ay}^2} \text{ olarak elde edilir.}$$

Burada t anında A noktasında bulunan cisim için elde edilen hareket denklemlerinde

X_A : A noktasının K noktasına olan yatay uzaklığı,

h_A : A noktasının K noktasına olan düşey uzaklığı,

v_{Ax} : A noktasındaki cismin x doğrultusundaki hızı

v_{Ay} : A noktasındaki cismin y doğrultusundaki hızı

v_A : A noktasındaki cismin, yörüngeye teğet bileşke hızıdır.

Cisim A noktasından T noktasına t süresinde gelmişse T noktasından aynı yükseklikteki B noktasına da t süresinde ulaşır. A ve B noktalarındaki hız büyüklükleri de birbirine eşittir.

Eğik atış hareketinin +x yönünde düzgün doğrusal, -y yönünde aşağıdan yukarıya atış hareketi gerçekleşen hareket grafikleri Tablo 1.10'da verildiği gibidir.

Tablo 1.10 : Eğik Atış Hareketi Grafikleri

Eğik atılan cismin yatay doğrultuda yaptığı düzgün doğrusal hareket grafikleri	Eğik atılan cismin düşey doğrultuda yaptığı serbest düşme hareketi grafikleri

Örnek: Bir futbolcu, futbol topuna 30 m/s hız kazandıracak şekilde vurduğunda futbol topu saha ile 37° açı kazanarak hareketlenmektedir.

Buna göre

- Futbol topunun çıkış süresi kaç s'dir?
- Futbol topunun çıkacağı maksimum yükseklik kaç m'dir?
- Futbol topunun menzil uzaklığı kaç m'dir?
- Futbol topunun 3 s sonra atıldığı noktaya düşey uzaklığı ve yatay uzaklığı nedir?
($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm:

- Futbol topunun K noktasından atılarak L noktasına düştüğünü kabul edip ilk hızın yatay ve düşey bileşenleri hesaplanırsa büyüklükleri

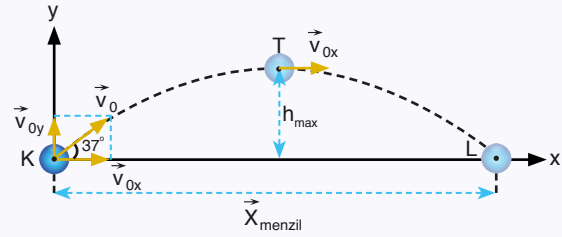
$$\begin{aligned} v_{0x} &= v_0 \cdot \cos \alpha & v_{0y} &= v_0 \cdot \sin \alpha \\ &= 30 \cdot \cos 37^\circ = 30 \cdot 0,8 & &= 30 \cdot \sin 37^\circ = 30 \cdot 0,6 \\ v_{0x} &= 24 \text{ m/s} & v_{0y} &= 18 \text{ m/s bulunur.} \end{aligned}$$

Bu durumda $t_{\text{çık}}$

$$\begin{aligned} t_{\text{çık}} &= \frac{v_{0y}}{g} \\ t_{\text{çık}} &= \frac{18}{10} = 1,8 \text{ s olarak elde edilir.} \end{aligned}$$

- $h_{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
 $= \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (1,8)^2$
 $h_{\text{max}} = 5 \cdot 3,24 = 16,2 \text{ m bulunur.}$

- $X_{\text{menzil}} = v_{0x} \cdot t_{\text{uç}}$
 $X_{\text{menzil}} = 24 \cdot 2 \cdot t_{\text{çık}}$
 $= 24 \cdot 2 \cdot 1,8$
 $X_{\text{menzil}} = 86,4 \text{ m bulunur.}$

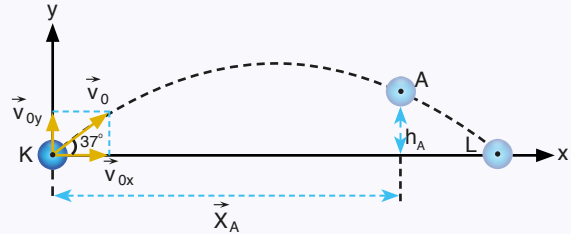


- Futbol topu 3 s sonra A noktasında bulunsun.

$$\begin{aligned} X_A &= v_{0x} \cdot t \\ X_A &= 24 \cdot 3 = 72 \text{ m bulunur.} \end{aligned}$$

3 s sonra futbol topunun atıldığı noktaya düşey uzaklığı h_A denirse

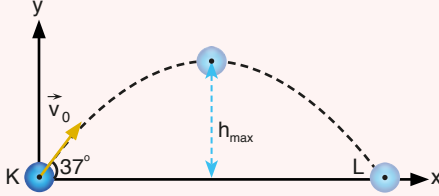
$$\begin{aligned} h_A &= v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \\ &= 18 \cdot 3 - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 3^2 \\ h_A &= 54 - 45 = 9 \text{ m bulunur.} \end{aligned}$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 35

K noktasından yatayla 37° lik açı ve $\vec{v}_0$ ilk hızı ile atılan futbol topu, 45 m maksimum yüksekliğe çıkarak L noktasına düşmektedir.



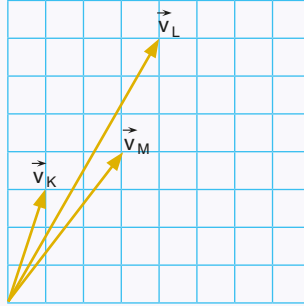
Buna göre futbol topunun yatayda aldığı $|KL|$ uzunluğu kaç m'dir?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap



Örnek: Birim karelerle bölünmüş düşey düzlemde K, L ve M cisimleri eğik olarak atılıyor. Cisimlerin ilk hız vektörleri verilmiştir.



- Uçuş sürelerinin büyüklük ilişkisi nedir?
- Maksimum yüksekliklerinin büyüklük ilişkisi nedir?
- Menzil uzaklıklarının büyüklük ilişkisi nedir?

Çözüm:

a) Düşey hızlar, uçuş süreleri ile orantılıdır.

$v_{Ly} > v_{My} > v_{Ky}$ olduğundan $t_{uçL} > t_{uçM} > t_{uçK}$ olur.

b) $h_{maks} = \frac{v_{0y}^2}{2 \cdot g}$

$v_{Ly} > v_{My} > v_{Ky}$ olduğundan $h_{maksL} > h_{maksM} > h_{maksK}$ olur.

c) Menzil uzaklığı, yatay hız ve uçuş süresi ile orantılı olduğundan

$t_{uçL} > t_{uçM} > t_{uçK}$ idi. Buna göre $X_L > X_M > X_K$ olur.

Örnek: Boyu 2,10 m olan bir basketbol oyuncusu basketbol topu ile kendisinden 4 m uzaklıktaki potaya isabetli atış yapmaktadır.



Sporcu, atışını başının 50 cm üzerinden ve yatayla 37° açı yapacak şekilde gerçekleştirdiğine göre topun, yerden yüksekliği 3,05 m olan çemberin içinden geçiş hızı kaç m/s olur? ($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$ Sürtünmeler ihmal edilecektir.)

Çözüm: Topun yatayda aldığı yol,

$$X = v_{0x} \cdot t$$

$$4 = v_0 \cdot \cos 37^\circ \cdot t$$

$$4 = v_0 \cdot 0,8 \cdot t \text{ ise } t = \frac{5}{v_0} \text{ bulunur.}$$

Topun atıldıktan sonra düşey yer değıştirme miktarı

$$h = 3,05 - (2,10 + 0,5)$$

$$h = 3,05 - 2,60 = 0,45 \text{ m olur.}$$

Bu durumda topun v_0 hızı

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

$$0,45 = v_0 \cdot \sin 37^\circ \cdot \frac{5}{v_0} - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \left(\frac{5}{v_0}\right)^2$$

$$0,45 = 5 \cdot 0,6 - \frac{5 \cdot 25}{v_0^2}$$

$$\frac{125}{v_0^2} = 3 - 0,45$$

$$v_0^2 = \frac{125}{2,55} \text{ m/s bulunur.}$$

Zamansız hız formülü kullanılarak topun çemberden geçiş hızı

$$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$$

$$= \frac{125}{2,55} - 2 \cdot 10 \cdot 0,45$$

$$= \frac{125}{2,55} - 9$$

$$v^2 = \frac{102,05}{2,55} \cong 40$$

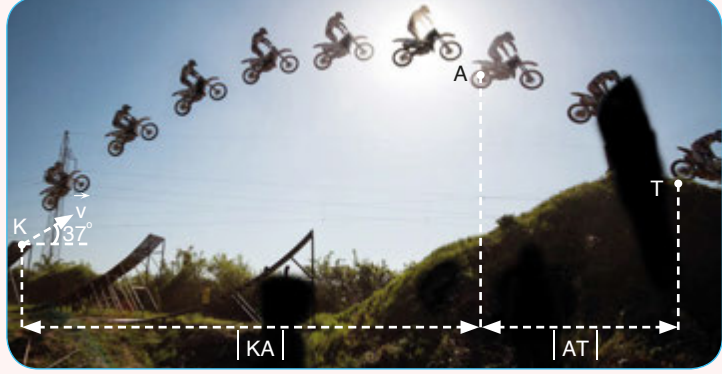
$$v = \sqrt{40} \text{ m/s bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 36

K noktasından $\vec{v}$ hızı ile uçuşa geçerek akrobasi gösterisi yapan bir motosikletlinin uçuş süresi 5 s'dir. Motosikletlinin A noktasından T noktasına düşme süresi 1s olarak ölçülmektedir. A noktasının motorun düştüğü T noktasına olan yatay uzaklığı 40 m olduğuna göre

- IKAI uzaklığı kaç m'dir?
 - Motosikletlinin uçuşa geçtiği K noktası ile iniş yaptığı T noktası arasındaki yükseklik farkı kaç m'dir?
- ($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$;
 $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

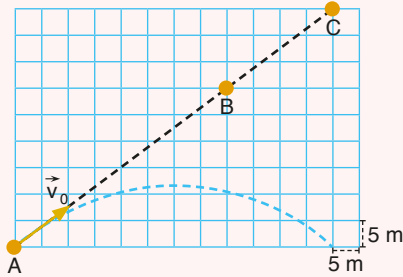


Cevap



ÇALIŞMA KÖŞESİ 37

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda A, B ve C cisimlerinden B ve C serbest bırakılmaktadır. Aynı anda A cismi şekilde verildiği konumdan 25 m/s hızla atılmaktadır. Cisimlerin saniyede bir fotoğrafını çeken ve cisimlere kilitlenmiş hareketlenme özelliğine sahip uçangözle görüntülenmek istenmektedir.



Cismin hareketi her bir bölmesi 5 m olan ölçekli bir perde önünde gerçekleştiğine göre uçangöz, perde önündeki hareketi süresince cisimlerin kaç kare fotoğrafını yakalar?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap

1.6. Enerji ve Hareket

Fizik biliminde ele alınan olayların birçoğu enerjinin korunumu ilkesinden yararlanılarak da açıklanabilir. Enerjinin; hareket, elektrik, kimyasal, nükleer, ısı ve iş gibi birçok türü bulunmaktadır.

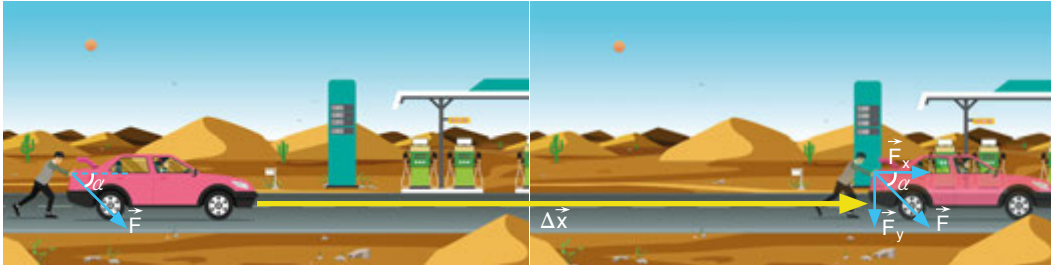
Enerjinin yok iken var, var iken de yok edilemeyeceği, korunumlu olduğu anlamına gelir. Enerji, bir türden başka bir türe dönüştürülebilir. Örneğin günümüz teknolojisinde otomobillerin harekete geçebilmesi için enerji türlerinden kimyasal enerji, elektrik ya da güneş enerjisinden en az birine ihtiyaç vardır. Doğada var olduğu için kullanılabilen bu enerji türleri araba motorlarında başka bir enerji türü olan ısı ve hareket enerjisine dönüştürülmektedir.

Fizikte, cisimler üzerine uygulanan kuvvet ve bu kuvvetin etkisiyle gerçekleşen yer değiştirme büyüklüklerinin çarpımıyla elde edilen niceliğe **iş** denir **W** ile sembolize edilen işin SI sistemindeki birimi joule'dür (J).

Sürtünme kuvvetlerinin ihmal edildiği Şekil 1.79'da arabaya $\vec{F}$ kuvveti uygulayarak $\Delta\vec{x}$ yer değiştirmesi yaptıran kişinin yaptığı iş, yer değiştirme ile kuvvetin yatay bileşeni çarpılarak

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

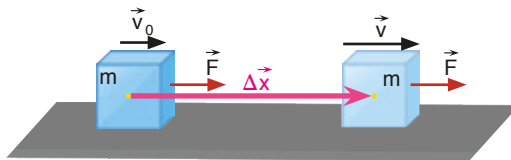
$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x} \cdot \cos \alpha \quad \text{eşitliğiyle bulunur.}$$



Şekil 1.79: Arabaya $\vec{F}$ kuvveti uygulayan kişi

Bu durumda kişinin arabaya uyguladığı $\vec{F}$ kuvvetinin iş yapan bileşeni $\Delta\vec{x}$ yer değiştirme vektörü doğrultusundaki $\vec{F}_x$ 'dir. $\vec{F}$ kuvvetinin $\Delta\vec{x}$ yer değiştirme vektörüne dik olan bileşeni $\vec{F}_y$ iş yapmaz.

İş için elde edilen eşitliğe göre, $\vec{F}$ ile $\Delta\vec{x}$ sabit tutularak aralarındaki α açısı Şekil 1.80'de verildiği gibi



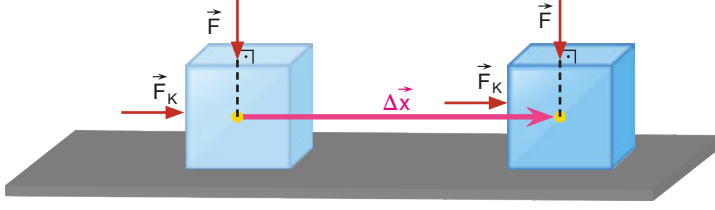
Şekil 1.80: $\Delta\vec{x}$ ile aynı yöndeki $\vec{F}$ kuvvetini yaptığı iş

0° (aynı yönde) olduğunda yapılan iş

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Bu sonuca göre yer değiştirmeye aynı yönde uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş pozitif bir iştir. Pozitif iş cisme hız kazandıracağından $\vec{v} > \vec{v}_0$ sonucuna ulaşılır.

Bir cisim Şekil 1.81'de verildiği gibi $\vec{F}_k$ ve $\vec{F}$ kuvvetleri uygulanarak $\Delta\vec{x}$ yer değiştirmesi yapmaktadır. $\vec{F}$ ile $\Delta\vec{x}$ arasındaki α açısı 90° olduğundan $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş



Şekil 1.81: $\Delta\vec{x}$ ile dik doğrultudaki $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş

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

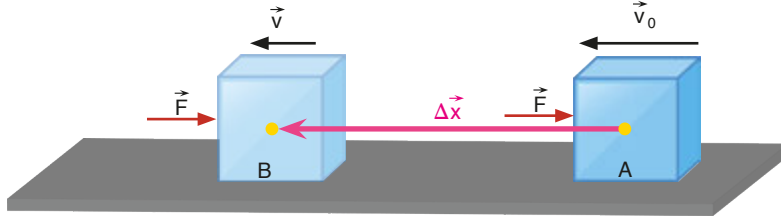
$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x} \cdot \cos 90^\circ$$

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x} \cdot 0$$

$W = 0$ olarak elde edilir.

Bu sonuca göre yer değiştirmeye dik olan $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş sıfırdır.

Bir cisim Şekil 1.82'de verildiği gibi üzerine uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ile zıt yönde yer değiştirme yapmaktadır. Bu durumda $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş



Şekil 1.82: $\Delta\vec{x}$ ile zıt yöndeki $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş

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

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x} \cdot \cos 180^\circ$$

$$W = \vec{F} \cdot \Delta\vec{x} \cdot (-1)$$

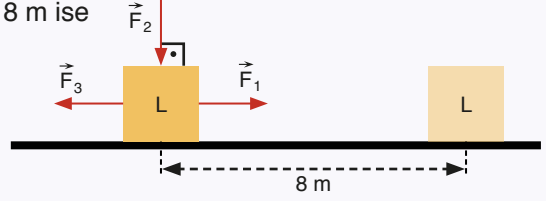
$W = -\vec{F} \cdot \Delta\vec{x}$ olarak elde edilir.

Bu sonuca göre yer değiştirmeye zıt yönde uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş, **negatif** bir iştir. İşin negatif olması, cisim üzerinde iş yapılmadığı anlamına gelmez. Negatif iş, cisme hız kaybettireceğinden $\vec{v} < \vec{v}_0$ sonucuna ulaşılır.

Yukarıdaki incelemeler sonucunda, genel bir sonuç olarak yer değiştirmeye aynı doğrultuda uygulanan kuvvetlerin iş yaptığı, yer değiştirmeye dik olarak uygulanan kuvvetlerin ise iş yapmadığı sonucuna ulaşılır.

Örnek: Sürtünmesiz ortamda şekildeki gibi L cisminin etkiyen $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetlerinin büyüklükleri, sırası ile 10 N, 8 N ve 2 N'dir. Kuvvetlerin etkisi ile L cisminin yer değiştirmesi 8 m ise

- a) Kuvvetlerin her birinin yaptığı iş kaç J'dür?
b) Yapılan toplam iş kaç J'dür?



Çözüm:

- a) $\vec{F}_1$ kuvvetinin yaptığı işe W_1 denirse

$$W_1 = \vec{F}_1 \cdot \Delta\vec{x}$$

$$W_1 = 10 \cdot 8$$

$$W_1 = 80 \text{ J}$$

$\vec{F}_2$ kuvvetinin yaptığı işe W_2 denirse

$$W_2 = 0 \text{ olur.}$$

$\vec{F}_2$ kuvveti hareket doğrultusuna dik uygulandığından $\vec{F}_2$ kuvvetinin yaptığı iş sıfırdır. $\vec{F}_3$ kuvvetinin yaptığı işe W_3 denirse ve $\vec{F}_3$ kuvveti hareket doğrultusuna zıt yönde uygulandığından yaptığı iş negatif olur.

$$W_3 = \vec{F}_3 \cdot \Delta\vec{x}$$

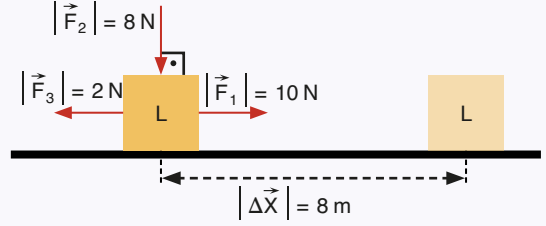
$$W_3 = 2 \cdot 8$$

$$W_3 = 16 \text{ J}$$

- b) Yapılan toplam iş

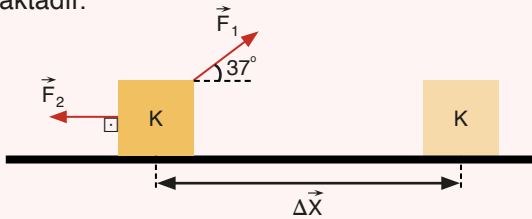
$$W_T = W_1 + W_2 + W_3$$

$$W_T = 80 + 0 - 16 = 64 \text{ J bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 38

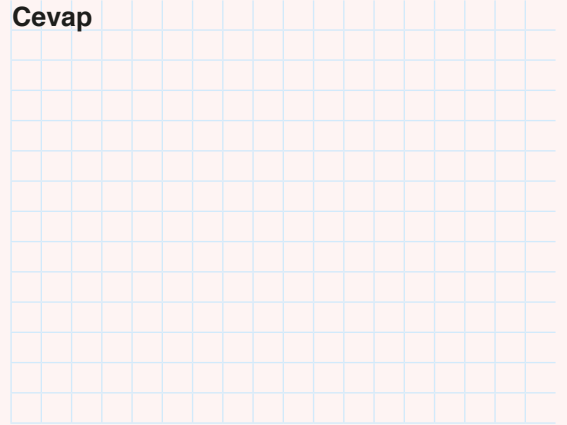
Sürtünme olmayan ortamda kütlesi 5 kg olan K cisminin, büyüklükleri sırası ile 50 N ve 20 N olan $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri 6 s uygulanmaktadır.



Net kuvvetin yaptığı iş kaç J'dür?

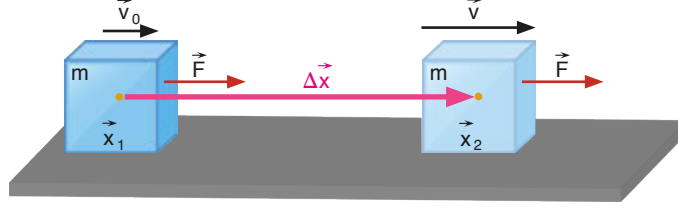
($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$)

Cevap

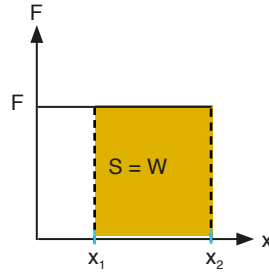


1.6.1. İş-Enerji Dönüşümü

Sürtünmesiz bir düzlemde Şekil 1.83'teki, $\vec{x}_1$ konumunda $\vec{v}_0$ hızına sahip olan m kütleli bir cisim, $\vec{F}$ kuvveti etkisiyle $\Delta\vec{x}$ kadar yerdeğiştirilerek $\vec{x}_2$ konumuna gelmektedir. Cismin hareketi, hareket doğrultusunda uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ve yer deðiřtirmesi $\Delta\vec{x}$ dikkate alınarak incelendiğinde $(F - \Delta x)$ grafiği Şekil 1.84'te verildiği gibi elde edilir.



Şekil 1.83: $\vec{F}$ kuvveti etkisiyle $\Delta\vec{x}$ yer değiştirmesi yapan cisim



Şekil 1.84: $(F - \Delta x)$ grafiği

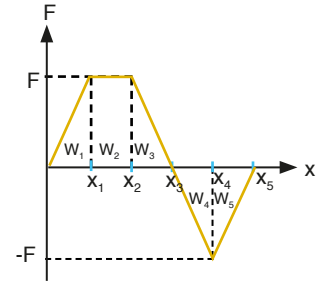
Hareket için çizilen $(F - \Delta x)$ grafiğinde, grafiğin altında kalan dikdörtgen alanı hesaplandığında

$$\text{Alan} = S = \vec{F} \cdot (\vec{x}_2 - \vec{x}_1)$$

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

$$S = W \text{ bulunur.}$$

Bu eşitliğe göre $(F - \Delta x)$ grafiğinin altında kalan alan işe eşittir. Elde edilen bu sonuç, hareketi süresince değişen ve harekete zıt yönde uygulanan kuvvetlerin etkisinde kalan cisimler için de geçerlidir. Bu durumda, aşağıdaki $(F - \Delta x)$ grafiği Şekil 1.85'te verildiği gibi elde edilen bir cisim üzerinde yapılan iş, pozitif alanların toplamı olan $+W$ ile negatif alanların toplamı olan $-W$ farkı alınarak bulunur. Buna göre cisim x_5 yer değiştirmesi yaptığında yapılan toplam iş $W = (W_1 + W_2 + W_3) - (W_4 + W_5)$ olur.



Şekil 1.85: $(F - \Delta x)$ grafiği

Burada tekrar Şekil 1.83'te verilen cismin hareketinin incelenmesine geri dönölrse cisim Newton'ın II.hareket kanununa göre, $\vec{F}_{\text{Net}}$ kuvvetinin etkisinde $\vec{a}$ gibi bir ivme ile ilk hızlı düzgün hızlanan hareket yapacağından x_2 konumundaki $\vec{v}$ hızı $\vec{v}_0$ hızından daha büyük olacaktır.

İş için elde edilen denklemde $\vec{F}$ kuvveti için dinamiğin temel prensibi yerine yazılırsa

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

$$W = m \cdot \vec{a} \cdot \Delta\vec{x} \text{ olarak elde edilir.}$$

Burada zamansız hız formülü

$$|\vec{v}|^2 = |\vec{v}_0|^2 + 2|\vec{a}| \cdot |\Delta\vec{x}|$$

$$|\Delta\vec{x}| = \frac{|\vec{v}|^2 - |\vec{v}_0|^2}{2 \cdot |\vec{a}|}$$

şeklinde düzenlenerek $W = m \cdot |\vec{a}| \cdot |\Delta\vec{x}|$ eşitliğinde yerine yazıldığında

$$W = m \cdot |\vec{a}| \cdot \frac{(|\vec{v}|^2 - |\vec{v}_0|^2)}{2 \cdot |\vec{a}|}$$

$$W = m \cdot \frac{(|\vec{v}|^2 - |\vec{v}_0|^2)}{2}$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot |\vec{v}|^2 - \frac{1}{2} m \cdot |\vec{v}_0|^2 \text{ elde edilir.}$$

Burada eşitliğin sağ tarafındaki $\frac{1}{2} m \cdot v_0^2$ cismin $\vec{F}$ kuvveti, uygulamaya başladığı ilk konumundaki kinetik enerji büyüklüğü, $\frac{1}{2} m \cdot v^2$ ise son konumunda $\vec{v}$ hızına ulaştığı andaki kinetik enerji büyüklüğüdür. İlk konumundaki kinetik enerjisi E_0 , son konumundaki kinetik enerjisi E ile sembolize edildiğinde

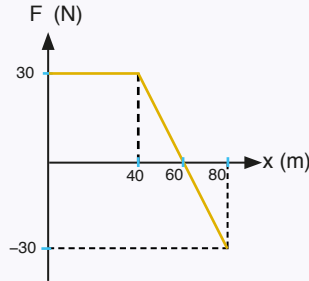
$$E_0 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2, \quad E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ olacağından}$$

$$W = E - E_0$$

$$W = \Delta E_K \text{ şeklinde ifade edilebilir.}$$

Ortam sürtünmesiz olduğundan ve cisme hareket doğrultusunda iş yapabilecek $\vec{F}$ kuvvetinden başka bir kuvvet uygulanmadığından burada $\vec{F}_{\text{Net}} = \vec{F}$ eşitliği söz konusudur. Bu sonuca göre **net kuvvetin cisimler üzerinde yaptığı iş, cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir**. Bu eşitlik, "İş kinetik enerji teoremi" olarak bilinir.

Örnek: Sürtünmesiz yatay düzlemdeki doğrusal bir yörüngede hareket eden kütlesi 4 kg olan bir cisme uygulanan kuvvetin konumuna göre değişim grafiği şekilde verildiği gibidir.



Cisim 80 m yer değiştirdiğinde $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı toplam iş kaç joule olur?

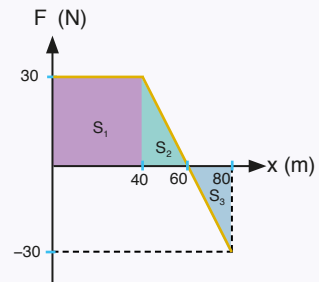
Çözüm: Cisim 80 m yer değiştirdiği anda yapılan iş $S = W$ eşitliğinden bulunabilir.

Buna göre ilk 80 m (F - x) grafiğinin altındaki alanlar hesaplanırsa

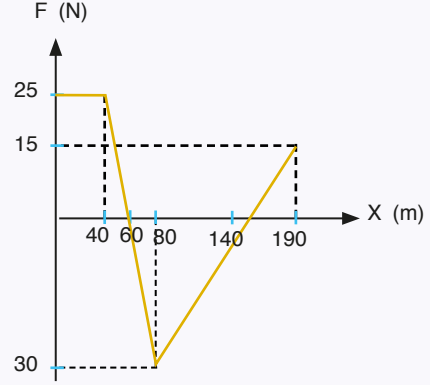
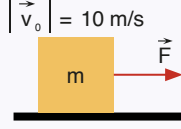
$$\begin{aligned} W_1 &= S_1 & W_2 &= S_2 & W_3 &= S_3 \\ &= 30 \cdot 40 & &= 30 \cdot \frac{20}{2} & &= -30 \cdot \frac{20}{2} \\ W_1 &= 1200 \text{ J} & W_2 &= 300 \text{ J} & W_3 &= -300 \text{ J} \end{aligned}$$

Cismin 80 m yer değiştirdiğinde yapılan iş

$$\begin{aligned} W_T &= W_1 + W_2 + W_3 \\ W_T &= 1200 + 300 - 300 \\ W_T &= 1200 \text{ J olur.} \end{aligned}$$



Örnek: Kütlesi 5 kg, ilk hızı 10 m/s olan sürtünmesiz yatay düzlemdeki doğrusal bir yörünge-
de hareket eden bir cisme uygulanan kuvvetin konumuna göre değişim grafiği şekilde verildiği
gibidir.



- a) Cismin 60 m yer değiştirdiği anda yapılan iş ve hızı nedir?
b) Cismin 140 m yer değiştirdiği anda yapılan iş nedir?
c) Cismin son hızı nedir?
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Çözüm:

- a) Cisim 60 m yer değiştirdiği anda yapılan iş $S = W$ eşitliğinden bulunabilir.

Buna göre ilk 60 m (F-X) grafiğinin altındaki alanlar hesaplanırsa

$$\begin{aligned} W_1 &= S_1 \\ &= 25 \cdot 40 \\ W_1 &= 1000 \text{ J} \\ W_2 &= S_2 \\ &= 25 \cdot \frac{20}{2} \\ W_2 &= 250 \text{ J} \end{aligned}$$

Cismin 60 m yer değiştirdiğinde yapılan iş

$$\begin{aligned} W_T &= W_1 + W_2 \\ W_T &= 1000 + 250 \\ W_T &= 1250 \text{ J olur.} \end{aligned}$$

$$W = \Delta E_K$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 \text{ eşitliklerinden cismin son hızı bulunabilir.}$$

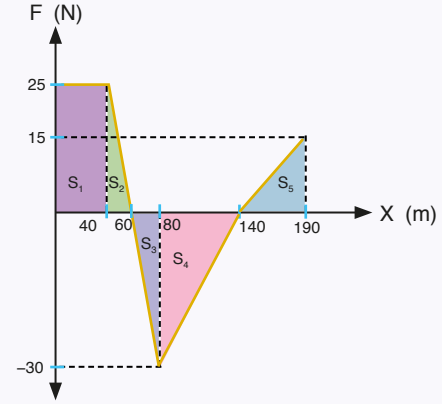
$$W_T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$$

$$1250 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 10^2$$

$$\frac{5}{2} \cdot v^2 = 1500$$

$$v^2 = 600$$

$$v = 10\sqrt{6} \text{ m/s bulunur.}$$



b) Cismin 140 m yer değiştirdiği anda yapılan iş

$W_T = [(S_1 + S_2) - (S_3 + S_4)]$ eşitliğinden bulunabilir.

S_3 ve S_4 alanları grafikten hesaplanırsa

$$W_3 = S_3$$

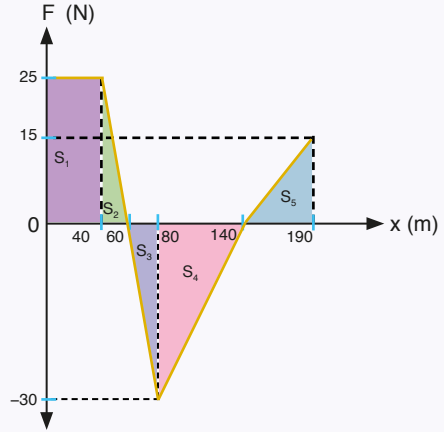
$$= 30 \cdot \frac{20}{2}$$

$$W_3 = 300 \text{ J}$$

$$W_4 = S_4$$

$$= 30 \cdot \frac{60}{2}$$

$$W_4 = 900 \text{ J bulunur.}$$



S_1 ve S_2 alanları pozitif (+) b6lgede S_3 ve S_4 alanları negatif (-) b6lgede olduğundan

$$S_1 + S_2 = +W$$

$$S_3 + S_4 = -W \text{ olur.}$$

Yapılan toplam işe W_T denirse

$$W_T = +W + (-W)$$

$$W_T = 1250 - 1200$$

$$W_T = 50 \text{ J olur.}$$

c) Cismin son hızını bulabilmek için grafikteki S_5 alanı hesaplanırsa

$$S_5 = W_5$$

$$S_5 = 15 \cdot \frac{60}{2}$$

$$W_5 = 375 \text{ J olur.}$$

Hareket boyunca yapılan toplam iş

$$W_T = W_1 + W_2 - W_3 - W_4 + W_5$$

$$W_T = 1000 + 250 - 300 - 900 + 375$$

$$W_T = 425 \text{ J olur.}$$

$$W = \Delta E_K$$

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 \text{ eşitliğinden cismin son hızı bulunabilir.}$$

$$425 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot v^2 - \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 10^2$$

$$675 = \frac{5}{2} \cdot v^2$$

$$v^2 = 270$$

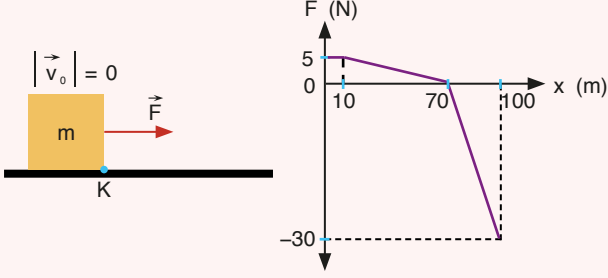
$$v = \sqrt{270}$$

$$v = 3\sqrt{30} \text{ m/s olur.}$$



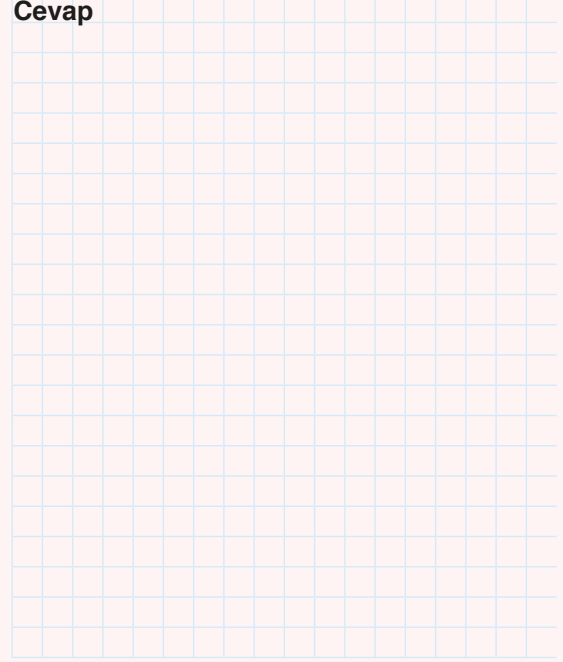
ÇALIŞMA KÖŞESİ 39

Durmakta olan 5 kg kütleli cisme uygulanan kuvvet konum grafiği şekilde verildiği gibidir. Cisim sürtünmesiz yatay düzlemde doğrusal bir yörünge izlemekte ve kuvvet hareket süresince yörüngeyle aynı doğrultuda uygulandığına göre



- Cisim harekete başladıktan kaç metre sonra yön değiştirmiştir?
- Cismin son hızı ve yönü nedir?
- Cismin başlangıç noktasına olan uzaklığı nedir?

Cevap



Örnek: Hız-zaman grafiği verilen 10 kg kütleli cismin kuvvet-konum grafiğini çizerek 16 s'lik hareketi süresince üzerinde yapılan toplam işin kaç joule olduğunu bulunuz.

Çözüm: Cismin kuvvet-konum grafiği çizilmesi için hız-zaman grafiğinin altındaki alanlar hesaplanarak yerdeğiştirmeler bulunur. Buna göre cisim,

$$(0-5) \text{ s aralığında, } x_1 = 40 \cdot \frac{5}{2} = 100 \text{ m}$$

$$(5-9) \text{ s aralığında, } x_2 = 40 \cdot 4 = 160 \text{ m}$$

$$(9-13) \text{ s aralığında, } x_3 = 40 \cdot \frac{4}{2} = 80 \text{ m}$$

$$(13-16) \text{ s aralığında, } x_4 = 60 \cdot \frac{3}{2} = 90 \text{ m}$$

yer değiştirmeler yapmıştır.

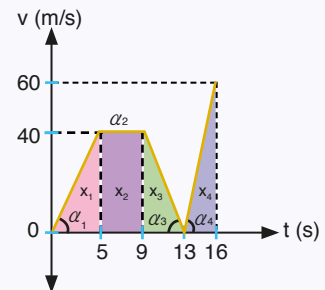
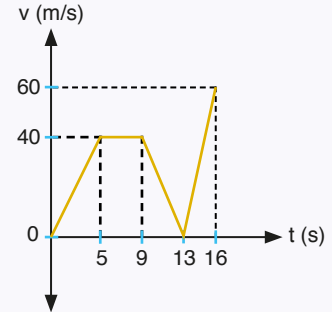
Hız-zaman grafiğinin eğimi ivmeyi vereceğinden ivme değerleri

$$(0-5) \text{ s aralığında, } \tan \alpha_1 = a_1 = \frac{(40-0)}{(5-0)} = 8 \text{ m/s}^2$$

$$(5-9) \text{ s aralığında } \tan \alpha_2 = a_2 = \frac{(40-40)}{(9-5)} = 0$$

$$(9-13) \text{ s aralığında } \tan \alpha_3 = a_3 = \frac{(0-40)}{(13-9)} = -10 \text{ m/s}^2$$

$$(13-16) \text{ s aralığında } \tan \alpha_4 = a_4 = \frac{(60-0)}{(16-13)} = 20 \text{ m/s}^2 \text{ olur.}$$



Cismin kütlesi 10 kg olduğundan verilen zaman aralıklarında üzerine etki eden kuvvetin büyüklükleri

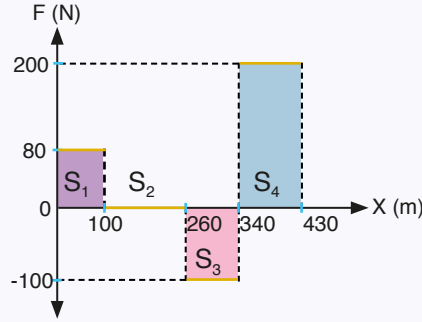
$$(0-5) \text{ s aralığında, } F_1 = m \cdot a_1 = 10 \cdot 8 = 80 \text{ N}$$

$$(5-9) \text{ s aralığında } F_2 = m \cdot a_2 = 10 \cdot 0 = 0$$

$$(9-13) \text{ s aralığında } F_3 = m \cdot a_3 = 10 \cdot (-10) = -100 \text{ N}$$

$$(13-16) \text{ s aralığında } F_4 = m \cdot a_4 = 10 \cdot 20 = 200 \text{ N bulunur.}$$

Cismin kuvvet-konum grafiği çizilecek olursa aşağıdaki grafik elde edilir.



Cismin 16 s boyunca yaptığı işi kuvvet-konum grafiği yardımı ile bulunur. Kuvvet-konum grafiği altında kalan alan, yapılan işi vereceğinden cisim üzerinde yapılan toplam iş

$$W_1 = S_1 = 80 \cdot 100$$

$$W_1 = 8000 \text{ J}$$

$$W_2 = S_2 = 0$$

$$W_3 = S_3 = -100 \cdot 80$$

$$W_3 = -8000 \text{ J}$$

$$W_4 = S_4 = 200 \cdot 90$$

$$W_4 = 18000 \text{ J}$$

$$W_T = W_1 + W_2 + W_3 + W_4$$

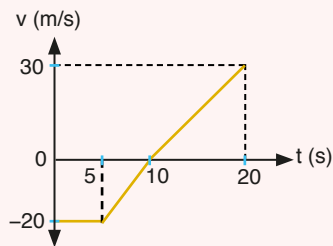
$$W_T = 8000 - 8000 + 18000$$

$$W_T = 18000 \text{ J olur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 40

Kütlesi 4 kg olan cismin hız-zaman grafiği verilmiştir.



a) Cismin kuvvet-konum grafiğini çiziniz.

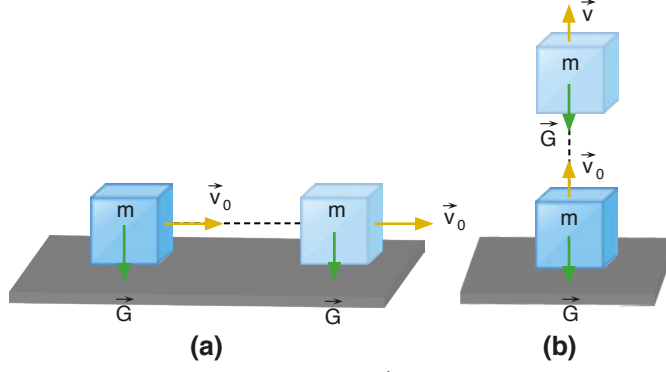
b) Cismin hareketi süresince yapılan toplam iş kaç jouledür?

Cevap



Şekil 1.86.a'da verildiği gibi yatay sürtünmesiz düzleme $\vec{v}_0$ hızı kazandırılarak atılan m kütleli bir cisim, Newton'ın I. hareket kanunuyla açıklandığı gibi sabit hızla hareket eder. Cisim üzerine etki eden net bir kuvvet olmadığından üzerinde bir iş yapılmaz.

Ancak aynı cisim Şekil 1.86.b'de verildiği gibi $\vec{v}_0$ hızı kazandırılarak düşey doğrultuda atılırsa cismin hareketine zıt yönde etki eden bir ağırlık kuvveti olacağından cisim düzgün yavaşlayan hareket yapmaya



Şekil 1.86: Sürtünmesiz ortamda $\vec{v}_0$ hızıyla yatay ve düşey doğrultuda atılan cisim

başlar.

Cismin yatayda olduğu gibi $\vec{v}_0$ sabit hızıyla düşey doğrultuda da hareket edebilmesi için yukarı yönlü ağırlığına eşit büyüklükte bir $\vec{F}$ kuvveti uygulanması gerekir. Örneğin sabit hızla yük kaldıran kule vinçler (Görsel 1.16), forkliftler (Görsel 1.17) taşıdıkları toplam yüke kendi ağırlıklarına eşit büyüklükte ve yukarı yönde kuvvet uygular. Bu tür işlerde çalışan işçilerin "6331 sayılı 'İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na" ri-



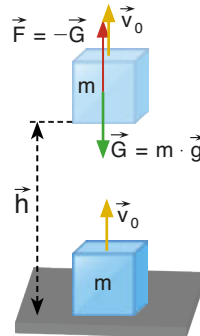
Görsel 1.16: Sabit hızla yük kaldıran kule vinç



Görsel 1.17: Sabit hızla yük kaldıran forklift

yet etmeleri kendilerinin ve çevrenin güvenliği açısından önemlidir.

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu sürtünmesiz ortamda Şekil 1.87'de verildiği gibi m kütleli cisme kendi ağırlığına eşit büyüklükteki $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak $\vec{v}_0$ sabit hızı ile h yüksekliğine çıkarıldığında, düşeyde



Şekil 1.87: $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak h yüksekliğine çıkarılan m kütleli cisim

h kadar yer değıştirir.

Cismin $(F - \Delta x)$ grafiği Şekil 1.88’de verildiği gibi olur.

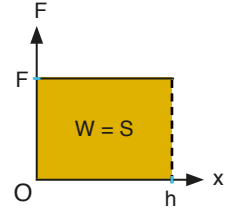
$(F - \Delta x)$ grafiğinin altında kalan alan, cisim üzerinde yapılan işe eşit olacağından $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş, m kütleli cismin **yer çekimi potansiyel enerjisi**dir.

$$W = F \cdot h$$

$$W = m \cdot g \cdot h$$

Başka bir ifadeyle m kütleli cismi yerden h kadar yüksekliğe çıkarmak için yer çekimine karşı yapılan iş, cisimde yer çekimi potansiyel enerjisi olarak depolanır. Yer çekimi potansiyel enerjisi E_p ile gösterilir. Bu durumda

$$W = E_p = m \cdot g \cdot h \text{ eşitliği yazılabilir.}$$



Şekil 1.88: m kütleli cismin F-x grafiği

Örnek: Bosna-Hersek’te düzenlenen geleneksel Mostar Köprüsü’nden atlama yarışlarına hazırlanan bir yüzücünün kütlesi 60 kg’dır. **Yüksekliği 24 m olan Mostar Köprüsü üzerinden kendini serbest bırakan yüzücünün suya çarpma hızı kaç m/s olur?**

$$(|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$$

Çözüm: Yüzücünün suya çarpma hızı enerjinin korunumu kanunundan faydalanarak bulunabilir. Buna göre

$$E_p = E_k$$

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

$$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$$

$$v^2 = 2 \cdot 10 \cdot 24$$

$$v^2 = 480$$

$$v = \sqrt{480}$$

$$v \cong 21,9 \text{ m/s bulunur.}$$



Örnek: Bir sporcu, toplam kütlesi 50 kg olan halteri kaldırmaktadır.

Sporcu, halteri 210 cm yüksekliğe kaldırması için gereken iş kaç J’dür?

$$(|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$$

Çözüm: Sporcunun kütlesi 50 kg olan halteri, yerden 2,10 m yüksekliğe kaldırmak için yer çekimine karşı yaptığı iş

$W = m \cdot g \cdot h$ formülü ile hesaplanır.

$$W = m \cdot g \cdot h$$

$$W = 50 \cdot 10 \cdot 2,10$$

$$W = 1050 \text{ J olur.}$$

Örnek: Bir kişi emme basma tulumba ile yerin 16 m derinliğinden 2 litre su çıkarmak istemektedir.

Kişinin su üzerine yapmış olduğu iş kaç J olur?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$, $d_{\text{su}} = 1 \text{ g/cm}^3$, enerji kaybı ihmal edilecektir).



Çözüm: Su üzerinde yapılan işi bulmak için yukarı çıkarılan suyun kütlesi, gerekli birim dönüşümleri yapıldığında

$$d_{\text{su}} = 1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$V = 2 \text{ L} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$d = \frac{m}{V}$$

$$m = d \cdot V$$

$$m = 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$$

$$m = 2 \text{ kg olarak bulunur.}$$

Suyun kazanacağı potansiyel enerji üzerinde yapılan işe eşit olacağından Kişinin yaptığı iş

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

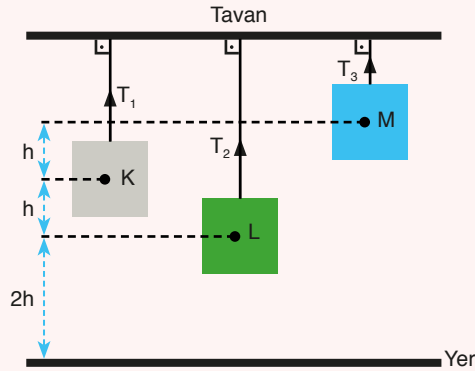
$$E_p = 2 \cdot 10 \cdot 16$$

$$E_p = 320 \text{ J olarak bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 41

Tavana asılmış dengedeki K, L ve M cisimlerinin ip gerilmeleri T_1 , T_2 ve T_3 'tür. İp gerilmelerinin büyüklükleri sırasıyla $3T$, $4T$ ve $T/2$ 'dir.



Cisimlerin yere göre potansiyel enerjileri arasındaki büyüklük ilişkisi için aşağıdakilerden hangisi söylenebilir? ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

I. $E_{PK} = E_{PL} > E_{PM}$

II. $E_{PK} > E_{PL} > E_{PM}$

III. $E_{PK} = E_{PL} = E_{PM}$

A) Yalnız I

B) Yalnız II

C) Yalnız III

D) I ve II

E) II ve III

Potansiyel enerji SI birim sisteminde **J (Joule)** birimini alır.

Sarmal yaylar; esneklik sınırlarını içinde kalmak şartıyla üzerine kuvvet uygulandığında boyları değişen, kuvvet ortadan kalktığında eski şeklini alan, esneklik özelliği kazandırılmış nesnelerdir.

Sürtünmesiz ortamda bir ucunda katı cisim bulunan Şekil 1.89'daki sarmal yayın diğer ucu da sabitlenmiştir. Herhangi bir kuvvet uygulanmadığında yay dengede durarak normal boyunu korur.

Denge durumundaki yaya Şekil 1.90'da verildiği gibi (-) yönde $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında yay sıkışarak kuvvet yönünde $-\vec{x}$ kadar sıkışmaktadır. Yay bu durumda da dengede ise yay tarafından $\vec{F}$ kuvvetine zıt yönde $\vec{F}_{\text{yay}}$ tepki kuvveti oluşur.

Şekil 1.91'de verildiği gibi $\vec{F}$ kuvveti (+) yönde uygulandığında ise yay uzayarak kuvvet yönünde x kadar uzar. Denge sağlanması için oluşan $\vec{F}_{\text{yay}}$ kuvveti yine $\vec{F}$ ile eşit büyüklükte ve zıt yöndedir. Her defasında yay üzerinde $\vec{F}$ kuvvetine eşit ve zıt yönde oluşan $\vec{F}_{\text{yay}}$ kuvvetine, yayı denge durumuna getirmeye çalıştığı için **geri çağırıcı kuvvet** adı verilir.

Sarmal yayların üzerine uygulanan kuvvete göre boylarındaki değişimi inceleyen bilim insanı Robert Hooke (Rabirt Hok), $\vec{F}$, $\vec{F}_{\text{yay}}$ ve $\vec{x}$ arasında

$$\vec{F} = -\vec{F}_{\text{yay}} = k \cdot \vec{x} \quad \text{eşitliğini elde etmiştir. Eşitlikteki;}$$

x : sarmal yayın boyundaki değişme miktarı olup SI'daki birimi m'dir.
 k : yay sabiti olup SI daki birimi N/m'dir.

Hooke kanununa göre yaya uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ile yayın boyundaki değişme miktarı $\vec{x}$ doğru orantılı olduğundan (F-x) grafiği Şekil 1.92'de verildiği gibi elde edilir.

(F-x) grafiğinin eğiminde birim analizi yapıldığında

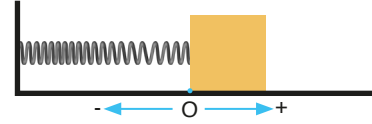
$\tan \alpha = \frac{F}{x}$ olduğundan eğimin yay sabiti k ya eşit olduğu görülür. Grafiğin altında kalan alan ise $\vec{F}$ kuvveti sarmal yayın boyunu $\vec{x}$ kadar değiştirdiğinde yaptığı işe eşit olacağından

$$W = \frac{F \cdot x}{2} \\ = \frac{k \cdot x \cdot x}{2}$$

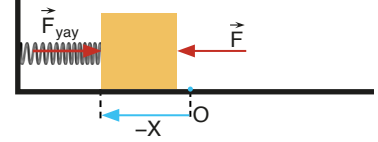
$$W = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \quad \text{formülü elde edilir.}$$

Enerji korunumlu olduğundan W işi yay üzerinde potansiyel enerjiye dönüşür. Yayın sahip olduğu bu enerjiye **esneklik potansiyel enerjisi** denir. Esneklik potansiyel enerji E_{pyay} ile gösterilir. Bu durumda yay sabiti k olan sarmal bir yayın boyu $\vec{x}$ kadar değiştirildiğinde yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi

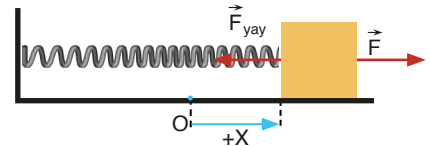
$$E_{\text{pyay}} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \quad \text{eşitliğiyle hesaplanır.}$$



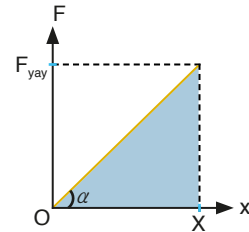
Şekil 1.89: Denge durumundaki yay



Şekil 1.90: (-) yönde yaya uygulanan $\vec{F}$ kuvveti



Şekil 1.91: (+) yönde yaya uygulanan $\vec{F}$ kuvveti



Şekil 1.92: (F-x) grafiği

Örnek: Yay sabiti k olan bir yayın ucuna 2 kg kütleli bir cisim asılıp denge sağlandığında yayın boyundaki uzama miktarı 2 cm olarak ölçülmektedir. Buna göre,

- (F-x) grafiğini çizerek yay sabitini bulunuz?**
- Yayın esneklik potansiyel enerjisi kaç J'dür?**
- Kütle iki katına çıkarıldığında yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi kaç J olur?**

Çözüm:

- Yaya asılan cismin kütlesi 2 kg olarak verildiğinden denge durumunda $\vec{F}_{\text{yay}}$ kuvvetinin büyüklüğü cismin ağırlığına eşit olur.

Bu durumda

$$\vec{F}_{\text{yay}} = \vec{G} = m \cdot \vec{g}$$

$$F_{\text{yay}} = 2 \cdot 10$$

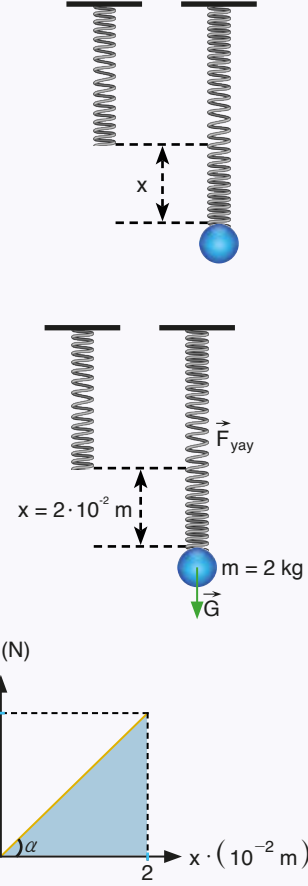
$$F_{\text{yay}} = 20 \text{ N'dır.}$$

$\vec{F}_{\text{yay}}$ etkisiyle $x = 2 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ uzayacağından (F-x) grafiği şekildeki gibi çizilebilir. Grafikte eğim yay sabitine eşit olacağından

$$k = \tan \alpha = \frac{F}{x}$$

$$k = \frac{20}{2 \cdot 10^{-2}}$$

$$k = 1000 \text{ N/m olarak bulunur.}$$



- Yayın esneklik potansiyel enerjisi

$$\begin{aligned} E_{\text{Pyay}} &= \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \\ &= 500 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \end{aligned}$$

$$E_{\text{Pyay}} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ J olarak bulunur.}$$

- Kütle iki katına çıkarıldığında denge durumunda F_{yay} kuvveti de iki katına çıkar. Yayın uzama miktarı F_{yay} kuvveti ile doğru orantılı olduğundan 2 katına çıkarak $4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ olur. Bu durumda esneklik potansiyel enerji değeri

$$\begin{aligned} E_{\text{Pyay}} &= \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot (4 \cdot 10^{-2})^2 \\ &= 500 \cdot 16 \cdot 10^{-4} \\ &= 8 \cdot 10^{-1} \text{ J olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Dikkat edilirse kuvvetin iki katına çıkması durumunda yayın esneklik potansiyel enerjisi uzama miktarının karesiyle doğru orantılı olduğundan 4 katına çıkar.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 42

Sürtünmesiz düzlemde uçlarına m_1 ve m_2 kütleleri tutturulmuş L ve M yaylarının yay sabitleri sırasıyla k ve $2k$ 'dir. m_1 ve m_2 kütlelerine sırasıyla yatay $\vec{F}$ ve $4\vec{F}$ kuvvetleri uygulanmaktadır.



Yayların (F-x) grafiklerini çizerek esneklik potansiyel enerjileri oranı olan $\frac{E_1}{E_2}$ değeri nedir?

Cevap

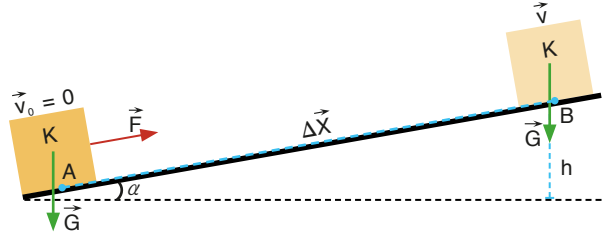


Esneklik potansiyel enerjisi yaydaki uzama miktarının karesiyle doğru orantılıdır.

1.6.2. Mekanik Enerji

Sürtünmesiz yatay düzlemde hareket edecek şekilde üzerine dışarıdan kuvvet uygulanan cisimler kinetik enerji kazanır. Kuvvetin düşey doğrultuda uygulanarak cisimlerin sabit hızla hareket etmesi durumunda kazandığı enerji, potansiyel enerjidir.

Şekil 1.93'te verildiği gibi sürtünmesiz eğik düzlemde $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak A noktasından B noktasına hareket eden K cismi hem kinetik hem de potansiyel enerji kazanır. Cisimlerin sahip oldukları kinetik ener-



Şekil 1.93: $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak A noktasından B noktasına hareket eden K cismi

ji ile potansiyel enerji toplamına **mekanik enerji** denir. Mekanik enerji E_M ile sembolize edilir.

K cisminin B noktasına geldiğinde kazanacağı mekanik enerji $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı işe eşittir. Cisim A noktasından B noktasına ulaştığında yaptığı yer değiştirme $\Delta \vec{x}$ olacağından $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş $W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{x}$ olur.

B noktasının yerden yüksekliği h , cismin bu noktadaki hızı v ise kinetik enerjisi

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

potansiyel enerjisi ise

$$E_P = m \cdot g \cdot h \text{ olur.}$$

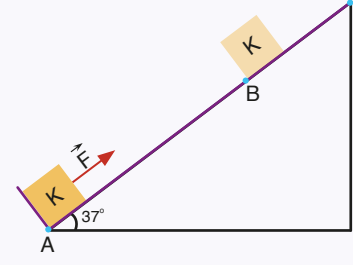
Bu durumda B noktasındaki cismin mekanik enerjisi için

$$E_M = E_K + E_P \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Örnek: A noktasında durmakta olan 2 kg kütleli K cismine 15 N büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvveti eğik düzleme paralel olarak uygulanmaktadır. Eğik düzlem üzerindeki $|AB|$ uzunluğu 75 m'dir.

K cismi, B noktasına ulaştığında

- $\vec{F}$ kuvveti kaç J iş yapar?
- Potansiyel enerjisi kaç J olur?
- Kinetik enerjisi kaç J olur?
- Mekanik enerjisi kaç J'dür?
- Hızı kaç m/s olur?



Çözüm:

- a) K cismi, A noktasından B noktasına ulaştığında $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş

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

$$W = 15 \cdot 75$$

$$W = 1125 \text{ J olarak bulunur.}$$

b) $\sin 37^\circ = \frac{h}{|AB|}$

$$0,6 = \frac{h}{75}$$

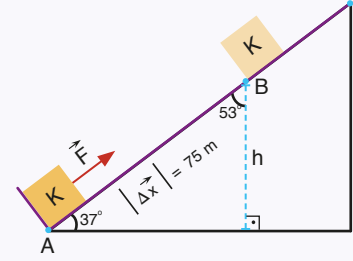
$$h = 0,6 \cdot 75$$

$$h = 45 \text{ m bulunur.}$$

$$E_{PB} = m \cdot g \cdot h$$

$$= 2 \cdot 10 \cdot 45$$

$$E_{PB} = 900 \text{ J bulunur.}$$



- c) K cismi, A noktasından B noktasına ulaştığında $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş, kinetik enerji ve potansiyel enerjiye dönüşür. Cismnin mekanik enerjisi korunacağından kinetik enerjisi

$$W = E_{KK} + E_{PK}$$

$$1125 = E_{KK} + 900$$

$$E_{KK} = 1125 - 900$$

$$E_{KK} = 225 \text{ J bulunur.}$$

- ç) K cismi B noktasına ulaştığında mekanik enerjisi

$$E_M = E_{KK} + E_{KP}$$

$$= 225 + 900$$

$$E_M = 1125 \text{ J olur.}$$

- d) Cismnin B noktasındaki hızı $\vec{v}$ ise büyüklüğü

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

$$225 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v^2$$

$$v = 15 \text{ m/s olur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 43

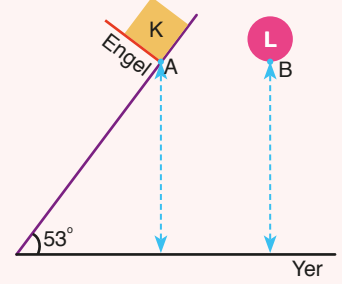
Sürtünmesiz eğik düzlemdeki A noktası ile B noktalarının yerden yükseklikleri eşit ve 80 m'dir. K cismi önündeki engel kaldırıldığında L cismi de serbest bırakılmaktadır. K ve L cisimlerinin kütleleri sırasıyla 1 kg ve 5 kg'dır.

Cisimler serbest bırakıldıklarında

- I. Yere ulaşma süreleri eşittir.
- II. Yere düşme hızları eşittir.
- III. Yere düştüğü andaki kinetik enerjileri eşittir

yargılarından hangileri doğrudur?

($\sin 53^\circ = 0,8$; $\cos 53^\circ = 0,6$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



A) Yalnız I

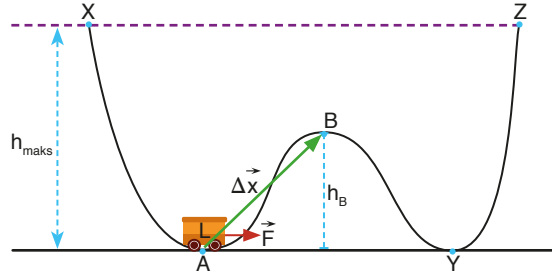
B) Yalnız II

C) Yalnız III

D) I ve II

E) II ve III

Dışarıdan herhangi bir kuvvet uygulanmamak şartıyla sürtünmesiz ortamda yalnız ağırlığının etkisinde kalacak şekilde hareket eden sistemlerde cismin mekanik enerjisi korunumludur. Örneğin Şekil 1.94'te verildiği gibi sürtünmesiz raylı sistem üzerinde AB yolu boyunca $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak mekanik enerji kazandırılan m kütleli L vagonun B noktasından sonraki hareketi, mekanik enerjinin korunumu ilkesine göre devam eder. Vagon, Y noktasında maksimum hıza ulaşarak mekanik enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. Çıkabileceği maksimum yükseklik Z noktası ise burada hızı sıfır olup mekanik enerjisi, potansiyel enerjiye dönüşmüştür.



Şekil 1.94: A ve B noktaları arasında $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak mekanik enerji kazandırılan L vagonu

Vagon Z noktasından geri döndüğünde aynı yükseklikteki X noktasına kadar yükselir. Sürtünmeler ihmal edildiğinde X noktasından da geri dönen L vagonunun X, Z noktaları arasındaki hareketi sonsuza kadar devam eder. Vagonun geçtiği her noktadaki mekanik enerji değerleri birbirine eşittir. Bu eşitlikten yararlanarak X, Y, Z ve B noktaları için mekanik enerji değerleri

$$E_{MB} = E_{MY} = E_{MZ} = E_{MX}$$

$$E_M = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + m \cdot g \cdot h_B = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_Y^2 = m \cdot g \cdot h_{maks} = m \cdot g \cdot h_{maks} \text{ eşitliği ile yazılabilir.}$$

Fizik mühendisi Canan Dağdeviren, mekanik enerjinin korunumu ilkesinden yararlanarak yaptığı bilimsel çalışmalar ile dünyanın dikkatini çeken bilim insanları arasında yerini almayı başarmıştır (Görsel 1.18). Fizik, elektronik, kimya, malzeme, mekanik ve tıp alanlarının kapsamına giren esnek, katlanabilir ve deri üstüne yapışabilir yani giyilebilir elektronik aletler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Giyilebilir bir kalp çipi geliştirmiştir.



Görsel 1.18: Canan Dağdeviren

Bu çalışmalarda kalbin, akciğerin ve diyaframın hareketinden elektrik enerjisi elde eden, bu enerjiyi depolayan, piezoelektrik entegre malzeme geliştirilmiştir. İnsan vücuduyla uyumlu plastik bir yüzeye tutturulan bu malzemenin kalınlığı bir saç telinin yüzde biri kadar olup, katlanıp bükülebilir özelliktedir.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 44

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda 5 kg kütleli bir cisim 200 m yükseklikten serbest düşmeye bırakılmaktadır.

Cisim 100 m düşerek yüksekliğin yarısına geldiğinde hızı kaç m/s olur?

 $(|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$

Cevap

Örnek: Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda m kütleli bir cisim, h yüksekliğinden 4 m/s büyüklüğündeki $\vec{v}_0$ hızıyla düşey doğrultuda aşağıya atılmaktadır.

Cisim yere 12 m/s büyüklüğündeki $\vec{v}$ hızıyla düştüğüne göre h yüksekliği kaç m'dir?
($|\vec{g}|=10 \text{ m/s}^2$)

Çözüm: Cisim h yüksekliğinden ve $|\vec{v}_0| = 4 \text{ m/s}$ hızla atıldığından hem potansiyel hem de kinetik enerjiye sahiptir. Düştüğü anda ise enerjisinin tamamı kinetik enerjiye dönüşeceğinden mekanik enerjinin korunumdan

$$E_{ilk} = E_{Son}$$

$$m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ olur.}$$

Eşitliğin her iki tarafında kütleler sadeleşeceğinden h yüksekliği

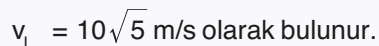
$$10 \cdot h + \frac{1}{2} \cdot 4^2 = \frac{1}{2} \cdot 12^2$$

$$10 \cdot h = 72 - 8$$

$h = 6,4 \text{ m}$ olarak elde edilir.



Cevap

 $(|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$ $(|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$ 



ÇALIŞMA KÖŞESİ 46

Sürtünmesiz ortamda kütleleri birbirinden farklı olan K, L ve M cisimleri 30 m yükseklikten 20 m/s'lik ilk hızla atılmaktadır.

Cisimlerden K düşey doğrultuda aşağı, L yatay ve M yatayla 53° açı yapacak şekilde atıldığına göre her birinin yere düşme hızının kaç m/s olduğunu mekanik enerjinin korunumundan yararlanarak bulunuz.

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

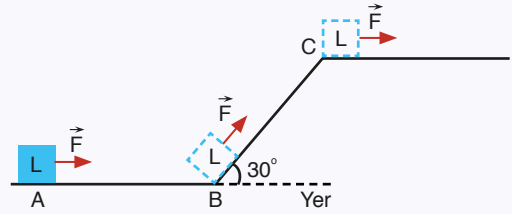
Cevap



Örnek: Sürtünmesiz ortamda kütlesi 2 kg olan L cismi, 10 N'lık $\vec{F}$ kuvvetinin etkisi ile A noktasından harekete başlayıp B ve C noktalarından geçiyor. IABI uzunluğu 5 m ve C noktasının yerden yüksekliği 2 m olduğuna göre

L cisminin B ve C noktalarındaki $|\vec{v}_B|$ ve $|\vec{v}_C|$ hız büyüklükleri kaç m/s'dir?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



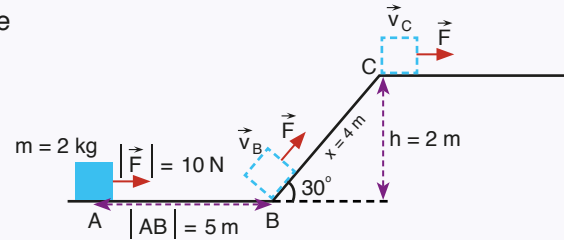
Çözüm: A noktasından $\vec{F}$ kuvvetinin etkisi ile harekete başlayan L sandığının B noktasındaki hızı $|\vec{v}_B|$ yi bulmak için enerji korunumu kanunu kullanılır. Buna göre

$$W = E_{KB}$$

$$\vec{F} \cdot \Delta \vec{x} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2$$

$$10 \cdot 5 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_B^2$$

$$v_B = 5\sqrt{2} \text{ m/s}$$



Eğim açısı 30° olduğundan eğik düzlemin uzunluğu 4 m'dir. Bu durumda cismin C noktasındaki hızı v_C enerji korunumu kanunu uygulanarak

$$E_{KB} + W_{BC} = E_{PC} + E_{KC}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + F \cdot x = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_C^2$$

$$50 + 10 \cdot 4 = 2 \cdot 10 \cdot 2 + v_C^2$$

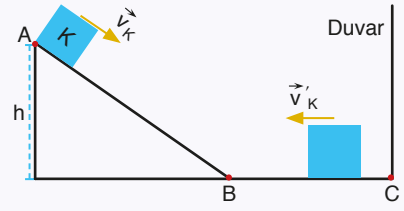
$$v_C^2 = 50$$

$$v_C = 5\sqrt{2} \text{ m/s bulunur.}$$

Örnek: Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda şekildeki K cismi, 2 m/s'lik hızla A noktasından geçerek C noktasındaki duvara çarpıp 4 m/s'lik hızla geri dönmektedir.

h yüksekliği kaç m'dir?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$, cismin duvara çarpma anındaki enerji kaybı ihmal edilecektir.)



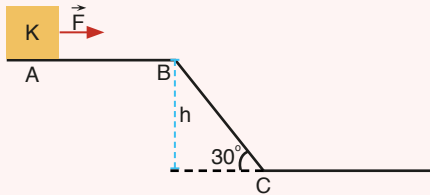
Çözüm: K cismi B noktasında kazanmış olduğu hız ile C noktasındaki duvara çarpıp ve geri döner. Enerji korunumu yazılacak olunursa h yüksekliği

$$\begin{aligned}
 E_{KP} + E_{KK} &= E'_{KK} \\
 m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_K^2 &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v'_K)^2 \\
 m \cdot g \cdot h &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v'_K)^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_K^2 \\
 10 \cdot h &= \frac{1}{2} \cdot 4^2 - \frac{1}{2} \cdot 2^2 \\
 h &= \frac{8-2}{10} \\
 &= \frac{6}{10} \\
 h &= 0,6 \text{ m bulunur.}
 \end{aligned}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 47

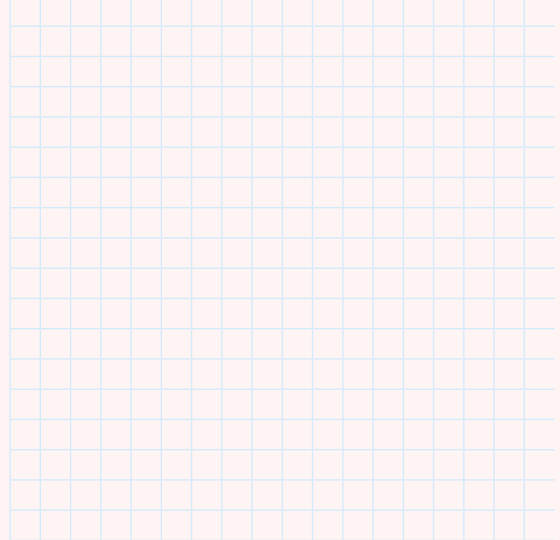
Sürtünmesiz ortamda kütlesi 2 kg olan K cisminin hareket yönünde 15 N'lık $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak A noktasından harekete başlayıp B ve C noktalarından geçmektedir.



AB uzunluğu 3 m, C noktasındaki hızı $5\sqrt{5}$ m/s olduğuna göre h yüksekliği kaç m'dir?

($\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$, $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

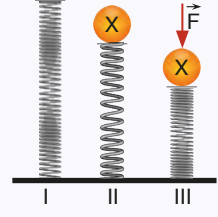
Cevap



Örnek: Boyu 12 cm olan şekildeki yay üzerine 6 kg'lık kütle konulduğunda boyu 10 cm olarak ölçülüyor. Kütle ile birlikte yay üzerinde 60 N değerindeki $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır.

$\vec{F}$ kuvveti aniden kaldırılıp cismin aşağıdan yukarı atış hareketi yapması sağlandığında ilk hızı kaç m/s olur?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm: X cisminin ağırlığı

$$\vec{G} = m \cdot \vec{g}$$

$$|\vec{G}| = 6 \cdot 10$$

$$|\vec{G}| = 60 \text{ N bulunur.}$$

Buradan yayın yay sabiti cismin yay üzerine konulduğu II. durumda yay 2 cm sıkıştığında yay sabiti

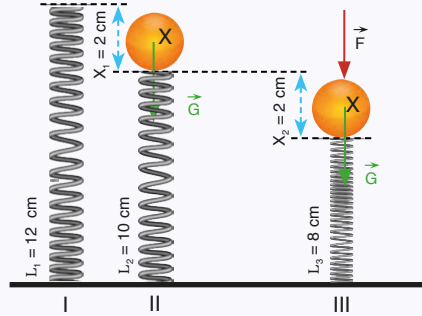
$$|\vec{G}| = |\vec{F}| = k \cdot |\Delta \vec{x}|$$

$$60 = k \cdot 2 \cdot 10^{-2}$$

$$= \frac{60}{2 \cdot 10^{-2}}$$

$$k = 3000 \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{ bulunur.}$$

X cisminin $|\vec{F}| = 60 \text{ N}$ 'lık kuvvet uygulandığı III. durumda 2 cm daha sıkışacaktır. Kuvvet aniden kaldırılırsa yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüşecektir. Buna göre X cisminin ilk hızı $\vec{v}_0$



$$E = E_k$$

$$\frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_0^2$$

$$\frac{1}{2} \cdot 3000 \cdot (4 \cdot 10^{-2})^2 = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot v_0^2$$

$$1500 \cdot 16 \cdot 10^{-4} = 3 \cdot v_0^2$$

$$500 \cdot 16 \cdot 10^{-4} = v_0^2$$

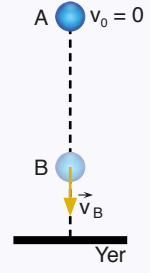
$$80 \cdot 10^{-2} = v_0^2$$

$$v_0 = \sqrt{80 \cdot 10^{-2}}$$

$$v_0 = 4 \cdot 10^{-1} \sqrt{5} \text{ m/s bulunur.}$$

Örnek: Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda, A noktasından serbest düşmeye bırakılan m kütleli cismin B noktasındaki v_B hızı 20 m/s olmaktadır.

B noktasının yerden yüksekliği 5 m olduğuna göre A noktasının yerden yüksekliği kaç m'dir?
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Çözüm: Cisim A noktasından ilk hızsız serbest bırakıldığından bu noktada yalnız potansiyel enerjiye sahiptir. B noktasına geldiğinde hem potansiyel hem de kinetik enerjiye sahip olur. Bu durumda, A ve B noktasının yerden yüksekliği sırasıyla h_A ve h_B , mekanik enerjileri E_A ve E_B ile sembolize edilerek mekanik enerjinin korunumu yazılırsa

$$E_A = E_B$$

$$m \cdot g \cdot h_A = m \cdot g \cdot h_B + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2$$

Eşitliğin her iki tarafında kütleler sadeleşeceğinden h_A yüksekliği

$$10 \cdot h_A = 10 \cdot 5 + \frac{1}{2} \cdot 20^2$$

$$10 \cdot h_A = 50 + 200$$

$$h_A = 25 \text{ m olarak bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 48

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda kütleleri sırasıyla m ve 2m olan A ve B cisimleri yay sabitleri k ve 4k olan yayların önüne konmaktadır. Yerden aynı yükseklikteki A ve B cisimleri yaylarla birlikte eşit miktarda sıkıştırılıp serbest bırakılmaktadır.

Buna göre cisimler K ve L noktalarından ayrıldıktan sonraki



- I. Yere düşme süreleri eşittir.
- II. Yatayda aldıkları yollar eşittir.
- III. B cismi yatayda A'nın aldığı yolun $\sqrt{2}$ katı kadar yol alır.

yargılarından hangileri doğrudur? ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

A) Yalnız I

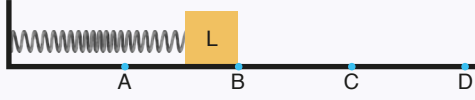
B) Yalnız II

C) Yalnız III

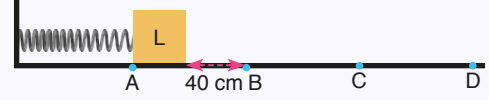
D) I ve III

E) II ve III

Örnek: Yay sabiti 100 N/m olan sarmal yay, ucundaki 2 kg kütleli L cismi ile birlikte Şekil I'deki konumunda dengededir. Yay 40 cm sıkıştırılarak Şekil II'deki konumuna getirilmektedir. Bu konumundan serbest bırakılan L cisminin sürtünmesiz IBCI yolu ve sürtülmeli ICDI yolunda hareket etmektedir.



Şekil I



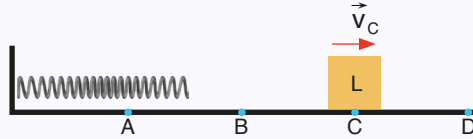
Şekil II

Buna göre

- L cisminin C noktasından geçerken hızı kaç m/s'dir?
- Sürtünme katsayısı 0,5 olan ICDI yolunu alarak D noktasında durması için ICDI arasının kaç metre olması gerekir?

Çözüm:

- Şekil III'teki gibi L cisminin C noktasındaki hızına $\vec{v}_C$ denir ise ve enerji korunumu kanunu



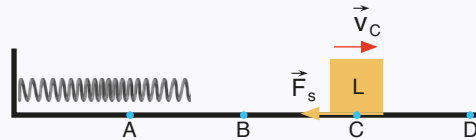
Şekil III

uygulanırsa yayın esneklik potansiyel enerjisi, L cisminin kinetik enerjisine eşit olur.

$$\begin{aligned}
 E &= \Delta E_K \\
 \frac{1}{2} \cdot k \cdot \Delta x^2 &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_C^2 \\
 \frac{1}{2} \cdot 100 \cdot (0,4)^2 &= \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v_C^2 \\
 v_C^2 &= 50 \cdot 16 \cdot 10^{-2} \\
 v_C^2 &= 8 \\
 v_C &= 2\sqrt{2} \text{ m/s bulunur.}
 \end{aligned}$$

- ICDI mesafesi sürtülmeli olduğundan L cisminin C noktasındaki enerjisinin tamamı, D noktasında sürtünme enerjisine dönüşür. Buna göre

$$\begin{aligned}
 \Delta E_K &= W_s \\
 \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_C^2 &= \vec{F}_s \cdot \Delta \vec{x} \\
 \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_C^2 &= k \cdot m \cdot g \cdot |CD| \\
 \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (2\sqrt{2})^2 &= 0,5 \cdot 2 \cdot 10 \cdot |CD| \\
 8 &= 10 \cdot |CD| \\
 |CD| &= 0,8 \text{ m bulunur.}
 \end{aligned}$$



Örnek: Yangın ihbar hattı 110'dan ihbar alan itfaiye ekibi, yangına müdahale için yola çıkmıştır. Doğrusal düz bir yolda 20 m/s hızla ilerleyen itfaiye şoförü trafik yoğunluğu sebebiyle fren yaparak itfaiye aracının hızını 10 m/s'ye düşürmüştür.



Aracın kütlesi 8500 kg olduğuna göre fren balatalarından açığa çıkan ısı enerjisi kaç jouledür?

Çözüm: Fren balatalarında açığa çıkan ısı enerjisi, aracın kinetik enerjideki değişimine eşittir. Buna göre açığa çıkan ısı enerjisi

$$\Delta E_K = W_{ISI}$$

$$W_{\text{ISI}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_1^2 - \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_2^2$$

$$W_{ISI} = \frac{1}{2} \cdot 8500 \cdot 20^2 - \frac{1}{2} \cdot 8500 \cdot 10^2$$

$$W_{|S|} = 4250 \cdot 400 - 4250 \cdot 100$$

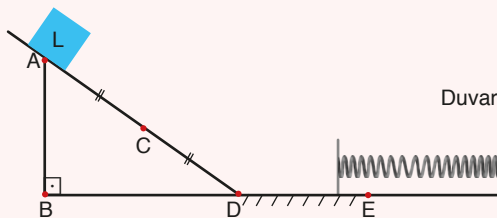
$$W_{|S|} = 4250 \cdot (400 - 100)$$

$$W_{|S|} = 4250 \cdot 300 = 1,275 \cdot 10^6 \text{ J bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 49

Sürtünmesiz eğik düzlemde serbest bırakılan 2 kg kütleli L sandığı, eğik düzlemde inip sürtünme katsayısı 0,2 olan yatay yolu izleyerek yay sabiti 200 N/m olan yayı E noktasına kadar 10 cm sıkıştırmaktadır.



IAI = ICDI olup, IDEI uzunluğu 50 cm olduğuna göre

- a) L sandığının serbest bırakıldığı İABI yüksekliği kaç cm'dir?
- b) L sandığının C noktasındaki hızı kaç m/s'dir?
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap

1.7. İtme ve Çizgisel Momentum

Kum-su karışımı ile demir kesilebilir mi?

Hemzemin geçitlerine yaklaşırken hızını azaltan trenler neden aniden duramaz? (Görsel 1.21).

Neden aynı hızla hareket eden tomruk yüklü tır (Görsel 1.22) ile yükü olmayan tırın durma mesafeleri farklıdır?

Yük taşıyan tırlar neden rampadan düşük hızla inerler (Görsel 1.23)?

Bu ve buna benzer soruların cevabı, fizikte bu bölümün konusu olan itme ve çizgisel momentum kavramlarıyla açıklanmıştır.



Görsel 1.21: Hemzemin geçitteki tren



Görsel 1.22: Tomruk yüklü tır



Görsel 1.23: Rampa inen tır

1.7.1. İtme

Kuvvet ile uygulama sürelerinin çarpımına **itme** denir. İtme, vektörel bir büyüklük olup yönü uygulanan kuvvet yönündedir. $\vec{T}$ ile sembolize edilir. Görsel 1.24'te verildiği gibi tamir ettiği çamaşır makinesine Δt süresince $\vec{F}$ kuvveti uygulayan servis elemanının makineye uyguladığı itme miktarı



Görsel 1.24: Tamir edilen çamaşır makinesi

$\vec{T} = \vec{F} \cdot \Delta t$ eşitliğiyle bulunur.

SI birim sisteminde kuvvetin birimi N, zaman birimi s olduğundan itmenin birimi **N • s**'dir.

Örnek: 2 kg kütleli K cismi yerden 45 m yükseklikten serbest bırakılmaktadır.

K cisminin yere düşmesi süresince ağırlığının uyguladığı itme kaç N.s'dir?

Çözüm: K cismi, yerden 45 metre yükseklikten bırakıldığı için yere 3 s'de düşer. K cisminin ağırlığı

$$\vec{G} = m \cdot \vec{g}$$

$$= 2 \cdot 10$$

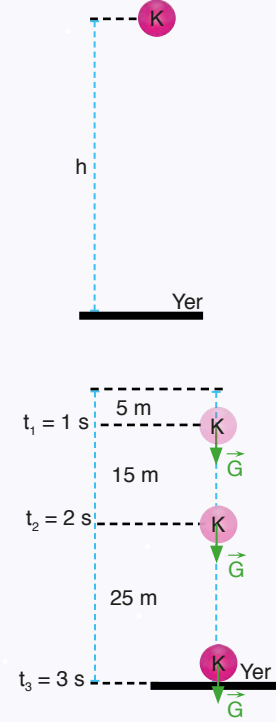
$$|\vec{G}| = 20 \text{ N bulunur.}$$

K cisminin ağırlığının uyguladığı itmenin büyüklüğü

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

$$= 20 \cdot 3$$

$$|\vec{I}| = 60 \text{ N} \cdot \text{s} \text{ bulunur.}$$



1.7.2. Çizgisel Momentum

Hareketlilerin kütlesi ile hızlarının çarpımına **çizgisel momentum** denir. Çizgisel momentum, hareketlinin hızı ile aynı yönlü olan vektörel bir büyüklüktür. $\vec{P}$ ile sembolize edilir. Görsel 1.25'te verilen m kütleli bowling (bovling) topunun $\vec{v}$ hızına ulaştığı andaki çizgisel momentumu



Görsel 1.25: Bowling topu

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

eşitliğiyle bulunur. SI birim sisteminde kütlenin birimi kg, hızın birimi m/s olduğundan momentumun birimi $\text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ 'dir.

Çizgisel momentumun büyüklüğü hareketlinin kütlesi sabit tutulduğunda hızı ile doğru orantılıdır.

Örnek: 4 kg kütleli L cismi yerden 20 m yükseklikten serbest bırakılmaktadır.

L cisminin yere çarpma anındaki çizgisel momentumu kaç kg.m/s'dir?

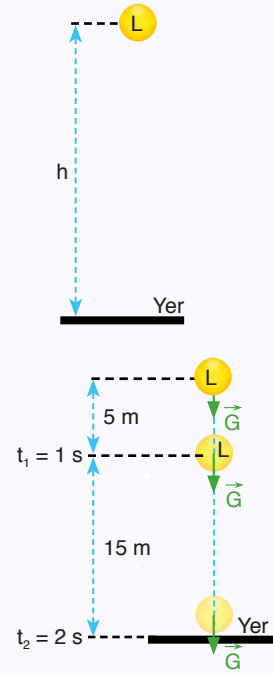
($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Çözüm: L cismi, 20 metreden serbest bırakıldığında yere 2 s'de düşer ve yere 20 m/s'lik hızla çarpar. L cisminin yere düştüğü andaki çizgisel momentumu

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

$$= 4 \cdot 20$$

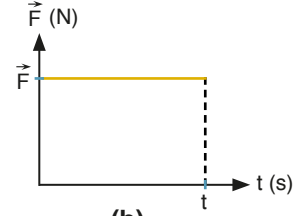
$$|\vec{P}| = 80 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ olur.}$$



Şekil 1.96.a'da sürtünmesiz yatay düzlemde $\vec{v}_0$ hızına sahip m kütleli bir cisme $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak cisim $\vec{v}$ hızına ulaşmaktadır. Cismin hareketi $\Delta t = (t - 0)$ zaman aralığında gerçekleştiğinde $\vec{F}$ -t grafiği Şekil 1.96.b'de verildiği gibi olur.



(a)



(b)

Şekil 1.96: Δt süresinde $\vec{F}$ kuvveti etkisinde hareket eden cisim

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

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v} - \vec{v}_0)$$

$$\vec{I} = \Delta \vec{P} \quad \text{formülü elde edilir.}$$

Bu eşitliğe göre cisme uygulanan itme, cismin momentumdaki değişme miktarına eşittir. Hareket ile aynı yönde olan kuvvet ya da kuvvetin uygulanma süresi arttığında hareketlinin hızı artar. Hızdaki bu artış da yer değiştirmesini artırır.

Yüksek hız kazandırılarak büyük hareket miktarına ulaşan kum-su karışımı ile demir kesilir. Yük trenlerinin kütleleri çok büyük olduğundan hareket miktarları büyüktür. Çok büyük hızla hareket etmeseler de durmaları için fren sistemlerinin uzun süre etkin olması gerekir. Durmaları için uzun zaman gerektiğinden kısa mesafelerde duramazlar.



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Newton'ın II. hareket yasasını ifade eden $F = m \cdot a$ ile ivme için kullanılan $a = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ bağıntılarından yararlanarak itme ve momentum arasındaki matematiksel eşitliğin nasıl elde edildiğini araştırınız. Araştırma sonuçlarınızı sınıftınızda paylaşınız.

Örnek: Kütlesi 60 g olan bir tenis topu yerden düşey doğrultuda, yukarı yönde 40 m/s hızla atılmaktadır.

a) Tenis topunun yere düşünceye kadar geçen sürede momentum değişimi nedir?

b) Tenis topuna etki eden kuvvetin etkileşim süresi kaç s'dir?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$, hava direnci ihmal edilecektir).

Çözüm:

a) Tenis topunun momentum değişimi

$$\begin{aligned}\Delta \vec{P} &= m \cdot (\vec{v} - \vec{v}_0) \\ |\Delta \vec{P}| &= 0,06 \cdot (40 - (-40)) \\ &= 6 \cdot 10^{-2} \cdot 80\end{aligned}$$

$$|\Delta \vec{P}| = 4,8 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$

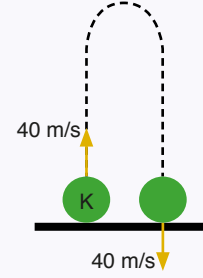
b) Tenis topunun hareketi süresince üzerine etki eden kuvvet, tenis topunun ağırlığına eşittir.

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

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

$$6 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot \Delta t = 4,8$$

$$\Delta t = \frac{48 \cdot 10^{-1}}{6 \cdot 10^{-1}} = 8 \text{ s bulunur.}$$

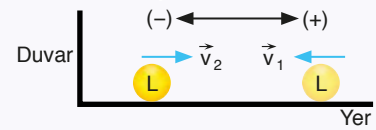


Örnek: Şekildeki L cismi 4 m/s hızla duvara çarpıp 4 m/s hızla geri dönmektedir.

L cisminin kütlesi 500 g olduğuna göre

a) Duvarın uyguladığı itme kaç N.s'dir?

b) L cismi, duvara 0,4 s temas ettiğine göre duvarın L cisminde uyguladığı tepki kuvveti kaç N'dir?



Çözüm: a)

$$\begin{aligned}\vec{I} &= \Delta \vec{P} \\ \Delta \vec{P} &= m \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) \\ |\Delta \vec{P}| &= 0,5 \cdot (4 - (-4)) \\ |\vec{I}| &= |\Delta \vec{P}| = 4 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}\end{aligned}$$

b)

$$\begin{aligned}\vec{I} &= \Delta \vec{P} \\ \vec{F} \cdot \Delta t &= \Delta \vec{P} \\ |\vec{F}| \cdot 0,4 &= 4 \\ |\vec{F}| &= \frac{4}{0,4} \\ |\vec{F}| &= 10 \text{ N bulunur.}\end{aligned}$$

Örnek: Kütlesi yaklaşık 60 g olan olan tenis topu, rakete 30 m/s hızla gelip rakete etkileşimi sonunda 40 m/s hızla geldiği yöne geri dönmektedir.

Raket ile tenis topunun etkileşim süresi 0,1s olduğuna göre tenisçinin topa uyguladığı kuvvet kaç N'dır?



Çözüm: Tenisçinin topa uyguladığı kuvveti bulmak için

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

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

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot (\vec{v}_{\text{son}} - \vec{v}_{\text{ilk}})$$

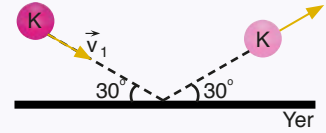
$$\vec{F} \cdot 0,1 = 6,10^{-2} \cdot (40 - (-30))$$

$$\vec{F} = \frac{4 \cdot 2}{0,1}$$

$$|\vec{F}| = 42 \text{ N bulunur.}$$

Örnek: Kütlesi 250 g olan K topu 40 m/s hızla yere çarpıp şekildeki gibi yansımaktadır.

Çarpma esnasında enerji kaybı olmadığına göre yerin K topuna uygulamış olduğu itme kaç N.s'dir?



Çözüm: Enerji kaybı olmadığından K topu çarpma hızı ile yansır.

$\vec{I} = \Delta \vec{P}$ olduğundan K topunun çarpmadan önceki momentum büyüklükleri $\vec{P}_i$ ve çarpmadan sonraki $\vec{P}_s$ momentum büyüklükleri

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

$$= 25 \cdot 10^{-2} \cdot 40$$

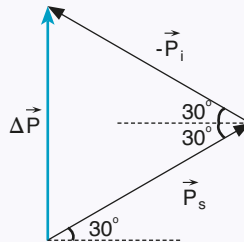
$$|\vec{P}_s| = 10 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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

$$= 25 \cdot 10^{-2} \cdot 40$$

$$|\vec{P}_i| = 10 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ olarak bulunur.}$$

Momentum vektörleri ise şekildeki gibi gösterilir. K topuna uygulanan itme, momentum değişimine eşittir. $\vec{P}_i$, $\vec{P}_s$ ve $\Delta \vec{P}$ ile elde edilen eşkenar üçgen incelendiğinde $\Delta \vec{P}$ büyüklüğü



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

$$|\vec{I}| = |\Delta \vec{P}| = 10 \text{ N} \cdot \text{s} \text{ bulunur.}$$

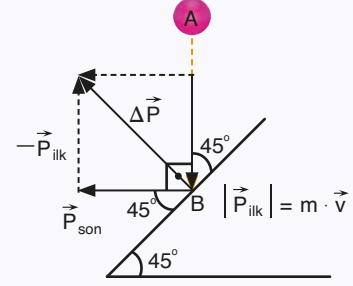
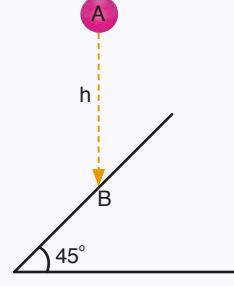
Örnek: Kütlesi m olan A bilyesi, h yüksekliğinden serbest bırakılarak B noktasında esnek çarpışma yapması sağlanmaktadır. B noktasında A bilyesine uygulanan itmeyi; m , g ve h cinsinden ifade ediniz.

Çözüm:

$$\begin{aligned}\vec{I} &= \Delta \vec{P} \\ &= \vec{P}_{\text{son}} - \vec{P}_{\text{ilk}} \\ |\vec{I}| &= \sqrt{2} \cdot m \cdot |\vec{v}|\end{aligned}$$

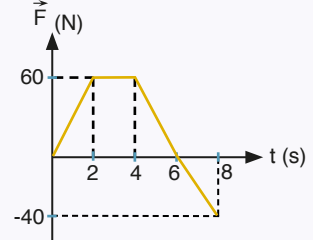
A bilyesi, h yüksekliğinden serbest bırakıldığı için A bilyesinin B noktasına çarpma hızı enerji korunumundan hesaplanırsa

$$\begin{aligned}m \cdot g \cdot h &= \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ |\vec{v}| &= \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \text{ olarak bulunur. Bu sonuç} \\ |\vec{I}| &= \sqrt{2} \cdot m \cdot |\vec{v}| \text{ eşitliğinde yerinde kullanılırsa} \\ |\vec{I}| &= \sqrt{2} \cdot m \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \\ |\vec{I}| &= 2 \cdot m \cdot \sqrt{g \cdot h} \text{ bulunur.}\end{aligned}$$



Örnek: İlk hızı 5 m/s olan 4 kg kütleli uçangöz (drone) aynı doğrultu boyunca hareket etmektedir. Uçangöze ait kuvvet-zaman grafiği şekildeki gibidir

Buna göre uçangözün 8. s'deki hızı kaç m/s'dir?



Çözüm: Kuvvet-zaman grafiğinin altında kalan alan itmeyi verdiği için I_1, I_2, I_3 ve I_4

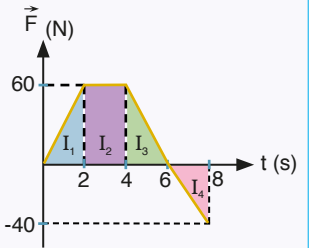
$$\begin{aligned}|\vec{I}_1| &= \frac{60 \cdot 2}{2} = 60 \text{ N} \cdot \text{s}, & |\vec{I}_2| &= 60 \cdot 2 = 120 \text{ N} \cdot \text{s}, \\ |\vec{I}_3| &= \frac{60 \cdot 2}{2} = 60 \text{ N} \cdot \text{s}, & |\vec{I}_4| &= \frac{-40 \cdot 2}{2} = -40 \text{ N} \cdot \text{s} \text{ bulunur.}\end{aligned}$$

Uçangöze ait toplam itme

$$|\vec{I}_T| = |\vec{I}_1| + |\vec{I}_2| + |\vec{I}_3| + |\vec{I}_4| = 60 + 120 + 60 + (-40) = |\vec{I}_T| = 200 \text{ N} \cdot \text{s} \text{ bulunur.}$$

Uçangöze uygulanan toplam itme, momentumundaki değişimine eşit olacağından 8. s'deki hızı

$$\begin{aligned}\vec{I} &= \Delta \vec{P} \\ |\vec{I}| &= m \cdot (|\vec{v}_s| - |\vec{v}_i|) \\ 200 &= 4 \cdot (|\vec{v}_s| - 5) \\ 4 \cdot |\vec{v}_s| &= 220 \\ |\vec{v}_s| &= \frac{220}{4} = 55 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}\end{aligned}$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 50

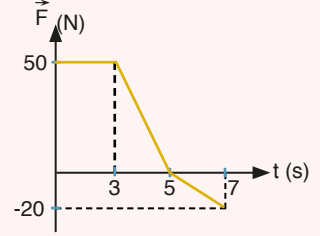
İlk hızı 15 m/s ve kütlesi 3 kg olan bowling topuna ait kuvvet-zaman grafiği şekildeki gibidir.

Buna göre

- I. (0-7) saniyeler arasında cisme toplam 180 N.s itme verilmiştir.
- II. Cismin 5. saniyedeki hızı 65 m/s'dir.
- III. Cismin 7. saniyedeki hızı 75 m/s'dir.

yargılarından hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) II ve III



1.7.3. Çizgisel Momentumun Korunumu

Herhangi bir yolla çizgisel momentum kazandırılan cisimlerin birbiriyle etkileşimi söz konusu olduğunda momentumları nasıl değişir? Bu sorunun cevabına ulaşmak için aşağıdaki etkinliği yapınız.



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Newton beşiği

Etkinliğin Amacı: Momentumun korunumlu olduğunu gözlemlemek

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: En az 5 bilye kullanılarak yapılmış 1 adet Newton beşiği

Yönerge

- Newton beşiğini düz bir masa üzerine yerleştiriniz.
- Sınıf mevcuduna göre beş kişilik gruplar oluşturunuz.
- Grupça Newton beşiğindeki bir bilyeyi yana çekip serbest bırakınız ve hareketi sürdüren bilyeleri gözlemleyiniz.
- Aynı işlemi sırasıyla 2, 3 ve 4 bilye ile gerçekleştiriniz ve hareketi sürdüren bilyeleri gözlemleyiniz.

Sonuçlandırma:

1. Yana çekilerek bırakılan bilye sayıları ile harekete geçen bilye sayılarını karşılaştırınız.
2. Yana çekilip serbest bırakılan bilyelerin momentumu, duran bilyelere nasıl aktarılmıştır?
3. Yana çekilen bilyenin düşey yüksekliği ile harekete geçen bilyenin çıkabildiği düşey yüksekliği karşılaştırınız.
4. Yana çekilip serbest bırakılan bilyelerin kinetik enerjisi, duran bilyelere nasıl aktarılmıştır?



Etkinlikte yapılan gözlemler sonucunda Newton beşiğinde 1 bilye momentum kazandırılıp diğer bilyelerle çarpışarak etkileşime geçtiğinde kendisinin durduğu ve sondaki bilyenin harekete geçtiği gözlemlenir. Aynı işlem 2, 3 ve 4 bilyeye momentum kazandırılarak tekrarlandığında her defasında hareket eden bilyelerin başlangıçta momentum kazandırılan bilye sayısına eşit olduğu görülür. Bu sonuca göre **momentum korunumlu bir büyüklüktür.**

Momentumun korunumlu olması Newton beşiğinde başlatılan hareketin durmadan sonsuza kadar devam edeceği anlamını taşır. Burada belirli bir süre sonra hareketin durmasının sebebi, sürtünme kuvvetlerinin etkisidir.

Sürtünmeler ihmal edilebilseydi hareket sonsuza kadar devam ederdi. Etkinlikte gözlemlenen olaylardan biri de yana çekilen bilyelere kazandırılan düşey yükseklikle harekete geçen bilyelerin düşey yüksekliklerinin eşit olmasıdır. Düşey yüksekliklerin eşit olması bilyelerin kinetik enerjilerinin de korunduğu anlamına gelir.

Newton beşiğinde bilyelerin birbiriyle etkileşimine benzer bir etkileşim de buz hokeyi sporunda gözlemlenir (Görsel 1.26).

Hokeycilerin belirli bir zaman aralığında kuvvet uygulayarak çizgisel momentum kazandırdıkları pakların serbest bırakıldıktan sonraki hareketi sürtünmesiz bir ortamda sürdürülebilseydi çarpışmalarla birbirine aktarılır ve çizgisel momentum etkisiyle çarpışmalarla birlikte hareket sonsuza kadar devam ederdi.

Momentumun korunumu yüksek hızlarla gerçekleşen atomik boyutlardaki çarpışmalarda da geçerlidir. Atomik boyutlarda gerçekleşen çarpışmalarda sürtünmeler olmadığından momentum ve kinetik enerji korunumunun tam olarak gerçekleştiği ideal ortamlardır.

Yüksek bir hız kazandırılarak harekete geçen uzay mekikleri de momentumun korunumu ilkesinden yararlanılarak tasarlanmıştır. Uzay mekiklerinde Görsel 1.27'de verildiği gibi yanarak büyük bir hızla uzay mekiğini terk eden yakıt, kazanacağı momentumu mekiğe aktararak mekiğin büyük bir hızla ve yukarı yönde harekete geçmesini sağlar.

Yakıtın yanması devam ettiğinde mekiğin toplam kütle değeri de azalarak mekiğin hız kazanmasını kolaylaştırır. Kütle azalmasından daha çok yararlanmak için mekiklerde kullanılan yakıt depo sayısı birden fazladır. İçindeki yakıtı biten depo, mekikten ayrılır ve bir sonraki yakıt deposunda bulunan yakıt yanmaya başlar.

Uzay mekikleri belirli bir yüksekliğe ulaştığında bazı parçalarının ayrılıp etrafa saçıldığı görülür. Düşen bu parçalar yakıtı biten tankerin parçalarıdır.



Görsel 1.26: Buz hokeyi oynayan sporcular



Görsel 1.27: Uzay istasyonundan fırlatılan mekik

1.7.4. Çarpışmalar ve Çizgisel Momentumun Korunumu

Düzlemde hareket doğrultuları değişmeyecek şekilde gerçekleşen çarpışmalar **bir boyutta çarpışma**, hareket doğrultuları değişecek şekilde gerçekleşen çarpışmalar ise **iki boyutta çarpışma** olarak adlandırılır. Örneğin çarpışma öncesi ve sonrası bilardo masası üzerinde aynı doğrultuda hareket eden iki bilardo topunun çarpışması bir boyutta çarpışmadır.

Çarpışma sonrası masa üzerinde farklı iki doğrultuda hareket eden bilardo toplarının çarpışması ise iki boyutta gerçekleşen bir çarpışmadır.

Gerçekleştiği boyuttan bağımsız olarak bütün çarpışmalar momentumun korunumu ilkesine uyacak şekilde gerçekleşir. Çarpışmalar enerji korunumu bakımından **esnek ve esnek olmayan çarpışma** olmak üzere iki gruba ayrılır.

Esnek Çarpışmalar: Çizgisel momentumun yanında kinetik enerjinin de korunduğu, çarpışan cisimlerde çarpışma sonrasında şekil değişikliklerinin olmadığı çarpışmalara **esnek çarpışma** denir. Esnek çarpışma, çarpışan cisimlerin kütle merkezleri çıkışacak şekilde gerçekleşirse merkezî esnek çarpışma adını alır. Aynı düzlemde hareket eden cisimlerin merkezî esnek çarpışma yapabilmesi için kütle merkezlerinin bir düzlem oluşturması gerekir.

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamlarda, bir boyutta ve iki boyutta gerçekleşen esnek çarpışmadan sonra cisimlerin kazandıkları hız değerleri ile hareket yönlerine çizgisel momentum ve kinetik enerjinin korunumu ilkesinden yararlanılarak ulaşılabilir.

$\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_B$ hızlarıyla Şekil 1.97’de verilen yönlerde hareket eden m_A ve m_B kütleli, aynı yarıçaplı A ve B cisimlerinin bir boyutta yapacakları merkezî esnek çarpışma sonrası kazanacakları hızlar sırasıyla $\vec{v}'_A$ ve $\vec{v}'_B$ olsun. $\vec{v}'_A$ ve $\vec{v}'_B$ hızlarını veren denklemlere ulaşmak için öncelikle çizgisel momentumun korunumu ilkesi yazılır. Bunun için A ve B cisimlerinin çarpışmadan önceki momentumları $\vec{P}_A$ ve $\vec{P}_B$, çarpışmadan sonraki momentumları ise $\vec{P}'_A$ ve $\vec{P}'_B$ ile gösterildiğinde



Şekil 1.97: A ve B cisimlerinin merkezî esnek çarpışması

$\vec{P}_A + \vec{P}_B = \vec{P}'_A + \vec{P}'_B$ eşitliği elde edilir. Bu eşitliğe cisimlerin kütle ve hız değerleri yazıldığında

$$\begin{aligned} m_A \cdot \vec{v}_A + m_B \cdot \vec{v}_B &= m_A \cdot \vec{v}'_A + m_B \cdot \vec{v}'_B \\ m_A \cdot \vec{v}_A - m_A \cdot \vec{v}'_A &= m_B \cdot \vec{v}'_B - m_B \cdot \vec{v}_B \\ m_A \cdot (\vec{v}_A - \vec{v}'_A) &= m_B \cdot (\vec{v}'_B - \vec{v}_B) \end{aligned} \quad (I)$$

sonucuna ulaşılır. A ve B cisimlerinin esnek çarpışmalarındaki kinetik enerji korunumunu ifade etmek için çarpışma öncesi kinetik enerjileri E_{KA} , E_{KB} , çarpışma sonrası kinetik enerjileri E'_{KA} ve E'_{KB} ile gösterilirse

$$E_{KA} + E_{KB} = E'_{KA} + E'_{KB} \text{ eşitliği yazılır.}$$

Kinetik enerji korunumundan yararlanılarak son eşitlikte cisimlerin kütle ve hız değerleri yazıldığında

$$\frac{1}{2} \cdot m_A \cdot \vec{v}_A^2 + \frac{1}{2} \cdot m_B \cdot \vec{v}_B^2 = \frac{1}{2} \cdot m_A \cdot \vec{v}_A'^2 + \frac{1}{2} \cdot m_B \cdot \vec{v}_B'^2$$

$$m_A \cdot \vec{v}_A^2 + m_B \cdot \vec{v}_B^2 = m_A \cdot \vec{v}_A'^2 + m_B \cdot \vec{v}_B'^2$$

$m_A \cdot \vec{v}_A^2 - m_A \cdot \vec{v}_A'^2 = m_B \cdot \vec{v}_B'^2 - m_B \cdot \vec{v}_B^2$ sonucu elde edilir. Elde edilen sonuçta işlem devam ettirilirse ikinci bir denklem

$$m_A \cdot (\vec{v}_A^2 - \vec{v}_A'^2) = m_B \cdot (\vec{v}_B'^2 - \vec{v}_B^2)$$

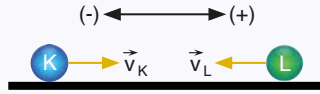
$$m_A \cdot (\vec{v}_A - \vec{v}_A') \cdot (\vec{v}_A + \vec{v}_A') = m_B \cdot (\vec{v}_B' - \vec{v}_B) \cdot (\vec{v}_B' + \vec{v}_B) \quad (II)$$

şeklinde elde edilir. Denklem (I) de elde edilen eşitlik denklem (II) de kullanılarak esnek çarpışmalarda, cisimlerin çarpışma öncesi ve sonraki hızı için geçerli olan,

$$(\vec{v}_A + \vec{v}_A') = (\vec{v}_B' + \vec{v}_B)$$

eşitliğine ulaşılır. Elde edilen eşitlikler yardımıyla esnek çarpışma yapan cisimlerin çarpışma sonrası kazanacakları hız değerleri yanında, vektörel büyüklüklerle işlem yapıldığından işaretleri yorumlanarak hareket yönleri de bulunabilir.

Örnek: Kütleleri sırasıyla 10 kg ve 6 kg, hızlarının büyüklükleri sırasıyla 14 m/s ve 2 m/s'lik K ve L bilyeleri esnek olarak çarpışmaktadır.



L bilyesinin çarpışmadan sonraki hızının büyüklüğü kaç m/s olur?

Çözüm: Çarpışma esnek olduğundan cisimlerin çarpışmadan önceki momentumları toplamı çarpışmadan sonraki momentumları toplamına eşittir.

$$\vec{P}_K + \vec{P}_L = \vec{P}_K' + \vec{P}_L'$$

$$m_K \cdot |\vec{v}_K| + m_L \cdot |\vec{v}_L| = m_K \cdot |\vec{v}_K'| + m_L \cdot |\vec{v}_L'|$$

$$10 \cdot 14 + 6 \cdot (-2) = 10 \cdot |\vec{v}_K'| + 6 \cdot |\vec{v}_L'|$$

$$128 = 10 \cdot |\vec{v}_K'| + 6 \cdot |\vec{v}_L'| \quad (I)$$

Bilyelerin çarpışmadan önceki hızlarının toplamı, çarpışmadan sonraki hızlarının toplamına eşit olacağından

$$(\vec{v}_K + \vec{v}_L) = (\vec{v}_K' + \vec{v}_L')$$

$$(14 + |\vec{v}_K'|) = (|\vec{v}_L'| + (-2))$$

$$|\vec{v}_K'| - |\vec{v}_L'| = -16$$

$$|\vec{v}_K'| = -16 + |\vec{v}_L'| \quad (II)$$

(II) eşitliği (I) eşitliğinde yerine yazılırsa

$$128 = 10 \cdot (-16 + |\vec{v}_L'|) + 6 \cdot |\vec{v}_L'|$$

$$128 = -160 + 10 \cdot |\vec{v}_L'| + 6 \cdot |\vec{v}_L'|$$

$$288 = 16 \cdot |\vec{v}_L'| \quad |\vec{v}_L'| = 18 \frac{m}{s} \text{ bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 51

Kütleleri eşit olan A ve B bilyeleri şekilde verilen yön ve hızlarla ilerlerken esnek çarpışma yapmaktadır.



Buna göre çarpıştıktan sonra hızlarının yönü ve büyüklüğü ne olur?

Cevap



Örnek: Kütleleri sırasıyla 4 kg ve 2 kg olan P ve S toplarının hızlarının büyüklüğü sırasıyla 14 m/s ve 8 m/s'dir.

Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda P ve S topları merkezi esnek çarpışır. Çarpışmadan sonra S topunun hızı kaç m/s olur?



Çözüm:

$$\vec{P}_p + \vec{P}_s = \vec{P}'_p + \vec{P}'_s$$

$$m_p \cdot |\vec{v}_p| + m_s \cdot |\vec{v}_s| = m_p \cdot |\vec{v}'_p| + m_s \cdot |\vec{v}'_s|$$

$$4 \cdot 14 + 2 \cdot 8 = 4 \cdot |\vec{v}'_p| + 2 \cdot |\vec{v}'_s|$$

$$72 = 4 \cdot |\vec{v}'_p| + 2 \cdot |\vec{v}'_s| \quad (I)$$

$$(\vec{v}_p + \vec{v}'_p) = (\vec{v}'_s + \vec{v}_s)$$

$$(14 + |\vec{v}'_p|) = (|\vec{v}'_s| + 8)$$

$$|\vec{v}'_p| - |\vec{v}'_s| = 8 - 14$$

$$|\vec{v}'_p| - |\vec{v}'_s| = -6$$

$$|\vec{v}'_p| = -6 + |\vec{v}'_s| \quad (II)$$

(II) eşitliği (I) eşitliğinde yerine yazılırsa

$$72 = 4 \cdot (-6 + |\vec{v}'_s|) + 2 \cdot |\vec{v}'_s|$$

$$72 = -24 + 4 \cdot |\vec{v}'_s| + 2 \cdot |\vec{v}'_s|$$

$$96 = 6 \cdot |\vec{v}'_s|$$

$$|\vec{v}'_s| = 16 \frac{m}{s} \text{ bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 52

Sürtünmelerin ihmal edildiği bilardo masasındaki v hızı ile hareket eden beyaz top durmakta olan kırmızı top ile merkezî esnek çarpışma yapmaktadır.



Buna göre çarpışma sonrasında beyaz topun hızı nedir?

(Bilardo toplarının kütleleri eşit alınacaktır.)

Cevap



İki boyutta sürtünmelerin ihmal edildiği ortamlarda gerçekleşen merkezî esnek çarpışmalar Şekil 1.98'de verildiği gibi aynı düzlemde, farklı doğrultuda, yatayla α ve β açısı yapacak şekilde, $\vec{v}_K$ ve $\vec{v}_L$ hızlarıyla hareket eden K ve L cisimleri üzerinde incelenebilir. m_K ve m_L kütleli cisimlerin esnek çarpışması, kartezyen koordinat sisteminin O noktasında gerçekleşmektedir.

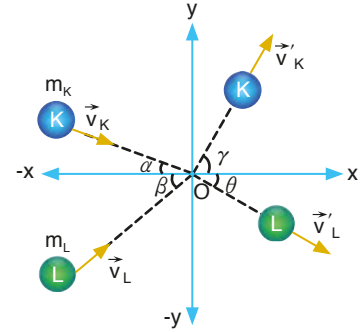
Çarpışmada çizgisel momentum korunumunun uygulanması için öncelikle K ve L cisimlerinin çarpışmadan önceki $\vec{P}_K$ ve $\vec{P}_L$ çizgisel momentumları bilinmesi gerekir. Cisimlerin çarpışma öncesindeki momentumları

$$\begin{aligned}\vec{P}_K &= m_K \cdot \vec{v}_K \\ \vec{P}_L &= m_L \cdot \vec{v}_L \text{ şeklindedir.}\end{aligned}$$

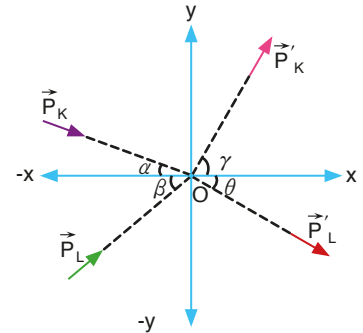
Cisimlerin çarpışmadan sonraki hızları $\vec{v}'_K$ ve $\vec{v}'_L$ alındığında, çarpışmadan sonraki çizgisel momentumları $\vec{P}'_K$ ve $\vec{P}'_L$

$$\begin{aligned}\vec{P}'_K &= m_K \cdot \vec{v}'_K \\ \vec{P}'_L &= m_L \cdot \vec{v}'_L \text{ olarak elde edilir.}\end{aligned}$$

Elde edilen $\vec{P}_K$, $\vec{P}_L$, $\vec{P}'_K$ ve $\vec{P}'_L$ çizgisel momentum vektörleri Şekil 1.99'da verildiği gibi çizilebilir.



Şekil 1.98: K ve L cisimlerinin merkezî esnek çarpışması



Şekil 1.99: Merkezî esnek çarpışma yapan cisimlerin çizgisel momentumlarının vektörel gösterimi

Çizgisel momentumun korunumu gereği Şekil 1.100'de verildiği gibi $\vec{P}_K + \vec{P}_L = \vec{P}'_K + \vec{P}'_L$ eşitliği vardır. Çizgisel momentum vektörlerinin Şekil 1.101'de verilen x ve y doğrultularındaki bileşenlerinin kendi aralarındaki toplamı da birbirine eşittir.

x doğrultularındaki bileşenlerinin eşitliğinden

$$\begin{aligned}\vec{P}_{Kx} + \vec{P}_{Lx} &= \vec{P}'_{Kx} + \vec{P}'_{Lx} \\ |\vec{P}_K| \cdot \cos \alpha + |\vec{P}_L| \cdot \cos \beta &= |\vec{P}'_K| \cdot \cos \gamma + |\vec{P}'_L| \cdot \cos \theta \\ m_K \cdot \vec{v}_K \cdot \cos \alpha + m_L \cdot \vec{v}_L \cdot \cos \beta &= m_K \cdot \vec{v}'_K \cdot \cos \gamma + m_L \cdot \vec{v}'_L \cdot \cos \theta\end{aligned}$$

eşitliğine, y doğrultularındaki bileşenlerinin eşitliğinden

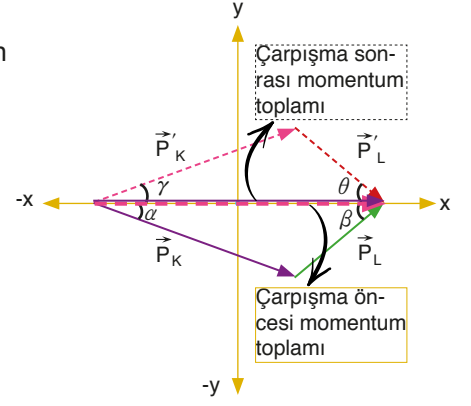
$$\begin{aligned}\vec{P}_{Ky} + \vec{P}_{Ly} &= \vec{P}'_{Ky} + \vec{P}'_{Ly} \\ -|\vec{P}_K| \cdot \sin \alpha + |\vec{P}_L| \cdot \sin \beta &= |\vec{P}'_K| \cdot \sin \gamma - |\vec{P}'_L| \cdot \sin \theta \\ -m_K \cdot |\vec{v}_K| \cdot \sin \alpha + m_L \cdot |\vec{v}_L| \cdot \sin \beta &= m_K \cdot |\vec{v}'_K| \cdot \sin \gamma - m_L \cdot |\vec{v}'_L| \cdot \sin \theta\end{aligned}$$

eşitliği elde edilir.

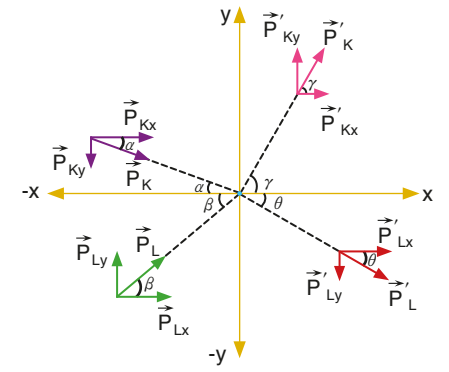
Hız, vektörel bir büyüklük olduğundan iki boyutta gerçekleşen esnek çarpışmada hız için elde edilen eşitlikler iki bileşenlidir.

K ve L cisimlerinin iki boyuttaki esnek çarpışmasında kinetik enerji korunumunu ifade etmek için çarpışma öncesi kinetik enerjileri E_{KK} , E_{KL} ; çarpışma sonrası kinetik enerjileri E'_{KK} ve E'_{KL} ile gösterilirse

$$\begin{aligned}E_{KK} + E_{KL} &= E'_{KK} + E'_{KL} \\ \frac{1}{2} \cdot m_K \cdot \vec{v}_K^2 + \frac{1}{2} \cdot m_L \cdot \vec{v}_L^2 &= \frac{1}{2} \cdot m_K \cdot \vec{v}'_K{}^2 + \frac{1}{2} \cdot m_L \cdot \vec{v}'_L{}^2 \\ m_K \cdot \vec{v}_K^2 + m_L \cdot \vec{v}_L^2 &= m_K \cdot \vec{v}'_K{}^2 + m_L \cdot \vec{v}'_L{}^2 \text{ eşitliğine ulaşılır.}\end{aligned}$$

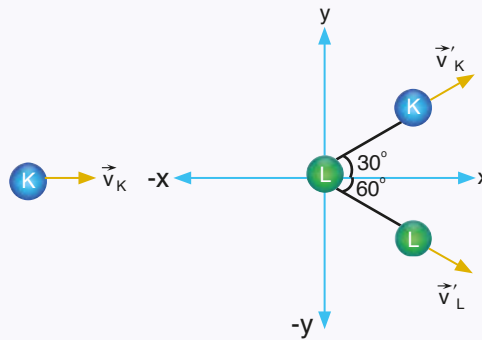


Şekil 1.100: Çarpışmadan önce ve sonra momentum toplamı



Şekil 1.101: Merkezî esnek çarpışmanın çizgisel momentum bileşenlerinin vektörel gösterimi

Örnek: Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda, durmakta olan 20 g kütleli L misketine 30 g kütleli K misketi 10 m/s hızla çarpmaktadır.



Merkezî esnek çarpışma şeklinde gerçekleşen çarpışma sonrası, K ve L misketlerinin $\vec{v}'_K$ ve $\vec{v}'_L$ hızlarının büyüklükleri nedir?

$$(\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = \frac{1}{2}, \sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2})$$

Çözüm: $m_K = 30 \text{ g} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$ $m_L = 20 \text{ g} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$

Çizgisel momentumun korunumu gereği K ve L'nin çarpışmadan önceki çizgisel momentumları $\vec{P}_K$ ve $\vec{P}_L$ ile çarpışmadan sonraki çizgisel momentumları $\vec{P}'_K$ ve $\vec{P}'_L$ toplamaları birbirine eşittir.

$$\vec{P}_K + \vec{P}_L = \vec{P}'_K + \vec{P}'_L$$

Çarpışmadan sonra K ve L farklı doğrultularda hareket ettiğinden çarpışma iki boyutta gerçekleşen bir çarpışmadır. Bu yüzden çarpışma öncesi ve sonrası x ve y doğrultularındaki momentum toplamaları kendi aralarında birbirine eşit olmalıdır. x doğrultularındaki çizgisel momentum eşitliğinden

$$\begin{aligned}\vec{P}_{Kx} + \vec{P}_{Lx} &= \vec{P}'_{Kx} + \vec{P}'_{Lx} \\ |\vec{P}_K| + 0 &= |\vec{P}'_K| \cdot \cos 30^\circ + |\vec{P}'_L| \cdot \cos 60^\circ \\ m_K \cdot |\vec{v}_K| &= m_K \cdot |\vec{v}'_K| \cdot \cos 30^\circ + |\vec{P}'_L| \cdot \cos 60^\circ \\ 3 \cdot 10^{-2} \cdot 10 &= 3 \cdot 10^{-2} \cdot |\vec{v}'_K| \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + 2 \cdot 10^{-2} \cdot |\vec{v}'_L| \cdot \frac{1}{2} \\ 30 &= 3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot |\vec{v}'_K| + |\vec{v}'_L| \quad (1)\end{aligned}$$

eşitliğine ulaşılır. Çizgisel momentumun korunumu y doğrultusu için uygulandığında

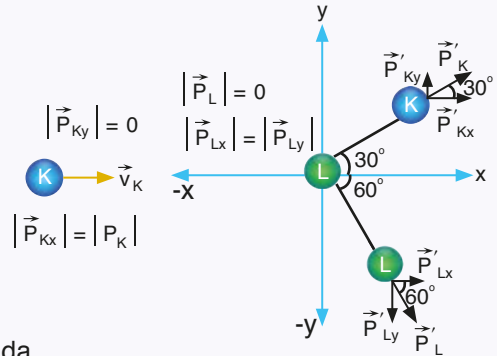
$$\begin{aligned}\vec{P}_{Ky} + \vec{P}_{Ly} &= \vec{P}'_{Ky} + \vec{P}'_{Ly} \\ 0 + 0 &= |\vec{P}'_K| \cdot \sin 30^\circ - |\vec{P}'_L| \cdot \sin 60^\circ \\ 0 &= m_K \cdot |\vec{v}'_K| \cdot \sin 30^\circ - m_L \cdot |\vec{v}'_L| \cdot \sin 60^\circ \\ 0 &= 3 \cdot 10^{-2} \cdot |\vec{v}'_K| \cdot \frac{1}{2} - 2 \cdot 10^{-2} \cdot |\vec{v}'_L| \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ 0 &= 3 \cdot |\vec{v}'_K| \cdot \frac{1}{2} - |\vec{v}'_L| \cdot \sqrt{3} \\ \frac{3}{2} \cdot |\vec{v}'_K| &= \sqrt{3} \cdot |\vec{v}'_L| \\ |\vec{v}'_K| &= \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot |\vec{v}'_L| \quad (2)\end{aligned}$$

eşitliği elde edilir. (2) eşitliği, (1) eşitliğinde kullanıldığında

$$\begin{aligned}30 &= 3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot |\vec{v}'_K| + |\vec{v}'_L| \\ 30 &= 3 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot |\vec{v}'_L| + |\vec{v}'_L| \\ 30 &= 4 \cdot |\vec{v}'_L| \text{ ise} \\ |\vec{v}'_L| &= \frac{15}{2} \text{ m/s olarak bulunur.}\end{aligned}$$

Elde edilen $|\vec{v}'_L|$ değeri (2) eşitliğinde kullanıldığında

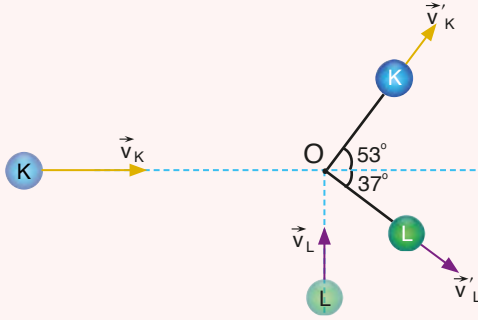
$$\begin{aligned}|\vec{v}'_K| &= \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot |\vec{v}'_L| \\ |\vec{v}'_K| &= \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{15}{2} \\ |\vec{v}'_K| &= 5\sqrt{3} \text{ m/s olarak bulunur.}\end{aligned}$$





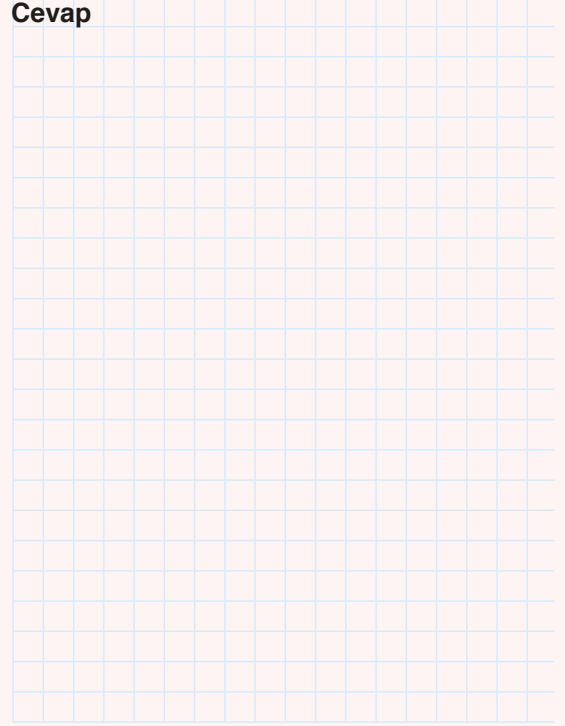
ÇALIŞMA KÖŞESİ 53

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda şekildeki gibi 10 m/s sabit hızla hareket eden 300 g kütleli K cismi ile 5 m/s sabit hızla hareket eden 100 g kütleli L cismi, O noktasında çarpışmaktadır.



Merkezî esnek çarpışma şeklinde gerçekleşen çarpışma sonrası K ve L cisimlerinin kazandıkları $\vec{v}_K$ ve $\vec{v}_L$ hız büyüklükleri nedir?
($\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$)

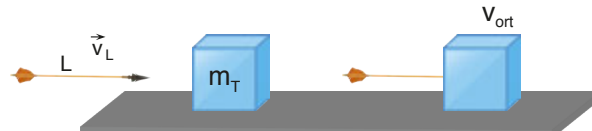
Cevap



Esnek Olmayan Çarpışmalar: Yalnız çizgisel momentumun korunduğu, çarpışma sonrası çarpışan cisimlerde şekil değişikliklerinin gözlemlendiği çarpışmalardır. Geçici şekil değişikliklerinin olduğu çarpışmalar ve çarpışma sonrasında cisimlerin birlikte hareket edecek şekilde gerçekleşen çarpışmalar **esnek olmayan çarpışma** olarak adlandırılır. Sünger bir topun yere çarpması ve ağaç takozla saplanan okun hareketini takozla birlikte sürdürdüğü çarpışmalar esnek olmayan çarpışmaya örnektir.

Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamlarda bir boyutta ve iki boyutta gerçekleşen esnek olmayan çarpışmalarda şekil değişikliği olduğundan kinetik enerji kaybı olur. Cisimlerin kazandıkları hız değerleri ile hareket yönleri çizgisel momentumun korunumu ilkesinden yararlanılarak bulunur.

Şekil 1.102'de verildiği gibi $\vec{v}_L$ hızıyla hareket ederek durmakta olan ve m_T kütleli takozla saplanan m_L kütleli okun takozla birlikte hareketindeki ortak hızları v_{ort} , momentumun korunumu ilkesi yardımıyla



Şekil 1.102: Tahta takozla saplanan L oku

$$m_L \cdot \vec{v}_L + m_T \cdot \vec{v}_T = (m_L + m_T) \cdot \vec{v}_{ort} \text{ eşitliğiyle bulunur.}$$

Örnek: Sürtünmesiz yatay ortamda durmakta olan 560 g kütleli B tahta blokuna, kütlesi 40 g olan A oku 30 m/s'lik hızla saplanmaktadır.



Tahta bloğun son hızı kaç m/s'dir?

Çözüm: Saplanma olayından önceki momentum değişimi, saplanma olayından sonraki momentum değişimine eşit olacağından

$$\begin{aligned}\Delta \vec{P}_{ilk} &= \Delta \vec{P}_{son} \\ m_A \cdot \vec{v}_A + m_B \cdot \vec{v}_B &= (m_A + m_B) \cdot \vec{v}_{ort} \\ 4 \cdot 10^{-2} \cdot 30 + 56 \cdot 10^{-2} \cdot 0 &= (4 \cdot 10^{-2} + 56 \cdot 10^{-2}) \cdot |\vec{v}_{ort}| \\ 12 \cdot 10^{-1} &= 6 \cdot 10^{-1} \cdot \vec{v}_{ort} \\ |\vec{v}_{ort}| &= \frac{12}{6} \\ |\vec{v}_{ort}| &= 2 \text{ m/s bulunur.}\end{aligned}$$

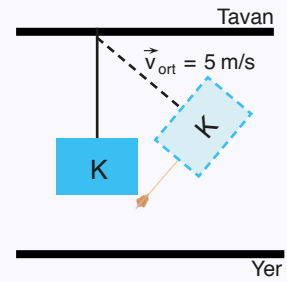
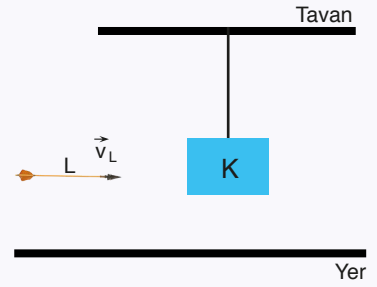
Örnek: 1200 g kütleli, tavana asılmış ve durmakta olan K tahta bloğuna, kütlesi 200 g ve hızı 35 m/s olan L oku saplanarak K tahta bloğu denge durumundan h kadar yükselmektedir. **h yüksekliği kaç m'dir?** ($g = 10 \text{ m/s}^2$)

Çözüm: Öncelikle birim dönüşümleri yapılmalıdır. Buna göre $1200 \text{ g} = 12 \cdot 10^{-1} \text{ kg}$, $200 \text{ g} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ kg}$ yazılır. Saplanma olayından önceki momentum değişimi, saplanma olayından sonraki momentum değişimine eşit olacağından

$$\begin{aligned}\Delta \vec{P}_{ilk} &= \Delta \vec{P}_{son} \\ m_L \cdot \vec{v}_L + m_K \cdot \vec{v}_K &= (m_L + m_K) \cdot \vec{v}_{ort} \\ 2 \cdot 10^{-1} \cdot 35 + 12 \cdot 10^{-1} \cdot 0 &= (2 \cdot 10^{-1} + 12 \cdot 10^{-1}) \cdot |\vec{v}_{ort}| \\ 7 &= 14 \cdot 10^{-1} \cdot \vec{v}_{ort} \\ |\vec{v}_{ort}| &= \frac{7}{14 \cdot 10^{-1}} = 5 \text{ m/s bulunur.}\end{aligned}$$

Enerji korunumu olacağından K tahta blokun çıktığı h yüksekliği

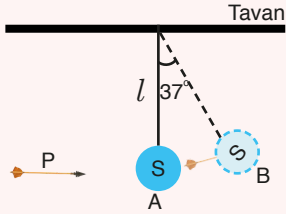
$$\begin{aligned}\frac{1}{2} \cdot (m_L + m_K) \cdot v_{ort}^2 &= (m_L + m_K) \cdot g \cdot h \\ \frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 10^{-1} + 12 \cdot 10^{-1}) \cdot 5^2 &= (2 \cdot 10^{-1} + 12 \cdot 10^{-1}) \cdot 10 \cdot h \\ \frac{1}{2} \cdot 14 \cdot 10^{-1} \cdot 5^2 &= 14 \cdot 10^{-1} \cdot 10 \cdot h \\ 12,5 &= 10 \cdot h \\ h &= \frac{12,5}{10} = 1,25 \text{ m bulunur.}\end{aligned}$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 54

m kütleli P oku, l uzunluğundaki ipe bağlı, $2m$ kütleli, hareketsiz S topuna v hızı ile saplanmaktadır.

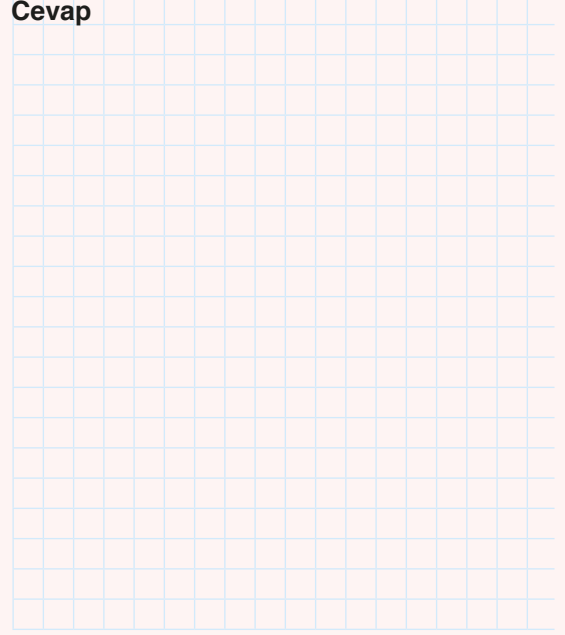


S topu, A konumundan B konumuna geldiğine göre

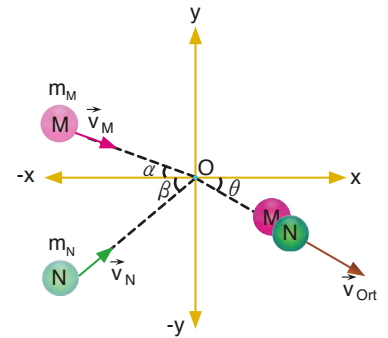
- Ortak hızlarının en büyük değeri kaç v 'dir?
- Ortak hızlarının en büyük değerini l cinsinden ifade ediniz.

$$(\sin 37^\circ = 0,6; \sin 53^\circ = 0,8; |\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$$

Cevap



Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamlarda, iki boyutta gerçekleşen esnek olmayan çarpışmalar Şekil 1.103'te verildiği gibi aynı düzlemde, farklı doğrultuda $\vec{v}_M$ ve $\vec{v}_N$ hızlarıyla hareket eden M ve N cisimleri üzerinde incelenebilir. Kütleleri m_M ve m_N olan cisimler, kartezyen koordinat sisteminin O noktasında gerçekleşen esnek olmayan çarpışma sonrası birlikte hareket etmektedir.



Şekil 1.103: M ve N cisimlerinin iki boyutta gerçekleşen esnek olmayan çarpışmaları

Esnek olmayan çarpışmalarda çizgisel momentumunun korunumunu uygulamak için esnek çarpışmalara benzer bir yaklaşımla M ve N cisimlerinin çarpışmadan önceki $\vec{P}_M$ ve $\vec{P}_N$ çizgisel momentumları

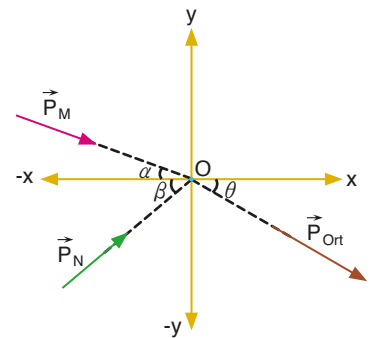
$$\vec{P}_M = m_M \cdot \vec{v}_M$$

$$\vec{P}_N = m_N \cdot \vec{v}_N$$

olarak elde edilir. Çarpışmadan sonraki birlikte hareket için hız $\vec{v}_{ort}$, çizgisel momentum $\vec{P}_{ort}$ ile gösterildiğinde ise

$$\vec{P}_{ort} = (m_M + m_N) \cdot \vec{v}_{ort} \text{ elde edilir.}$$

Elde edilen $\vec{P}_M$, $\vec{P}_N$ ve $\vec{P}_{ort}$ çizgisel momentum vektörleri Şekil 1.104'te verildiği gibi çizilebilir.



Şekil 1.104: M ve N cisimlerinin çarpışmadan önceki ve sonraki çizgisel momentum vektörleri

Çizgisel momentumun korunumu gereği

$\vec{P}_M + \vec{P}_N = \vec{P}_{ort}$ olacağından çizgisel momentum vektörlerinin Şekil 1.105'te verilen x ve y doğrultularındaki bileşenlerinin kendi aralarındaki toplamları da birbirine eşittir.

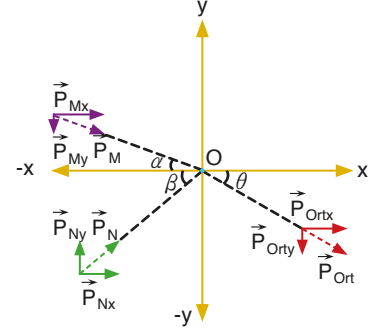
x doğrultularındaki bileşenlerinin eşitliğinden

$$\begin{aligned}\vec{P}_{Mx} + \vec{P}_{Nx} &= \vec{P}_{ortx} \\ |\vec{P}_M| \cdot \cos \alpha + |\vec{P}_N| \cdot \cos \beta &= |\vec{P}_{ort}| \cdot \cos \theta \\ m_M \cdot |\vec{v}_M| \cdot \cos \alpha + m_N \cdot |\vec{v}_N| \cdot \cos \beta &= (m_M + m_N) \cdot |\vec{v}_{ort}| \cdot \cos \theta\end{aligned}$$

y doğrultularındaki bileşenlerinin eşitliğinden

$$\begin{aligned}\vec{P}_{My} + \vec{P}_{Ny} &= \vec{P}_{orty} \\ -|\vec{P}_M| \cdot \sin \alpha + |\vec{P}_N| \cdot \sin \beta &= -|\vec{P}_{ort}| \cdot \sin \theta \\ -m_M \cdot |\vec{v}_M| \cdot \sin \alpha + m_N \cdot |\vec{v}_N| \cdot \sin \beta &= -(m_M + m_N) \cdot |\vec{v}_{ort}| \cdot \sin \theta\end{aligned}$$

eşitliği elde edilir.



Şekil 1.105: $\vec{P}_M$ ve $\vec{P}_N$ momentum vektörlerinin x ve y doğrultusundaki bileşenlerinin gösterimi

Örnek: Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda, şekildeki gibi sabit 15 m/s sabit hızla hareket eden 400 g kütleli X hamuru ile $\vec{v}_Y$ sabit hızıyla hareket eden, 600 g kütleli Y hamuru, O noktasında çarpışmaktadır.

Tam esnek olmayan çarpışma şeklinde gerçekleşen çarpışma sonrası, cisimler kenetlenerek yatayla 37° açı yapacak şekilde hareket etmektedir.

a) $\vec{v}_{ort}$ hızının büyüklüğü kaç m/s'dir?

b) Hamurun çarpışma öncesi sahip olduğu $\vec{v}_Y$ hızının büyüklüğü kaç m/s'dir?

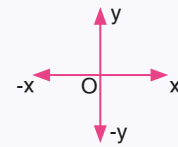
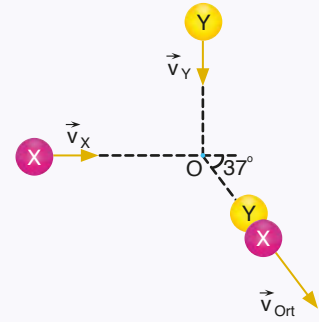
$$(\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6; \sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8)$$

Çözüm: $m_X = 400 \text{ g} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ kg}$ $m_Y = 600 \text{ g} = 6 \cdot 10^{-1} \text{ kg}$

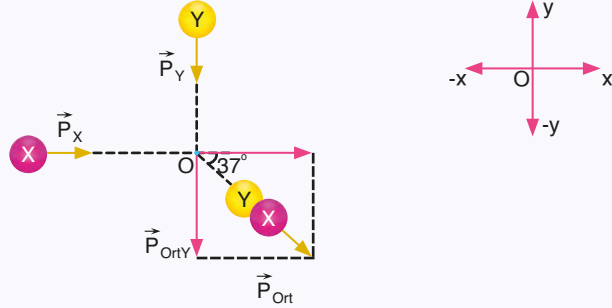
a) Çarpışma öncesi yalnız X cisminin x doğrultusunda, Y hamurunun da y doğrultusunda çizgisel momentumu vardır.

Bu yüzden çarpışma sonrası x doğrultusunda oluşacak çizgisel momentum, X cisminin çizgisel momentumuna eşitlenerek

$$\begin{aligned}\vec{P}_X &= \vec{P}_{ortX} \\ m_X \cdot |\vec{v}_X| &= (m_X + m_Y) \cdot |\vec{v}_{ort}| \cdot \cos 37^\circ \\ 4 \cdot 10^{-1} \cdot 15 &= (4 \cdot 10^{-1} + 6 \cdot 10^{-1}) \cdot |\vec{v}_{ort}| \cdot 0,8 \\ 4 \cdot 15 &= (4 + 6) \cdot |\vec{v}_{ort}| \cdot 0,8 \\ |\vec{v}_{ort}| &= \frac{60}{8} \\ |\vec{v}_{ort}| &= 7,5 \text{ m/s olarak bulunur.}\end{aligned}$$



- b) Çarpışma sonrası y doğrultusunda oluşacak çizgisel momentum, Y cisminin çizgisel momentumuna eşitlenerek

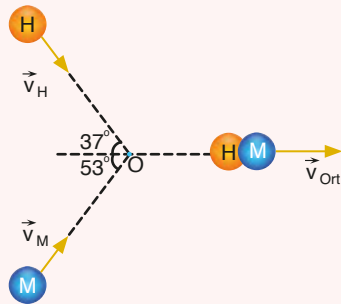


$$\begin{aligned}\vec{P}_Y &= \vec{P}_{ortY} \\ m_Y \cdot |\vec{v}_Y| &= (m_X + m_Y) \cdot |\vec{v}_{ort}| \cdot \sin 37^\circ \\ 6 \cdot 10^{-1} \cdot |\vec{v}_Y| &= (4 \cdot 10^{-1} + 6 \cdot 10^{-1}) \cdot 7,5 \cdot 0,6 \\ 6 \cdot |\vec{v}_Y| &= 10 \cdot 7,5 \cdot 0,6 \\ |\vec{v}_Y| &= 7,5 \text{ m/s olarak bulunur.}\end{aligned}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 55

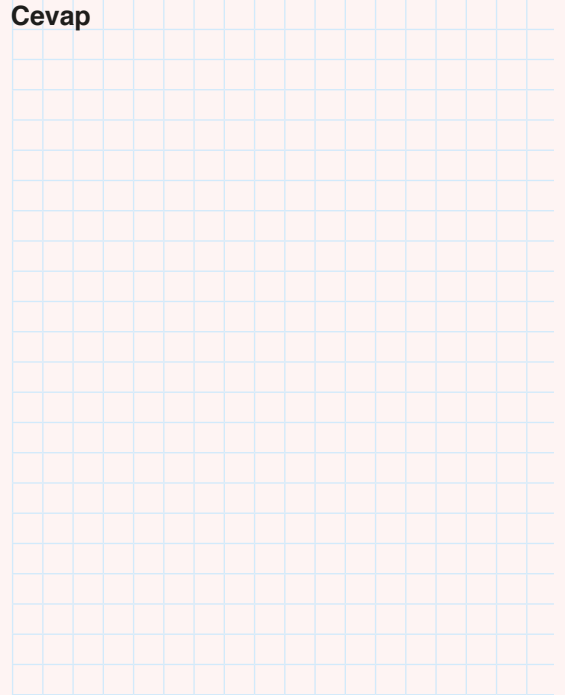
Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda 20 m/s büyüklüğünde sabit hızla hareket eden 400 g kütleli H hamuru ile $\vec{v}_M$ sabit hızıyla hareket eden 100 g kütleli M hamuru, O noktasında esnek olmayan çarpışma yapmaktadır.



Çarpışma sonrası cisimler kenetlenerek x doğrultusunda hareket ettiklerine göre ortak hızları $\vec{v}_{ort}$ kaç m/s'dir?

($\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$)

Cevap



Patlamalar

Taş ocaklarında ya da yol yapımı çalışmalarında kullanılan dinamitin etkisiyle iç patlamalar oluşur. Patlama sonucu taş parçaları (Görsel 1.28) ve (Görsel 1.29) etrafa gelişigüzel dağılmaz. Patlama olaylarından sonra parçacıklar, çizgisel momentumun korunumu ilkesine uyacak şekilde hareket eder. Kuşkusuz patlama olaylarında, parçacıkların hareketi uzayda her yöne olacaktır.

Ancak bu bölümde yalnız bir ve iki boyutta gerçekleşen olaylar incelenecektir.



Görsel 1.28: İç patlama sonucu etrafa saçılan taş parçaları



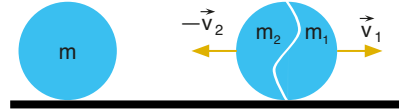
Görsel 1.29: Patlama sonucu kopan taş parçaları

Yatay düzlemde durmakta olan Şekil 1.106'daki m kütleli cismin iç patlama sonucu, m_1 ve m_2 kütlelerine ayrılarak ilk hareket doğrultusunda hareket edecek şekilde gerçekleştiğinde bir boyutta patlama örneğidir. Patlama sonucu m_1 ve m_2 kütlelerinin kazandıkları $\vec{v}_1$ ve $\vec{v}_2$ hızları zıt yönlerde olup büyüklükleri, momentum toplamını sıfır yapacak değerdedir. Çünkü patlama öncesi durduğu için çizgisel momentumu sıfır olan cismin patlama sonrası da toplam çizgisel momentum değerinin sıfır olması gerekir. Açıklamalar doğrultusunda m kütleli cismin patlamadan önceki çizgisel momentumu $\vec{P}$, patlamadan sonra oluşan m_1 kütlelerinin çizgisel momentumu $\vec{P}_1$ ve m_2 kütlelerinin çizgisel momentumu $\vec{P}_2$ 'nin toplamına eşittir. Bu durumda

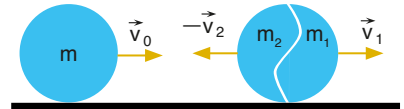
$$\begin{aligned}\vec{P} &= \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \\ m \cdot \vec{v}_0 &= m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 \\ 0 &= m_1 \cdot |\vec{v}_1| - m_2 \cdot |\vec{v}_2| \\ m_1 \cdot |\vec{v}_1| &= m_2 \cdot |\vec{v}_2| \quad \text{eşitliği elde edilir.}\end{aligned}$$

Elde edilen eşitlik m kütleli cismin patlama öncesi durması şartıyla elde edilmişti. Cisim patlamadan önce $\vec{v}_0$ hızı ile Şekil 1.107'deki verildiği gibi hareket hâlindeyse

$$\begin{aligned}\vec{P} &= \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \\ m \cdot \vec{v}_0 &= m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 \\ m \cdot |\vec{v}_0| &= m_1 \cdot |\vec{v}_1| + m_2 \cdot |\vec{v}_2| \quad \text{bulunur.}\end{aligned}$$

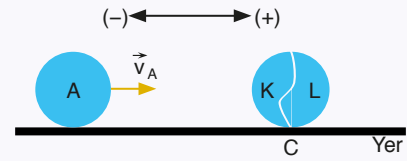


Şekil 1.106: Durmakta olan m kütleli cismin iç patlama sonucu m_1 ve m_2 kütleli cisimlere ayrılması



Şekil 1.107: $\vec{v}_0$ ilk hızına sahip m kütleli cismin iç patlama sonucu m_1 ve m_2 kütleli cisimlere ayrılması

Örnek: Kütlesi 150 g olan A cismi 30 m/s'lik sabit hızla hareket etmektedir. Bir süre sonra C noktasına geldiğinde iç patlama geçirip K ve L olarak iki parçaya ayrılmaktadır.



İç patlama sonunda kütlesi 100 g olan L parçası (+) yönde 75 m/s hız kazandığına göre K parçasının kazanacağı hızın yön ve büyüklüğü kaç m/s'dir?
(İç patlama sonucu kütle kaybı olmamaktadır.)

Çözüm: Öncelikle verilen kütle değerleri için birim dönüşümleri yapılmalıdır. Buna göre $150 \text{ g} = 15 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$, $100 \text{ g} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ kg}$ yazılır. İç patlama sonucu toplam kütle değişmeyeceği için K parçasının kütlesi $15 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-1} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ kg}$ olmalıdır. Momentum eşitliği yazıldığında K parçasının hızı

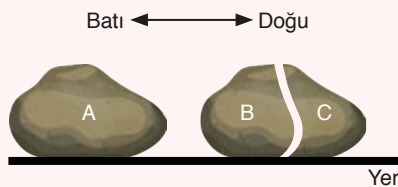
$$\begin{aligned}\vec{P}_A &= \vec{P}_L + \vec{P}_K \\ m \cdot \vec{v}_A &= m_L \cdot \vec{v}_L + m_K \cdot \vec{v}_K \\ 15 \cdot 10^{-2} \cdot 30 &= 1 \cdot 10^{-1} \cdot 75 + 5 \cdot 10^{-2} \cdot |\vec{v}_K| \\ 45 \cdot 10^{-1} &= 75 \cdot 10^{-1} + 5 \cdot 10^{-2} \cdot |\vec{v}_K| \\ -30 \cdot 10^{-1} &= 5 \cdot 10^{-2} \cdot |\vec{v}_K| \\ |\vec{v}_K| &= -60 \text{ m/s olarak bulunur.}\end{aligned}$$

Sonuç negatif (-) çıktığından K parçası (-) yönde 60 m/s'lik hızla hareket eder.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 56

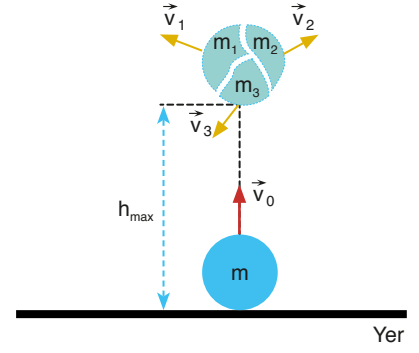
Sürtünmelerin ihmal edildiği bir ortamda durmakta olan 5 kg kütleli A taş parçası, iç patlama sonucu kütleleri sırasıyla 3 kg ve 2 kg olan B ve C parçalarına ayrılmaktadır.



C taş parçası, doğu yönünde 30 m/s hızla giderken B taş parçasının hızı ve yönü nedir?

Cevap

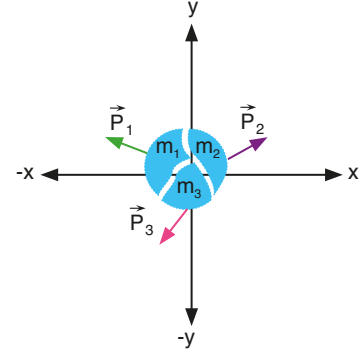
Kütlesi m olan bir cisim Şekil 1.108'de verildiği gibi aşağıdan yukarı $\vec{v}_0$ hızı ile atılmaktadır. Cisim çıkabileceği maksimum yükseklikte patlayıp; m_1 , m_2 ve m_3 gibi üç parçaya ayrılmaktadır. Parçalar, hareket doğrultularının oluşturduğu düzlemde kalacak şekilde hareket ettiğinde patlama, iki boyutta gerçekleşmiş olur.



Şekil 1.108: Aşağıdan yukarıya doğru atılan m kütleli cismin maksimum yükseklikte üç parçaya ayrılması

Patlamalardaki çizgisel momentumun korunumu gereği, patlama sonucu oluşan m_1 , m_2 ve m_3 kütleleri yatayla, α , β ve θ açısı yapacak şekilde hareket eder. Patlama anındaki hız sıfır olduğundan kütlelerin $\vec{v}_1$, $\vec{v}_2$ ve $\vec{v}_3$ hızlarının büyüklükleri, çizgisel momentum toplamını sıfır yapacak değerler alır.

m kütleli cismin patlamadan önceki çizgisel momentum değeri P ; patlamadan sonra oluşan m_1 kütlelerinin çizgisel momentumu $\vec{P}_1$; m_2 kütlelerinin $\vec{P}_2$ ve m_3 kütlelerinin $\vec{P}_3$ olsun. P , $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ ve $\vec{P}_3$ çizgisel momentum değerleri arasındaki ilişkiyi iki boyutta incelemek için orijini tepe noktasına gelecek şekilde çizilen x-y kartezyen koordinat sistemi kullanılarak Şekil 1.109 da verilen parçaların momentum bileşenleri Şekil 1.110 daki gibi çizilebilir.



Şekil 1.109: İç patlama sonucu üç parçaya ayrılan m kütleli cismin çizgisel momentum vektörleri

Çizgisel momentumun korunumu gereği

$$\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3$$

$$0 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 \text{ toplamı sıfıra eşittir.}$$

Bu durumda, çizgisel momentum vektörlerinin x ve y doğrultularındaki bileşenlerinin kendi aralarındaki toplamaları da sıfır olmalıdır.

Bu açıklamalar doğrultusunda x bileşenlerinin toplamının sıfıra eşit olması gereği

$$0 = \vec{P}_{1x} + \vec{P}_{2x} + \vec{P}_{3x}$$

$$0 = \vec{P}_1 \cdot \cos \alpha + \vec{P}_2 \cdot \cos \beta + \vec{P}_3 \cdot \cos \theta$$

$$0 = m_1 \cdot \vec{v}_1 \cdot \cos \alpha + m_2 \cdot \vec{v}_2 \cdot \cos \beta + m_3 \cdot \vec{v}_3 \cdot \cos \theta$$

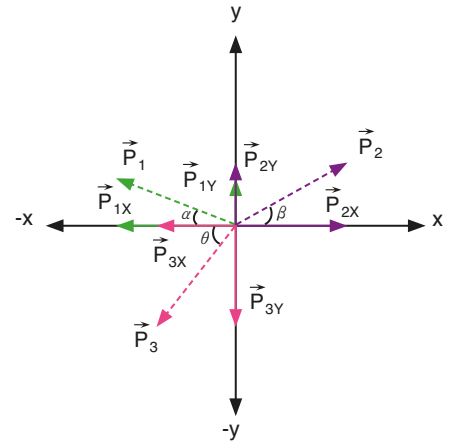
eşitliğine, y bileşenlerinin toplamının sıfıra eşit olması gereği de

$$0 = \vec{P}_{1y} + \vec{P}_{2y} + \vec{P}_{3y}$$

$$0 = \vec{P}_1 \cdot \sin \alpha + \vec{P}_2 \cdot \sin \beta + \vec{P}_3 \cdot \sin \theta$$

$$0 = m_1 \cdot \vec{v}_1 \cdot \sin \alpha + m_2 \cdot \vec{v}_2 \cdot \sin \beta + m_3 \cdot \vec{v}_3 \cdot \sin \theta$$

eşitliğine ulaşılır.



Şekil 1.110: $\vec{P}_1$, $\vec{P}_2$ ve $\vec{P}_3$ çizgisel momentum vektörlerinin bileşenleri

Örnek: 50 m/s hızla atılan 4 kg kütleli cisim, yatayla 53° açı yapmaktadır. Cisim maksimum yükseklikte iken oluşan bir iç patlama sonucu, 1 kg'lık m_1 , m_2 ve 2 kg'lık m_3 kütleli üç parçaya ayrılıyor. **1 kg kütleli m_1 ve m_2 parçaları yatayla 60° açı yapacak şekilde 120 m/s hızlarla ayrıldığına göre m_3 kütleli parça patlamadan kaç saniye sonra yere düşer?**

Çözüm:

1. YOL: Patlamanın gerçekleştiği anda cismin yerden yüksekliğini ve kaç saniye sonra patlayacağı Şekil I'de gösterildiği gibi, eğik atış hareketi bilgilerinden yararlanılarak

$$|\vec{v}_{0x}| = |\vec{v}_0| \cdot \cos 53^\circ$$

$$|\vec{v}_{0x}| = 50 \cdot 0,6 = 30 \text{ m/s}$$

$$|\vec{v}_{0y}| = |\vec{v}_0| \cdot \sin 53^\circ$$

$$|\vec{v}_{0y}| = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ m/s}$$

$$t_{\text{çık}} = \frac{|\vec{v}_{0y}|}{|g|} = \frac{40}{10}$$

$$t_{\text{çık}} = \frac{40}{10} = 4 \text{ sn}$$

$$h_{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_{\text{çık}}^2$$

$$h_{\text{max}} = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 4^2$$

$$h_{\text{max}} = 80 \text{ m olarak bulunur.}$$

Bu veriler yardımıyla cismin iç patlamasının,

$h_{\text{max}} = 80 \text{ m}$ yükseklikte, $t_{\text{çık}} = 2 \text{ s}$ sonra ve yatay $v_{0x} = 30 \text{ m/s}$ hıza sahip olduğu anda gerçekleştiği anlaşılmaktadır.

Çarpışma öncesi çizgisel momentum $\vec{P}_{\text{önce}}$, patlamadan sonra oluşan m_1 ve m_2 kütlelerinin çizgisel momentumları da sırasıyla

$$|\vec{P}_{\text{önce}}| = m \cdot |\vec{v}| = 4 \cdot 30 = 120 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$|\vec{P}_1| = m_1 \cdot |\vec{v}_1| = 1 \cdot 120 = 120 \text{ N} \cdot \text{s}$$

$$|\vec{P}_2| = m_2 \cdot |\vec{v}_2| = 1 \cdot 120 = 120 \text{ N} \cdot \text{s} \text{ bulunur.}$$

Çizgisel momentumlar, cismin O noktasına yerleştirilen x-y koordinat sisteminde gösterildiğinde Şekil II'de verildiği gibi oluşur.

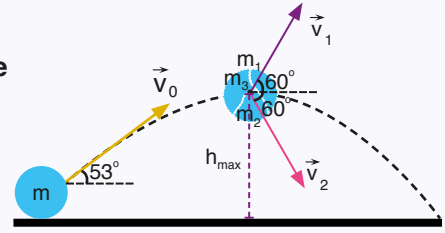
Patlama iki boyutta gerçekleştiğinden patlama öncesi ve sonrası x doğrultusundaki çizgisel momentum toplamı birbirine eşittir. Bu eşitlikten $m_3 = 2 \text{ kg}$ kütleli cismin x doğrultusundaki momentumu

$$\vec{P}_{\text{önce}x} = \vec{P}_{3x} + \vec{P}_{1x} + \vec{P}_{2x}$$

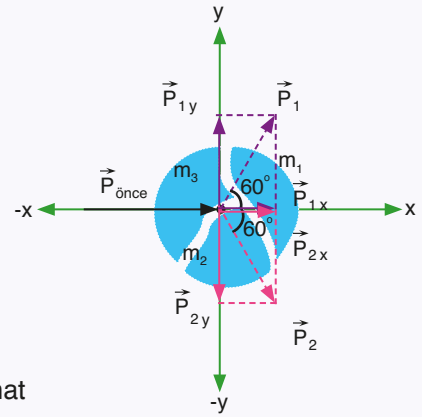
$$120 = |\vec{P}_{3x}| + |\vec{P}_1| \cdot \cos 60^\circ + |\vec{P}_2| \cdot \cos 60^\circ$$

$$120 = |\vec{P}_{3x}| + 120 \cdot \frac{1}{2} + 120 \cdot \frac{1}{2}$$

$$|\vec{P}_{3x}| = 0 \text{ sonucu elde edilir.}$$



Şekil I



Şekil II

Bu sonuca göre patlama sonrası oluşan m_1 kütleinin x doğrultusunda momentumu sıfır olduğundan bu doğrultuda hız da kazanmaz. Patlama öncesi ve sonrası y doğrultusundaki çizgisel momentum toplamalarının birbirine eşit olması gerektiğinden $m_3 = 2$ kg kütleli cismin y doğrultusundaki momentumu

$$\begin{aligned}\vec{P}_{\text{öncey}} &= \vec{P}_{3y} + \vec{P}_{1y} - \vec{P}_{2y} \\ 0 &= |\vec{P}_{3y}| + |\vec{P}_1| \cdot \cos 60^\circ - |\vec{P}_2| \cdot \cos 60^\circ \\ 0 &= |\vec{P}_{3y}| + 120 \cdot \frac{1}{2} - 120 \cdot \frac{1}{2} \\ |\vec{P}_{3y}| &= 0 \text{ sonucu elde edilir.}\end{aligned}$$

m_3 kütesinin y doğrultusunda da hız kazanmayacağı açıktır. Bu sonuca göre m_3 kütleli parça, patlamanın gerçekleştiği 80 m yükseklikten serbest düşme hareketi yapacağından patlamadan 4 s sonra yere düşer.

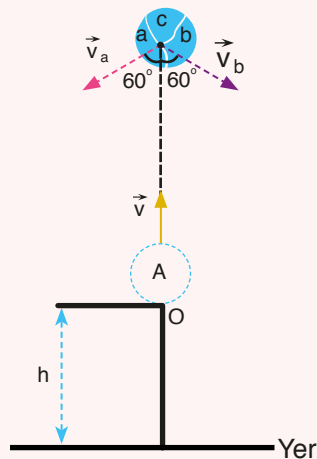
2. YOL:

Patlama sonrası oluşan $\vec{P}_1$ ve $\vec{P}_2$ çizgisel momentumları, 120 N·s büyüklükte ve aralarındaki açı 120° olduğundan bileşkeleri 120 N·s'dir. Patlama öncesi momentum $|\vec{P}_{\text{önce}}| = 120$ N·s olduğundan m_1 ve m_2 parçalarıyla momentum eşitliği sağlanmıştır. m_3 parçasının momentumu sıfır olacağından hız kazanmaz ve 80 m yükseklikten, serbest düşme hareketi yaparak 4 s sonra yere düşer.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 57

Yerden 5 m yükseklikteki O noktasından 30 m/s hızla düşey doğrultuda ve yukarı yönde 6 kg kütleli bir cisim atılmaktadır. Cisim, atıldıktan 2s sonra iç patlama sonucu eşit kütleli a, b ve c parçalarına ayrılmaktadır.



**a ve b parçaları düşeyle 60° açı yapan
10 m/s'lik hızlar kazandığına göre c parçası
patlamadan kaç saniye sonra yere düşer?**

Cevap

1.8. Tork

Günlük hayatta kuvvetin cisimler üzerinde en fazla görünen etkilerinden biri de döndürme etkisidir. Buzdolabı kapağını açmak için uygulanan kuvvetin (Görsel 1.30), araba kapılarını açmak için uygulanan kuvvetin (Görsel 1.31), konserve kapaklarını açmak için uygulanan kuvvetin (Görsel 1.32) etkileri örnek verilebilir.



Görsel 1.30: Açılan buzdolabı kapağı



Görsel 1.31: Açılan araba kapısı



Görsel 1.32: Açılmaya çalışılan kavanoz kapağı

Fizikte kuvvetin döndürme etkisine **tork** denir ve $\vec{\tau}$ ile sembolize edilir.

Torkun kuvvetten başka hangi değişkenlere bağlı olduğunu analiz etmek için aşağıdaki etkinliği yapınız.



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Torkun günlük hayattaki uygulaması

Etkinliğin Amacı: Torkun bağlı olduğu değişkenler

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, kâğıt, kalem

Yönerge

- Tork konulu simülasyon karekod olacak.
- Kitabı pdf dosya üzerinden inceliyorsanız “ekran görüntüsüne” tıklayınız.



- Simülasyonu “Oynat” tuşu ile başlatarak etkinliğin nasıl yapılacağı hakkında fikir sahibi olunuz.
- Simülasyona gidiniz “Go to sim”e tıklayarak simülasyonu başlatınız.
- Simülasyonda anne-kızın ağırlığı “W” ve tahterevalli üzerinde bulunduğu bölmeler “D” simgesi ile verilmiştir. Değerleri, kontrol panelini kullanarak değiştirilebilmektedir.

- Anne-kızın ağırlıkları için Tablo-1’de verilen (W) değerleri kullanarak denge durumlarının sağlandığı değerler (D) ile Tablo-1’i doldurunuz.

Tablo-1

Annenin (Mother) Ağırlığı (W_1)	Kızının (Sara) Ağırlığı (W_2)	Annenin (Mother) bulunduğu bölme (D_1)	Kızının (Sara) bulunduğu bölme (D_2)
3	2		
4	3		
1	4		

- Anne-kızın bulundukları bölmeyi (D) sabit tutarak denge durumlarının sağlandığı değerler ile Tablo-2’yi doldurunuz.

Tablo-2

Anne (Mother)’nin Ağırlığı (W_1)	Kızı (Sara)’nın Ağırlığı (W_2)	Anne (Mother)’nin bulunduğu bölme (D_1)	Kızı (Sara)’nın bulunduğu bölme (D_2)
		3	4
		2	3
		1	2

Sonuçlandırma

- Hangi durumlarda denge sağlanmıştır?
- Denge durumuna etki eden değişkenler nelerdir?

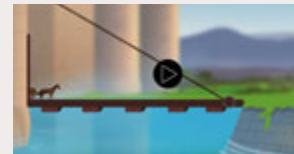
Tahterevalli simülasyonundan görüldüğü gibi denge, kuvvet olarak kullanılan ağırlıkların döndürme etkisi kullanılarak sağlanmaktadır.

Tork etkisinden yararlanmak için kullanılan herhangi bir kuvvetin uygulama noktasının dönme eksenine olan dik uzaklığına **kuvvet kolu** denir. Kuvvet kolunun uzunluğu genellikle **d** ile sembolize edilir. Tork, kuvvet ve kuvvet kolu ile doğru orantılıdır.



MERAKLISINA

Kuvvetin döndürme etkisi konulu simülasyon



Kuvvetin döndürme etkisinden yararlanmak için kahve değirmenlerinde manivela görevi yapan çevirme kollarının uzayacak şekilde tasarlanması (Görsel 1.33), bijon anahtarlarının kollarının uzun olması (Görsel 1.34), bisiklet pedallarının bisiklete pedal kolu ile bağlı olması (Görsel 1.35) torkun etkisini artırmak içindir.



Görsel 1.33: Kahve el değirmeni



Görsel 1.34: Uzatılan bijon anahtarı



Görsel 1.35: Bisiklet pedalı

Tork, F ve d ile doğru orantılı olduğundan Şekil 1.111'de verildiği gibi bir ucu O noktası etrafında dönebilen, d uzunluğundaki ağırlıksız bir çubuğa dik olarak diğer ucundan $\vec{F}$ kuvveti uygulandığında elde edilen tork

$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F} \text{ eşitliğiyle bulunur.}$$

Eşitlikten de anlaşılacağı gibi kuvvet ile uzunluğun çarpımı ile elde edilen torkun SI'daki birimi $N \cdot m$ 'dir.

Kuvvetin d ile α açısı yapacak şekilde uygulanması durumunda oluşacak torkun büyüklüğü iki yolla hesaplanabilir.

1. Yol: Kuvveti bileşenlerine ayırıp, d 'ye dik olan bileşeni kullanarak yapılan tork hesabıdır. Şekil 1.112'de verildiği gibi $\vec{F}$ kuvveti bileşenlerine ayrıldığında, d 'ye dik olan bileşen F_y olduğundan torkun büyüklüğü

$$\tau = d \cdot F_y$$

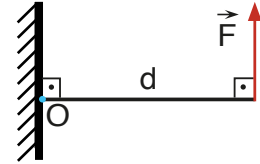
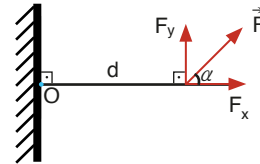
$$\tau = d \cdot F \cdot \sin \alpha \text{ eşitliği ile bulunur.}$$

2. Yol: Kuvvetin yön ve doğrultusu değiştirilmeden Şekil 1.113'te verildiği gibi doğrultusunu uzatarak d 'nin $\vec{F}$ 'ye dik bileşenini kullanarak yapılan tork hesabıdır. d 'nin $\vec{F}$ 'ye dik olan bileşeni, $d \cdot \sin \alpha$ olacağından torkun büyüklüğü

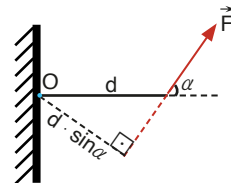
$$\tau = d \cdot \sin \alpha \cdot F \text{ olarak elde edilir.}$$

Yatay bileşeninin doğrultusu, dönme eksenini olan O noktasından geçtiğinden kuvvet kolu yoktur. Dönme eksenine olan dik uzaklığı sıfırdır.

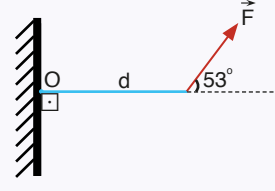
Bu yüzden tork oluşturmaz.

Şekil 1.111: d uzunluğundaki ağırlıksız bir çubuğa dik olarak etki eden $\vec{F}$ kuvveti

Şekil 1.112: Tork kuvvetinin bileşenlere ayrılması

Şekil 1.113: Doğrultusu uzatılmış $\vec{F}$ kuvvetinin gösterimi

Örnek: Ağırlığı önemsiz, 40 cm uzunluğundaki çubuğa 20 N büyüklüğündeki kuvvet, yatayla 53° açı ile uygulanmıştır. O noktasına göre F kuvvetinin çubuğa uygulayacağı torkun büyüklüğü kaç N·m'dir?
($\sin 53^\circ = 0,8$; $\cos 53^\circ = 0,6$)



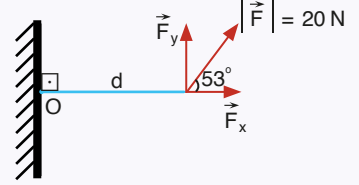
Çözüm: Öncelikle uzunluk için verilen değerin birim dönüşümü yapılmalıdır. Buna göre 40 cm = 0,4 m yazılır.

$$\tau = d \cdot F_y$$

$$\tau = d \cdot F \cdot \sin \alpha$$

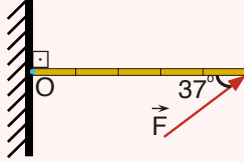
$$\tau = d \cdot F \cdot \sin 53^\circ$$

$$= 0,4 \cdot 20 \cdot 0,8 = 6,4 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 58

Her bölümünün uzunluğu 25 cm olan ağırlığı önemsiz çubuk, O noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir.



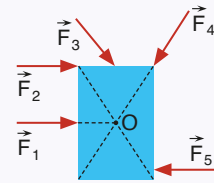
Çubuğa 40 N büyüklüğünde bir kuvvet 37° açıyla uygulanırsa O noktasına göre uygulayacağı tork kaç N·m'dir?
($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$)

Cevap



Örnek: O noktası etrafında dönebilen ağırlığı önemsiz levhaya, şekildeki kuvvetler etki etmektedir.

Tek başına uygulandığında hangi kuvvetlerin levhayı döndürme etkisi vardır?



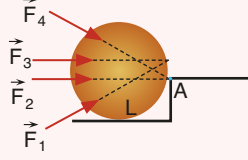
Çözüm: Şekilde verilen kuvvetlerden $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetlerinin uzantıları, dönme ekseninden geçtiğinden $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetlerinin torku sıfırdır.

$\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_5$ kuvvetlerinin döndürme etkileri vardır.



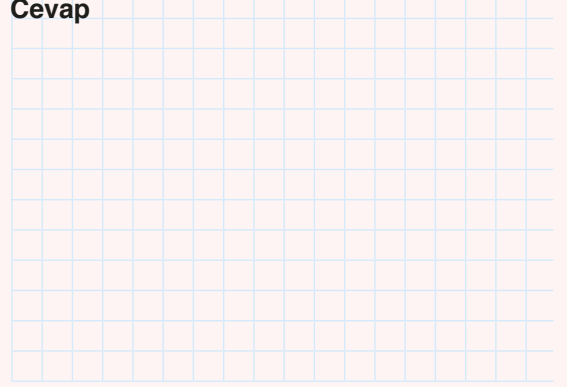
ÇALIŞMA KÖŞESİ 59

Şekilde ağırlığı G olan L küresi, A noktasına temas etmektedir.

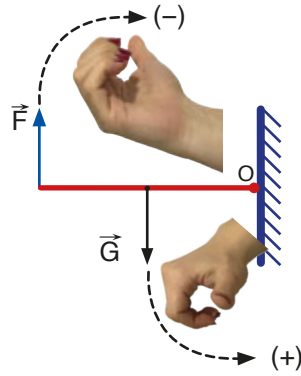


Küreye etki eden $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$ ve $\vec{F}_4$ kuvvetlerinden hangileri L küresini basamaktan tek başına çıkarabilir?

Cevap



Tork, iş ile aynı birimde olmasına rağmen bir enerji türü değildir. Vektörel bir büyüklüktür. Kuvvet etkisiyle dönen sistemlerin dönme yönü ile tork yönü birbirinden farklıdır. Dönme yönü olarak genellikle saat ibrelerinin hareket yönü referans alınır. Saat ibreleriyle aynı yönde olan dönmeler (-), saat ibrelerinin tersi yönündeki dönmeler ise (+) işareti ile gösterilir. Şekil 1.114'te verildiği gibi $\vec{F}$ kuvvetinin oluşturduğu tork etkisiyle (-) yönde dönen $\vec{G}$ ağırlıklı çubuk, yatay denge konumundayken $\vec{F}$ kuvveti ortadan kaldırıldığında (+) yönde döner.



Şekil 1.114: $\vec{F}$ kuvvetinin oluşturduğu tork etkisiyle (-) yönde dönen $\vec{G}$ ağırlıklı çubuk

Torkun yönünü bulmak için kullanılan sağ el kuralında sağ elin dört parmağı, dönme yönünde kıvrılarak avuç içi dönme eksenini gösterecek şekilde tutulduğunda açık olan baş parmak torkun yönünü gösterir. Bu durumda $\vec{F}$ kuvvetinin oluşturduğu tork, sayfa düzleminde bizden uzaklaşan yönde, içe doğru iken $\vec{G}$ 'nin oluşturacağı tork, sayfa düzleminde dışa doğrudur. İçe doğru olan tork yönü $\otimes$ şeklinde, dışa doğru olan ise $\odot$ şeklinde gösterilir.

Birden fazla kuvvet uygulanarak oluşturulan tork hesaplamalarında her kuvvetin oluşturacağı dönme yönleri (+) ve (-) ile işaretlenerek, toplama işlemi işaretlerine dikkat edilerek yapılır. Toplama işlemi sonunda elde edilen değer sıfır ise sistem dengededir. Torkun bağlı olduğu değişkenleri (kuvvet ve tork etkisi) analiz ederek günlük hayattaki birçok problem durumu yandaki araştırma köşesi ile incelenebilir.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 60

Duvarda asılı bulunan, çalışır durumdaki saatin yelkovanının tork yönünün zıt yönde olması için

- I. Aynı duvara ters asılabilir.
- II. Karşısındaki duvara düz asılabilir.
- III. Manuel olarak saat geri alınabilir.

yargılarından hangileri yapılabilir?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III D) I ve III E) I, II ve III**

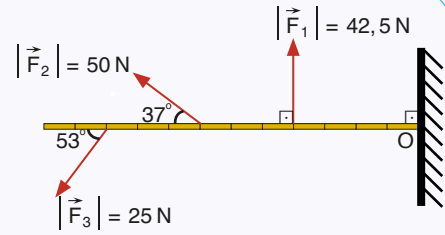


ARAŞTIRMA KÖŞESİ

- Kuvvet ile tork etkisini değiştirerek problemleri çözülebilecek ve hayatı kolaylaştıracak olayları belirleyiniz.
- Sınıf mevcuduna göre beşli gruplar hâlinde kuvvet ve tork etkisini değiştirerek hayatı kolaylaştıran en az beş olay durumu belirleyiniz.
- Belirlediğiniz problemlerin çözüm yollarını sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.
- Paylaşımlarınıza arkadaşlarınız tarafından getirilen tavsiyeleri, yeni fikirleri not alarak çözüm yollarınızı tekrar gözden geçiriniz.
- Grubunuzla beraber kitap, bilimsel dergi, Genel Ağ vb. kaynaklardan faydalananak bulduğunuz ve not ettiğiniz çözüm önerilerini zenginleştiriniz.
- Grupça belirlediğiniz olayları ve ürettiğiniz çözüm önerilerini araştırma sonuçlarınızla beraber bir sunum hâline getiriniz.
- Belirlediğiniz problem durumlarını ve çözüm önerilerini içeren araştırma sonuçlarınızı, 50-70 cm boyutunda bir karton üzerine işleyebilir veya elektronik sunu olarak hazırlayabilirsiniz. (Karton kullanılacak gruplara sunularını renkli kalem, kâğıt, sticker vb. materyallerle zenginleştirmeleri önerilir. Elektronik sunu hazırlamak isteyen gruplar sunum hazırlama programlarından faydalanabilir.)
- Öğretmen rehberliğinde, grup olarak belirlediğiniz problem durumlarını, çözüm yollarını ve araştırma sonuçlarınızı sınıftaki arkadaşlarınızla paylaşınız ve bulduğunuz çözüm yollarını sınıfta tartışınız.
- Sınıf içi tartışma sonucunda, ortaya çıkan fikirleri de sunumunuza ekleyip araştırmanıza son şeklini vererek öğretmeninize teslim ediniz.

Örnek: O noktası etrafında serbestçe dönebilen $\vec{G}$ ağırlıklı türdeş çubuk, şekildeki gibi $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetlerin etkisindeki cismin torku sıfırdır.

Homojen çubuğun ağırlığı kaç N'dır?

$$(\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8; \sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6)$$


Çözüm:

$$F_{2y} = 50 \cdot \sin 37^\circ$$

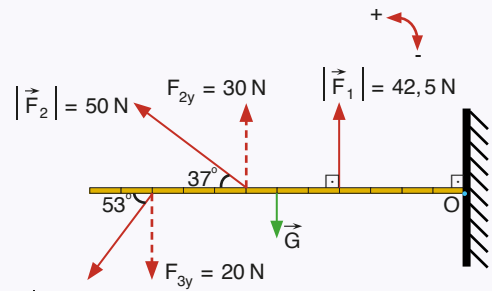
$$F_{2y} = 50.0,6$$

$$F_{2y} = 30 \text{ N}$$

$$F_{3y} = 25 \cdot \sin 53^\circ$$

$$F_{3y} = 25 \cdot 0,8$$

$$F_{3y} = 20 \text{ N}$$



$\vec{G}$ ağırlıklı çubuk, şekildeki gibi dengede ise çubuğa $|\vec{F}_3| = 25 \text{ N}$ etkiyen kuvvetlerin O noktasına göre torkları toplamı, sıfır olmalıdır. Ayrıca $\vec{F}_1$ ve F_{2y} kuvvetlerinin çubuğu (-) yönde, $\vec{G}$ ve F_{3y} kuvvetlerinin çubuğu (+) yönde döndürdüğü göz önüne alınıp O noktasına göre tork yazılırsa

$$F_{3y} \cdot 10 + |\vec{G}| \cdot 6 - F_{2y} \cdot 7 - |\vec{F}_1| \cdot 4 = 0$$

$$20 \cdot 10 + |\vec{G}| \cdot 6 = 30 \cdot 7 + 42,5 \cdot 4$$

$$200 + |\vec{G}| \cdot 6 = 210 + 170$$

$$6. \left| \vec{G} \right| = 380 - 200$$

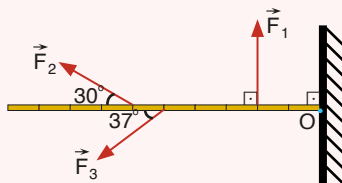
6. $|\vec{G}| = 180$

$$|\vec{G}| = 30 \text{ N bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 61

Ağırlığı, 20 N olan eşit bölmelendirilmiş türdeş çubuk, O noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir. Çubuğa şekildeki gibi $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri uygulanmaktadır.



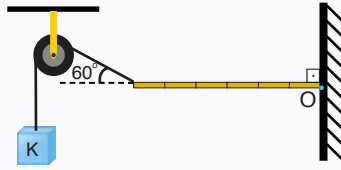
$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetlerinin büyüklükleri sırasıyla 35 N ve 30 N'dır. **Çubuğun dengede kalabilmesi için**

$\vec{F}_3$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N olmalıdır?

($\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$; $\sin 37^\circ = 0,6$)

Cevap

Örnek: Ağırlığı $\vec{G}$ olan ve O noktası etrafında serbestçe döneabilen eşit bölmelendirilmiş homojen türdeş çubuk, kütlesi 3 kg olan K cismi ile dengelenmiştir.



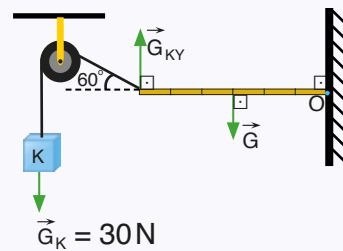
Çubuğun ağırlığı kaç N'dır?

$$(\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}, |\vec{g}| = 10 \text{ N/kg})$$

Çözüm: $\vec{G}_K$ 'nın düşey bileşeni bulunup O noktasına göre tork alınırsa

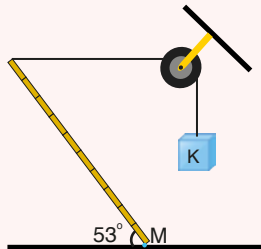
$$\begin{aligned} G_{Ky} &= m_K \cdot |\vec{g}| \cdot \sin 60^\circ \\ &= 3 \cdot 10 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ &= 15\sqrt{3} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3 \cdot |\vec{G}| &= 6 \cdot G_{ky} \\ 3 \cdot |\vec{G}| &= 6 \cdot 15\sqrt{3} \\ |\vec{G}| &= 30 \cdot \sqrt{3} \text{ N bulunur.} \end{aligned}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 62

$\vec{G}$ ağırlıklı ve eşit bölmelendirilmiş homojen çubuk, M noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir.



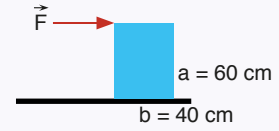
Çubuk K cismi ile dengelendiğine göre çubuğun ağırlığının K cisminin ağırlığına oranı kaçtır?

$$(\sin 53^\circ = 0,8; \cos 53^\circ = 0,6; |\vec{g}| = 10 \text{ N/kg})$$

Cevap

Örnek: Ağırlığı 60 N ve boyutları a ve b olan içi dolu kutu $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak a kenarı üzerine devrilmek istenmektedir.

Uygulanacak $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü en az kaç N olmalıdır?



Çözüm: Kutunun a yüzeyinin üzerine devrilmesi için S noktasına göre $\vec{F}$ ve $\vec{G}$ 'nin torkları birbirine eşit olacağından

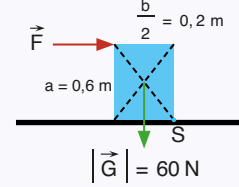
$$\vec{F} \cdot a = \vec{G} \cdot \frac{b}{2}$$

$$|\vec{F}| \cdot 0,6 = 60 \cdot \frac{0,4}{2}$$

$$|\vec{F}| \cdot 0,6 = 12$$

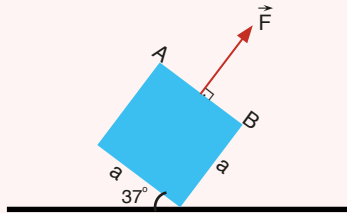
$$= \frac{12}{0,6}$$

$$|\vec{F}| = 20 \text{ N bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 63

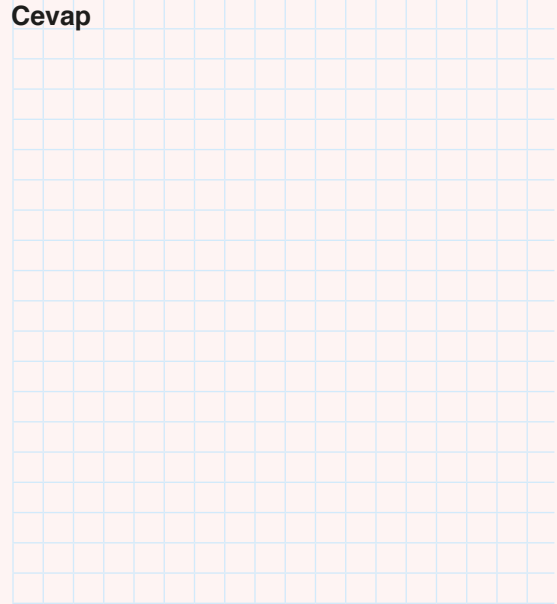
$\vec{G}$ ağırlıklı, içi dolu kare biçimindeki kutu, zeminle 37° açı yapacak şekilde, IABI kenarın orta noktasından şekilde verildiği gibi uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ile dengede tutulmaktadır.



Buna göre $\frac{|\vec{F}|}{|\vec{G}|}$ oranı kaçtır?

$$(\sin 37^\circ = 0,6; \sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2})$$

Cevap



1.9. Denge ve Denge Şartları

Buraya kadar yapılan incelemelerde kuvvetlerin öteleme veya döndürme hareketi etkisi üzerinde duruldu. Ancak günlük hayattaki çabaların çoğu, öteleme ve dönme hareketi olmaksızın dengeyi sağlamaktır. Bu çabayı; asma köprüler (Görsel 1.36), kule vinçler (Görsel 1.37) ve cami minareleri (Görsel 1.38) gibi büyük yapıların inşasında görmek mümkündür. Aynı çaba günlük hayatta sıkça kullanılan duvara yaslanan merdiven (Görsel 1.39) ve ayaklı askı (Görsel 1.40) gibi eşyaların dengesinde de görülür.



Görsel 1.36: Asma köprü



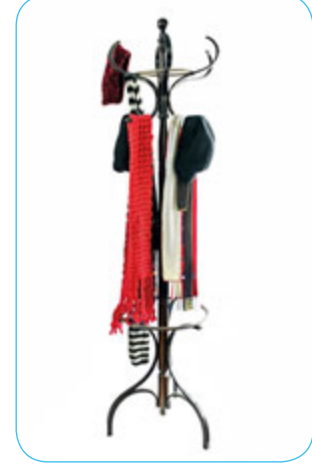
Görsel 1.37: Kule vinçler



Görsel 1.38: Cami minareleri



Görsel 1.39: Duvara yaslanan merdiven



Görsel 1.40: Ayaklı askı

1.9.1. Cisimlerin Denge Şartı

Durgun hâldeki cisimlerin dengesine statik denge denir. Cisimlerin statik dengede olmasının iki şartı vardır. Denge şartları, Görsel 1.41’de verilen yatay zeminde duran araba lastiği üzerinde açıklanabilir.

1. Denge Şartı: Araba lastiğinin konumunu koruması için Newton’ın I. yasası gereği, üzerine etki eden net kuvvetin sıfır olması gerekir. Bu durum $\Sigma \vec{F} = 0$ şeklinde ifade edilir. (Σ işareti toplam anlamına gelen bir simgedir.)

Üç boyutta düşünüldüğünde $\Sigma \vec{F}_{\text{Net}} = 0$ şartının sağlanması için araba lastiğine etki eden x, y ve z doğrultularındaki kuvvetlerin toplamının sıfır olması gerekir. Ancak burada iki boyutta denge şartı üzerinde durulacaktır. İki boyuttaki denge şartı

$$\Sigma \vec{F}_{\text{Net}} = 0 \text{ yani } \Sigma \vec{F}_{x\text{Net}} = 0 \\ \Sigma \vec{F}_{y\text{Net}} = 0 \text{ olarak ifade edilir.}$$

Görseldeki lastiğe yatay doğrultuda uygulanan kuvvet olmadığından düşey doğrultuda ise ağırlığına eşit ve zıt yöndeki tepki kuvveti ile 1. denge şartı sağlanmıştır.

2. Denge Şartı: Dengenin 2. şartı, dönme dengesini ifade eder. Araba lastiğinin dengesinin dönmeden sağlanması için herhangi bir noktaya göre toplam torkunun sıfır olması gerekir.

$|\Sigma \vec{\tau}| = 0$ şeklinde ifade edilir. Denge şartını sağlamak için kullanılan araba lastiğinin üzerinde bulunduğu zeminle temas noktası, aynı zamanda dönme eksenidir. Etki-tepki kuvvetlerinin uzantıları, temas noktasından geçeceğinden tork oluşturmaz.



Görsel 1.41: Dengede duran araba lastiği

Örnek: Sürtünmesiz eğik düzlemde 3 kg'lık içi dolu K kutusunun dengede kalması için L topunun ağırlığı ve eğik düzlemin K cismine uyguladığı tepki kuvveti kaç Newton olmalıdır?

$$(\sin 53^\circ = 0,8; |\vec{g}| = 10 \text{ N/kg})$$

Çözüm: K cisminin dengede kalabilmesi için $\Sigma \vec{F}_{\text{Net}} = 0$ olması gerekir. Buna göre

$$\Sigma \vec{F}_{\text{Net}} = 0$$

$\Sigma \vec{F}_{y\text{Net}} = 0$ şartını x eksenini eğik düzleme paralel olarak çizilen x-y koordinat sistemi kullanıldığında

$$\Sigma \vec{F}_{x\text{Net}} = 0$$

$$\vec{G}_{Kx} = \vec{G}_L$$

$$3 \cdot 10 \cdot 0,8 = \vec{G}_L$$

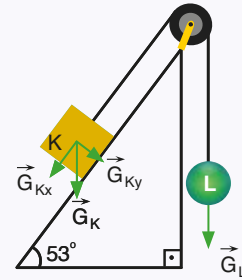
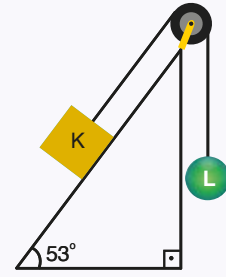
$$\vec{G}_L = 24 \text{ N bulunur.}$$

$$\Sigma \vec{F}_{y\text{Net}} = 0 \text{ eşitliği gereği}$$

$$\vec{N}_K = \vec{G}_{Ky}$$

$$\vec{N}_K = 3 \cdot 10 \cdot 0,6$$

$$\vec{N}_K = 18 \text{ N bulunur.}$$



Örnek: G ağırlıklı K küresi A noktasına ipe asılarak dengelenmiştir. Zeminin K küresine uyguladığı tepki kuvveti N ipteki gerilme kuvveti T olduğuna göre N/T oranı kaçtır?

$$(\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8; \sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6)$$

Çözüm: K küresi dengede olduğundan $\vec{T}$ ve $\vec{G}$ 'nin büyüklükleri arasında

$$|\vec{T}| \cdot \cos 37^\circ = |\vec{G}| \cdot \cos 37^\circ$$

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

$$|\vec{N}| = |\vec{T}_y| + |\vec{G}_y|$$

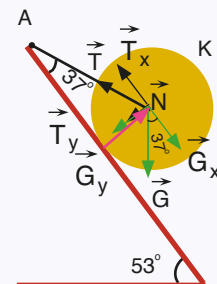
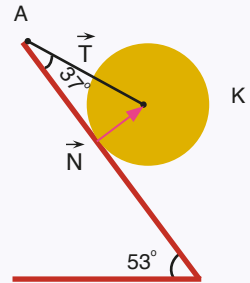
$$|\vec{N}| = |\vec{T}| \cdot \sin 37^\circ + |\vec{G}| \cdot \sin 37^\circ$$

$$|\vec{N}| = |\vec{T}| \cdot \sin 37^\circ + |\vec{T}| \cdot \sin 37^\circ$$

$$|\vec{N}| = 2 \cdot |\vec{T}| \cdot 0,6$$

$$|\vec{N}| = 1,2 \cdot |\vec{T}|$$

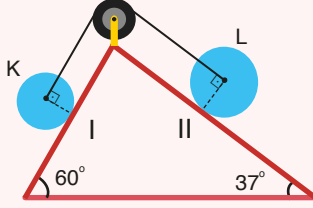
$$\frac{|\vec{N}|}{|\vec{T}|} = 1,2 \text{ bulunur.}$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 64

Sürtünmenin ihmal edildiği eğik düzlemde K ve L küreleri dengededir. I. zeminin K cismine gösterdiği tepki kuvveti $\vec{N}_1$, II. zeminin L cismine gösterdiği tepki kuvveti $\vec{N}_2$ 'dir.



$\frac{|\vec{N}_1|}{|\vec{N}_2|}$ oranı kaçtır?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$;

$\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$; $\cos 60^\circ = \frac{1}{2}$)

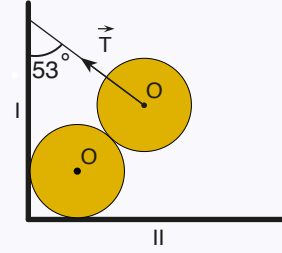
Cevap



Örnek: Şekilde T gerilme kuvveti ile dengelenen 50 N ağırlıklı özdeş kürelerin I. zemine uyguladığı etki kuvveti N_1 , II. zemine uyguladığı etki kuvveti N_2 'dir.

T gerilme kuvvetini, N_1 ve N_2 etki kuvvetlerinin büyüklüğü nedir?

($\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$)



Çözüm:

Denge şartından

$$|\vec{T}| = |\vec{G}| \cdot \cos 53^\circ$$

$$|\vec{T}| = 50 \cdot 0,6$$

$$|\vec{T}| = 30 \text{ N bulunur.}$$

$$|\vec{T}_y| = |\vec{T}| \cdot \sin 37^\circ$$

$$|\vec{T}_y| = 30 \cdot 0,6$$

$$|\vec{T}_y| = 18 \text{ N}$$

$$|\vec{T}_x| = |\vec{T}| \cdot \cos 37^\circ$$

$$|\vec{T}_x| = 30 \cdot 0,8$$

$$|\vec{T}_x| = 24 \text{ N bulunur.}$$

Denge şartından

$$|\Sigma \vec{F}_x| = 0$$

$$|\vec{T}_x| + |\vec{N}_1| = 0$$

$$|\vec{N}_1| = 24 \text{ N olur.}$$

$$|\Sigma \vec{F}_y| = 0$$

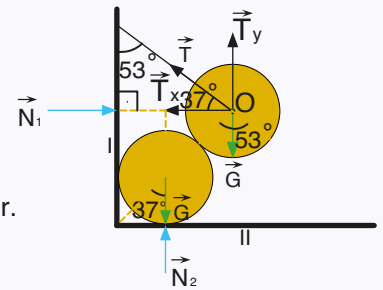
$$-|\vec{G}| + (-|\vec{G}|) + |\vec{T}_y| + |\vec{N}_2| = 0$$

$$-50 + (-50) + 18 + |\vec{N}_2| = 0$$

$$-100 + 18 + |\vec{N}_2| = 0$$

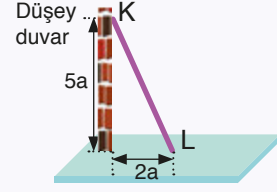
$$-82 + |\vec{N}_2| = 0$$

$$|\vec{N}_2| = 82 \text{ N bulunur.}$$



Örnek: $\vec{G}$ ağırlıklı homojen IKLI çubuğu, şekilde verildiği gibi duvara dayanarak dengede durmaktadır.

Düşey duvar sürtünmesiz olduğuna göre yatay zemin ile IKLI çubuğu arasındaki sürtünme kuvveti kaç $\vec{G}$ 'dir?



Çözüm: Çubuk için serbest cisim diyagramı çizildiğinde çubuğa düşey doğrultuda $\vec{G}$ ve $\vec{N}$ kuvvetleri etki ederken yatay doğrultuda $\vec{N}_D$ ve $\vec{F}_s$ kuvvetlerinin etki ettiği görülmektedir. Düşey duvar sürtünmesiz olduğundan denge şartına göre düşeydeki kuvvetlerin toplamının sıfır olma şartı gereği

$\vec{G} = \vec{N}$ olmalıdır. Denge şartına göre yataydaki kuvvetlerin de sıfır olması gerekir.

Bu durumda

$\vec{F}_s = \vec{N}_D$ eşitliği vardır.

$\vec{G}$ ile $\vec{F}_s$ arasındaki oranı bulmak için

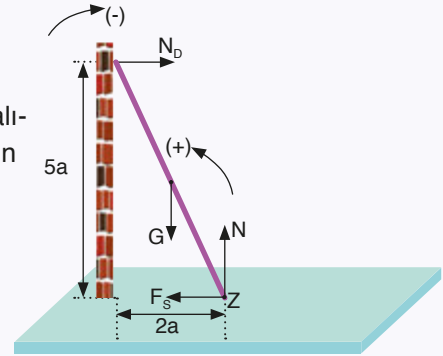
$\vec{F}_s = \vec{N}_D$ eşitliğini kullanarak zemindeki Z noktasına göre tork alınabilir. Dengenin ikinci şartı gereği çubuğa etki eden kuvvetlerin Z noktasına göre torku sıfır olacağından

$$\vec{\tau}_Z = \vec{G} \cdot \frac{2 \cdot a}{2} - \vec{N}_D \cdot 5 \cdot a$$

$$0 = |\vec{G}| \cdot \frac{2 \cdot a}{2} - |\vec{F}_s| \cdot 5 \cdot a$$

$$|\vec{G}| = |\vec{F}_s| \cdot 5$$

$$|\vec{F}_s| = \frac{|\vec{G}|}{5} \text{ bulunur.}$$

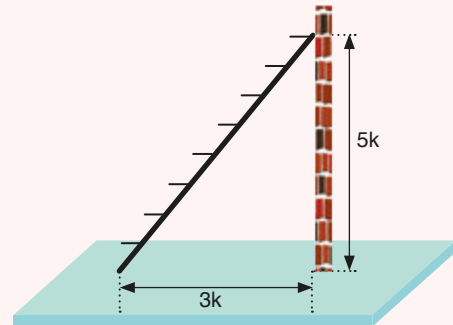


ÇALIŞMA KÖŞESİ 65

Kütlesi 5 kg olan sekiz basamaklı merdiven şekilde verildiği gibi dengededir. Kütlesi 50 kg olan bir boya ustası, merdivenin 6. basamağına çıktığında denge bozulmamaktadır.

Duvar sürtünmesiz, yatay zemin sürtünmeli olduğuna göre

- Merdiven boşken yatay zeminde oluşan sürtünme kuvveti kaç N'dır?
- Boya ustası 6. basamaktayken yatay zeminde oluşan sürtünme kuvveti kaç N'dır?
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)



Cevap



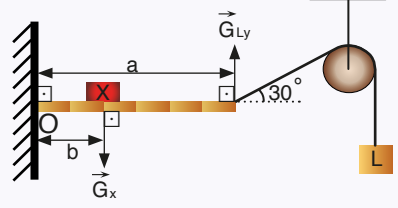
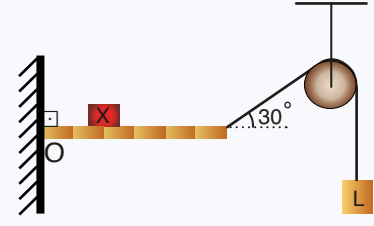
Örnek: Ağırlığı olmayan, O noktası etrafında serbestçe dönebilen, eşit bölmeli çubuğun üstüne şekildeki gibi kütlesi 3 kg olan X kutusu konmaktadır.

Çubuğun dengede kalması için L kutusunun ağırlığı kaç Newton olmalıdır?

($\sin 30^\circ = 0,5$; $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

Çözüm: Çubuğun O noktası etrafında dönmeden dengede kalması için O noktasına göre $|\Sigma \vec{\tau}| = 0$ olmalıdır. Buna göre

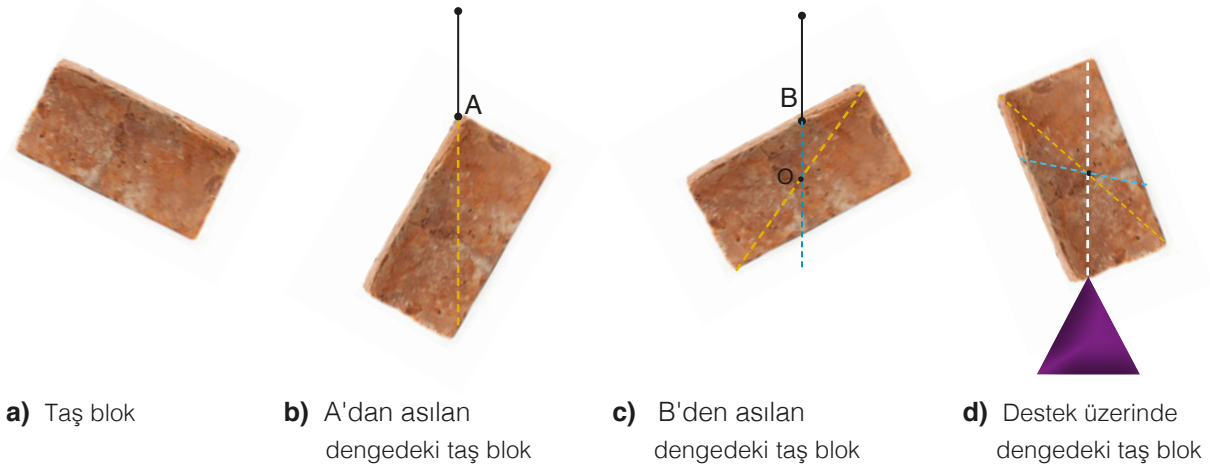
$$\begin{aligned} |\vec{\tau}_x| + |\vec{\tau}_L| &= 0 \\ |\vec{G}_x| \cdot b - |\vec{G}_L| \cdot a &= 0 \\ m_x \cdot |\vec{g}| \cdot b - |\vec{G}_L| \cdot \sin 30^\circ \cdot a &= 0 \\ 3 \cdot 10 \cdot 2 &= |\vec{G}_L| \cdot \frac{1}{2} \cdot 6 \\ |\vec{G}_L| &= 10 \text{ N bulunur.} \end{aligned}$$



1.9.2. Ağırlık Merkezi ve Kütle Merkezi

Yer çekimi ivmesinin olduğu her yerde, cisimler üzerinde etkin olan kuvvetlerden biri kendi ağırlığıdır. Cisimlerin kendi ağırlığının öteleme ve döndürme etkisi, ancak ağırlık merkezi adı verilen uygulama noktası tespit edilerek bulunabilir.

Şekil 1.115. a'da verilen taş blokun ağırlık merkezi bulunmak istenmektedir. Taş blok, bir ip yardımıyla A noktasından asıldığında denge durumu Şekil 1.115. b'de verildiği gibi sağlanıyor. Taş blokun asılı olduğu A noktasından, düşey doğrultuda aşağı doğru çizilen kesikli çizgi, ağırlık merkezinden geçer. Taş blok B noktasından Şekil 1.115. c'de asılarak aynı işlemler yapıldığında, çizilen 2. kesikli düşey çizginin 1. çizgi ile kesiştiği nokta işaretlendiğinde taş blokun ağırlık merkezi bulunmuş olur. Ağırlık merkezi, O noktasıdır. Taş blok O noktasından asıldığında ya da tepki kuvveti O noktasından geçecek şekilde bir destek üzerine bırakıldığında ağırlık etkisiyle oluşan tork sıfır olacağından Şekil 1.115. d'de verildiği gibi bırakıldığı konumda dengede kalır.



Şekil 1.115: Taş blokun denge durumları

Sirk gösterisinde Görsel 1.42'deki tabakların denge durumunun sağlanması, yunusun Görsel 1.43'teki su topunu dengede tutabilmesi, Görsel 1.44'te taşların dengede kalabilmesi, destek noktalarının tepki kuvvetlerini ağırlık merkezinden geçirmeleri ile sağlanmıştır.



Görsel 1.42: Sirk gösterisinde dengede kalan tabaklar

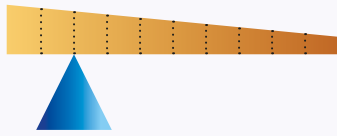


Görsel 1.43: Yunusun su topunu dengede tutması

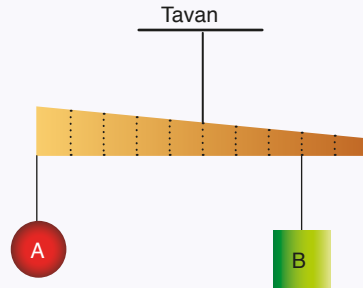


Görsel 1.44: Dengede kalan taşlar

Örnek: Ağırlığı $2\vec{G}$ olan eşit bölmelendirilmiş düzgün olmayan kalas parçası Şekil I'deki gibi destek yardımı ile dengelenmiştir. Şekil II'de aynı kalas parçası tavana asılarak uçlarına ağırlığı $3\vec{G}$ olan A küresi ve ağırlığı $\vec{G}_B$ olan B kutusu asıldığında denge Şekil II'deki gibi sağlanmıştır. Buna göre B kutusunun ağırlığı $\vec{G}_B$ kaç $\vec{G}$ 'dir?

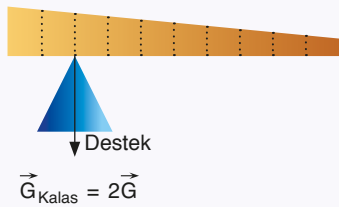


Şekil I

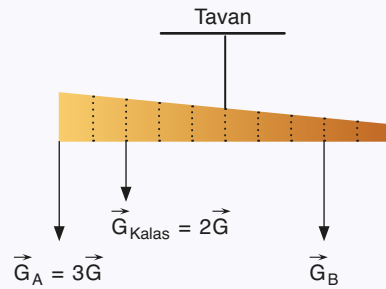


Şekil II

Çözüm: Kalas Şekil I'de destek yardımı ile dengelendiğine göre kalasın ağırlık merkezi, desteğin bulunduğu noktanın düşey doğrultusundadır. Şekil II'de, soruda verilen ağırlıklar, yerine yazılıp tavana asıldığı noktaya göre moment alınırsa B kutusunun ağırlığı



Şekil I



Şekil II

$$G_A \cdot 5 + G_{\text{Kalas}} \cdot 3 = G_B \cdot 3$$

$$3 \cdot G \cdot 5 + 2 \cdot G \cdot 3 = 3 \cdot G_B$$

$$G_B = 7G \text{ bulunur.}$$

Yer çekimi ivmesinin her noktasında eşit ve g büyüklüğünde olduğu düşünülerek, x-y koordinatındaki cismin x eksenleri kullanılarak orijine göre ağırlıkların torkları eşitlendiğinde ağırlık merkezi olan O noktasının X koordinatı

$$\begin{aligned} |\vec{G}| \cdot X &= |\vec{G}_1| \cdot X_1 + |\vec{G}_2| \cdot X_2 + |\vec{G}_3| \cdot X_3 + \dots + |\vec{G}_n| \cdot X_n \\ m \cdot |\vec{g}| \cdot X &= m_1 \cdot |\vec{g}| \cdot X_1 + m_2 \cdot |\vec{g}| \cdot X_2 + m_3 \cdot |\vec{g}| \cdot X_3 + \dots + m_n \cdot |\vec{g}| \cdot X_n \\ m \cdot X &= m_1 \cdot X_1 + m_2 \cdot X_2 + m_3 \cdot X_3 + \dots + m_n \cdot X_n \\ X &= \frac{m_1 \cdot X_1 + m_2 \cdot X_2 + m_3 \cdot X_3 + \dots + m_n \cdot X_n}{m} \text{ olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Cismin y eksenleri kullanılarak orijine göre ağırlıkların torkları eşitlendiğinde ağırlık merkezi olan O noktasının Y koordinatı ise

$$\begin{aligned} |\vec{G}| \cdot Y &= |\vec{G}_1| \cdot Y_1 + |\vec{G}_2| \cdot Y_2 + |\vec{G}_3| \cdot Y_3 + \dots + |\vec{G}_n| \cdot Y_n \\ m \cdot |\vec{g}| \cdot Y &= m_1 \cdot |\vec{g}| \cdot Y_1 + m_2 \cdot |\vec{g}| \cdot Y_2 + m_3 \cdot |\vec{g}| \cdot Y_3 + \dots + m_n \cdot |\vec{g}| \cdot Y_n \\ m \cdot Y &= m_1 \cdot Y_1 + m_2 \cdot Y_2 + m_3 \cdot Y_3 + \dots + m_n \cdot Y_n \\ Y &= \frac{m_1 \cdot Y_1 + m_2 \cdot Y_2 + m_3 \cdot Y_3 + \dots + m_n \cdot Y_n}{m} \text{ olarak bulunur.} \end{aligned}$$

Dikkat edilirse yer çekimi ivmesinin, cismi oluşturan n tane parçacığın her birinin kütlesine eşit miktarda etki ettiği düşüncesi ile X ve Y koordinatı için elde edilen eşitliklerde kullanılan $\vec{g}$ 'lerin sadeleşme imkanı olmuştur.

Yer çekimi ivmesi $\vec{g}$ 'nin cismin her noktasında aynı olduğu bu gibi durumlarda, ağırlık merkezi ile kütle merkezi için elde edilecek koordinatlar birbirine eşittir. Ancak yükseklikle yer çekimi ivmesi $\vec{g}$ 'nin değeri azalacağından, gökdelen (Görsel 1.45), kule (Görsel 1.46) gibi çok yüksek yapıların her parçacığına etki eden yer çekimi ivmesi aynı değildir. Bu yüzden yüksek yapılarda ağırlık merkezi ile kütle merkezi noktası aynı değildir. Bu tür yapıların ağırlık merkezi, kütle merkezlerinden yere daha yakın noktada bulunur.



Görsel 1.45: Gökdelen



Görsel 1.46: Kule

Örnek: x-y koordinat sisteminde verilen kütleleri eşit K, L ve M cisimlerinden oluşan sistemin kütle merkezinin koordinatları nedir?

Çözüm: Ağırlık merkezi olan O noktasının X koordinatı

$$X = \frac{m_K \cdot X_K + m_L \cdot X_L + m_M \cdot X_M}{m_K + m_L + m_M}$$

$$X = \frac{m \cdot (-3) + m \cdot (-3) + m \cdot 3}{m + m + m}$$

$$X = \frac{(-3m)}{3m}$$

$$X = -1 \text{ olur.}$$

Ağırlık merkezi olan O noktasının Y koordinatı için

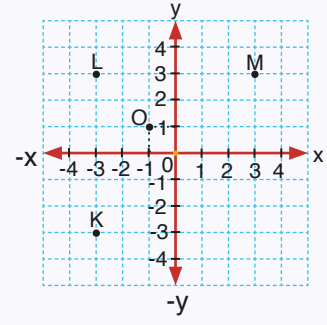
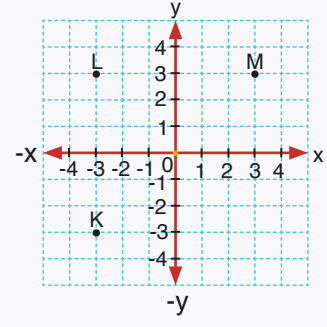
$$Y = \frac{m_K \cdot Y_K + m_L \cdot Y_L + m_M \cdot Y_M}{m_K + m_L + m_M}$$

$$Y = \frac{m \cdot (-3) + m \cdot (+3) + m \cdot 3}{m + m + m}$$

$$Y = \frac{3m}{3m}$$

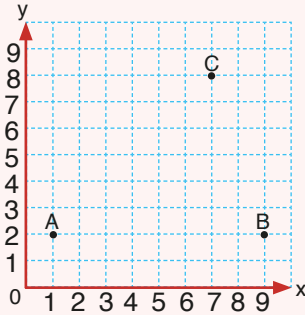
$$Y = 1$$

Sistemin kütle merkezinin koordinatı O (-1, 1) olur.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 67

x-y koordinat sisteminde A, B ve C cisimlerinin kütleleri sırasıyla m, 3 m ve 4 m'dir.



- A ve B cisimlerinden oluşan sistemin kütle merkezi koordinatları nedir?
- A, B ve C cisimlerinden oluşan sistemin kütle merkezi koordinatları nedir?

Cevap



Geometrik merkeze sahip homojen cisimlerin kütle merkezi ile geometrik merkezi aynı noktadır. Geometrik merkezi ile kütle merkezi aynı olan bazı düzgün geometrik cisimlerin kütle merkezi Tablo 1.11'de verilmiştir.

Tablo 1.11: Geometrik Merkezi ile Kütle Merkezi Çakışık Olan Bazı Düzgün Geometrik Cisimlerin Kütle Merkezi

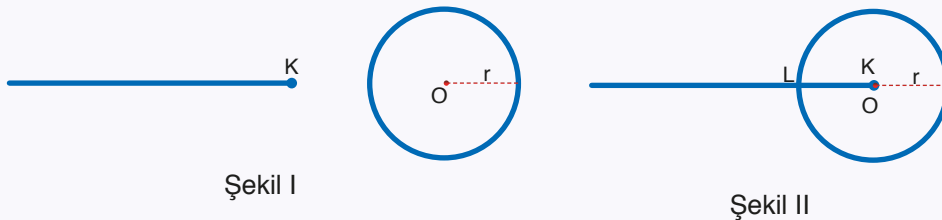
Türdeş Çubuk $G \sim 2L$	Çembersel Tel $G \sim 2 \pi r$	Kare Çerçeve $G \sim 4a$	Dikdörtgen Çerçeve $G \sim (2a+2b)$
Kare Levha $G \sim a^2$	Dikdörtgen Levha $G \sim a \cdot b$	Üçgen Levha $G \sim \frac{a \cdot h}{2}$	Dairesel Levha $G \sim \pi r^2$
Küp $G \sim a^3$	Dikdörtgen Prizma $G \sim a \cdot b \cdot c$	Silindir $G \sim \pi r^2 h$	Küre $G \sim \frac{4}{3} \pi r^3$

Cisimlerin kütle merkezleri çemberde olduğu gibi her zaman cisimler üzerinde değildir.

- Homojen yapıya sahip çubuk ve çember gibi bir boyutlu cisimlerin ağırlıkları, uzunlukları ile
- Daire, dikdörtgen ve üçgen levha gibi iki boyutlu cisimlerin ağırlıkları, alanları ile
- Küre ve silindir gibi üç boyutlu cisimlerin ağırlıkları, hacimleri ile doğru orantılıdır.

Örnek: Uzunluğu 20 cm olan tel ile aynı maddeden yapılmış yarıçapı 5 cm olan Şekil I'deki çember, Şekil II'de verildiği gibi K ve O noktası çakışacak şekilde, L noktasından birleştirilmektedir.

Buna göre oluşan Şekil II'deki sistemin ağırlık merkezi ile telin ağırlık merkezi arasındaki uzaklık kaç cm'dir? ($\pi = 3$ alınınız.)



Çözüm: I. YOL: Tel ve çember bir boyutlu olduğundan telin ağırlığı yerine uzunluğu, çemberin ağırlığı yerine de çevresi alınarak işlem yapılır.

$L_{\text{Tel}} = 20 \text{ cm}$ olduğundan

$$|\vec{G}_{\text{Tel}}| = 20 \text{ N olarak alınır}$$

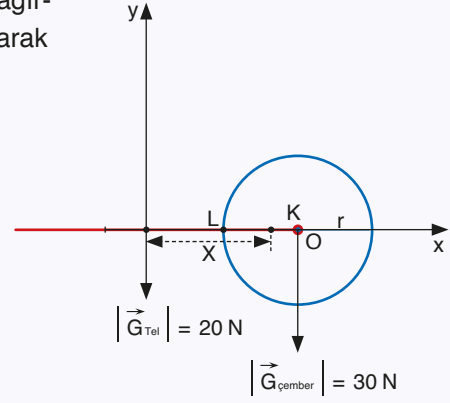
$$\vec{G}_{\text{Çem.}} = 2 \cdot \pi \cdot r$$

$$\vec{G}_{\text{Çem.}} = 2 \cdot 3 \cdot 5$$

$$\vec{G}_{\text{Çem.}} = 30 \text{ cm olduğundan}$$

$$\vec{G}_{\text{Çem.}} = 30 \text{ N}$$

olarak alınabilir.



Telin ağırlık merkezi orta noktası, çemberin ise geometrik merkezidir. Sistemin ağırlık merkezinin telin ağırlık merkezine uzaklığı, orijini telin kütle merkezine (orta noktası) gelecek şekilde çizilen x-y koordinat sistemi kullanılarak bulunabilir. Tel ve çemberden oluşan sistemin ağırlık merkezi ile telin ağırlık merkezi arasındaki uzaklığı X denilir ve orijine göre tork alınır

$$X = \frac{G_{\text{Tel}} \cdot X_{\text{Tel}} + G_{\text{Çember}} \cdot X_{\text{Çember}}}{G_{\text{Tel}} + G_{\text{Çember}}}$$

$$X = \frac{20 \cdot 0 + 30 \cdot 10}{20 + 30}$$

$$X = \frac{300}{50}$$

$$X = 6 \text{ cm}$$

olarak bulunur.

Dikkat edilirse sistemin ağırlık merkezi, ağırlığı daha büyük olan çembere daha yakın olup telin kütle merkezindeki değişim +x yönündedir.

II. YOL: Telin ağırlığı $|\vec{G}_{\text{tel}}| = 20 \text{ N}$, çemberin ağırlığı

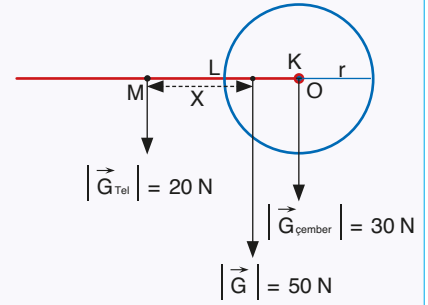
$|\vec{G}_{\text{Çember}}| = 30 \text{ N}$ olarak alındığında tel ve çemberin toplam ağırlığı $|\vec{G}| = 50 \text{ N}$ olacaktır. Sistemin ağırlığının uygulama noktası,

telin ağırlık merkezinden X kadar uzakta alındığında telin kütle merkezindeki yer değiştirme X'e eşit olur. Sistemin dengede olabilmesi için herhangi bir noktaya göre $\vec{G}$ nin torku, $\vec{G}_{\text{Tel}}$ ve $\vec{G}_{\text{Çember}}$ 'in aynı noktaya göre torkuna eşit olur. Tork alınacak nokta, çubuğun ağırlık merkezi olan noktası olarak seçildiğinde

$$G \cdot X_{\text{Tel}} = G_{\text{Tel}} \cdot 0 + G_{\text{Çember}} \cdot |KM|$$

$$50 \cdot X = 0 + 30 \cdot 10$$

$$50 \cdot X = 30 \cdot 10 = 6 \text{ cm olarak bulunur.}$$



Örnek: Homojen L telinin kütle merkezinin koordinatları nedir?

Çözüm: Şekildeki tel; AB, BC ve CD olarak üç parça hâline getirilirse ve her bir parçanın uzunluğu, ağırlığı olarak alınırsa

$$|\vec{G}_{AB}| = 4 \text{ N}$$

$$|\vec{G}_{BC}| = 4 \text{ N}$$

$$|\vec{G}_{CD}| = 2 \text{ N bulunur.}$$

AB tel parçasının x-y koordinat sistemindeki ağırlık merkezi koordinatı (4,4),

BC tel parçasının x-y koordinat sistemindeki ağırlık merkezi koordinatı (6,6),

CD tel parçasının x-y koordinat sistemindeki ağırlık merkezi koordinatı (8,5) olur.

x-y koordinat merkezindeki X ve Y koordinatları için

$$x = \frac{G_{AB} \cdot x_{AB} + G_{BC} \cdot x_{BC} + G_{CD} \cdot x_{CD}}{G_{AB} + G_{BC} + G_{CD}}$$

$$x = \frac{4 \cdot 4 + 4 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{4 + 4 + 2}$$

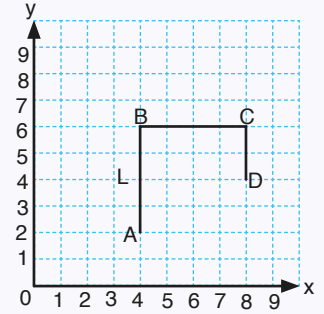
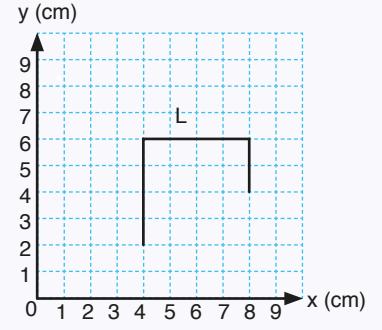
$$x = 5,6 \text{ cm bulunur.}$$

$$y = \frac{G_{AB} \cdot y_{AB} + G_{BC} \cdot y_{BC} + G_{CD} \cdot y_{CD}}{G_{AB} + G_{BC} + G_{CD}}$$

$$y = \frac{4 \cdot 4 + 4 \cdot 6 + 2 \cdot 5}{4 + 4 + 2}$$

$$y = 5 \text{ cm bulunur.}$$

L telinin x-y koordinat sistemindeki ağırlık merkezi koordinatları (5,6; 5)'tir.

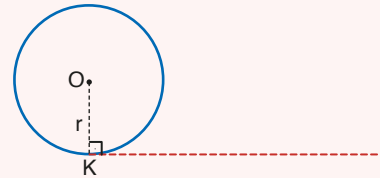


ÇALIŞMA KÖŞESİ 68

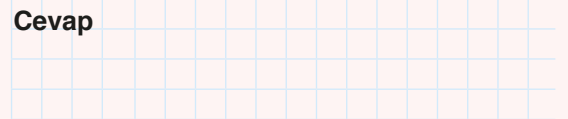
Homojen bir telin iki ucu, K noktasında birleştirilerek r yarıçaplı çember hâline getirilmektedir.

Elde edilen çember şeklindeki telin bir ucu, K noktasında sabit kalacak şekilde düz tel hâline getirildiğinde kütle merkezi kaç r yer değiştirir?

$$(\pi = 3)$$



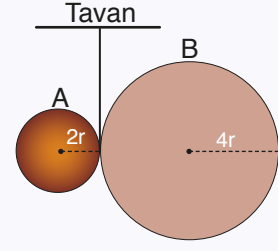
Cevap



Örnek: Yarıçapı $2r$ olan A küresi ile yarıçapı $4r$ ve kalınlığı $r/2$ olan B daire, şekildeki gibi iple tavana asıldıklarında dengede kalmaktadır.

Kürenin özkütlesi d_A , dairenin özkütlesi d_B ise d_A/d_B oranı kaçtır?

($\pi = 3$, $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)



Çözüm: Kürenin hacmi

$$V_{\text{Küre}} = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$

$$V_{\text{Küre}} = \frac{4}{3} \cdot 3 \cdot (2r)^3$$

$$V_{\text{Küre}} = 32 r^3 \text{ olur.}$$

Daire yüksekliği $r/2$ taban yarıçapı $4r$ olan silindir gibi düşünülür-
ğünde hacmi

$$V_{\text{Daire}} = \pi \cdot r_B^2 \cdot h$$

$$V_{\text{Daire}} = 3 \cdot (4r)^2 \cdot \frac{r}{2}$$

$$V_{\text{Daire}} = 24 r^3 \text{ bulunur.}$$

$$d = \frac{m}{V}$$

$$m = d \cdot V$$

$$m \cdot g = d \cdot V \cdot g$$

$$G_{\text{Küre}} = d_{\text{Küre}} \cdot V_{\text{Küre}} \cdot g$$

$$G_{\text{Daire}} = d_{\text{Daire}} \cdot V_{\text{Daire}} \cdot g$$

Küre ve daire, şekildeki gibi dengede olduklarından birleşme noktalarına göre moment alınırsa

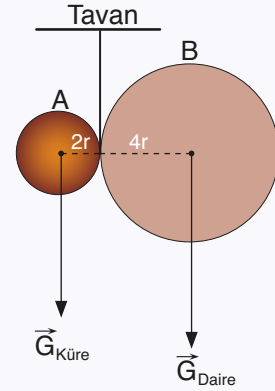
$$G_{\text{Küre}} \cdot r_A = G_{\text{Daire}} \cdot r_B$$

$$d_{\text{Küre}} \cdot V_{\text{Küre}} \cdot g \cdot r_A = d_{\text{Daire}} \cdot V_{\text{Daire}} \cdot g \cdot r_B$$

$$d_A \cdot 32r^3 \cdot 2 \cdot r = d_B \cdot 24 r^3 \cdot 4 \cdot r$$

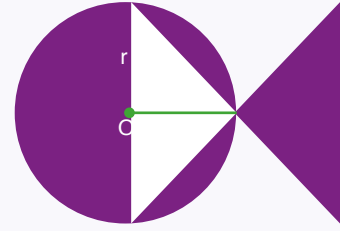
$$\frac{d_A}{d_B} = \frac{96}{64}$$

$$\frac{d_A}{d_B} = \frac{3}{2} \text{ bulunur.}$$



Örnek: O merkezli, r yarıçaplı daire içinden üçgensel bir levha çıkarılıp dairenin yanına eklenmektedir.

Sistemin ağırlık merkezi, O noktasından kaç r uzakta olur?
($\pi = 3$)



Çözüm: Daire ve üçgen iki boyutlu olduklarından ağırlıkları, yüzey alanları ile doğru orantılıdır. Sistemin ağırlık merkezi için öncelikle içinden üçgen levha çıkarılmamış daire (S_{Daire}) ile çıkarılan üçgenin yüzey alanı ($S_{\text{Üçgen}}$) hesaplanmalıdır. Buna göre S_{Daire} ve $S_{\text{Üçgen}}$

$$S_{\text{Daire}} = \pi \cdot r^2$$

$$S_{\text{Daire}} = 3 \cdot r^2$$

$$S_{\text{Üçgen}} = 2r \cdot \frac{r}{2}$$

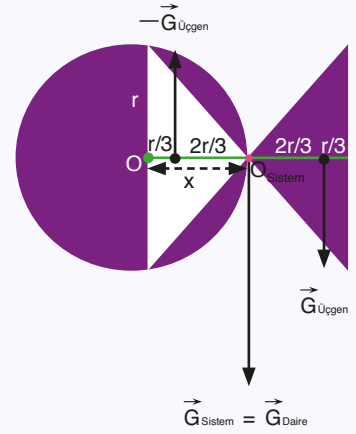
$$S_{\text{Üçgen}} = r^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Daire alanı, üçgen alanına oranlandığında

$$\frac{S_{\text{Daire}}}{S_{\text{Üçgen}}} = \frac{3r^2}{r^2}$$

$$\frac{S_{\text{Daire}}}{S_{\text{Üçgen}}} = 3$$

elde edilir. Bu durumda dairenin yüzey alanı S_{Daire} ile üçgenin yüzey alanı $S_{\text{Üçgen}}$ arasındaki oran, G_{Daire} ile $G_{\text{Üçgen}}$ ağırlıkları oranı olarak alınabilir. Bu durumda $G_{\text{Üçgen}} = G$ ise $G_{\text{Daire}} = 3G$ olur. Sistemin ağırlığı aynı parça çıkarılıp tekrar eklendiği için değişmez. Yukarı yön negatif, aşağı yön pozitif seçildiğinde, sistemden çıkarılan ağırlıklar, yukarı yönünde alınmalıdır. Üçgenin geometrik merkezi, kenar ortayların kesişim noktası olup, kenar ortay uzunluğu r ise O noktasının $r/3$ kadar uzağındadır. Bu durumda daire ve üçgenlerin ağırlıklarının uygulama noktaları şekilde verildiği gibidir.



Dengenin şartı gereği sistemin toplam ağırlığının O noktasına göre torku, üçgenlerin aynı noktaya göre torkları toplamına eşittir. Sistemin kütle merkezinin O noktasına uzaklığı X alınarak bu eşitlik aşağıdaki gibi yazılır.

$$G_{\text{Sistem}} \cdot x = G_{\text{Üçgen}} \cdot \frac{5r}{3} - G_{\text{Üçgen}} \cdot \frac{r}{3}$$

$$3 \cdot G \cdot x = G \cdot \frac{5r}{3} - G \cdot \frac{r}{3}$$

$$3 \cdot x = \frac{4r}{3}$$

$$x = \frac{4r}{9} \text{ olarak bulunur.}$$

Sürtünmelerin ihmal edildiği, basit makinelerde yükün kendisini dengede tutmak için kullanılan kuvvete oranlanmasıyla elde edilen niceliğe, **kuvvetten kazanç** denir. Basit makinelerde yük, ağırlığından daha küçük bir kuvvet ile dengelendiğinde kuvvetten kazanç vardır. Kuvvetten kazanç, birimsiz bir nicelik olup **(K.K)** ile gösterilir.

Sürtünmelerin ihmal edildiği tüm sistemlerde olduğu gibi basit makinelerde de enerjinin korunumu ilkesi geçerlidir. Bu yüzden kuvvetten sağlanan kazanç kadar yoldan kayıp veya yoldan sağlanan kazanç kadar kuvvetten kayıp olur. Yoldan kayıp da birimsiz bir nicelik olup **(Y.K)** ile gösterilir. Bu durumda, P yükünün $\vec{F}$ kuvveti ile dengede tutulduğu bir basit makinede

$$(K \cdot K) = (Y \cdot K) = \frac{|\vec{P}|}{|\vec{F}|} \text{ eşitliği vardır.}$$

Bu eşitliğe göre 10 N büyüklüğündeki bir yükü taşımak için 5 N büyüklüğündeki kuvvetin kullanılabileceği bir basit makinede $(K.K) = 2$ olduğundan, yoldan kayıp da 2 ye eşittir. Yani 10 N büyüklüğündeki yükü, bir basit makinede kullanılan ipin ucuna 5 N kuvvet uygulayarak 1 m taşımak için ipin 2 m çekilmesi gerekir.

Basit makinelerde, yükün enerjisindeki değişim miktarının, yükü taşımak için harcanan toplam enerji ya da yapılan toplam işe oranına **verim** denir. Bir basit makinede uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş ya da harcadığı W enerjisinin P yükünde yaptığı enerji değişimi ΔE ise basit makinenin verimi

$$\text{Verim} = \frac{\Delta E}{W} \text{ eşitliği ile bulunur.}$$

Basit makinelerde sistemi oluşturan elemanların kendi ağırlıklarının ve sürtünme kuvvetlerinin büyük olması verimi azaltır. Verim iki enerji değerinin birbirine oranlanması ile elde edilen bir nicelik olduğundan birimsizdir. Basit makinelerin verimi % olarak ifade edilir. Örneğin 100 J harcanıp yüke 80 J enerji kazandırılan bir basit makinede verim %80 dir. %20 lik enerji kaybı sürtünmeye gitmiştir. Sürtünmesiz bir basit makine olsaydı enerji kaybı olmaz ve verim %100 olarak bulunurdu.

Basit makine sürtünmesiz olduğunda yükü dengede tutmak için gereken kuvvet, sürtünmeli olduğunda dengede tutmak için gereken kuvvetten daha küçük bir değere sahiptir. Basit makine sürtünmesiz olduğunda denge kuvveti $\vec{F}$, sürtünmeli olduğunda $\vec{F}'$ ise

$$\text{Verim} = \frac{F}{F'} \text{ eşitliğiyle de bulunabilir.}$$

Sürtünme kuvvetinden kurtulmak imkânsız olduğundan gerçekte verimi %100 olan bir basit makine yapmak mümkün değildir. Bu sonuca göre basit makinelerde işten kazanç sağlamak söz konusu değildir.

1.10.1. Günlük Hayatta Kullanılan Basit Makineler

Günlük hayatta sıkça kullanılan basit makineler:

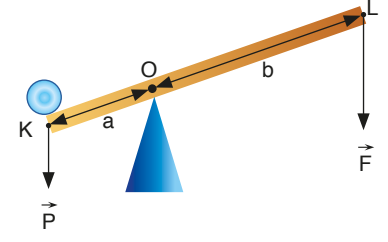
- Kaldıraçlar,
- Sabit ve hareketli makaralar,
- Palangalar,
- Eğik düzlem,
- Vida,
- Çıkrık,
- Çark ve kasnaklar

a) Kaldıraçlar

Bir destek ve destek noktası etrafından serbestçe dönebilen çubuk ile elde edilen bir basit makine türüdür. Kaldıraçlar destek, yük ve kuvvetin konumuna göre üçe ayrılır:

1. Desteğin yük ve kuvvet arasında olduğu kaldıraçlar: Günlük hayatta sıkça kullanılan pense, makas ve eşit kollu terazi desteğin yük ile kuvvet arasında olduğu kaldıraçlardır.

K ucunda $\vec{P}$ yükü bulunan, Şekil 1.117'de verilen KL çubuğunun O noktasındaki destek ve L ucuna uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ile desteğin yük ve kuvvet arasında olduğu bir kaldıraç elde etmek mümkündür.



Şekil 1.117: Desteği yük ile kuvvet arasında olan kaldıraç

K noktasındaki yükün, destek noktası O'ya olan a uzaklığına yük kolu denir. Yükü dengede tutmak için çubuğun L noktasına uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin O noktasına olan b uzaklığına ise kuvvet kolu denir.

Kaldıraçlarda denge durumu için O noktasına göre tork alınarak yük ve kuvvet arasında

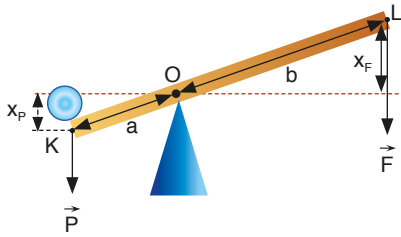
$$F \cdot b = P \cdot a \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Bu eşitliğe göre kaldıraçtaki kuvvet kazancı için

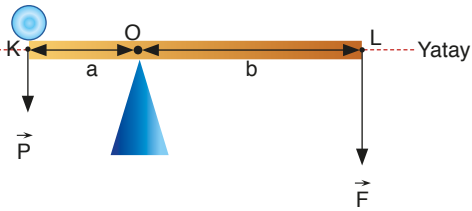
$$(K \cdot K) = \frac{P}{F} = \frac{b}{a} \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Şekil 1.118'de verilen desteğin ortada olduğu kaldıraç Şekil 1.119'da verildiği gibi sabit hızla yatay denge durumuna getirildiğinde $\vec{F}$ kuvvetinin uygulandığı L noktası düşeyde -y yönünde X_F yolunu alırken $\vec{P}$ yükünün bulunduğu K noktası düşeyde +y yönünde X_P yolunu alması gerekir. Kuvvet kazancı yoldan kayıba eşit olduğundan kuvvet kazancı eşitliği genişletilerek

$$(K \cdot K) = (Y \cdot K) = \frac{P}{F} = \frac{b}{a} = \frac{X_F}{X_P} \text{ sonucu elde edilir.}$$



Şekil 1.118: Desteği ortada olan kaldıraç

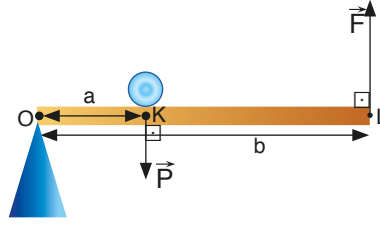


Şekil 1.119: Dengede olan kaldıraç

Bu sonuca göre desteğin ortada olduğu kaldıraçlarda

- $\frac{b}{a} > 1$ ise kuvvetten kazanç, yoldan kayıp vardır.
- $\frac{b}{a} = 1$ ise kuvvetten kazanç, yoldan kayıp yoktur.
- $\frac{b}{a} < 1$ ise kuvvetten kayıp yoldan kazanç vardır.

2. Yükün destek ile kuvvet arasında olduğu kaldıraçlar: El arabası, fındık kıracağı yükün destek ile kuvvet arasında olduğu kaldıraçlardandır. K noktasında P yükü bulunan, Şekil 1.120’de verilen LO çubuğunun O ucundaki destek ve L ucuna uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ile yükün, destek ve kuvvet arasında olduğu bir kaldıraç elde etmek mümkündür.



Şekil 1.120: Yükün, destek ve kuvvet arasında olduğu kaldıraç

K noktasındaki $\vec{P}$ ’nin yük kolunun uzunluğu a, L noktasına uygulanan $\vec{F}$ ’nin kuvvet kolunun uzunluğu ise b’dir. Yükün, destek ile kuvvet arasında olduğu kaldıraçta denge durumu için O noktasına göre tork alınarak yük ve kuvvet arasında

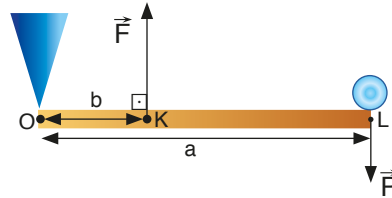
$F \cdot b = P \cdot a$ eşitliği elde edilir. Bu eşitliğe göre kaldıraçtaki kuvvet kazancı için

$$(K \cdot K) = (Y \cdot K) = \frac{P}{F} = \frac{b}{a}$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitliğe göre yükün kuvvet ile destek arasında olduğu kaldıraçlarda

• $b > a$ ve $\frac{b}{a} > 1$ olacağından kuvvetten kazanç yoldan kayıp vardır.

3. Kuvvetin destek ile yük arasında olduğu kaldıraçlar: Maşa, cımbız, zımba kuvvetin destek ile yük arasında olduğu kaldıraçlardandır. L ucunda $\vec{P}$ yükü bulunan, Şekil 1.121’de verilen LO çubuğunun K noktasına uygulanan $\vec{F}$ kuvveti ve O ucundaki destek ile kuvvetin, destek ve yük arasında olduğu bir kaldıraç elde edilebilir.



Şekil 1.121: Kuvvetin destek ile yük arasında olduğu kaldıraç

L noktasındaki $\vec{P}$ ’nin, yük kolu a, K noktasına uygulanan $\vec{F}$ ’nin kuvvet kolu ise b’dir. Kuvvetin, destek ile yük arasında olduğu kaldıraçta denge durumu için O noktasına göre tork alınarak yük ve kuvvet arasında $F \cdot b = P \cdot a$ eşitliği elde edilir.

Bu eşitliğe göre kaldıraçtaki kuvvet kazancı için

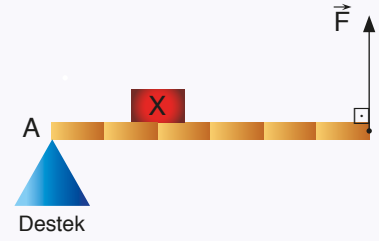
$$(K \cdot K) = \frac{P}{F} = \frac{b}{a} \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Bu eşitliğe göre kuvvetin yük ile destek arasında olduğu kaldıraçlarda

$b < a$ ve $\frac{b}{a} < 1$ olacağından kuvvetten kayıp yoldan kazanç vardır.

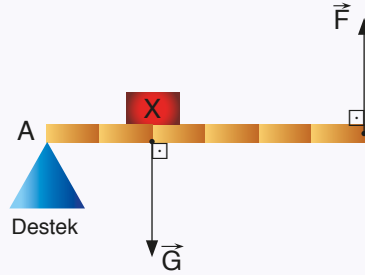
Örnek: Homojen eşit bölümlendirilmiş çubuk üzerinde duran $\vec{G}$ ağırlıklı X yükü, $\vec{F}$ kuvveti ile şekilde verildiği gibi A noktasındaki destek ile dengede tutulmaktadır.

- a) Çubuk ağırlıksız kabul edilirse kuvvet kazancı nedir?
b) Çubuk ağırlığı G ise kaldıracın verimi % kaç olur?



Çözüm:

- a) $\vec{G}$ ağırlığı ile cismi dengede tutan $\vec{F}$ kuvveti arasındaki oranı bulmak için A noktasına göre tork alınır

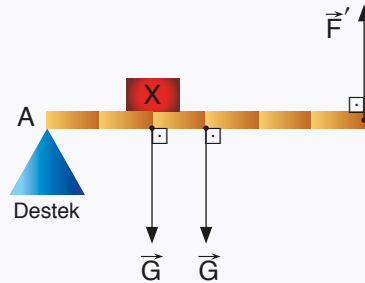


$$F \cdot 6 = G \cdot 2$$

$$F \cdot 3 = G \text{ ise}$$

$$(K \cdot K) = \frac{\text{Yük}}{\text{Kuvvet}} = \frac{G}{F} = 3 \text{ olarak bulunur.}$$

- b) Kaldıracın verimini bulmak için çubuğun $\vec{G}$ ağırlığıyla birlikte yükü dengede tutan $\vec{F}'$ kuvveti



$$F' \cdot 6 = G \cdot 2 + G_{\text{Çubuk}} \cdot 3$$

$$F' \cdot 6 = G \cdot 2 + G \cdot 3$$

$$F' = \frac{5G}{6} \text{ olarak elde edilir.}$$

Bu durumda

$$\text{Verim} = \frac{F}{F'}$$

$$\text{Verim} = \frac{\frac{G}{3}}{\frac{5G}{6}}$$

$$\text{Verim} = \frac{2}{5} = 0,4 \text{ olduğundan kaldıracın verimi \%40 olarak bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 70

Kar temizliği yapan Bahadır, 165 cm uzunluğundaki kar küreğinin sapını sağ eliyle üst ucundan, sol eliyle de bu ucun 60 cm uzağından tutarak bu noktada dizini destek olarak kullanmaktadır. Bahadır, kar küreğine aldığı 12 kg kütleli kar yığınına sağ eliyle aşağı yönde uyguladığı 180 N değerindeki kuvvet ile ancak kaldırmaktadır.

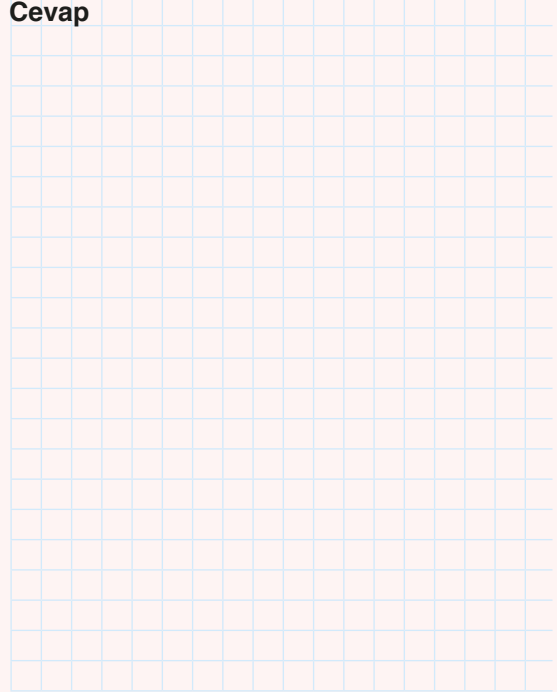


Kar yığınının kütle merkezinin kürek ucuna uzaklığı kaç cm'dir?

(Kar küreğinin ağırlığı ihmal edilecektir).

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Cevap



b) Makaralar

Merkezinden geçen mil ekseninde döneabilen, üzerinde ipin hareket edebileceği yiv bulunan dairesel şekildeki cisimlere makara denir. Makaralar sabit ve hareketli olmak üzere ikiye ayrılır.

1. Sabit Makaralar

Serbestce dönebilecek şekilde merkezinden geçen bir mil ile sabitlenen makaralardır. Öteleme hareketi yapmadığı, bir noktada sabitlendiği için bu adı almıştır. Şekil 1.122'de verildiği gibi r yarıçaplı ve sürtünmelerin ihmal edildiği sabit bir makarada, $\vec{P}$ yükü $\vec{F}$ kuvveti ile dengede tutulmaktadır. Kuvvetle yük arasındaki oranı bulmak için makaranın geometrik merkezi olan O noktasına göre tork alınır

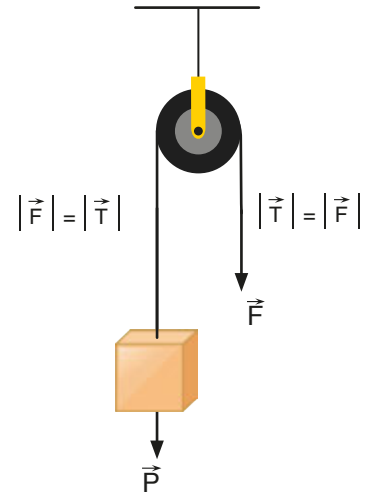
$$P \cdot r = F \cdot r$$

$$P = F$$

$$(K \cdot K) = (Y \cdot K) = \frac{P}{F} = 1$$

eşitliği sağlandığından sabit makaralarda kuvvet ve yoldan kazanç yoktur.

Sabit makaralar kuvvetin yön veya doğrultusunu değiştirerek kolaylık sağlayan bir basit makinedir.



Şekil 1.122: Sabit makara

2. Hareketli Makaralar

Merkezinden geçerek etrafında serbestçe dönebileceği mile yükün asılı olduğu ip üzerinde dönerek yük ile birlikte hareket eden makara türüdür.

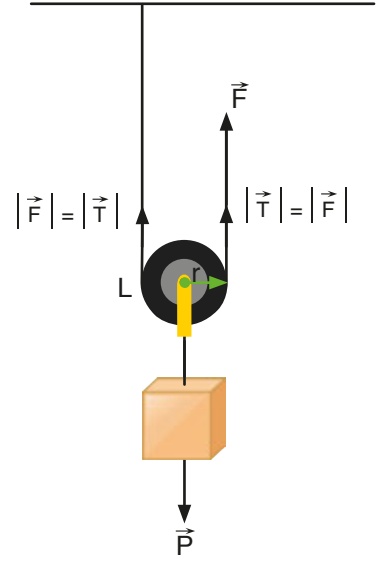
Şekil 1.123'te verildiği gibi sürtünmelerin ve ağırlığının ihmal edildiği r yarıçaplı hareketli bir makarada $\vec{P}$ yükü $\vec{F}$ kuvveti ile dengede tutulmaktadır. Kuvvetle yük arasındaki oranı bulmak L noktasına göre tork alınır

$$P \cdot r = F \cdot 2r$$

$$P = 2F$$

$$(K \cdot K) = (Y \cdot K) = \frac{P}{F} = 2$$

eşitliği sağlandığından hareketli makaralardaki kuvvetten kazanç ve yoldan kayıp 2'dir. Bu sonuca göre ip h kadar çekildiğinde yük $h/2$ kadar yükselir.

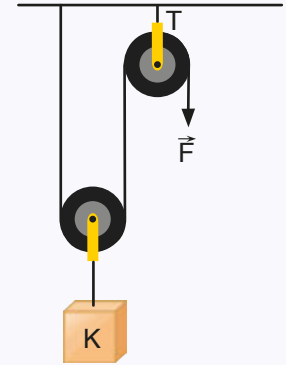


Şekil 1.123: Hareketli makara

Örnek: Şekildeki sürtünmelerin ve makara ağırlıklarının ihmal edildiği sistemde içi dolu K sandığı $\vec{F}$ kuvveti ile dengededir.

T gerilmesi 40 N olduğuna göre

- K sandığının ağırlığı kaç N'dir?
- Kuvvet kazancı kaçtır?



Çözüm:

- K sandığının ağırlığı

$$T = 2 \cdot F$$

$$40 = 2 \cdot F$$

$$F = 20 \text{ N}$$

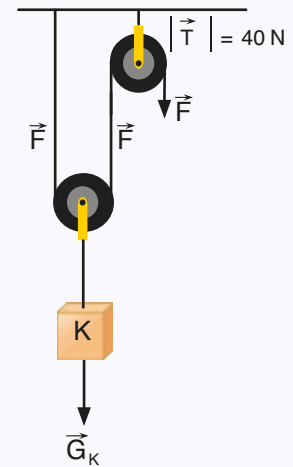
$$G_K = 2 \cdot F$$

$$G_K = 40 \text{ N bulunur.}$$

- Kuvvet kazancı = Yük/Kuvvet

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{40 \text{ N}}{20 \text{ N}}$$

$$\text{Kuvvet kazancı} = 2 \text{ bulunur.}$$



Örnek: Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde her bir makaranın ağırlığı $2 \vec{P}$ 'dir. $10 \vec{P}$ ağırlığındaki L yükü $\vec{F}'$ kuvveti ile dengededir. Buna göre

- a) $\vec{F}'$ kuvvetinin büyüklüğü kaç $\vec{P}$ 'dir?
b) Makara düzeneğinin verimi kaçtır?

Çözüm:

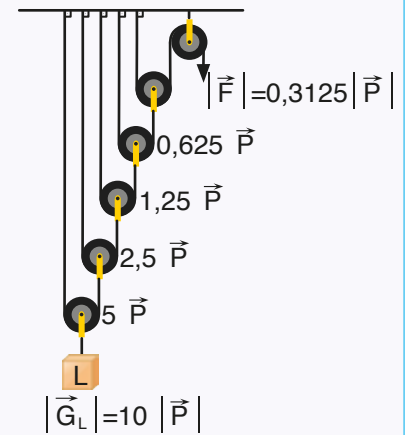
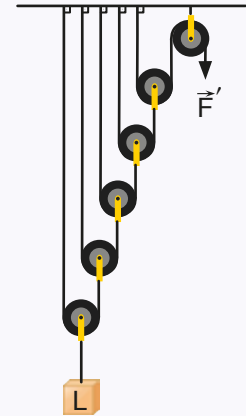
- a)
-
- $\vec{G}_L = 10 \vec{P}$
- $6 \vec{P}$
- $4 \vec{P}$
- $3 \vec{P}$
- $2,5 \vec{P}$
- $|\vec{F}'| = 2,25 |\vec{P}|$

- b) Makara düzeneklerinde verim hesaplanırken makaraların ağırlıkları dikkate alınmadan $\vec{F}$ kuvveti bulunur.**

$$\text{Verim} = \frac{F}{F'}$$

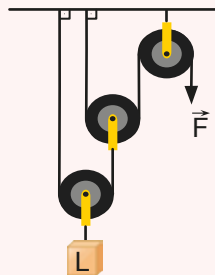
$$\text{Verim} = \frac{0,3125 \cdot P}{2,25 \cdot P}$$

Verim $\simeq$ %14 bulunur.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 71

Sürtünmelerin ihmal edildiği makara sistemi dengededir.



- L yükünün ağırlığı 144 N ve her bir makaranın ağırlığı 4 N olduğuna göre**

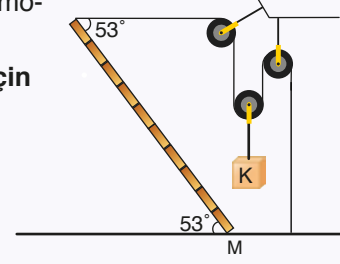
- a) Dengeleyici kuvvet kaç N'dır?
b) Sistemin verimi % kaçtır?

Cevap

Örnek: Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde eşit bölmeli homojen çubuğun ağırlığı $8\vec{P}$, makaraların ağırlıkları ise $\vec{P}$ 'dir.

Buna göre çubuğu şekildeki konumda dengede tutmak için hareketli makaraya asılan K yükü kaç $\vec{P}$ olur?

($\sin 37^\circ = 0,6$ $\sin 53^\circ = 0,8$)



Çözüm: M noktasına göre moment alınır

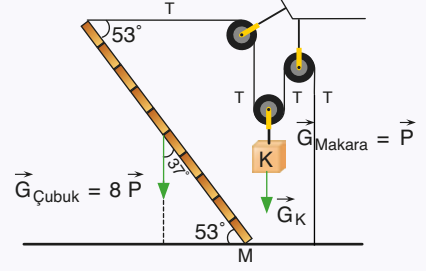
$$\begin{aligned} G_{\text{Çubuk}} \cdot \sin 37^\circ \cdot 5 - T \cdot \sin 53^\circ \cdot 10 &= 0 \\ 8 \cdot P \cdot 0,6 \cdot 5 &= T \cdot 0,8 \cdot 10 \\ 24 \cdot P &= 8 \cdot T \\ T &= 3 \cdot P \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

Bu durumda

$$2 \cdot T = G_{\text{Makara}} + G_K$$

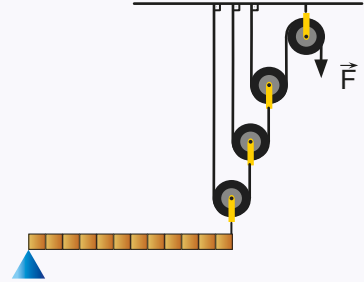
$$2 \cdot 3P = P + G_K$$

$$G_K = 5P \text{ olur.}$$



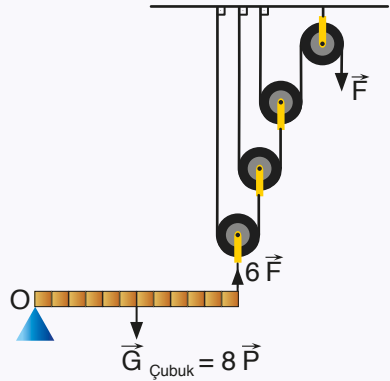
Örnek: Sürtünmelerin ve makara ağırlıklarının ihmal edildiği sistemde ağırlığı $8\vec{P}$ olan eşit bölmelendirilmiş homojen çubuk, şekildeki gibi dengededir.

Buna göre dengeyi sağlayan $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç $\vec{P}$ 'dir?



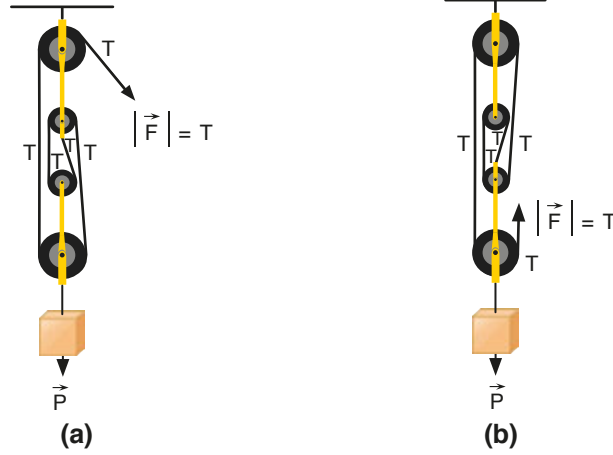
Çözüm: Desteğin olduğu O noktasına göre moment alınır $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü

$$\begin{aligned} 6F \cdot 12 - G_{\text{Çubuk}} \cdot 6 &= 0 \\ 6F \cdot 12 &= 8P \cdot 6 \\ F &= \frac{8P}{12} \\ F &= \frac{2}{3}P \text{ bulunur.} \end{aligned}$$



c) Palangalar

Birden fazla sabit ve hareketli makara kullanılarak oluşturulan, makaralar arasında aynı ipin kullanıldığı basit makineler **palanga** denir. Şekil 1.124'te verilen palangalarda, $\vec{F}$ kuvveti etkisiyle T gerilme kuvvetlerinin büyüklüğü ipin her noktasında birbirine eşittir. Şekil 1.24.a'da verilen palangada yükü dengede tutan gerilme kuvvetinin büyüklüğü $4 T_{ip}$ olduğundan, makara ağırlıkları ve sürtünmeler ihmal edildiğinde denge durumu için



Şekil 1.124: Palangalar

$4 \cdot T = 4 \cdot F = P$ eşitliği yardımı ile $(K \cdot K) = (Y \cdot K) = \frac{P}{F} = 4$ olarak elde edilir.

Bu sonuca göre Şekil 1.24.a'da verilen palangada kuvvetten kazanç ve yoldan kayıp 4'tür. $\vec{P}$ yükünü h kadar yükseğe çıkarmak için ipin 4h çekilmesi gerekir.

Aynı sayıda makara kullanılarak elde edilen Şekil 1.24. b'de verilen palangadaki kuvvetten kazanç ve yoldan kayıp ise 5'tir. Bu durumda palangada makaralar arasına ipin sarılma şekli kuvvetten kazancını değiştirir.

Örnek: Makara ağırlıklarının ve sürtünmelerin ihmal edildiği palanga sistemi şekildeki gibi dengededir.

İçi dolu K sandığının ağırlığı $2 \vec{G}$ olduğuna göre

a) Dengeleyici $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç $\vec{G}$ 'dir?

b) Palanga sisteminin kuvvet kazancı kaçtır?

Çözüm:

a) Dengeleyici kuvvet

$$4 \cdot T = 4 \cdot F = P_K$$

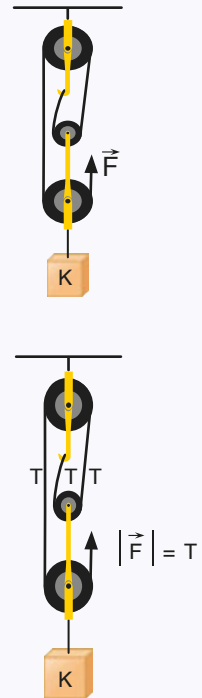
$$4 \cdot F = 2 \cdot G$$

$$F = \frac{1}{2} \cdot G \text{ bulunur.}$$

b) Kuvvet kazancı

$$(K \cdot K) = (Y \cdot K) = \frac{P_K}{F}$$

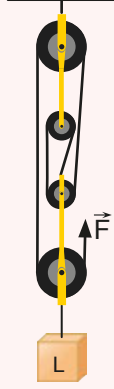
$$(K \cdot K) = \frac{2 \cdot G}{\frac{1}{2} \cdot G} = 4 \text{ bulunur.}$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 72

Makara ağırlıklarının ve sürtünmelerin ihmal edildiği palanga sistemi şekildeki gibi dengededir.



Cevap

İçi dolu L sandığının ağırlığı $15 \vec{G}$ olduğuna göre

a) Dengeleyici $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç $\vec{G}$ 'dir?

b) Palanga sisteminin kuvvet kazancı kaçtır?

ç) Eğik düzlem

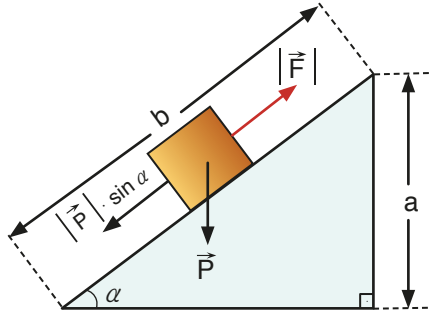
Eğik düzlemler kuvvetten kazanç yoldan kayıp sağlayan bir basit makine türüdür. Şekil 1.125'te verilen sürtünmesiz ve eğim açısı α olan eğik düzlemde $\vec{P}$ yükü ile dengeleyici $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü arasında $F = P \cdot \sin \alpha$ eşitliği vardır.

Eğik düzlemin yüksekliği a , uzunluğu b ise $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü

$F = P \cdot \frac{a}{b}$ eşitliği ile bulunabilir.

Bu durumda eğik düzlemdeki kuvvet kazancı ve yol kaybı için

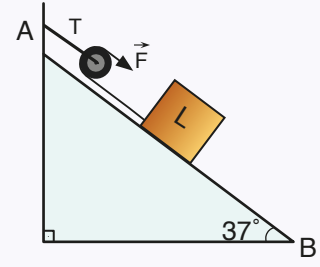
$(K \cdot K) = (Y \cdot K) = \frac{F}{P} = \frac{a}{b}$ eşitliği elde edilir.



Şekil 1.125: Eğik düzlem

Örnek: Eğik düzlemin IAB yüzeyi sürtünmeli olup sürtünme katsayısı 0,3'tür. 10 kg'lık içi dolu kutu eğik düzlemde $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak sabit hızla yukarı çekildiğine göre

- a) Kutuyu sabit hızla hareket ettiren $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N'dır?
b) İpteki gerilme kuvveti $\vec{T}$ 'nin büyüklüğü kaç N'dır?
c) Basit makine sistemindeki verim % kaçtır?
($\sin 37^\circ = 0.6$; $\cos 37^\circ = 0.8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)



Çözüm:

- a) Eğik düzlem üzerinde gösterilen kuvvetleri kullanarak denge şartı yazılırsa

$$F = F_{\text{Sür.}} + G_{Lx}$$

$$F = k \cdot m \cdot g \cdot \cos 37^\circ + m \cdot g \cdot \sin 37^\circ$$

$$F = 0,3 \cdot 10 \cdot 0,8 \cdot 10 + 10 \cdot 10 \cdot 0,6$$

$$F = 84 \text{ N bulunur.}$$

- b) İpteki gerilme kuvveti T,

$$T = 2 \cdot F$$

$$T = 2 \cdot 84$$

$$T = 168 \text{ N bulunur.}$$

- c) I. Yol

$$\text{Verim} = \frac{\Delta E}{W}$$

$$\text{Verim} = \frac{G_L \cdot 3h}{F \cdot 5h}$$

$$\text{Verim} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 3h}{84 \cdot 5h}$$

$$\text{Verim} = \frac{300h}{420h}$$

$$\text{Verim} \simeq \%71 \text{ bulunur.}$$

II. Yol

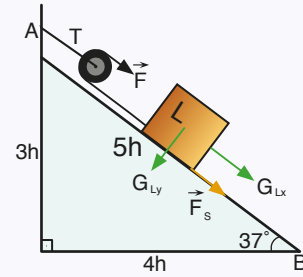
Sürtünmeler ihmal edilip yükü sabit hızla hareket ettirecek kuvvet için hesap yapılırsa

$$F = G_{Ly}$$

$$F = 60 \text{ N}$$

$$F' = 84 \text{ N}$$

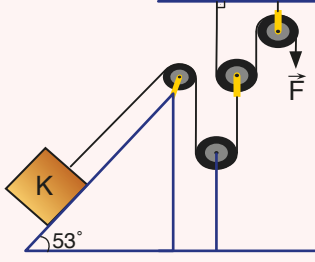
$$\text{Verim} = \frac{F}{F'} = \frac{60}{84} \simeq \%71 \text{ bulunur.}$$





ÇALIŞMA KÖŞESİ 73

Ağırlığı $10\vec{G}$ olan içi dolu K sandığı sürtünme katsayısı 0,5 olan eğik düzlem üzerinde $\vec{G}$ ağırlıklı makaraların kullanıldığı sistemde dengede tutulmak istenmektedir.



Dengeyi sağlayan en küçük $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç $\vec{G}$ 'dir?

($\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$)
($|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

Cevap



d) Vida

Vida, metal çubuk üzerine belli bir eğim verilerek dış açılan, montaj işlemlerinin vazgeçilmez malzemelerindendir. Dişlilere verilen eğim genellikle, saat ibreleri yönünde döndürüldüklerinde montaj için kullanıldığı malzemenin içinde yol alacak şekilde seçilir. Vidaların kendi eksenini etrafında bir tam tur döndürülmesiyle vidanın malzeme içindeki aldığı yola **vida adımı** denir. Vida adımı a ile gösterilir, birimi m'dir. Vidaların döndürülerek malzemelerin içinde ilerlemesi sırasında malzemeler tarafından gösterilen bir direnme kuvveti ile karşılaşır. Direnme kuvvetine **direnç kuvveti** denir ve $\vec{R}$ ile gösterilir, birimi N'dır.

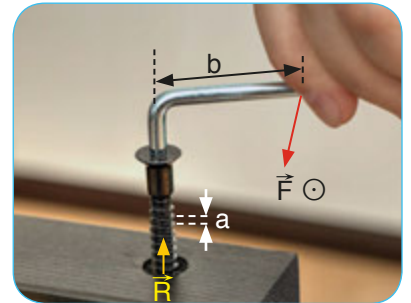
Direnç kuvvetinin $\vec{R}$ olduğu bir tahta blok üzerine adımı a olan bir vida monte edilmek istenmektedir (Görsel 1.49). Kuvvet kolu b olan alyana, saat ibreleri yönünde $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak bir tam tur attırılıp döndürülmektedir. Enerjinin korunumu ilkesine göre $\vec{F}$ kuvvetinin b yarıçaplı dairesel yörünge çevresi ile çarpımı kadar yaptığı iş, $\vec{R}$ kuvvetinin a yolu ile çarpımıyla elde edilen işe eşittir. Bu eşitlikten yararlanarak

$$F \cdot 2\pi \cdot b = R \cdot a$$

$$\frac{F}{R} = \frac{a}{2\pi b} \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Vida adımı a ve $2\pi b$ çevre uzunluğu arasında $2\pi \cdot b > a$ olduğundan vida, kuvvetten kazancın yoldan kaybın olduğu bir basit makine türüdür.

Vidanın aldığı yol yalnızca vida adımına ve tur sayısına bağlıdır.



Görsel 1.49: Monte edilen vida

F, R, a ve b'nin büyüklüğü vidanın kuvvet kazancını etkiler. Vida, her turda a kadar yol alacağından, vidanın aldığı yol h ile sembolize edildiğinde n tur atan bir vidanın aldığı yol

$h = n \cdot a$ eşitliği ile bulunur.

f) Çıkrık

Kuvvet kolunun bağlı olduğu, merkezinden geçen mil ekseninde döndürülen silindir üzerine ip sarılarak ip ucundaki yükün düşey doğrultuda aşağı ya da yukarı hareket etmesini sağlayan düzeneğe **çıkrık** denir. Çıkrık çok eskiden beri su kuyularından su çekmek için kullanılan bir basit makinedir (Görsel 1.50).

Örnek: Vida adımı 0,5 cm olan vida, 5 N'lık kuvvetle kol uzunluğu 5 cm olan alyan kullanılarak mobilyaya monte edilmektedir.

Buna göre mobilyanın direnç kuvveti kaç N'dır?

($\pi = 3$)



Çözüm: Mobilyanın uyguladığı direnç kuvveti

$$F \cdot 2 \cdot \pi \cdot b = R \cdot a$$

$$5 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = R \cdot 5 \cdot 10^{-3}$$

$$15 \cdot 10^{-1} = R \cdot 5 \cdot 10^{-3}$$

$$R = \frac{15 \cdot 10^{-1}}{5 \cdot 10^{-3}}$$

$$R = 300 \text{ N bulunur.}$$

Örnek: K vidası 3 tur, L vidası $\frac{5}{2}$ tur döndürüldüğünde vidaların ilerleme oranı $h_K/h_L = \frac{2}{5}$ olmaktadır.

Buna göre vidaların vida adımları a_K/a_L oranı kaçtır?

Çözüm: K ve L vidalarının vida adımları oranı

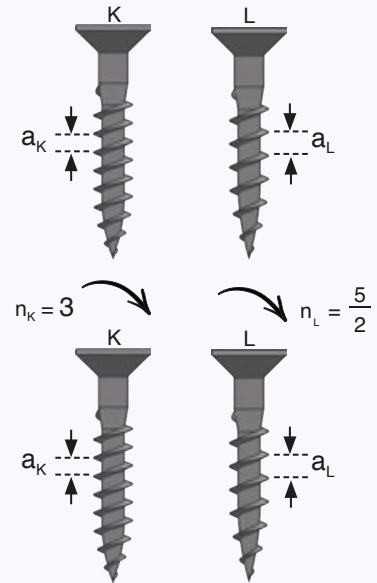
$$h_K = n_K \cdot a_K$$

$$h_L = n_L \cdot a_L$$

$$\frac{h_K}{h_L} = \frac{n_K \cdot a_K}{n_L \cdot a_L}$$

$$\frac{2}{5} = \frac{3 \cdot a_K}{\frac{5}{2} \cdot a_L}$$

$$\frac{a_K}{a_L} = \frac{1}{3} \text{ bulunur.}$$



Kuvvet kolu b ve yarıçapı r olan bir silindir ile oluşturulan çıkırcık Şekil 1.126'da verildiği gibidir. Çıkırcıkta ağırlığı $\vec{G}$ olan yükü dengede tutmak için gereken $\vec{F}$ kuvveti ile yük arasındaki oran, çıkırcığın dönme eksenine olan O noktasına göre tork alındığında

$$F \cdot b = G \cdot r$$

$$\frac{F}{G} = \frac{r}{b}$$

olarak bulunur. Elde edilen eşitliğe göre çıkırcık $b > r$ ise kuvvetten kazanç, yoldan kayıp sağlayan bir basit makinedir.

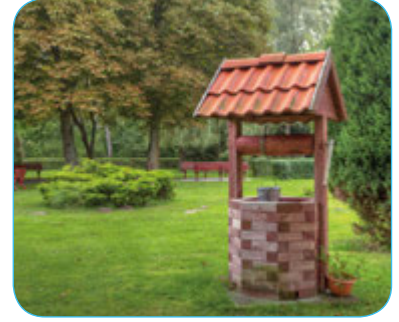
Yükün düşey doğrultuda yer değiştirme miktarı, silindirin yarıçapına ve tur sayısına bağlıdır. Yarı çapı r olan bir silindir ile oluşturulan çıkırcıkta, tur sayısı n ise yükün düşeydeki yer değiştirme miktarı h , silindirin çevresinin n katı olacağından

$$h = n \cdot 2\pi r$$

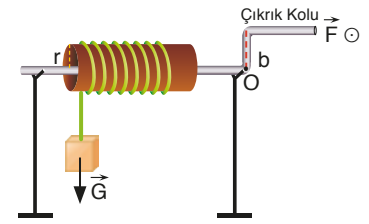
eşitliği ile bulunur.

f) Çark ve kasnaklar

Çark ve kasnaklar, merkezinden geçen mil ekseninde döneabilen daire ya da silindirlere kazandırılan dönme hareketinin, başka bir sisteme taşınarak hızını, yönünü veya her ikisini değiştirmek için oluşturulan düzeneklerdir. Çark ve kasnaklarda yoldan kayıp, kuvvetten kazanç ya da yoldan kazanç, kuvvetten kayıp söz konusu olduğundan bir basit makine türüdür.



Görsel 1.50: Kuyudan su çekmek için kullanılan çıkırcık



Şekil 1.126: Yük kaldırmak için kurulan çıkırcık sistemi

Örnek: Sürtünmesi önemsiz r yarıçaplı çıkırcık, $3r$ uzunluğundaki ağırlığı 4 N olan çubuğa sabitlenmiştir. Ağırlığı 10 N olan makara ile 74 N 'lık sandık şekildeki gibi dengededir.

- $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N 'dır?
- Kuvvet kazancı kaçtır?

Çözüm:

- Şekil üzerinde kuvvetler belirlenip O noktasına göre momenti alınırsa $\vec{F}$ kuvveti

$$T \cdot r = G_{\text{Çubuk}} \cdot \frac{3}{2} \cdot r + F \cdot 3r$$

$$42 \cdot r = 4 \cdot \frac{3}{2} \cdot r + F \cdot 3r$$

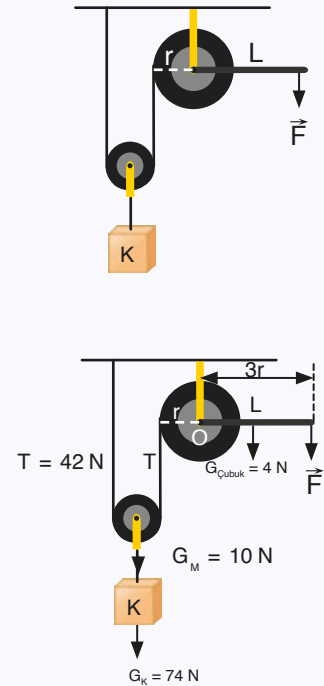
$$42 \cdot r = 6 \cdot r + F \cdot 3r$$

$$36 \cdot r = F \cdot 3r$$

$$F = 12 \text{ N bulunur.}$$

- Kuvvet kazancı = Yük / Kuvvet

$$\text{Kuvvet kazancı} = \frac{74}{12} = \frac{37}{6} \text{ bulunur.}$$



Örnek: Çıkık sistemi ile su kuyusundan kova yardımıyla sabit hızla 10^{-2} m^3 su çekilmek istenmektedir.

Silindirin çapı 15 cm, kuvvet kolunun uzunluğu 30 cm olduğuna göre kuvvet koluna uygulanması gereken kuvvet kaç N'dır?

($d_{\text{su}} = 1000 \text{ kg/m}^3$, $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

Çözüm: 10 litre suyun ağırlığı bulunursa

$$d = \frac{m}{V}$$

$$m = d \cdot V$$

$$m \cdot g = d \cdot V \cdot g$$

$$G_{\text{su}} = 1000 \cdot 10^{-2} \cdot 10$$

$$G_{\text{su}} = 100 \text{ N}$$

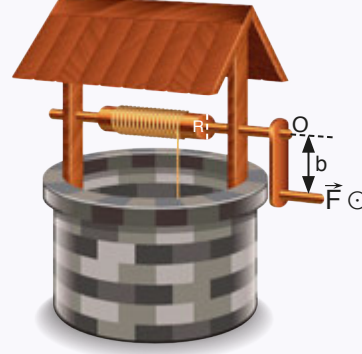
Uygulanması gereken $\vec{F}$ kuvveti için

$$F \cdot b = G_{\text{su}} \cdot \frac{R}{2}$$

$$F \cdot 3 \cdot 10^{-1} = 100 \cdot 7,5 \cdot 10^{-2}$$

$$F = \frac{7,5}{3 \cdot 10^{-1}}$$

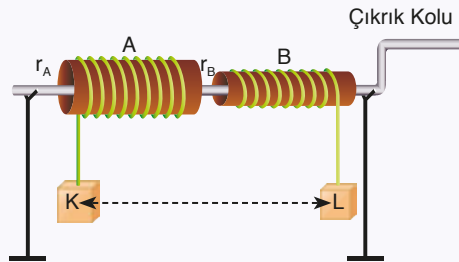
$$F = 25 \text{ N bulunur.}$$



Örnek: Yarıçapları sırasıyla $2r$ ve r_B olan A ve B çıkırıkları, K ve L yükleri ile şekildeki gibi dengededir.

Çıkık kolu 2 tur döndüğünde K ve L yükleri arasındaki düşey uzaklık $36r$ olduğuna göre B çıkırığının yarıçapı kaç r 'dir?

($\pi = 3$)



Çözüm: Çıkık kolu 2 tur döndüğünde A ve B çıkırıkları da eş merkezli olduğundan iki tur döner. Bu durumda K ve L yükleri arasındaki düşey uzaklık $h = 36r$ verildiğinden

$$h = n \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_A + n \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_B$$

$$36 \cdot r = 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot r + 2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot r_B$$

$$36 \cdot r = 24 \cdot r + 12 \cdot r_B$$

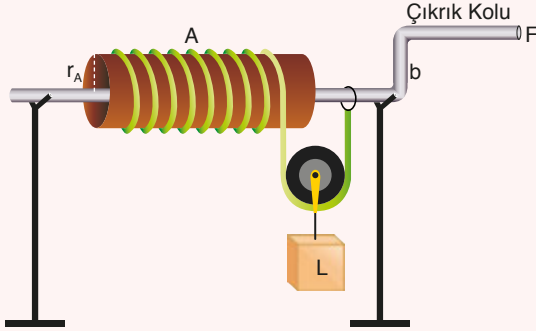
$$36 \cdot r - 24 \cdot r = 12 \cdot r_B$$

$$r_B = r \text{ bulunur.}$$



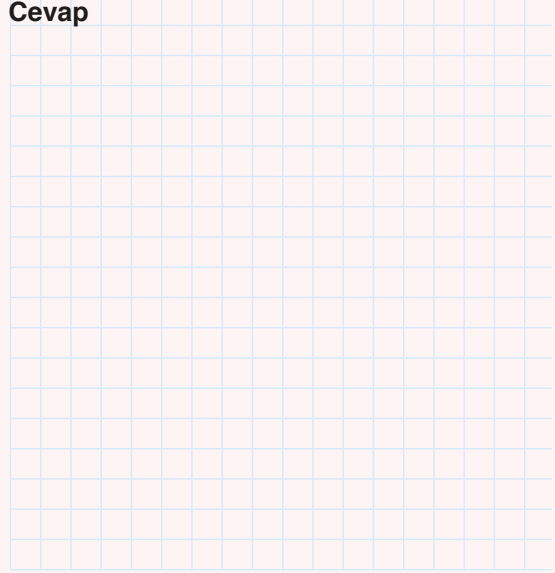
ÇALIŞMA KÖŞESİ 76

Şekildeki çıkıık sisteminde r yarıçaplı silindire hareketli makarayla asılı 300 N ağırlığındaki L yükü, kuvvet koluna uygulanan 50 N'lık kuvvetle dengelenmiştir.



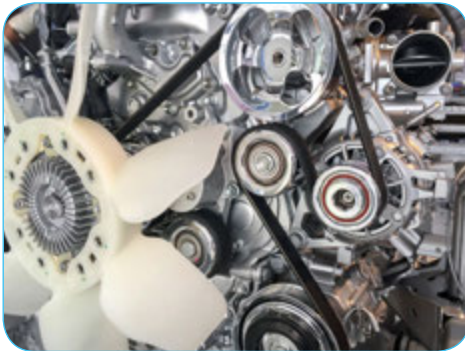
Makara ağırlığı ve sürtünmeler önemsenmediğine göre kuvvet kolunun uzunluğu (b) kaç r_A 'dir?

Cevap



Kasnaklarda dönme hareketini aktarmak ve otomobil motorlarını soğutmak için kullanılan fan sistemlerinde olduğu gibi kayış (Görsel 1.51) ya da bisikletlerde pedal ile arka tekerlek arasında olduğu gibi zincir (Görsel 1.52) kullanılır.

Şekil 1.127.a'da verildiği gibi yarıçapı r_A olan A kasnağı, yarıçapı r_B olan B kasnağına bir kayışla düz olarak bağlanmıştır. A kasnağına birim zamandaki dönme sayısı n_A olan bir dönme kazandırıldığında B kasnağının birim zamandaki dönme sayısı n_B olsun. Kasnakların yarıçapları ve birim zamandaki dönme sayıları arasında $\frac{n_A}{n_B} = \frac{r_B}{r_A}$ bağıntısı vardır.



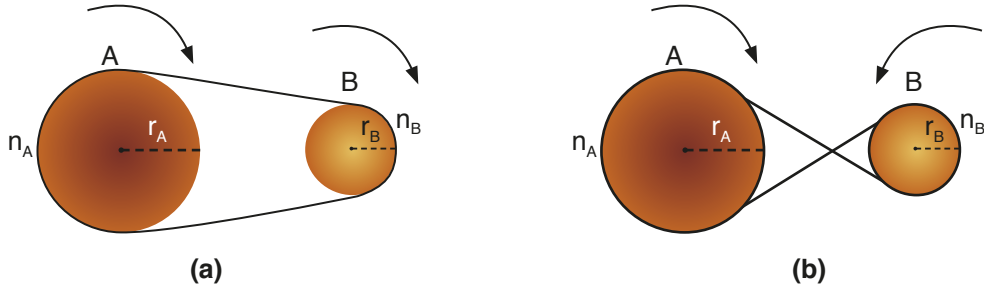
Görsel 1.51: Fan sistemindeki kayışlar



Görsel 1.52: Pedal ile arka tekerlek arasındaki zincir

A ve B kasnaklarının dönme sayıları ile yarıçapları ters orantılıdır. Kasnaklar Şekil 1.127.b’de verildiği gibi çapraz bağlanırsa kasnakların yarıçap ve birim zamandaki dönme sayılarının çarpımıyla elde edilen eşitlik değişmez. Kasnaklar çapraz bağlandığında zıt yönde döner.

Çark ve kasnaklar arasında dönme hareketini aktarmanın bir başka yolu da üzerlerine birbirine geçecek şekilde açılan dişlilerden yararlanmaktır. Örneğin mekanik saatlerin (Görsel 1.53) ve araçların güç aktarı-



Şekil 1.127: Düz ve çapraz bağlanmış kasnak düzenekleri

mında kullanılan sistemlerin iç yapısında (Görsel 1.54) çok sayıda dişli kullanılır. Araçların güç aktarımının büyük olması nedeniyle dişli sistemlerindeki aşınmayı önlemek için dişlilerde motor yağı kullanılmalıdır. Birbirine temas edecek şekilde aynı sistemde kullanılan dişlilerin uyum içinde çalışabilmesi için diş büyüklüklerinin birbirine eşit olması gerektiğinden üzerine diş açılan dairesel cisimlerin yarıçapları ile diş sayıları doğru orantılıdır. Şekil 1.128’de yarıçapı r_A olan A dişlisi, yarıçapı r_B olan B dişlisi ve yarıçapı r_C olan C dişlisinin kullanıldığı bir düzenek oluşturulmuştur. A, B ve C dişlilerinin dönme sayıları sırasıyla f_A , f_B , f_C ; üzerindeki diş sayıları n_A , n_B , n_C ile yarıçapları r_A , r_B ve r_C arasında



Görsel 1.53: Mekanik saat dişlileri



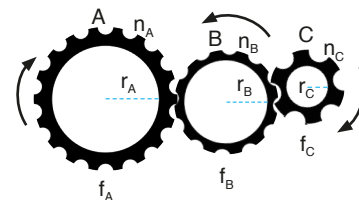
Görsel 1.54: Araçlardaki güç aktarım dişlileri

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{f_A}{f_B} \quad \text{ve} \quad \frac{n_A}{n_C} = \frac{r_C}{r_A} = \frac{f_A}{f_C} \text{ eşitlikleri elde edilir.}$$

A dişlisi saat ibresinin dönme yönünde döndürüldüğünde, B dişlisi saat ibresinin tersi yönünde dönerken C dişlisi de saat ibresinin dönme yönünde döner.

Eş merkezli olarak kullanılan birbirine perçinlenmiş dişli ve kasnak sistemlerinde dönme yönleri aynı, dönme sayıları da birbirine eşittir. Bu durumda Şekil 1.129’da verilen r_A yarıçaplı A kasnağına perçinlenmiş eş merkezli r_B yarıçaplı B kasnağının dönme sayıları f_A ve f_B arasında

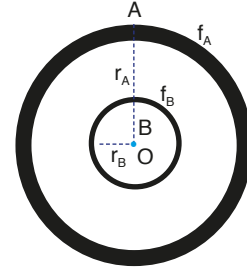
$f_A = f_B$ eşitliği vardır.



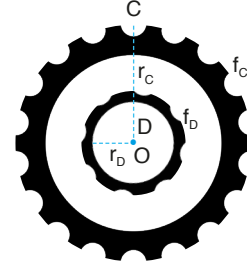
Şekil 1.128: A, B ve C dişlileri

Dönme sayıları arasındaki bu eşitliği Şekil 1.130'da verilen eş merkezli birbirine perçinlenmiş r_C ve r_D yarıçaplı C ve D dişlilerinin dönme sayıları f_C ve f_D arasında yazmak da mümkündür. Bu dişlilerin dönme sayıları f_C ve f_D arasında

$f_C = f_D$ eşitliği vardır.

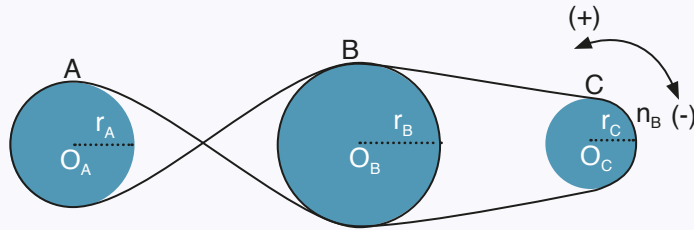


Şekil 1.129: Birbirine perçinlenmiş eş merkezli A ve B kasnağı



Şekil 1.130: Birbirine perçinlenmiş eş merkezli C ve D dişlisi

Örnek: Merkezleri O_A , O_B ve O_C olan A, B ve C kasnakları şekilde verilmiştir. A kasnağının yarıçapı $3r$, B kasnağının yarıçapı $5r$ ve C kasnağının yarıçapı $2r$ 'dir.



C kasnağı (-) yönde 1 tur dönerse A kasnağı hangi yönde, kaç tur döner?

Çözüm: Tur sayılarına f denirse A kasnağının tur sayısı,

$$f_C \cdot r_C = f_B \cdot r_B$$

$$1 \cdot 2r = f_B \cdot 5r$$

$$f_B = \frac{2}{5}$$

$$f \cdot r_A = f_B \cdot r_B$$

$$f_A \cdot 3r = \frac{2}{5} \cdot 5r$$

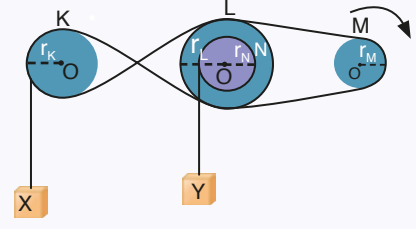
$$f_A = \frac{2}{3} \text{ bulunur.}$$

C kasnağı, B kasnağına düz bağlı olduğundan C kasnağı (-) yönde döndüğü için B kasnağı da (-) yönde döner. B kasnağı, A kasnağına ters bağlı olduğundan B kasnağı (-) yönde döndüğünden A kasnağı (+) yönde döner.

Örnek: K, L, M ve N kasnaklarından oluşan sistemde kasnakların yarıçapları sırası ile $2r$, $3r$, r ve $2r$ olup L ve N kasnaklarının merkezleri çakışıktır.

M kasnağı ok yönünde 1 tur döndürülürse X ve Y yükleri arasındaki düşey uzaklık kaç r olur?

($\pi = 3$)



Çözüm: X ve Y yükleri arasındaki düşey uzaklığın bulunabilmesi için kasnakların tur sayılarının bilinmesi gerekir. Buna göre M kasnağı ok yönünde 1 tur döndürülürse L kasnağı

$$f_M \cdot r_M = f_L \cdot r_L$$

$$1 \cdot r = f_L \cdot 3 \cdot r$$

$$f_L = \frac{1}{3} \text{ tur atar.}$$

L ve N kasnağının merkezleri çakışık olduğu için N kasnağı da $\frac{1}{3}$ tur atar. Buradan K kasnağı

$$f_L \cdot r_L = f_K \cdot r_K$$

$$\frac{1}{3} \cdot 3 \cdot r = f_K \cdot 2 \cdot r$$

$$f_K = \frac{1}{2} \text{ tur atar.}$$

M kasnağı 1 tur döndürüldüğünde Y yükü düşey doğrultuda yukarı, x yükü düşey doğrultuda aşağı hareket eder. Yüklerin aralarındaki düşey uzaklık

$$h = h_x + h_y$$

$$h = f_K \cdot 2\pi r_K + f_N \cdot 2\pi r_N$$

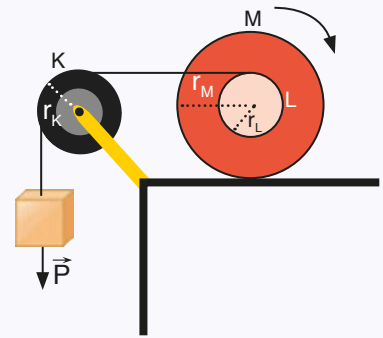
$$h = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot r + \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot r$$

$$h = 10r \text{ bulunur.}$$

Örnek: Yarıçapı $3r$ olan M kasnağı ile yarıçapı r olan L kasnağı, merkezleri çakışacak biçimde perçinlenmiştir. Yarıçapı r olan K kasnağının ucuna, $\vec{P}$ yükü asılmıştır.

M kasnağı ok yönünde kaç tur döndürülse $\vec{P}$ yükü $12r$ yer değiştirir?

($\pi = 3$)



Çözüm: $\vec{P}$ yükünün düşeydeki yer değiştirmesine h denirse M ve L kasnağının tur sayısı f

$$h = h_{\text{ilerleme}} + h_{\text{dönme}}$$

$$h = f \cdot 2\pi \cdot r_M + f \cdot 2\pi \cdot r_L$$

$$12 \cdot r = f \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3r + f \cdot 2 \cdot 3 \cdot r$$

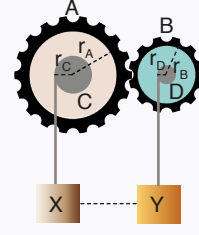
$$12 = 18 \cdot f + 6 \cdot f$$

$$f = \frac{12}{24} = \frac{1}{2} \text{ olarak bulunur.}$$

Örnek: Dişli ve kasnaklardan kurulu şekildeki sistemde, A dişlisinin yarıçapı $3r$, B dişlisinin yarıçapı $2r$ 'dir. Yarıçapları r ve $r/2$ olan C ve D kasnaklarının merkezleri sırasıyla A ve B dişlisine çakışıktır.

B dişlisi, 6 tur döndürülürse başlangıçta aynı yükseklikte olan X ve Y yüklerinin düşey uzaklıkları kaç r olur?

(X ve Y'nin bağlı olduğu ipler yeterince uzun olup $\pi = 3$ olarak alınız.)



Çözüm: B dişlisinin saat ibrelerinin yönünde döndürüldüğü kabul edilirse B dişlisi için $f_B = 6$ iken A dişlisi için f_A :

$$f_A \cdot r_A = f_B \cdot r_B$$

$$f_A \cdot 3r = 6 \cdot 2r$$

$$f_A = 4 \text{ olarak bulunur.}$$

C ve D kasnaklarının merkezleri dişlilere çakışık olduğu için C kasnağı 4 tur, D kasnağı da 6 tur döner. Kasnaklar, çevreleri kadar ip saracağından X ve Y yükleri arasındaki düşey uzaklığa h denirse

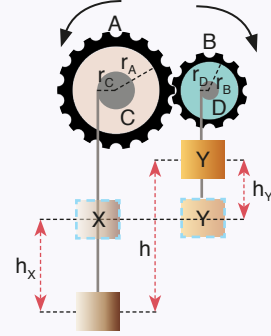
$$h = h_x + h_y$$

$$h = f_C \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_C + f_D \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_D$$

$$h = 4 \cdot 2 \cdot 3 \cdot r + 6 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \frac{r}{2}$$

$$h = 24r + 18r$$

$$h = 42r \text{ bulunur.}$$



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Basit makinelerle ilgili öğrendiklerinizi göz önünde bulundurarak konuyla ilgili kitap, bilimsel dergi vb. birincil kaynaklardan veya Genel Ağ'dan faydalanarak farklı basit makine tasarımlarını inceleyiniz.

Siz de basit makinelerden oluşan güvenli bir tasarım hazırlayınız. Tasarımınızı yaparken

- Atık malzemelerden ve bilişim teknolojilerinden faydalanmaya özen gösteriniz.
- İş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini göz önünde bulundurunuz.

Not: Tasarımlar kişi veya kişilere özgü, insanlığa hizmet eden, hayatın hemen her alanında değişim ve gelişime katkıda bulunan özgün ürünlerdir. İnsanlığa olan katkısı ve işlevi doğrultusunda tasarımlar, bazı projeler veya kurumlar tarafından satın alınıp üretime geçirilebilir. Sizler de yapacağınız tasarımlarla TÜBİTAK gibi bilimsel kuruluşların düzenlediği proje yarışmalarına başvurabilir, ülkemize ve insanlığa hizmet edecek büyük projelerde yer alabilirsiniz. Zekâ, vakit ve emeğin bir ürünü olan bu tasarımların taklit, çalınma gibi bazı risklere karşı korunması amacıyla özgünlüğünü belgelemek (patentini almak) gerekmektedir.

1. Ünite Ölçme ve Değerlendirme

- Aşağıdaki cümlelerin doğru ya da yanlış olduklarını boş bırakılan kutucuklara doğruysa D, yanlışsa Y olarak belirtiniz, cevabınızın nedenini açıklayınız.
- Aşağıdaki açık uçlu soruların cevabını ilgili alana yazınız.
- Çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

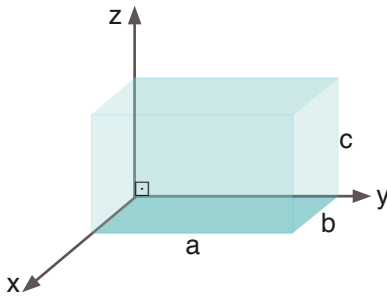
D	Y	
		1. İki vektörün arasındaki açı küçüldükçe bileşke vektör her zaman küçülür.
		2. Yer değiştirmesi sıfır olan bir cismin ortalama hızı sıfırdan farklı bir değer olamaz.
		3. Hareketli bir cismin ivme büyüklüğü sabit ya da azalırken hızı artabilir.
		4. Aynı yönde hareket eden iki hareketlinin anlık fotoğrafı çekildiğinde, yan yana olması yalnız eşit büyüklükteki hızla hareket etmeleri hâlinde gerçekleşir.
		5. Aynı kütleye sahip yağmur damlası ve küresel dolu tanesi limit hızları eşittir.
		6. Limit hıza ulaşıncaya kadar cismin ivmesi artar.
		7. Dengedeki bir cismin hızı her durumda sıfırdır.
		8. 50 katlı dikdörtgen geometriye sahip bir gökdelenin ağırlık ve kütle merkezi aynı noktada ve 25. kattadır.
		9. Sabit ivmeli hareket eden bir cismin eşit zaman aralıklarındaki kinetik enerji değişimi eşittir.
		10. Bir sistemde F kuvvetinin oluşturduğu tork ile bileşenlerinden birinin oluşturduğu tork zıt yönlü olabilir.
		11. Zıt yönde aynı büyüklükteki hızla hareket eden eşit kütleli iki cismin momentumları birbirine eşittir.
		12. Eşit büyüklükte kuvvet uygulanan serbest cisimlerden kütlesi küçük olanın hızındaki değişim daha büyük olur.
		13. Basit makinelerde her zaman kuvvetten kazanç ya da kayıp vardır.

14. x-y kartezyen koordinat sisteminde verilen $\vec{X} (3,-1)$, $\vec{Y} (-5,2)$ ve $\vec{Z} (10,-4)$ vektörleri arasındaki $\vec{X} + \vec{Y} - \vec{Z}$ işlemi sonunda elde edilen vektörün büyüklüğü nedir?

15. İki boyutlu kartezyen koordinat sisteminde yatayla 30° açı yapacak şekilde 20 N büyüklüğünde bir kuvvet vektörü çiziniz. Çizilen vektörün bileşenlerinin büyüklükleri nedir? ($\sin 30^\circ = 1/2$; $\cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$)

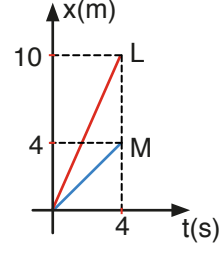
16. $\vec{K} (10, -7\sqrt{2})$ ve $\vec{L} (6, \sqrt{2})$ vektörleri ile $\vec{M}$ ve $\vec{N}$ vektörleri kullanılarak $\vec{K} - \vec{L} + \vec{M} = 0$, $\vec{K} - \vec{L} - \vec{N} = 0$ eşitlikleri elde edilmektedir. Buna göre $\vec{M}$ ve $\vec{N}$ vektörlerinin ifadeleri nedir?

17. Bir köşesi üç boyutlu kartezyen koordinat sisteminin orijinine yerleştirilen dikdörtgenler prizmasının a, b ve c kenar uzunlukları sırasıyla 15 cm, 5 cm ve 10 cm'dir.



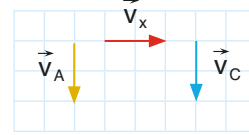
- Buna göre
a) $\vec{K} (5, 0, 10)$
b) $\vec{L} (5, 15, 0)$
c) $\vec{M} (5, 15, 10)$
vektörlerini şekil üzerinde çiziniz.

18. L ve M araçlarının konum-zaman grafikleri verilmiştir.



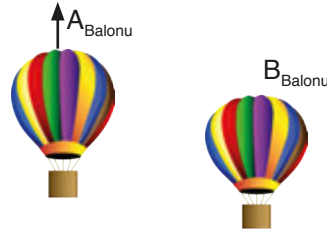
L aracında bulunan bir gözlemciye göre M aracının hızı kaç m/s büyüklüğündedir?

19. A, B ve C araçları aynı düzlemde hareket etmektedir. A ve C araçlarının hız vektörleri sırasıyla $\vec{v}_A$ ve $\vec{v}_C$ 'dir.



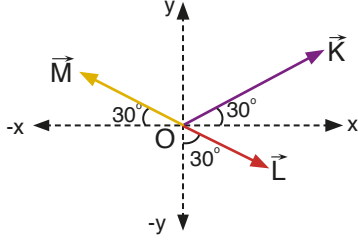
B hareketlisinden bakan bir gözlemci A'nın hızını $\vec{v}_x$ gibi gördüğüne göre C hareketlisinin hızını nasıl görür?

20. A balonu yukarı yönde 20 m/s'lik hızla yükselmektedir.



A balonundan bakan bir gözlemci B balonunun 5 m/s hızla yükseldiğini gördüğüne göre B balonunun hızı ve yönü nedir?

21. O noktasına uygulanan aynı düzlemdeki $\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin büyüklükleri sırasıyla 2 br, $\sqrt{3}$ br ve 1 br'dir.



Vektörlerin bileşkesinin büyüklüğü ve yönü nedir?

$$(\sin 30^\circ = \frac{1}{2}, \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2})$$

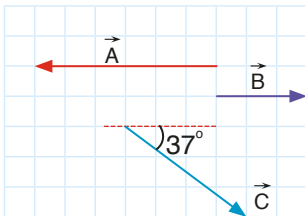
22. Canan ile Zeynep, birbirini çok seven ve birlikte keyifle çalışan iki arkadaştır. Zeynep, rahatsız olduğu için okula gelemeyen arkadaşı Canan için fizik dersinde öğrendiği vektörlerle ilgili ders notları hazırlar ve hazırladığı notları arkadaşına götürür. Zeynep'in arkadaşı için hazırladığı notlar şu şekildedir.

- Vektörel bir büyüklük herhangi bir n skaler ile çarpıldığında, vektörün yön ve doğrultusu değiştirilmeden n katı alınır.
- Vektörler aynı türden başka bir vektörle toplanabilir.
- Aralarında α açısı bulunan A ve B gibi iki vektörün bileşkesinin büyüklüğü kosinüs teoremi ile bulunabilir.
- Doğrultuları aynı, yönleri farklı olan vektörlere zıt yönlü vektörler denir.
- Yatayla α açısı yapan bir A vektörün yatay ve düşey bileşenleri sırasıyla

$$|\vec{A}_x| = |\vec{A}| \cdot \cos \alpha$$

$$|\vec{A}_y| = |\vec{A}| \cdot \sin \alpha$$

eşitlikleriyle bulunur.



Canan bu bilgileri kullanarak aynı düzlemde verilen $\vec{A}$, $\vec{B}$ ve $\vec{C}$ vektörel büyüklükleri ile ilgili doğru/yanlış olarak işaretleyeceği aşağıdaki seçeneklerin doğru cevaplarını nasıl vermesi gerekir?

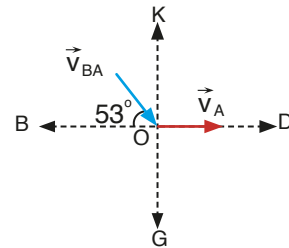
$$(\sin 37^\circ = 0,6; \cos 37^\circ = 0,8; \sin 180^\circ = 0; \cos 180^\circ = -1)$$

- a) $\vec{A} + \vec{B} = \frac{\vec{A}}{2}$
b) $\vec{A} = -2\vec{B}$
c) $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörleri zıt yönlüdür.
ç) $\vec{C}$ ve $\vec{B}$ vektörleri arasındaki açı α olduğunda bileşkesi
 $R^2 = C^2 + B^2 + 2 \cdot C \cdot B \cdot \cos \alpha$ eşitliğiyle bulunur.
d) $\vec{C}$ vektörü yatayla α açısı yaptığında yatay bileşeni $|\vec{C}_x| = |\vec{C}| \cdot \cos \alpha$ eşitliğiyle hesaplanır.
e) $\vec{C}$ vektörü yatayla α açısı yaptığında yatay bileşeni $|\vec{C}_y| = |\vec{C}| \cdot \cos \alpha$ eşitliğiyle hesaplanır.

	a	b	c	d	e	f
Doğru						
Yanlış						

Değerlendirme

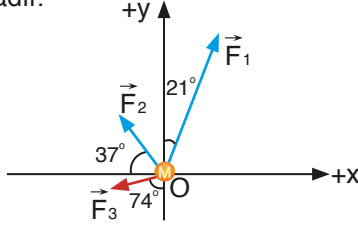
23. Düz bir yolda hareket eden A ve B araçlarından A aracının hızı $\vec{v}_A$, A aracının B aracına göre hızı ise $\vec{v}_{BA}$ olup büyüklükleri sırasıyla 14 m/s ve 10 m/s'dir.



Buna göre, B aracının hızı kaç m/s'dir?

$$(\sin 53^\circ = 0,8; \cos 53^\circ = 0,6)$$

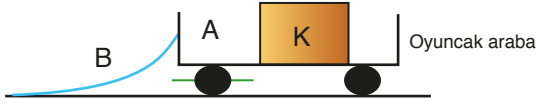
24. Yatay sürtünmesiz düzlemde durmakta olan noktasal M cisminde büyüklükleri sırasıyla 10 N, 5 N ve 3 N olan $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ ve $\vec{F}_3$ kuvvetleri uygulanmaktadır.



M cisminin sabit hızla hareket edebilmesi için uygulanması gereken dördüncü kuvvetin büyüklüğü kaç N olmalıdır?

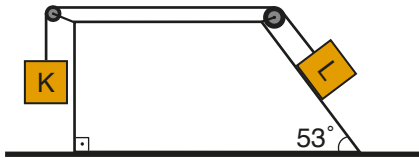
($\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$)

25. Kütlesi 4 kg olan sürtünmesiz oyuncak arabanın içinde kütlesi 2 kg olan K küpünün bağlı olduğu A ipi ancak 12 N'lık gerilmeye dayanabilmektedir.



Çocuk, oyuncacı A ipini koparmadan oynayabilmesi için B ipini en fazla kaç N'lık kuvvetle çekebilir?

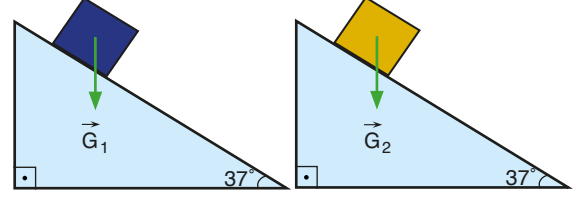
26. Sistemdeki K ve L cisimlerinin kütleleri sırasıyla 1 kg ve 4 kg'dır. L cisminin bulunduğu yüzeyin sürtünme katsayısı 0,5'tir.



Cisimler durgun halden serbest bırakıldığında ipte oluşan gerilme kuvveti kaç N olur?

($\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$; makaraların sürtünmeleri ihmal edilecektir.)

27. Eğim açıları 37° olan Şekil I'deki sürtünmesiz eğik düzlemde serbest bırakılan $\vec{G}_1$ ağırlığının cisim ve Şekil II'deki sürtünme katsayısı 0,2 olan eğik düzlemde serbest bırakılan $\vec{G}_2$ ağırlığındaki cisimler $\vec{a}$ ivmesi ile hareket etmektedir.



Şekil I

Şekil II

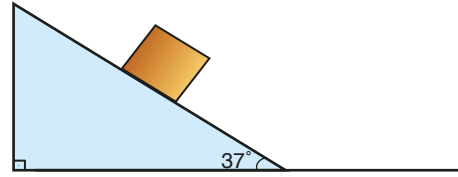
Cisimlerin eğik düzlemlerde zıt yönde hareket edebilmesi için

- a) Şekil I'de uygulanması gereken kuvvetin büyüklüğü $\vec{G}_1$ ağırlığının en az kaç katı olmalıdır?
b) Şekil II'de uygulanması gereken kuvvetin büyüklüğü $\vec{G}_2$ ağırlığının en az kaç katı olmalıdır?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

Değerlendirme

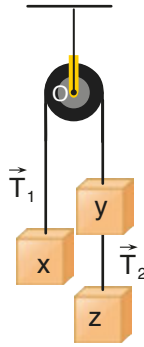
28. Eğim açısı 37° olan eğik düzlemde serbest bırakılan $\vec{G}$ ağırlığındaki cisim $\vec{a}$ ivmesi ile hareket etmektedir.



Cismin yatay düzlemde aynı büyüklükteki ivme ile hareketini sürdürebilmesi için

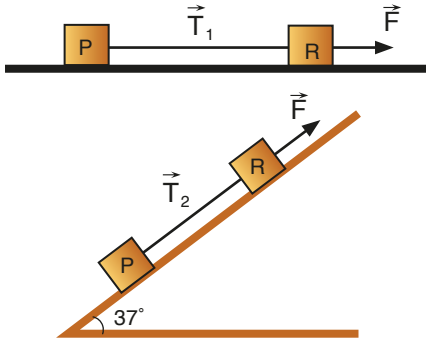
- a) Sürtünmeler ihmal edildiğinde cisme uygulanması gereken en küçük $\vec{F}$ kuvveti kaç $\vec{G}$ olur?
b) Düzlemlerin sürtünme katsayısı $k = 1/2$ ise cisme uygulanması gereken en küçük $\vec{F}$ kuvveti kaç $\vec{G}$ olur?

29. Sürtünmelerin ihmal edildiği makara sisteminde asılı x ve y cisimlerinin kütleleri eşit ve 6 kg, z cisminin kütlesi ise 8 kg'dır.



- a) Cisimler serbest bırakıldıklarında $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ ip gerilmesi kaç N'dır?
 b) Bir süre sonra y ve z cisimleri arasındaki ip koparsa $\vec{T}_1$ ip gerilme kuvvetinin büyüklüğü kaç N azalır?
 ($|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

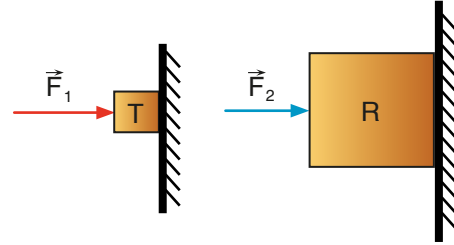
30. Yatay sürtünmesiz düzlemdeki birbirine ipe bağlı P ve R cisimlerinin kütleleri sırasıyla 2 kg ve 8 kg'dır. Cisimler yatay düzleme paralel 200 N büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvveti ile hareket ettirildiğinde cisimler arasındaki ipte oluşan gerilme kuvveti $\vec{T}_1$ 'dir.



P ve R cisimleri eğim açısı 37° , sürtünme katsayısı $k = 0,5$ olan eğik düzlemde düzleme paralel aynı büyüklükteki $\vec{F}$ kuvveti ile hareket ettirildiğinde cisimler arasındaki gerilme kuvveti $\vec{T}_2$ olduğuna göre $\frac{\vec{T}_1}{\vec{T}_2}$ oranı nedir?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

31. Düşey sürtünmesiz düzlemde üzerine yatay 100 N büyüklüğündeki $\vec{F}_1$ kuvveti uygulanan T cisminin kütlesi 1 kg, 200 N büyüklüğündeki $\vec{F}_2$ kuvveti uygulanan R cisminin kütlesi ise 10 kg'dır.



- a) Cisimlerin serbest cisim diyagramını çiziniz.
 b) Cisimler serbest bırakıldıklarında kazanacakları $\vec{a}_R$ ve $\vec{a}_T$ ivmelerinin büyüklükleri nedir?
 ($|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

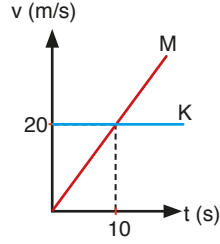
Ölçme ve Değerlendirme

32. Yapılan testlerde dikkatli bir sürücünün seyir hâlindeyken tehlikeyi fark edip frene basma arasında geçen tepki süresi 0,6 s olarak ölçülmüştür. Hız limitinin 90 km/h olduğu düz bir yolda sabit hızla hareket eden bir otomobil sürücüsü, frene bastıktan 2 s sonra durabilmiştir.

Otomobilin yavaşlama ivmesi 20 m/s^2 olduğuna göre otomobil sürücüsü

- a) Hız limitini kaç m/s aşmıştır?
 b) Hız limitini aştığında durma mesafesini kaç m arttırmış olur?

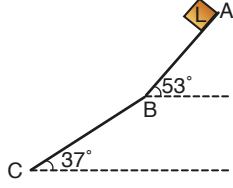
33. Durmakta olan bir motosikletli harekete başladığı anda yanından 20 m/s'lik sabit hızla ilerleyen bir kamyon motosikletliyi sollayarak geçmektedir.



Motosiklet ve kamyonun hız-zaman grafikleri şekildeki gibi olduğuna göre motosikletli

- a) Kamyona yetiştiği anda hızı kaç m/s'dir?
b) Kamyonu harekete başladığı yerden kaç m uzakta yakalar?

34. Dik kesiti şekildeki gibi olan eğik düzlemde IABI yolu ile IBCI yolları eşit uzunluktadır. IABI yolu sürtünmesiz IBCI yolu ise sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,75'tir.



Kütlesi 1 kg olan L kutusunun A noktasından B noktasına gelme süresi t_1 , B noktasından C noktasına gelme süresi t_2 olduğuna göre, t_1/t_2 oranı kaçtır?

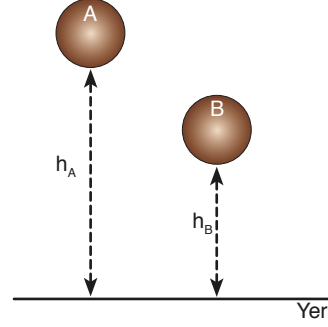
35. Yüksekliği 220 cm olan bir garajda, futbol topu 10 m/s hızla düşey doğrultuda yerden 40 cm yükseklikten yukarı atılmaktadır.

Atıldığı noktaya ilk kez gelme süresini bulunuz.

(Futbol topunun tavanla etkileşim süresini ve enerji kaybını ihmal ediniz.)

$$(|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg})$$

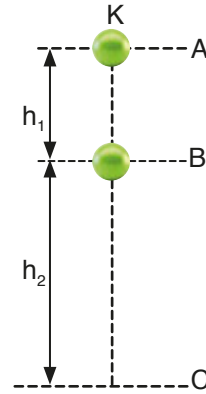
36. İlk hızsız serbest bırakılan A ve B cisimlerinin yere ulaşma süreleri sırasıyla t_A ve t_B 'dir. t_A süresi t_B süresinin 6 katıdır.



Buna göre cisimlerin bırakıldıkları yükseklikler arasındaki h_B/h_A oranı kaçtır?
($|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

Ölçme ve Değerlendirme

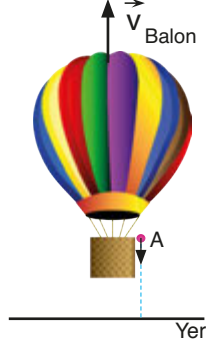
37. A seviyesinden serbest bırakılan K cismi B hızasına t_1 sürede, C hızasına t_2 sürede gelmektedir.



t_1/t_2 oranı 3/7 olduğuna göre, h_1/h_2 oranı kaçtır?

$$(|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg})$$

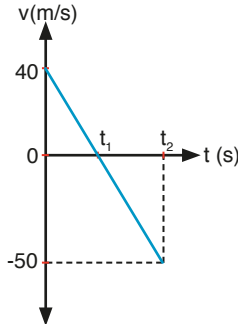
38. Yükselme hızı 10 m/s olan balondan balona göre 40 m/s hızla düşey doğrultuda aşağı yönde atılan A topu yere 60 m/s hızla çarpmaktadır.



Sürtünmeler ihmal edildiğinde A topu yere çarptığı anda balon yerden kaç metre yüksektedir?

$$(|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$$

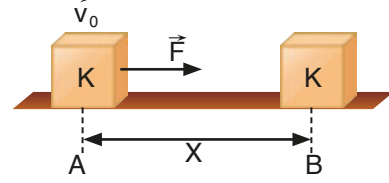
39. Yerden belirli bir yükseklikten atılan cisme ait hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Sürtünmeler ihmal edildiğine göre

- a) t_1/t_2 süreleri oranı
b) Cismin atıldığı yükseklik nedir?
 $(|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$

40. İlk hızı 10 m/s ve kütlesi 2 kg olan K cisminde sürtünmesiz ortamda 2 N büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvveti etki ederek cismin 150 m uzaklıktaki B noktasına kadar yer değiştirmesini sağlamaktadır.

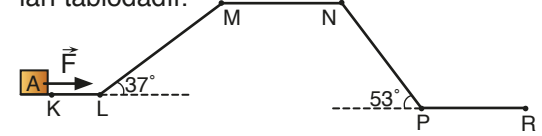


Buna göre

- a) $\vec{F}$ kuvvetinin yaptığı iş kaç J'dür?
b) B noktasındaki hızı kaç m/s'dir?
c) Cisim B noktasına geldiğinde $\vec{F}$ kuvveti ters çevrilirse K cisim A noktasından kaç metre uzakta durur?
 $(|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$

Değerlendirme

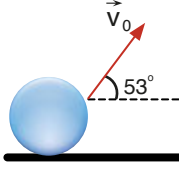
41. Kütlesi 5 kg olan A cisim K noktasında $\vec{v}_0$ ilk hızına sahip olup cisme hareketi süresince hareket yönünde 30 N büyüklüğündeki $\vec{F}$ kuvveti uygulanmaktadır. K, L, M, N ve P noktalarından geçerek R noktasına ulaşan cismin hareket ettiği düzlemlere ait sürtünme katsayıları tablodadır.



Yol aralığı	K-L	L-M	M-N	N-P	P-R
Sürtünme katsayısı	0,3	0,1	0,6	0,8	0,5

- a) Tüm yol aralıkları boyunca cisme etki eden ($F_{\text{Net}}-x$) grafiği nasıl olur?
b) Tüm yol aralıkları boyunca cismin $\vec{v}_0$ hızı ile hareket edebilmesi için $\vec{F}$ kuvveti kaldırılmadan cismin hareketi doğrultusunda uygulanması gereken kuvvetler nedir?
 $(\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6;$
 $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8; |\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$

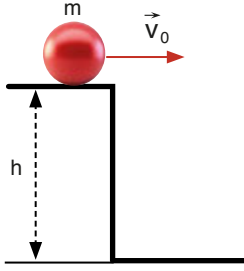
42. Kütlesi 2 kg olan bir cisim yatayla 53° açı yapacak şekilde 50 m/s büyüklüğündeki $\vec{v}_0$ hızı ile atılmaktadır.



Cismin düşey yönündeki hızı yatay yönündeki hızına eşit olduğu anda potansiyel enerjisi kaç J'dür?

($\cos 53^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

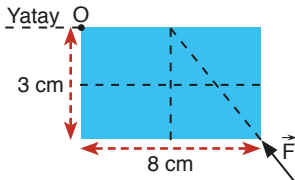
43. m kütleli bir cisim h yüksekliğinden yatay olarak $\vec{v}_0$ hızı ile atılmaktadır.



Cismin düşey doğrultuda 60 m yer değiştirdiği andaki hızı 40 m/s olduğuna göre $\vec{v}_0$ hızı kaç m/s'dir?

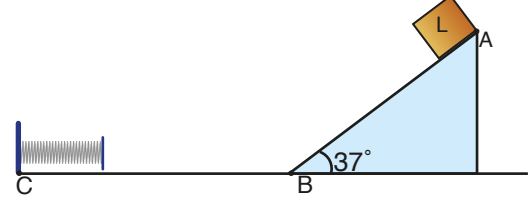
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

44. Dört eşit bölmeye ayrılmış 24 N ağırlığındaki dikdörtgen homojen türdeş levha O noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir. Levha $\vec{F}$ kuvveti yardımı ile yatay olarak dengelenmiştir.



Levhayı dengede tutan $\vec{F}$ kuvvetinin büyüklüğü kaç N'dır?

45. L cismi yerden yüksekliği 1,2 m olan eğik düzlemin A noktasından serbest bırakılmaktadır. Cisim sürtünme katsayısı 0,5 olan eğik düzlemin B noktasından geçip sürtünmesiz yatay yolu izleyerek C noktasındaki yaya çarpıyor.

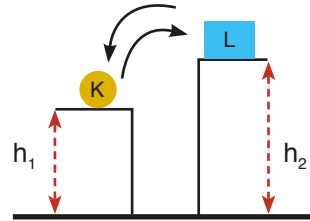


Yay sabiti 200 N/m olduğuna göre geri dönen cisim eğik düzlem üzerinde yere göre kaç metre yüksekliğe çıkabilir?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

Değerlendirme

46. h_1 ve h_2 yükseklikleri sırasıyla $4h$ ve $6h$ 'dir. K topunun yere göre potansiyel enerjisi $2E$, L kutusunun yere göre potansiyel enerjisi $6E$ 'dir.



K topu ve L kutusu kendi aralarında yer değiştirildiğinde potansiyel enerjisi sırasıyla E_K ve E_L olduğuna göre E_K/E_L oranı kaçtır?

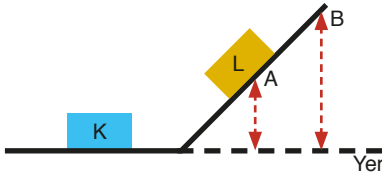
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

47. Kızılay ekipleri tarafından kütlesi 8 kg olan yardım paketleri ivedilikle nakliye aracına yüklenmek istenmektedir. Nakliye aracındaki yükleme rampasının uzunluğu 250 cm, eğim açısı 30° 'dir. Gönüllü çalışanlardan Abdullah rampanın alt ucundaki paketlere 5m/s hız kazandırırken, rampanın diğer ucuna ulaşabileceğini düşünmektedir. Sürtünme kuvvetinin sabit olduğu rampada yardım paketi ancak 200 cm ilerleyip geri kaymaya başladığına göre



- a) Yardım paketi ile rampa arasındaki sürtünme kuvveti kaç N'dır?
b) Paketin atıldığı noktaya geri döndüğü andaki hızı kaç m/s olur?
($\sin 30^\circ = 0,5$)

48. Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemdeki K ve L kutuları özdeştir. Yerden yüksekliği 0,8 m olan A noktasından serbest bırakılan L kutusu K kutusuna çarpıp yapışmaktadır. Çarpışma sonrası K ve L kutuları ortak hız ile hareket etmektedir.



L kutusu yerden yüksekliği 1,8 m olan B noktasından bırakılıp K kutusuna çarptıktan sonra ortak hızları kaç katına çıkar?
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

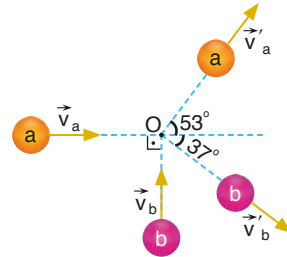
49. K metal küresi yatayla 53° açı yapacak şekilde 40 m/s hızla eğik olarak fırlatılmaktadır. Kürenin t anındaki hız vektörü atıldığı andaki hız vektörüne dik olduğu anda iç patlama sonucu iki eşit parçaya ayrılmaktadır.



Parçalardan birinin serbest düşme yaptığı bilindiğine göre diğer parçanın hızı kaç m/s olur?

$$(\cos 53^\circ = 0,6; \sin 53^\circ = 0,8 \quad |\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2)$$

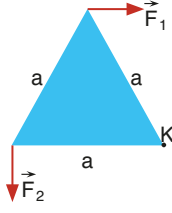
50. Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda 10 m/s sabit hızla hareket eden 300 g kütleli a cismi ile 5 m/s sabit hızla hareket eden 100 g kütleli b cismi, O noktasında çarpışmaktadır.



Merkezi esnek olmayan çarpışma şeklinde gerçekleşen çarpışma sonrası a ve b cisimlerinin kazandıkları $\vec{v}'_a$ ve $\vec{v}'_b$ hızlarının büyüklükleri nedir?

$$(\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6; \cos 37^\circ = \sin 53^\circ = 0,8)$$

51. Ağırlığı $2F_2$ olan eşkenar üçgen şeklindeki levha, K noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir.

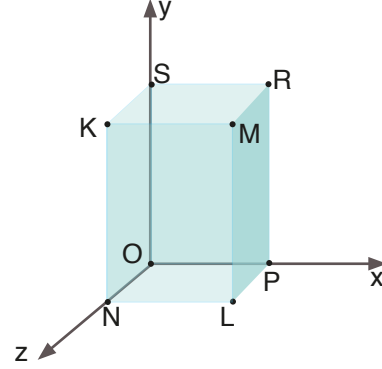


Levha $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri uygulanarak dengelendiğine göre $\vec{F}_1/\vec{F}_2$ oranı kaçtır?

$$(\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2})$$

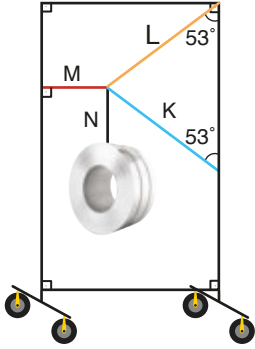
$$(\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 0,5)$$

53. Ağırlığı önemsiz dikdörtgenler prizması şeklindeki cisim, O noktası etrafında rahatça dönebilecek şekilde tutturulmuştur. Cismin K, L ve M köşelerine üç kuvvet ayrı ayrı uygulanarak tork elde edilmektedir. K (0,5,3)m, L(4,0,3)m ve M(4,5,3)m koordinatlarına sahip olan sabit büyüklükteki kuvvetlerin ilk andaki yönleri ile oluşturdukları torkların yönleri tablodadır.



Değerlendirme

52. Bir demir atölyesinde 750 kg kütleli rulo şeklindeki sac K, L, M ve N çelik halatlarıyla taşıma aracına bağlanarak dengede tutulmaktadır.

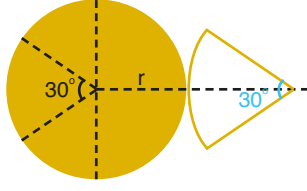


Sistemde kullanılan K, L, M ve N halatlarından hangisi çıkarılırsa sac dengede durabilir?
($\sin 53^\circ = 0,8$; $\cos 53^\circ = 0,6$)

Noktalar	K	L	M
Kuvvetler	$\vec{F}_K$	$\vec{F}_L$	$\vec{F}_M$
Kuvvetlerin büyüklüğü	5 N	10 N	20 N
Kuvvet yönü	+x	+y	-z
Tork yönü	+y	+z	-x

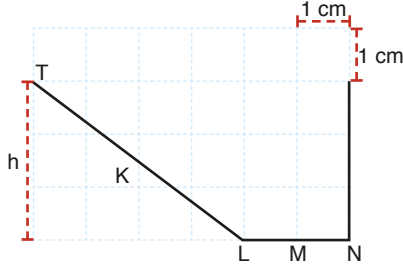
- a) Tabloda verilen yönlerde tork elde edilebilmesi için cismin sabitlenmesi gereken ikinci noktalar neresidir?
b) Oluşan torkların büyüklükleri kaç $m \cdot N$ 'dir?

54. Düzgün homojen türdeş dairenin yarıçapı 12 cm'dir. Dairenden 30° 'lik dilim kesilip yan tarafına eklenmektedir.



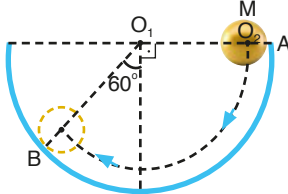
Dairenin kütle merkezi kaç santimetre yer değiştirmiş olur?
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

55. Homojen türdeş doğrusal tel L ve N noktalarından bükülmüştür.



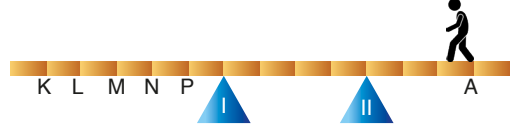
Tel hangi noktadan asılırsa T noktasının düşey h uzaklığı değişmez?
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

56. O_1 merkezli küresel pistin yarıçapı $5r$, O_2 merkezli M bilyesinin yarıçapı r 'dir.



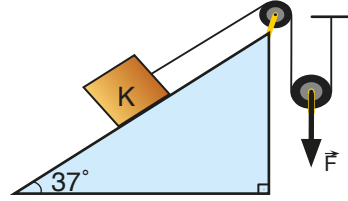
M bilyesinin pistte kaymadan dönerek A noktasından B noktasına ulaşması sağlandığında M bilyesi kaç kez dönmüş olur?

57. Ahmet, eşit bölmeli homojen olmayan düzgün bir çubuk üzerinde çubuğun yatay dengesini bozmadan ancak A ile K noktalarını sınırlandıran bölmeler arasında yürüyebilmektedir.



I desteği bir bölme sağa kaydırılarak A ucundan harekete başlayan Ahmet diğer ucta en fazla hangi noktaya kadar ilerleyebilir?

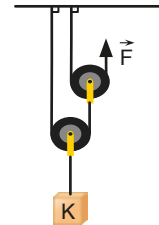
58. Sürtünmesiz eğik düzlem ve ağırlığı ihmal edilen hareketli makara ile kurulu sistemde $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak makara 5 cm aşağı yönde sabit hızla çekilmektedir.



Bu basit makine sisteminin kuvvet kazancı kaçtır?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

59. Özdeş makaralarla kurulu sistemde kütlesi 5 kg olan K cismi 20 N'lık $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak sabit hızla yukarı çekilmektedir.

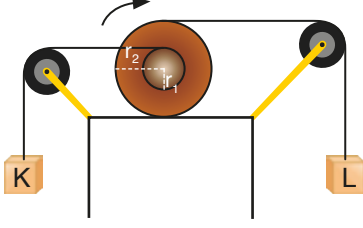


a) Her bir makaranın kütlesi kaç kg'dır?

b) Sistemin verimi % kaçtır?

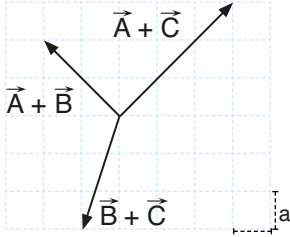
($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$, sürtünme ihmal edilecektir.)

60. Düşey aynı yükseklikte olan K ve L cisimlerinin yarıçapları arasında r_1/r_2 oranı $1/3$ olan eş merkezli makaralara bağlıdır.



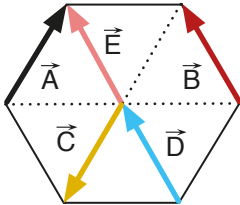
Eş merkezli makaralar şekilde gösterilen yönde patinaj yapmadan bir tam tur döndürülürse kütleler arasındaki düşey uzaklık kaç r_1 olur?
($\pi = 3$)

61. Kenar uzunluğu a olan kare ölçekli yatay düzlemde $\vec{A} + \vec{B}$, $\vec{A} + \vec{C}$ ve $\vec{B} + \vec{C}$ vektörleri verilmiştir.



Buna göre $\vec{A} + \vec{B} + \vec{C}$ vektörel toplamı kaç a büyüklüğündedir?

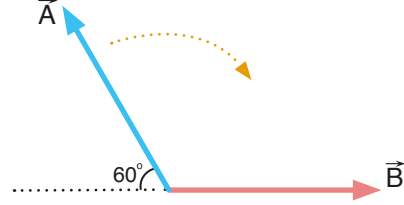
- A) 1/2 B) 1 C) 2 D) 3/2 E) 3
62. Düzgün altıgen üzerine $\vec{A}$, $\vec{B}$, $\vec{C}$, $\vec{D}$ ve $\vec{E}$ vektörleri yerleştirilmiştir.



Buna göre, vektörlerin bileşkesi hangisine eşittir?

- A) $\vec{B}$ B) $-2\vec{B}$ C) $3\vec{A}$ D) $3\vec{B}$ E) $-3\vec{C}$

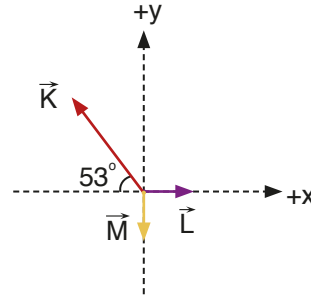
63. $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörlerinin büyüklüğü 40 br'dir. $\vec{A}$ ve $\vec{B}$ vektörünün bileşkesinin büyüklüğü $\vec{R}_1$, $\vec{A}$ vektörü ok yönünde 60° döndürüldüğünde $\vec{B}$ vektörüyle bileşkesinin büyüklüğü $\vec{R}_2$ olmaktadır.



Buna göre $\frac{|\vec{R}_1|}{|\vec{R}_2|}$ oranı kaçtır?

- A) $4\sqrt{3}$ B) $2\sqrt{3}$ C) $\sqrt{3}$ D) $\sqrt{3}/3$ E) $\sqrt{3}/2$

64. x-y düzlemindeki $\vec{K}$ vektörünün büyüklüğü 10 br'dir.



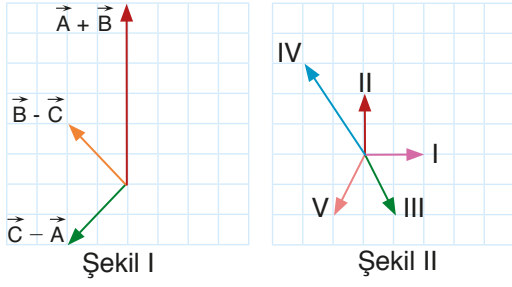
$\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin bileşkesinin +y yönünde olması için $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinin büyüklükleri sırasıyla kaç br olabilir?
($\sin 53^\circ = 0,8$; $\sin 37^\circ = 0,6$)

- A) (5 ve 4) B) (6 ve 8) C) (4 ve 2)
D) (8 ve 6) E) (6 ve 6)

65. Rüzgârın batı yönünde 100 km/h hızla estiği bir günde güney yönünde rüzgara göre 240 km/h hızla uçan uçağın yere göre hızı kaç km/h'tir?

- A) 250 B) 260 C) 270 D) 280 E) 300

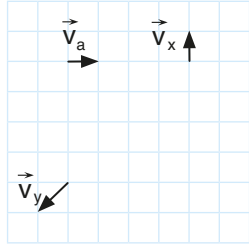
66. Eşit kare bölmeli düzlemde $\vec{A} + \vec{B}$, $\vec{B} - \vec{C}$ ve $\vec{C} - \vec{A}$ vektörleri Şekil I'de verilmiştir.



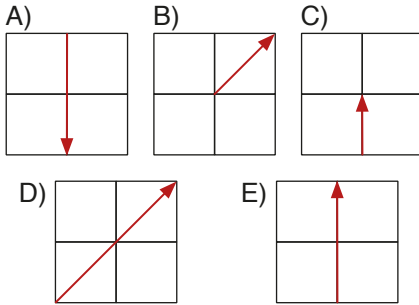
Buna göre, $\vec{B}$ vektörü Şekil II'de verilen vektörlerden hangisidir?

- A) I B) II C) III D) IV E) V

67. Akıntı hızının $\vec{v}_a$ olduğu bir nehirde X yüzücüsünün yere göre, Y yüzücüsünün suya göre hızları verilmiştir.



X yüzücüsünün Y yüzücüsüne göre hızı hangisidir?

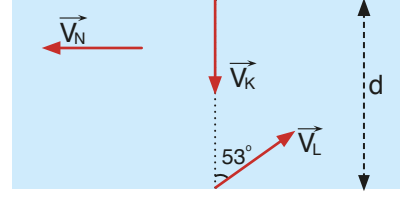


68. Durmakta olan bir cisim $\vec{a}$ ivmesiyle harekete başlamaktadır.

Cismin hareketinin (0-5) s zaman aralığındaki kinetik enerji değişimi E_1 , (5-10)s zaman aralığındaki kinetik enerji değişimi E_2 olduğuna göre, $\frac{E_1}{E_2}$ oranı kaçtır?

- A) 1/4 B) 1/3 C) 2/3 D) 2 E) 3

69. Genişliği d olan nehirde akıntı hızı $\vec{v}_N$, K yüzücüsünün nehre göre hızı $\vec{v}_K$ eşit büyüklükte ve 4 m/s'dir. L yüzücüsünün nehre göre hızı ise $\vec{v}_L$ olup büyüklüğü 10 m/s'dir.

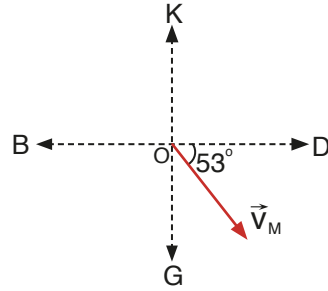


Yüzücüler belirtilen yönlerde 8 saniye yüzdüklerinde aralarındaki düşey uzaklık 20 metre olduğuna göre nehrin genişliği kaç metredir? ($\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$)

- A) 50 B) 75 C) 100 D) 150 E) 200

70. Aynı düzlemde hareket eden M ve L araçlarından M aracının hızı $\vec{v}_M$ olup büyüklüğü 5 m/s'dir.

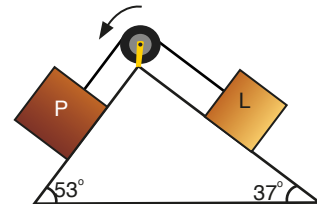
Değerlendirme



M aracındaki bir gözlemcinin, kuzeydoğu yönünde $\sqrt{2}$ m/s hızla gidiyormuş gibi gördüğü L aracının hızının büyüklüğü kaç m/s'dir?

- A) $\sqrt{2}$ B) 3 C) $3\sqrt{2}$ D) 5 E) $4\sqrt{2}$

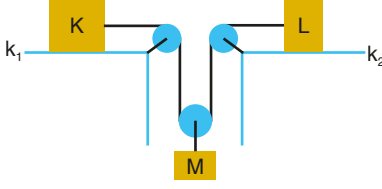
71. Sürtünmesiz ortamda P ve L cisimleri makarayı belirtilen yönde çevirecek şekilde 4 m/s'lik sabit hızlarla hareket etmektedirler.



Buna göre P'nin L'ye göre hızı kaç m/s'dir? ($\sin 37^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

- A) $\sqrt{2}$ B) $2\sqrt{2}$ C) 5 D) $4\sqrt{2}$ E) 6

72. Makara ağırlıklarının önemsiz olduğu şekildeki sistemde K ve L cisimlerinin kütleleri sırasıyla 4 kg ve 2 kg'dır. K ve L cisimleri sürtünme katsayıları sırasıyla 0,2 ve 0,1 olan k_1 ve k_2 yüzeyleri üzerindedir.



Yeterince uzun iplerin kullanıldığı sistemde cisimler serbest bırakıldıktan 2 saniye sonra K cisminin kinetik enerjisi 8 J olduğuna göre M cisminin kütlesi kaç kg'dır?

- A) 2 B) 24/7 C) 5 D) 7 E) 9

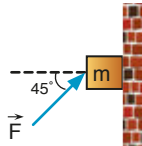
73. Birbirine iple bağlı X ve Y cisimlerinin kütleleri sırasıyla 5 kg ve 3 kg'dır.



Cisimler arasındaki ipte 80 N değerinde bir gerilme kuvveti oluşabilmesi için $\vec{F}$ kuvveti kaç N olmalıdır?

- A) 18 B) 24 C) 48 D) 80 E) 128

74. Sürtünme katsayısı k 'nin 0,2 olduğu düşey düzlemde m kütleli cisme yatayla 45° açı yapan $\vec{F}$ kuvveti uygulanarak cismin sabit hızla hareket etmesi istenmektedir.

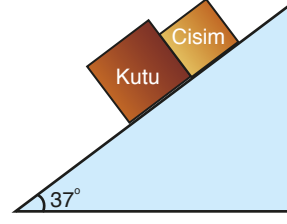


$\vec{F}$ kuvvetinin alabileceği en büyük değer 15 N ise en küçük değeri kaç N'dır?

($\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$ $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

- A) 20 B) 15 C) 12 D) 10 E) 8

75. Kutu ile arasındaki sürtünme katsayısı k olan eğik düzlemde, pürüzsüz bir yüzeye sahip camdan yapılmış cisim ile eğik düzlem arasında sürtünme kuvveti oluşmamaktadır.



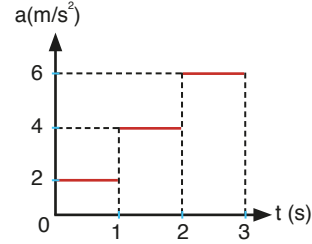
Cisim kendisiyle eşit büyüklükte kütleye sahip olan kutunun arkasına bırakıldığında 5 m/s^2 ivmeyle hareket ettiğine göre, cisim kutu içine bırakıldığında ivmesi kaç m/s^2 olur?

($\sin 37^\circ = 0,6$; $\sin 53^\circ = 0,8$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

- A) 1 B) 3/2 C) 2 D) 3 E) 4

Değerlendirme

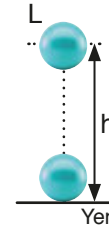
76. Doğrusal yörüngede durgun hâldeki cismin harekete başladığı andan itibaren ivme-zaman grafiği şekildeki gibidir.



Cismin 0-3 saniye zaman aralığında yaptığı yer değiştirme kaç metredir?

- A) 6 B) 10 C) 13 D) 14 E) 15

77. L cismi h yüksekliğinden serbest bırakılmaktadır.



L cismi yere 40 m/s hızla çarptığına göre 2. saniye içinde kaç m yol alır?

- A) 4 B) 5 C) 10 D) 12 E) 15

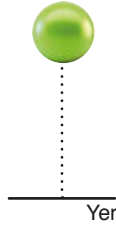
78. Akıntı hızının 2 m/s olduğu bir nehir üzerindeki A ve B iskeleleri arasındaki uzaklık 0,54 km'dir. A iskelesinde bulunan iki arkadaştan biri suya göre 4 m/s hızla kayıkla B iskelesine doğru harekete geçtiği anda diğeri de nehir kenarındaki koşu yolunda aynı yönde 4 m/s sabit hızla koşmaya başlamaktadır.



B iskelesine ulaştıktan sonra hiç beklemeden aynı büyüklükteki hızlarla geri dönen arkadaşlar A iskelesine kaç dk arayla gelirler?

- A) 10 B) 15 C) 1 D) 1,5 E) 5

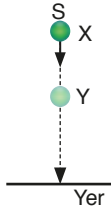
79. Serbest düşmeye bırakılan tenis topunun yere düşmeden 2 saniye önceki hızı 30 m/s'dir.



Tenis topunun bırakıldığı yükseklik kaç metredir? ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

- A) 100 B) 120 C) 125 D) 130 E) 140

80. X noktasından serbest bırakılan S cismi Y noktasından 20 m/s hızla geçerek yere 70 m/s hızla çarpmaktadır.

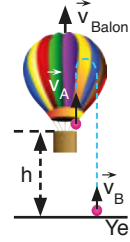


Buna göre Y noktası yerden kaç metre yükseklindedir?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

- A) 125 B) 225 C) 250 D) 275 E) 300

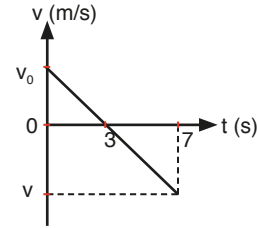
81. 20 m/s hızla yükselmekte olan bir balondan balona göre 30 m/s hızla A topu atılmaktadır. A topu ile aynı anda yerden 60 m/s hızla atılan B topu 8 s sonra çarpışmaktadır.



Buna göre balonun, A topunun atıldığı andaki yerden yüksekliği kaç metredir?

- A) 80 B) 60 C) 50 D) 25 E) 20

82. Düşey doğrultuda yukarı yönde $\vec{v}_0$ hızı ile atılan A cismi $\vec{v}$ hızı ile yere çarpmıştır. A cisminin ait hız-zaman grafiği şekildeki gibidir.

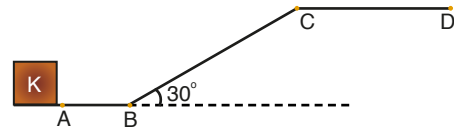


Buna göre A cismi kaç metre yükseklikten atılmıştır?

($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$, sürtünmeler ihmal edilecektir.)

- A) 15 B) 20 C) 25 D) 30 E) 35

83. Sürtünmelerin ihmal edildiği düzlemde A noktasındaki hızı 15 m/s olan K cismi, B ve yerden 10 m yükseklikteki C noktasından geçerek D noktasına ulaşmaktadır.

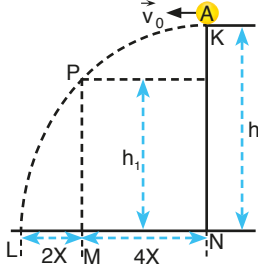


Yatay IABI ve ICDI yollarının uzunluğu 30 m olduğuna göre K cismi A noktasından D noktasına kaç s'de ulaşır?

($\sin 30^\circ = 0,5$; $\cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$; $|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

- A) 2 B) 4 C) 6 D) 8 E) 10

84. A bilyesi yüksekliği h olan K noktasından $\vec{v}_0$ hızı ile yatay doğrultuda atılmaktadır. Şekildeki yörüngeyi izleyen bilye h_1 P noktasından geçip L noktasında yere çarpmaktadır.



ILMI uzunluğu $2x$ ve IMNI uzunluğu $4x$ olduğuna göre h/h_1 oranı kaçtır?

- A) 9/5 B) 9/4 C) 3 D) 9/2 E) 9

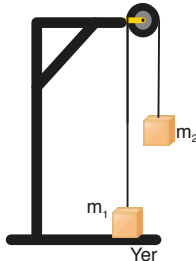
85. m kütleli bir cisim, düşey doğrultuda 30 m/s hızla yukarı yönde atılmaktadır.



Cismin atıldığı anda sahip olduğu kinetik enerjinin $1/3$ 'ü potansiyel enerjiye dönüştüğünde yerden yüksekliği kaç m 'dir?

- A) 10 B) 15 C) 20 D) 25 E) 30

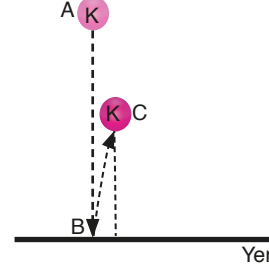
86. Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde aynı ipe bağlı m_1 ve m_2 kütlelerinin büyüklükleri sırasıyla 2 kg ve 6 kg olup m_2 kütleli cisim yerden 5 m yükseklikte tutulmaktadır.



Cisimler serbest bırakıldıklarında ulaştıkları maksimum hız büyüklüğü kaç m/s olur?

- A) 5 B) $3\sqrt{2}$ C) $4\sqrt{2}$ D) $5\sqrt{2}$ E) $6\sqrt{2}$

87. Yerden yüksekliği 45 m olan A noktasından serbest bırakılan 3 kg kütleli K topu, yerdeki B noktasına çarptıktan sonra 20 m yükseklikteki C noktasına çıkmaktadır.



K topunun A noktasından C noktasına gelme süresinde üzerine etkiyen itmenin büyüklüğü kaç $N.s$ olur? ($|\vec{g}| = 10 \text{ m/s}^2$)

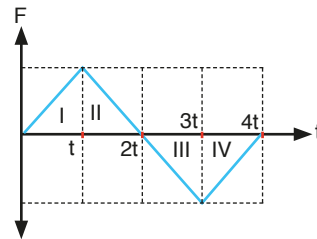
- A) 25 B) 50 C) 75 D) 150 E) 200

88. Kış mevsiminin gelmesiyle aracına kışlık tekerlek takmak isteyen Serhat Bey bijon anahtarını kullanarak yazlık tekerleğini sökmek istemektedir.

Kuvvet kolu 40 cm olan bijon anahtarına 500 N 'lık kuvvet uyguladığında oluşan torkun en büyük değeri kaç $N \cdot m$ 'dir?

- A) 20000 B) 2000 C) 200 D) 20 E) 2

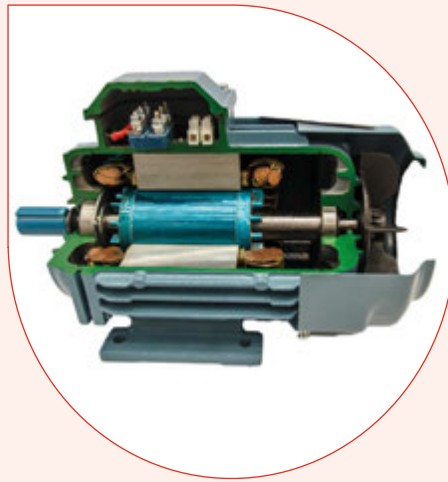
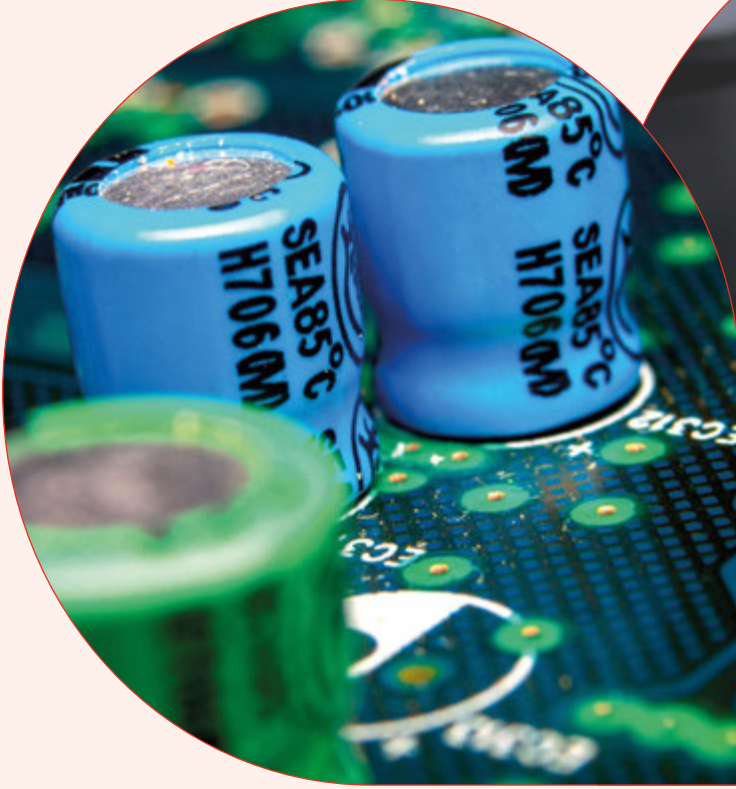
89. Kuvvet-zaman grafiği verilen cisme I, II, III ve IV zaman aralıklarında sırasıyla I_1 , I_2 , I_3 ve I_4 itmeleri uygulanmıştır.



İtmelerin büyüklükleri arasındaki ilişki nedir?

- A) $I_1 < I_2 < I_3 < I_4$
 B) $I_1 < I_2 = I_3 < I_4$
 C) $I_1 = I_2 = I_3 = I_4$
 D) $I_1 < I_2 = I_3 = I_4$
 E) $I_1 > I_2 > I_3 > I_4$

2 ÜNİTE



ELEKTRİK VE MANYETİZMA

Anahtar Kavramlar

Elektriksel kuvvet, elektrik alan, elektriksel potansiyel enerji, elektriksel potansiyel, elektriksel potansiyel farkı, sığa (kapasite), sığaç (kondansatör), manyetik alan, manyetik kuvvet, manyetik akı, alternatif akım, indüktans, kapasitans, empedans, rezonans, indüksiyon akımı, öz-indüksiyon akımı, transformatör.

Konu Başlıkları

- 2.1. Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan
 - 2.1.1. Yüklü Cisimler Arasındaki Elektriksel Kuvvet
 - 2.1.2. Noktasal Yük İçin Elektrik Alanı
 - 2.1.3. Noktasal Yüklerde Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alanla İlgili Hesaplamalar
- 2.2. Elektriksel Potansiyel
 - 2.2.1. Noktasal Yükler İçin Elektriksel Potansiyel ile İlgili Kavramlar
 - 2.2.2. Düzgün Elektrik Alanı İçinde İki Nokta Arasındaki Elektriksel Potansiyel Farkı
 - 2.2.3. Elektriksel Potansiyel Enerji ile Kütle Çekim Potansiyel Enerjisi
 - 2.2.4. Elektriksel Potansiyel İle İlgili Hesaplamalar
- 2.3. Düzgün Elektrik Alan ve Sığa
 - 2.3.1. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alan
 - 2.3.2. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanın Bağlı Olduğu Değişkenler
 - 2.3.3. Yüklü Parçacıkların Düzgün Elektrik Alanındaki Davranışı
 - 2.3.4. Sığa (Kapasite)
 - 2.3.5. Sığanın Bağlı Olduğu Değişken
 - 2.3.6. Sığacın (Kondansatör) İşlevi
 - 2.3.7. Yüklü Sığaçta Yük İle Gerilim Arasındaki İlişki
 - 2.3.8. Sığaçta Depolanan Enerji
 - 2.3.9. Kondansatörlerde Eşdeğer Sığa, Yük ve Potansiyel Farkı
 - 2.3.10. Sığaç Modeli
- 2.4. Manyetizma ve Elektromanyetik İndüklenme
 - 2.4.1. Üzerinden Akım Geçen Telin Oluşturduğu Manyetik Alan
 - 2.4.2. İletken Tel üzerinden Geçen Akımın Oluşturduğu Manyetik Alanla İlgili Hesaplamalar
 - 2.4.3. Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet
 - 2.4.4. Manyetik Alan İçerisinde Akım Taşıyan Dikdörtgen Tel Çerçeveye Etki Eden Kuvvetlerin Döndürme Etkisi
 - 2.4.5. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi
 - 2.4.6. Manyetik Akı
 - 2.4.7. İndüksiyon Akımı
 - 2.4.8. Manyetik Akı ve İndüksiyon Akımı ile İlgili Hesaplamalar
 - 2.4.9. Öz-İndüksiyon Akımı
 - 2.4.10. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışı
 - 2.4.11. Elektromotor Kuvveti
- 2.5. Alternatif Akım
 - 2.5.1. Alternatif Akımı ve Elektrik Şebekeleri
 - 2.5.2. Alternatif Akım ve Doğru Akımın Karşılaştırılması
 - 2.5.3. Alternatif Akım Devreleri
 - 2.5.4. İndüktans, Kapasitans, Rezonans ve Empedans
- 2.6. Transformatörler
 - 2.6.1. Transformatörlerin Çalışma Prensibi
 - 2.6.2. Transformatörlerin Kullanım Amaçları
 - 2.6.3. Transformatörlerle İlgili Hesaplamalar
 - 2.6.4. Enerji Transferlerinde Güç Kaybı

Isınma Turları

1. Radyonun fişi çekildiğinde çok kısa çalışmaya devam etmesinin sebebi nedir?
2. Neden uzun mesafeli iletimlerde yüksek gerilim kullanılır?

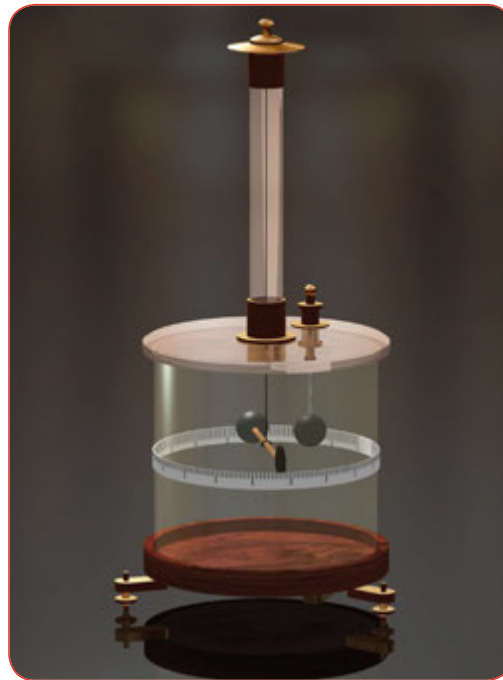
2.1. Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan

Elektrik yüklü noktasal cisim, merkezi kendisi olan küresel uzayda ışık hızı ile yayılan sürekli bir elektrik alan meydana getirir. Yükün elektrik alanı, çevresindeki uzayı dolduran vektörel bir büyüklüktür. Elektrik yüklü tüm cisimler için böyle bir alanın varlığı söz konusudur. Örneğin her elektrona, yüklü olmasından kaynaklanan bir elektrik alan eşlik eder. Aynı türden elektrik yükü ile yüklenen cisimler, birbirine itme kuvveti uygularken farklı türden elektrik yükü ile yüklenen cisimler birbirini çeker. Yüklü iki cisim arasındaki kuvvet etkileşimi, yüklerin karşılıklı oluşturdukları elektrik alanları aracılığıyla gerçekleşir.

Yerkürenin herhangi bir cisme uyguladığı kütle çekim kuvvetinde olduğu gibi elektrik yüklü cisimlerin birbirine kuvvet etki ettirmesi için yüklerin birbirine temas etmesi gerekmez. Bu türden temas gerektirmeyen kuvvetlere **alan kuvvetleri** denir. Kütle çekim kuvveti ve elektriksel kuvvet, alan kuvvetleridir.

2.1.1. Yüklü Cisimler Arasındaki Elektriksel Kuvvet

Charles Coulomb (Şarl Kulom), 1785 yılında kendi buluşu olan burulma terazisi adını verdiği düzenekle yüklü cisimler arasındaki kuvvetin büyüklüğünü ölçmüştür. Burulma terazisi, uzun bir telde asılı olan çok küçük bir halter ile yüklü cisimler arasındaki etkileşmeyi ölçecek şekilde tasarlanmıştır (Görsel 2.1). Fanus içinde biri halter üzerinde bulunan, diğeri de sabit tutulan yüklü cisimler bulunur. Yüklü cisimler arasında oluşan kuvvet, cisimlerin birbirini itmesine veya çekmesine neden olur. Ortaya çıkan hareket, telde bir burulma oluşturur. Burulmuş telin geri çağırıcı momenti, burulma açısıyla orantılı olduğundan bu açının büyüklüğü, çekme veya itme kuvvetinin nicel bir ölçümünü sağlar. Coulomb, yaptığı bu deneyde parçacıkların yükünün (q) ve yükler arasındaki uzaklığın (r) değiştirilmesiyle iki parçacık arasında oluşan kuvvetin değiştiğini bulmuştur. Durgun yüklü iki parçacık arasında oluşan kuvvet ile ilgili elde ettiği sonuçlar, **Coulomb Yasası** olarak adlandırılır. Coulomb Yasası'yla matematiksel modeli tanımlanan ve yüklü cisimlerin yüklerinden dolayı aralarında oluşan bu kuvvete **elektriksel kuvvet** denir. Elektriksel kuvvetin büyüklüğü $\vec{F}$ sembolüyle gösterilir ve SI sisteminde birimi **N**'dir.



Görsel 2.1: Burulma Terazisi



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Elektriksel Kuvvet

Etkinliğin Amacı: Yüklü cisimler arasındaki elektrik kuvveti etkileyen değişkenleri belirlemek

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, fare, kâğıt ve kalem

Yönerge

- Elektriksel kuvvet konulu simülasyona ulaşmak için kitabınızı pdf dosya üzerinden açınız ve ekran görüntüsüne tıklayınız.



- “A cisminin yükünü “Change on object A” ve B cisminin yükünü “Change on object B” değiştirmek için şerit üzerindeki noktayı; A ve B cisimleri arasındaki uzaklığı değiştirmek için cisimlerini aynı doğrultu üzerinde fare yardımıyla tutup ileri geri hareket ettirerek tabloda istenen değerlerin oluşmasını sağlayınız.
- Tabloda istenen büyüklüklere karşılık F_e değerini ilgili bölüme yazınız.

A Cisminin Yüğü (10^{-4})	B Cisminin Yüğü (10^{-4})	A ve B Cisimleri Arasındaki Uzaklık (m)	F_e
+10	-10	10	
-10	+10	10	
-10	-10	10	
-10	-5	10	
-10	-5	5	

Sonuçlandırma

- Elektriksel kuvvet hangi büyüklüklerin değişmesinden etkilenmiştir?
- F_e 'nin büyüklüğü ile değişkenleri arasında nasıl bir ilişki bulunmaktadır?

Aralarında r uzaklığı bulunan q_1 ve q_2 yüklü iletken cisimlerin birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$|\vec{F}| = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$ bağıntısı ile hesaplanır. Burada **k Coulomb sabiti** denilen bir sabittir. Coulomb sabitinin boşluk için değeri $k = 8,9875 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ dir. Bu değer, yaklaşık değeri olan $9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ olarak kullanılır. Coulomb sabiti, başka bir sabit olan ϵ_0 ile ifade edilir. Dielektrik sabiti olan ϵ_0 boş uzayın elektriksel geçirgenliğidir. Dielektrik sabiti; elektrik yüklü iki cismin arasındaki elektriksel kuvveti, büyüklüğü nisbetinde azaltan miktardır. Örneğin havasız ortamın dielektrik sabiti 1'dir, suyun dielektrik sabiti ise oldukça büyük olup 80'dir. Bu durum havasız ortamda yüklü iyonlar arasındaki elektriksel kuvvet suya göre 80 kat daha büyük demektir. Ortamın cinsine ve nem gibi özelliklerine bağlı olup Coulomb sabiti ile ters orantılıdır. Coulomb sabitinin elektriksel geçirgenliği ile ilişkisini veren eşitlik

$$k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0} \text{ şeklindedir.}$$

Kullanılan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: Birim Tablosu

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
kuvvet	$\vec{F}$	newton	N
coulomb sabiti	k	newton · metrekares/coulombkares	$N \cdot m^2/C^2$
yük	q	coulomb	C
uzunluk	r	metre	m
dielektrik sabiti	ϵ_0	farad/metre	F/m

Newton'ın III. hareket yasası etki tepki yasası olarak adlandırılır. Bu yasa yer çekimi ivmesi ya da yük gibi etkilerden bağımsız veya yalıtılmış hâlde bir kuvvetin var olmadığını gösterir. Coulomb Yasası da bunu doğrulayacak durumdadır. Aralarında r uzaklık bulunan yüklü cisimlerden q_1 yüklü cismine uygulanan kuvvet ile q_2 yüklü cismine uygulanan kuvvet daima aynı büyüklükte ve zıt yönlüdür. Elektriksel kuvvetin doğrultusu da yüklerin kütle merkezlerini birleştiren doğru üzerinde olmalıdır.

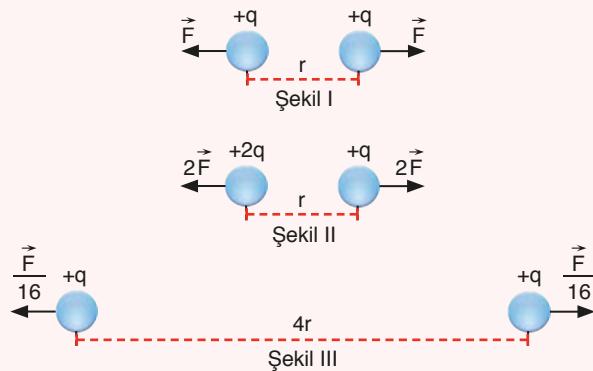
Şekil 2.1’de cisimlerin yük türlerine göre elektriksel kuvvet yönü gösterilerek q_1 yükünün q_2 yüküne uyguladığı kuvvet $\vec{F}_{12}$ şeklinde, q_2 yükünün q_1 yüküne uyguladığı kuvvet $\vec{F}_{21}$ şeklinde belirtilmiştir. Bu kuvvetler

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \text{ şeklinde yazılır.}$$


Şekil 2.1: Yük türüne göre elektriksel kuvvetlerin yönü

ÇALIŞMA KÖŞESİ 1

Bir öğrenci grubu, yaptıkları deneyde yüklü cisimleri Şekil I, Şekil II ve Şekil III'teki gibi yerleştirdiğinde yükler arasındaki elektriksel kuvvet sırasıyla F , $2F$ ve $F/16$ olarak ölçülmektedir.



Bu öğrenci grubunun yapmış olduğu deneyden elde ettikleri sonuçlar nelerdir?

Cevap



ÇALIŞMA KÖŞESİ 2

Yüklü iki cisim için

- I. Bulundukları ortamın elektriksel geçirgenliği iki katına çıkarılırsa Coulomb sabiti iki katına çıkar.
- II. Yükleri sabit tutularak aralarındaki uzaklık yarıya indirilirse yüklü cisimler arasında oluşan elektriksel kuvvetin büyüklüğü dört katına çıkar.
- III. Aralarındaki uzaklık sabit tutularak yükleri iki katına çıkarılan yüklü cisimlerin aralarında oluşan elektriksel kuvvetin büyüklüğü dört katına çıkar.

verilen yargılardan hangisi ya da hangilerinin doğru olduğunu nedenini açıklayarak yazınız.

Cevap

2.1.2. Noktasal Yük İçin Elektrik Alan

Maddeyi oluşturan temel parçacıklar matematiksel anlamda nokta parçacık olarak kabul edilir. Bu nedenle yüklü cisimler **noktasal yük** olarak ifade edilecektir.

Noktasal q yüklü bir cismin kendisinden r uzaklıktaki noktada meydana getirdiği elektrik alanının büyüklüğünü belirlemek için o noktaya +1 birim q_0 deneme yükü konulur. O noktada +1 birim q_0 deneme yüküne etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü, q yükünün r uzaklığındaki **elektrik alanı** denir. Elektrik alan vektörel bir büyüklüktür. $\vec{E}$ sembolüyle gösterilir ve SI sisteminde birimi N/C'dur. Elektrik alanının büyüklüğü

$$|\vec{E}| = k \cdot \frac{q}{r^2}$$
 eşitliği ile bulunur.

Eşitlikte kullanılan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2: Birim Tablosu

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
elektrik alan	$\vec{E}$	newton/coulomb	N/C
coulomb sabiti	k	newton · metrekares/coulombkares	N · m ² /C ²
yük	q	coulomb	C
uzunluk	r	metre	m

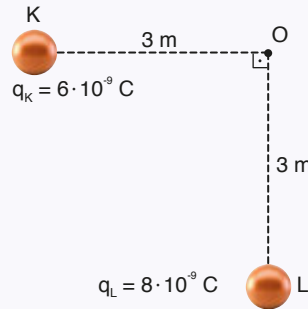
Elektrik alan; elektrik alana kaynaklık eden yüklü cismin yükünün büyüklüğü ile doğru, kaynak yük ile +1 birim q_0 yükü arasındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Bu özellik kullanılarak Şekil 2.2'de $+q$ ve $-2q$ yüklerinden r , $2r$ ve $3r$ uzaklığındaki +1 birim q_0 yükleri üzerinde elektrik alanlarının yönü ve büyüklüğü gösterilmiştir.



Şekil 2.2: $+q$ ve $-2q$ yüklü cisimlerinin oluşturduğu elektrik alan vektörlerinin yönü ve büyüklüğü

+1 birim q_0 deneme yükü birden fazla elektrik yüklü cismin oluşturduğu elektrik alan içinde bulunabilir. Bu durumda yüklü cisimlerin yük türüne dikkat edilerek her bir cismin +1 birim q_0 deneme yükü üzerindeki kuvvetlerin yönleri gösterilir. Sonrasında +1 birim yük üzerindeki tüm elektrik alanları ifade edecek elektrik alanı için vektörel işlemler yapılır.

Örnek: K ve L noktasal cisimlerinin yük miktarları sırasıyla $6 \cdot 10^{-9}$ C ve $8 \cdot 10^{-9}$ C'dur.



K ve L cisimlerinin O noktasında oluşturduğu elektrik alanın büyüklüğü kaç N/C'dur?

($k = 9 \cdot 10^9 \cdot \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$)

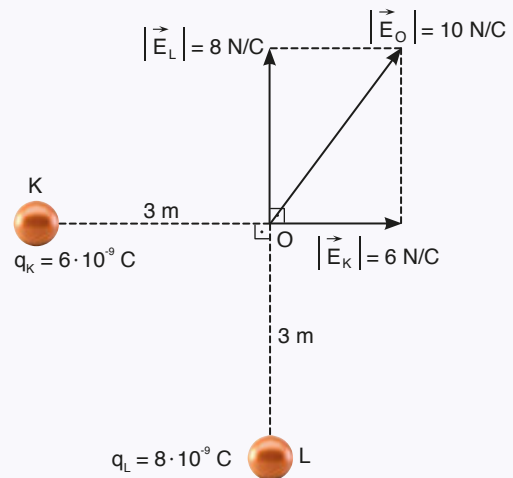
Çözüm: K ve L noktasal yüklerinin O noktasındaki elektrik alanların büyüklüğü sırasıyla $|\vec{E}_K|$ ve $|\vec{E}_L|$ olsun.

$|\vec{E}| = k \cdot \frac{q}{r^2}$ eşitliğinden yararlanılarak

$$\begin{aligned} |\vec{E}_K| &= k \cdot \frac{q_K}{r^2} & |\vec{E}_L| &= k \cdot \frac{q_L}{r^2} \\ |\vec{E}_K| &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-9}}{3^2} & |\vec{E}_L| &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{8 \cdot 10^{-9}}{3^2} \\ |\vec{E}_K| &= 6 \text{ N/C}, & |\vec{E}_L| &= 8 \text{ N/C} \text{ bulunur.} \end{aligned}$$

O noktasındaki elektrik alanın büyüklüğü

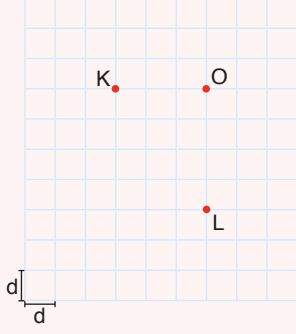
$$\begin{aligned} |\vec{E}_O|^2 &= \sqrt{|\vec{E}_L|^2 + |\vec{E}_K|^2} \\ |\vec{E}_O|^2 &= \sqrt{8^2 + 6^2} \\ |\vec{E}_O|^2 &= \sqrt{64 + 36} \\ |\vec{E}_O|^2 &= \sqrt{100} \\ |\vec{E}_O| &= 10 \text{ N/C} \text{ bulunur.} \end{aligned}$$





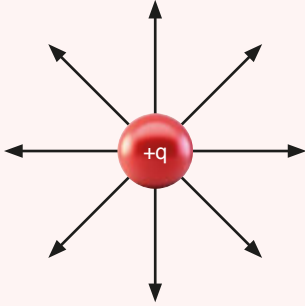
ÇALIŞMA KÖŞESİ 3

- A) Birim karelere bölünmüş şekildeki yatay düzlemde noktasal q yüklü K cisminin O noktasında oluşturduğu elektrik alanının büyüklüğü $|\vec{E}|$ 'dir.



K cismi, L noktasında taşınırsa O noktasında oluşturacağı elektrik alanının büyüklüğü kaç $|\vec{E}|$ olur? ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$)

- B) $+q$ yüklü cismin oluşturduğu elektrik alan şekildeki gibidir.



Buna göre

- Yük miktarı artarsa
- Yük miktarı sabit tutularak yük cinsi değiştirilirse cismin oluşturduğu elektrik alan nasıl değişir?

Cevap

Cevap

2.1.3. Noktasal Yüklerde Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan ile İlgili Hesaplamalar

Herhangi bir noktadaki $+1$ birim q_0 deneme yüküne etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü, q yükünün r uzaklığındaki elektrik alanı olarak ifade edilen bu tanımdan yararlanarak elektriksel kuvvet ile elektrik alan arasında matematiksel bir model oluşturulabilir.

q yüklü noktasal bir cisim ile bu cisimden r uzaklıkta bulunan $+1$ birim q_0 deneme yükü arasında oluşan elektriksel kuvvet için

$$|\vec{F}| = k \cdot \frac{|q| \cdot |q_0|}{r^2} \text{ yazılır.}$$

q yükünün $+1$ birim q_0 deneme yükü üzerinde oluşturduğu elektrik alan

$$|\vec{E}| = k \cdot \frac{|q|}{r^2} \text{ yazılır. Buradan } \vec{E}, \vec{F} \text{ eşitliğinde yerinde kullanılarak}$$

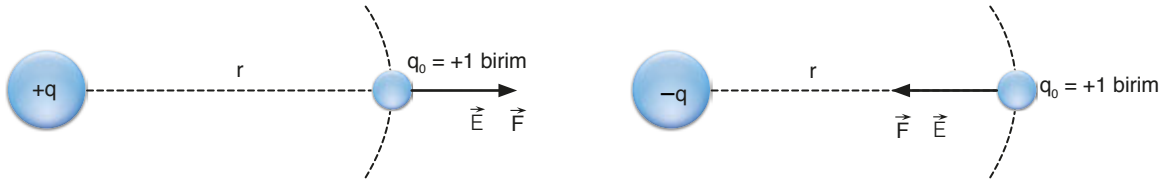
$$|\vec{F}| = k \cdot \frac{|q| \cdot |q_0|}{r^2}$$

$$|\vec{F}| = k \cdot \frac{|q|}{r^2} \cdot |q_0|$$

$$\vec{F} = \vec{E} \cdot |q_0| \text{ ya da}$$

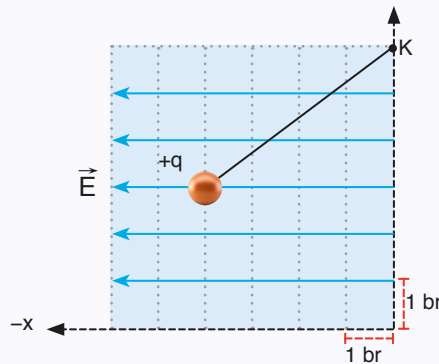
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \text{ yazılabilir.}$$

Elektrik alan, bir vektörün ($\vec{F}$) bir skalere (q_0) bölümü olarak ifade edildiğinden yönü $+1$ birim q_0 deneme yüküne etki eden Coulomb kuvveti ile aynı yöndedir. Şekil 2.3'te $\vec{E}$ ve $\vec{F}$ yönleri, $+1$ birim q_0 deneme yükü üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2.3: $+1$ birim q_0 yükü üzerinde $\vec{E}$ ve $\vec{F}$ yönleri

Örnek: Yalıtkan bir ip ile K noktasına asılmış $4 \cdot 10^{-3}$ C yüklü noktasal cisim, $-x$ yönündeki düzgün $\vec{E}$ elektrik alanı içinde düşey düzlemde dengededir. **Noktasal cismin kütlesi $6 \cdot 10^{-4}$ kg olduğuna göre cismin içinde bulunduğu $\vec{E}$ elektrik alanın büyüklüğü kaç N/C'dur?** ($|\vec{g}| = 10$ N/kg)



Çözüm: Cisme etki eden kuvvetler gösterilerek $\vec{E}$ elektrik alanın büyüklüğü bulunabilir. Yalıtkan ip ile düşey düzlem arasındaki açı α olsun.

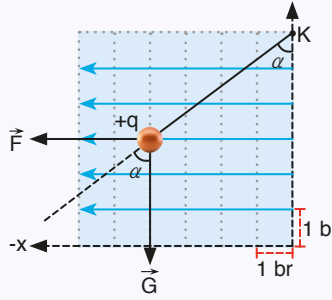
Buna göre

$$\text{Eğim} = \tan \alpha = \frac{4}{3} = \frac{|\vec{F}|}{|\vec{G}|} \text{ yazılır.}$$

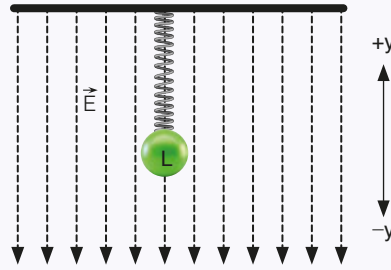
$$\frac{4}{3} = \frac{|\vec{F}|}{|\vec{G}|} = \frac{q \cdot |\vec{E}|}{m \cdot |\vec{g}|}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot |\vec{E}|}{6 \cdot 10^{-4} \cdot 10}$$

$$|\vec{E}| = 2 \text{ N/C bulunur.}$$



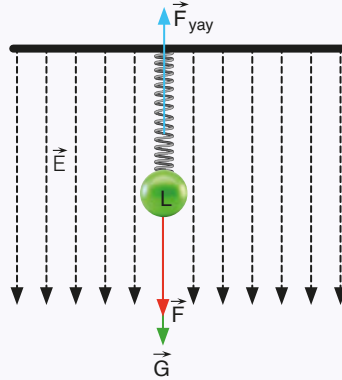
Örnek: Yükü 10^{-5} C ve kütlesi 10^{-3} kg olan noktasal L cismi düşey doğrultuda ve $-y$ yönündeki $\vec{E}$ elektrik alanı içinde yay sabiti 10^{-1} N/m olan yalıtkan esnek bir yaya bağlanmıştır.



L cismi dengede ve yayın uzama miktarı $2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ olduğuna göre cismin bulunduğu $\vec{E}$ elektrik alanının büyüklüğü kaç N/C 'dur? ($|\vec{g}| = 10 \text{ N/kg}$)

Çözüm: Öncelikle yayın $2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ uzamasına sebep olan kuvvet bulunmalıdır. Yaya etki eden kuvvet $\vec{F}_{\text{yay}}$ ise

$$|\vec{F}_{\text{yay}}| = k \cdot |\Delta x| = 10^{-1} \cdot 2 \cdot 10^{-1} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ N bulunur.}$$



Yüklü cisim dengede olduğundan elektriksel alan

$$\vec{F}_{\text{yay}} = \vec{G} + \vec{F}$$

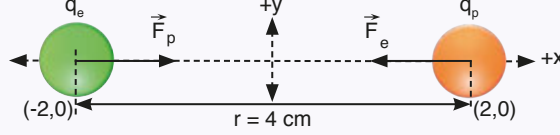
$$|\vec{F}_{\text{yay}}| = m \cdot |\vec{g}| + q \cdot |\vec{E}|$$

$$2 \cdot 10^{-2} = 10^{-3} \cdot 10 + 10^{-5} \cdot |\vec{E}|$$

$$|\vec{E}| = 10^3 \text{ N/C olarak bulunur.}$$

Örnek: xy kartezyen koordinat sisteminde sabit tutulan elektron ve protonun koordinatları sırasıyla $(-2,0)$ cm ve $(2,0)$ cm'dir. **Elektron ve protonun arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç N'dir?** ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$; $q_e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$; $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)

Çözüm: Elektron ve proton, xy koordinat sisteminde örnek soruda verilen koordinatlara yerleştirildiğinde aralarında 4 cm uzaklık olduğu görülür. Elektron ve protonun arasındaki uzaklık için birim dönüşümü $4 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ 'dir.

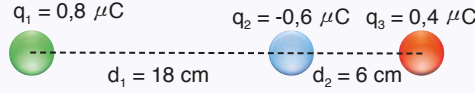


Elektron ve proton arasında oluşan elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$$\begin{aligned}
 |\vec{F}| &= k \cdot \frac{q_e \cdot q_p}{r^2} \\
 &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{(4 \cdot 10^{-2})^2} \\
 &= 1,44 \cdot 10^{-25} \text{ N olarak bulunur.}
 \end{aligned}$$

Coulomb Yasası'yla ilgili işlemlerde, elektriksel kuvvetin vektörel bir nicelik olduğu unutulmamalıdır. Yüklü bir cisme birden fazla elektriksel kuvvet etki ettiğinde bu durum oldukça önem kazanır. Böyle bir durumda yüklü cisme etki eden elektriksel kuvvet, vektörel işlem yapılarak bulunur.

Örnek: Aralarındaki uzaklık ve yük büyüklükleri verilen q_1 , q_2 ve q_3 yüklü cisimler şekildeki gibi sabit tutulmaktadır.



Buna göre q_3 yüküne etki eden elektriksel kuvvet hangi yönde ve kaç N'dir? ($1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$)

Çözüm: Öncelikle birim dönüşümleri yapılmalıdır. Birim dönüşümleri

$$d_1 = 18 \text{ cm} = 18 \cdot 10^{-2} \text{ m},$$

$$d_2 = 6 \text{ cm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m},$$

$$q_1 = 0,8 \mu\text{C} = 0,8 \cdot 10^{-6} \text{ C},$$

$$q_2 = 0,6 \mu\text{C} = 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ C},$$

$$q_3 = 0,4 \mu\text{C} = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

şeklinde olmalıdır. q_1 ve q_3 yükü arasındaki elektriksel kuvvete $\vec{F}_{13}$ denilerek bulunan ilgili değerler değerler yerinde kullanılırsa

$$\begin{aligned}
 F_{13} &= k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{(d_1 + d_2)^2} \\
 &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{0,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4 \cdot 10^{-6}}{(18 \cdot 10^{-2} + 6 \cdot 10^{-2})^2} = 0,5 \cdot 10^{-1} \text{ N bulunur.}
 \end{aligned}$$

q_2 ve q_3 yükü arasındaki elektriksel kuvvete $\vec{F}_{23}$ denilerek bulunan ilgili değerler değerler yerinde kullanılırsa

$$\begin{aligned} F_{23} &= k \cdot \frac{q_2 \cdot q_3}{d_1^2} \\ &= 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 0,4 \cdot 10^{-6}}{(6 \cdot 10^{-2})^2} \\ &= 6 \cdot 10^{-1} \text{ N bulunur.} \end{aligned}$$

q_1 ve q_2 yüklü cisimlerin q_3 yüküne uyguladıkları elektriksel kuvvetler çizildiğinde bu kuvvetlerin zıt yönlü olduğu görülür. Buna göre q_3 yüküne etki eden net kuvvet ($\vec{F}_{\text{net}}$)

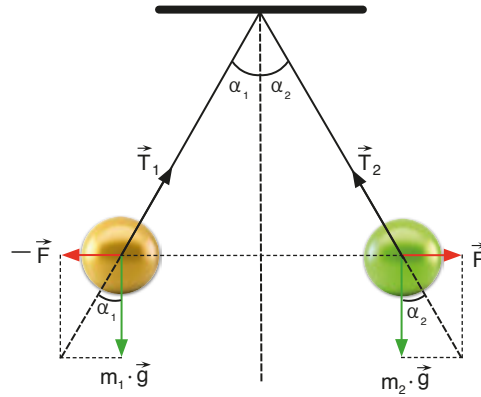
$$\begin{aligned} \vec{F}_{\text{net}} &= \vec{F}_{23} + \vec{F}_{13} \\ |\vec{F}_{\text{net}}| &= |\vec{F}_{23}| - |\vec{F}_{13}| \end{aligned}$$

$$= 6 \cdot 10^{-1} - 0,5 \cdot 10^{-1}$$

$$= 5,5 \cdot 10^{-1} \text{ N olup net kuvvet } \vec{F}_{23} \text{ yönündedir.}$$



Yükleri aynı tür olan iki cisim, eşit uzunlukta yalıtkan iplerin uçlarına bağlanarak asıldığında birbirlerini iter. Bunun sonucu olarak yüklü cisimler birbirinden uzaklaşır. Şekil 2.4'teki gibi dengede olan noktasal cisimlerin kütleleri m_1 ve m_2 , yükleri q_1 ve q_2 , düşey ile yaptıkları açılar α_1 ve α_2 olsun. Eşit büyüklükteki elektriksel kuvvetlerin etkisi altında bulunan iki cisimden kütlesi büyük olan cismin düşeyle yaptığı açı daha küçük olur.



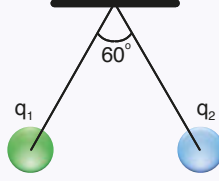
Şekil 2.4: Dengede olan yüklü noktasal cisimler

Buna göre

- $m_1 = m_2$ ise $\alpha_1 = \alpha_2$,
- $m_1 > m_2$ ise $\alpha_1 < \alpha_2$,
- $m_1 < m_2$ ise $\alpha_1 > \alpha_2$ olur.

Yüklü cisimleri taşıyan ipteki $\vec{T}$ gerilme kuvveti, $\vec{F}$ ile cismin $m \cdot \vec{g}$ ağırlığının bileşkesidir.

Örnek: Özdeş q_1 ve q_2 kürelerinin yükleri sırasıyla $4 \mu\text{C}$ ve $5 \mu\text{C}$ 'dur. Yüklü küreler, uzunluğu 12 cm olan yalıtkan iplerle asıldığında ipler arasındaki açı 60° olacak şekilde dengede kalmaktadır.



Buna göre q_2 yüklü cismin kütlesi kaç kg'dır?

($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$; $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$)

Çözüm: Cisimlerin kütleleri eşit olduğundan cisimlerin bağlı olduğu iplerin düşeyle yaptığı açılar eşit olacaktır.

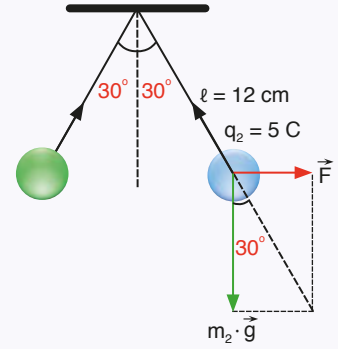
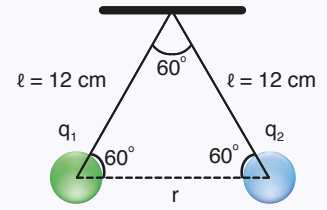
Cisimler arasındaki yatay uzaklık r ise meydana gelen eşkenar üçgen nedeniyle $r = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$ olur.

Şekildeki gibi q_2 yüklü cismin üzerinde gösterilen elektriksel kuvvet ile ağırlık kuvveti arasında yazılacak eğim ile kütle değeri

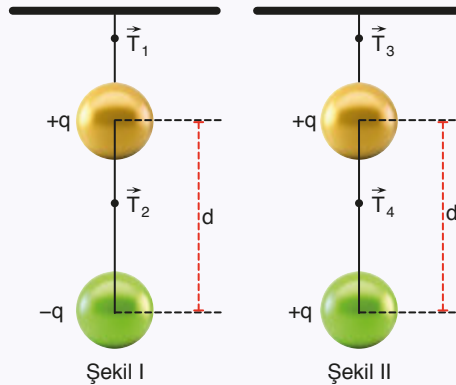
$$\tan 30^\circ = \frac{|\vec{F}|}{m_2 \cdot |\vec{g}|} = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{d^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{(0,12)^2} = \frac{m_2 \cdot 10}{m_2 \cdot 10}$$

$$\frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{5}{4m_2}$$

$$m_2 = \frac{5\sqrt{3}}{4} \text{ kg olarak bulunur.}$$



Örnek: Özdeş ve noktasal yüklü cisimlerle oluşturulan sistem dengededir.



Şekil I'deki iplerde meydana gelen gerilmeler oranı $\frac{|\vec{T}_1|}{|\vec{T}_2|} = 3$ olduğuna göre Şekil II'deki iplerde meydana gelen gerilmeler oranı $\frac{|\vec{T}_3|}{|\vec{T}_4|}$ kaçtır?

Çözüm: Noktasal yüklü cisimlerin üzerine etki eden kuvvetlerin yönleri gösterilerek denge şartına göre eşitlikler yazılır. Buna göre yüklü cisimlerin ağırlıkları G olmak üzere $\vec{F}$, Şekil I için verilen

$$\frac{|\vec{T}_1|}{|\vec{T}_2|} \text{ oranı kullanılarak}$$

$$\frac{|\vec{T}_1|}{|\vec{T}_2|} = \frac{|\vec{G}| + |\vec{G}|}{|\vec{G}| - |\vec{F}|}$$

$$3 = \frac{|2\vec{G}|}{|\vec{G}| - |\vec{F}|}$$

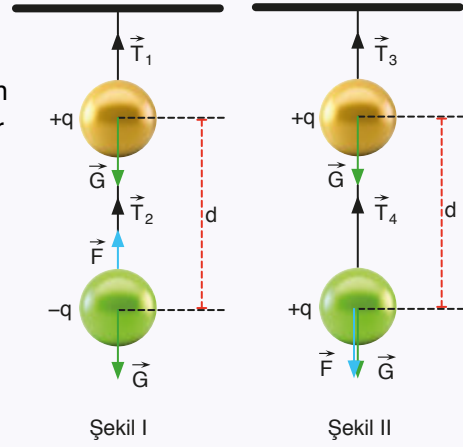
$$3 \cdot |\vec{G}| - 3 \cdot |\vec{F}| = |2\vec{G}|$$

$$|\vec{F}| = \frac{|\vec{G}|}{3} \text{ N bulunur.}$$

İpler arasındaki mesafe ve cisimlerin yükleri değişmediği için Şekil I'de değeri bulunan $\vec{F}$ 'nin büyüklüğü değişmez. Benzer işlem Şekil II'de $\vec{T}_3$ ve $\vec{T}_4$ için denge şartına dikkat edilerek yazılıp orantılandırıldığında

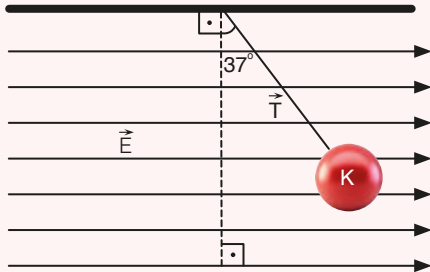
$$\frac{|\vec{T}_3|}{|\vec{T}_4|} = \frac{|\vec{G}| + |\vec{G}|}{|\vec{G}| + |\vec{F}|} = \frac{|2\vec{G}|}{|\vec{G}| + |\vec{F}|}$$

$$\frac{|\vec{T}_3|}{|\vec{T}_4|} = \frac{|2\vec{G}|}{|\vec{G}| + \frac{|\vec{G}|}{3}} = \frac{3}{2} \text{ olarak bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 4

K noktasal cisminin yükü 10^{-2} C'dur. K noktasal cisim düşeyle 37° açı yaparak dengede kalmaktadır.



İpek iplikte meydana gelen gerilme kuvveti $\vec{T}$, 2 N olduğuna göre K noktasal cisminin içinde bulunduğu elektrik alanın şiddeti kaç N/C'dur? ($\sin 37^\circ = 0,6$; $\cos 37^\circ = 0,8$)

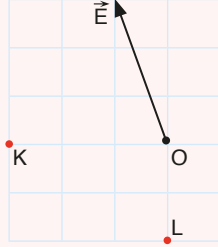
Cevap





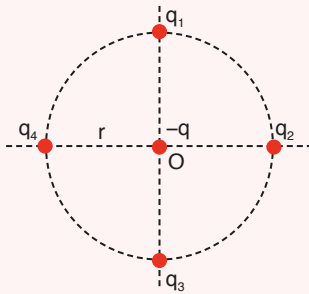
ÇALIŞMA KÖŞESİ 5

- A) Eşit kare bölmelendirilmiş düzlemde K ve L noktasal cisimlerin yükleri sırasıyla q_K ve q_L 'dir.



Noktasal cisimler şekildeki gibi yerleştirildiğinde O noktasında oluşturdukları elektrik alanı $\vec{E}$ ise, yükleri oranı $\frac{q_K}{q_L}$ kaçtır?

- B) Aynı düzlemde bulunan q_1 , q_2 , q_3 ve q_4 noktasal cisimlerin yükleri sırasıyla $+q$, $+3q$, $-2q$ ve $-q$ 'dur. Noktasal cisimler yarıçapı r olan bir çembersel yörünge üzerinde şekildeki gibi konumlandırılmıştır. $+q$ noktasal cisminin çemberin merkezinde bulunan $-q$ yüküne uyguladığı elektriksel kuvvet $\vec{F}$ 'dir.



Buna göre q_1 , q_2 , q_3 ve q_4 noktasal cisimlerinin $-q$ yüküne uyguladıkları elektriksel kuvvetin büyüklüğü kaç $|\vec{F}|$ 'tir?

Cevap

Cevap

2.2. Elektriksel Potansiyel

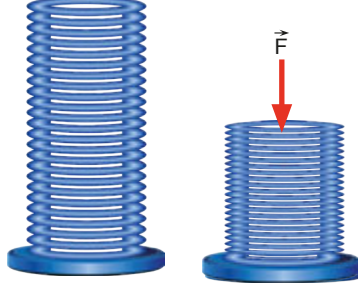
Şekil 2.5'te görülen model bir pilin eksi kutbunda bulunan elektronlar, birbirine elektriksel itme kuvveti uygular. Örneğin pili şarj edebilmek için diğer elektronların itme kuvvetlerine (iç kuvvet) karşı iş yapılmalıdır. Böylelikle elektronlardan oluşan sistemin enerjisi artar. Bir iletkenle elektronların pilden ayrılmasına izin verildiğinde, sistemin iç kuvvetleri iş yapacağından pilin enerjisi azalır.



Şekil 2.5: Model bir pil

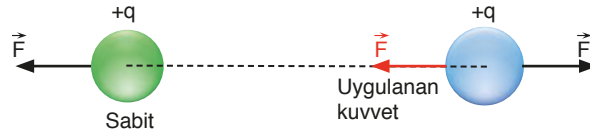
2.2.1. Noktasal Yükler İçin Elektriksel Potansiyel ile İlgili Kavramlar

Elektriksel Potansiyel Enerji: Serbest hâldeki sarmal bir yayı sıkıştırmak için bir dış kuvvete ihtiyaç vardır. Bu dış kuvvet, yay sıkıştırılırken yay üzerine iş yapar. Bu da yayın esneklik potansiyel enerjisinde artışa neden olur. Serbest bırakıldığında iç kuvvetleri iş yaptığından esneklik potansiyel enerjisi azalır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Sıkıştırılmış yay

Benzer bir durum elektrik yüküyle yüklü cisimlerde de görülür. Şekil 2.7'deki gibi +q yüklü iki cisim birbirlerine elektriksel kuvvet uygular. Yüklü cisimlerden birini sabit tutulan yüklü cisme yaklaştırmak için uygulanan dış kuvvet, sistemin enerjisinde artmaya neden olur.



Şekil 2.7: +q yüklü iki cisim

Elektrik yüklerinin itme veya çekme kuvvetinden kaynaklanan durum enerjilerine **elektriksel potansiyel enerji** denir. Elektriksel potansiyel enerji skaler bir büyüklüktür E_p sembolüyle gösterilir ve SI sistemindeki birimi **J**'dür.

Aralarında r uzaklığı bulunan q_1 ve q_2 yüklü noktasal cisimlerden oluşan sistemin sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji, yüklerin büyüklüğü ile doğru, aralarındaki uzaklıkla ters orantılıdır. Bu durum

$$E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r} \text{ bağıntısı ile ifade edilir.}$$

Formülde kullanılan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.3'te verilmiştir.

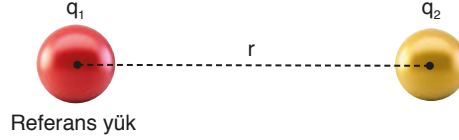
Tablo 2.3: Birim Tablosu

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
elektriksel potansiyel enerji	E_p	joule	J
coulomb sabiti	k	newton · metrekare/coulombkare	$N \cdot m^2/C^2$
yük	q	coulomb	C
uzunluk	r	metre	m

Elektriksel potansiyel enerji, yüklerin itme veya çekme kuvveti ile ilgili olduğundan kuvvetin büyüklüğünü belirleyen nicelikler, elektriksel potansiyel enerjinin büyüklüğünde de etkilidir.

Şekil 2.8’de verilen noktasal q_1 ve q_2 yüklerinden oluşan yük sisteminde q_2 yükünün, kendisinden r uzaklığında bulunan yüklü q_1 cismi referans kabul edildiğinde elektrik potansiyel enerjisi

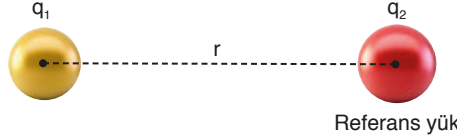
$$E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r} \text{ şeklinde ifade edilir.}$$



Şekil 2.8: q_1 ve q_2 yüklerinden oluşan ikili yük sistemi

q_1 yükünün, kendisinden r uzaklığında bulunan yüklü q_2 cismi referans kabul edildiğinde elektrik potansiyel enerjisi

$$E_p = k \cdot \frac{q_2 \cdot q_1}{r} \text{ şeklindedir (Şekil 2.9).}$$

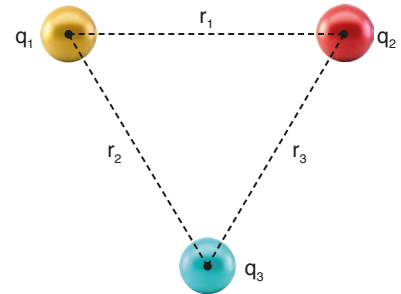


Şekil 2.9: q_1 ve q_2 yüklerinden oluşan ikili yük sistemi

Görüldüğü gibi yüklerin birbirlerine göre elektriksel potansiyel enerjileri aynı denklemlerle ifade edilmektedir. Yüklerin birbirlerine göre elektriksel potansiyel enerjileri eşit büyüklüktedir.

İkiden çok yüklü noktasal cisimden oluşan sistemde, sistemin elektriksel potansiyel enerjisini bulmak için yüklerin her birini, ikişerli gruplandırarak skaler işlem yapılır. Örneğin Şekil 2.10’daki gibi q_1 , q_2 ve q_3 ile kurulmuş sistemde, sistemin elektrik potansiyel enerjisi

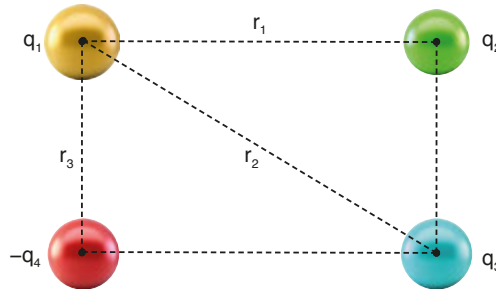
$$E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_1} + k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{r_2} + k \cdot \frac{q_2 \cdot q_3}{r_3} \text{ işlemiyle bulunur.}$$



Şekil 2.10: q_1 , q_2 ve q_3 ile kurulmuş sistem

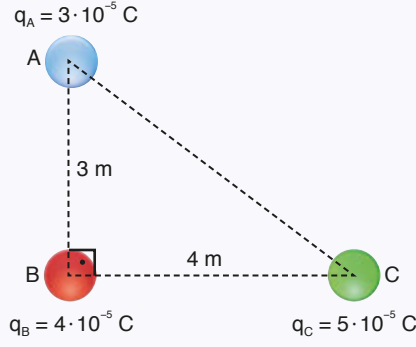
Şekil 2.11’deki dikdörtgenin köşelerine q_1 , q_2 , q_3 ve q_4 yükleri yerleştirilerek oluşturulan sistemin, elektriksel potansiyel enerjisi

$$E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r_1} + k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{r_2} - k \cdot \frac{q_1 \cdot q_4}{r_3} + k \cdot \frac{q_2 \cdot q_3}{r_3} - k \cdot \frac{q_2 \cdot q_4}{r_2} - k \cdot \frac{q_3 \cdot q_4}{r_1} \text{ işlemiyle bulunur.}$$



Şekil 2.11: q_1 , q_2 , q_3 ve q_4 ile kurulmuş sistem

Örnek: Aynı düzlem üzerinde bulunan yüklerin konumları şekildeki gibidir.



Buna göre q_B yüklü cismin elektriksel potansiyel enerjisi kaç J'dür? ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$)

Çözüm: Bir cismin bulunduğu sistemde sahip olduğu elektrik potansiyel enerjisi $E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$ eşitliği kullanılarak bulunur. İkişerli gruplandırılarak q_B yüklü cismin elektrik potansiyel enerjisi E_{PB} ise

$$E_{PB} = E_{PBA} + E_{PBC}$$

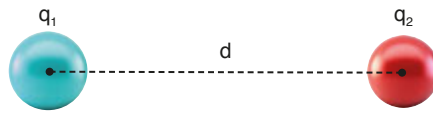
$$E_{PB} = \frac{k \cdot q_B \cdot q_A}{d_{AB}} + \frac{k \cdot q_B \cdot q_C}{d_{BC}}$$

$$E_{PB} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^{-5}}{3} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-5} \cdot 5 \cdot 10^{-5}}{4}$$

$$E_{PB} = 36 \cdot 10^{-1} + 45 \cdot 10^{-1}$$

$$E_{PB} = 8,1 \text{ J olur.}$$

Elektriksel potansiyel enerji, kimi zaman pozitif (+) kimi zaman negatif (–) değer alabilir. Bu durumu açıklamak için noktasal q_1 yüklü cisimden d uzaklıkta olacak şekilde sonsuzdan getirilen noktasal q_2 yüklü bir cismin oluşturduğu sistem örnek verilebilir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12: Sonsuzdan q_1 yüklü cisme d uzaklığa getirilen q_2 yüklü cisim

q_1 ve q_2 yükleri aynı işaretli olduğunda birbirlerine itme kuvveti uyguladıkları için q_2 yükünü sonsuzdan alıp getirmekle elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır. Bu durumda elektriksel potansiyel enerji pozitifdir. q_2 yükü, sonsuza götürülürken ise elektriksel kuvvetler iş yapar ve sonsuzda elektriksel potansiyel enerji sıfır olur.

q_1 ve q_2 yükleri zıt işaretli olduğunda birbirlerini elektriksel kuvvetle çekerler. q_2 yükünü sonsuzdan alıp getirmekle elektriksel kuvvetler iş yapar. Bu durumda elektriksel potansiyel enerji negatiftir. q_2 yükü sonsuza götürülürken ise elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılır ve elektriksel potansiyel enerji artarak sonsuzda sıfır olur.

Buradan özetle q_2 yükünü q_1 yükünden d uzaklığa getirmek için yapılan iş, yükün geldiği uzaklığa değil bulunduğu son konuma bağlıdır.

Elektriksel Potansiyel: Nötr bir balonun yün kumaşa sürtünmesi sonucu yüklenmesi, elektriklenmeyi açıklamak için örnek olarak kullanılabilir. Bu yöntemle elektriksel olarak yüklenen balon, binlerce volt değerinde elektriksel potansiyele sahip olabilir. Bu balona temas eden kişi zarar görmemektedir. Ancak evlerde 220 V olan şebeke gerilimine temas edildiğinde ise kişi ciddi zararlar görmektedir. Binlerce volt büyüklüğündeki elektriksel potansiyel zarar vermiyor iken 220 V gerilim neden zarar vermektedir? Çelişki gibi görülen bu durumun açıklaması elektriksel potansiyel ile elektriksel potansiyel enerjinin farklı kavramlar olduğunun bilinmesinde gizlidir. Elektriksel potansiyel ile elektriksel potansiyel enerji kavramları ilişkili olmakla birlikte, farklı fiziksel büyüklüklerdir.

Bir elektriksel alan içindeki herhangi bir noktanın **elektriksel potansiyeli**, pozitif birim yüklü bir taneciği sonsuzdan bu noktaya getirmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iştir. Elektriksel potansiyel enerji ise herhangi bir yük değerine sahip taneciği sonsuzdan bu noktaya getirmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iştir. Bu ifadeye göre elektriksel potansiyel enerji sadece elektriksel potansiyelin büyüklüğüne değil aynı zamanda yüklü taneciğin yük miktarının büyüklüğüne de bağlıdır. Bu nedenle elektriksel potansiyelin büyük olması, her zaman elektriksel potansiyel enerjinin de büyük olduğu anlamına gelmez. Örneğin elektriksel olarak yüklenen balonun elektriksel potansiyeli çok büyük olmakla birlikte balonun sahip olduğu net yük miktarı çok küçüktür. Bu nedenle balonun elektriksel potansiyel enerjisi oldukça küçüktür.

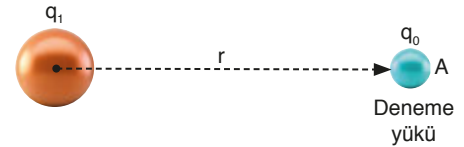
Balonun elektriksel yükü 1 C gibi büyük bir değer olsaydı, sahip olacağı elektriksel potansiyel enerji büyük olacağından balona dokunan kişi ciddi zararlar görebilirdi. Fakat örnekteki balonun elektriklenmesi ile kazandığı yük miktarı, 10^{-6} C büyüklüğündedir. Bu nedenle potansiyel enerjisi çok küçüktür.

Elektrik çarpmalarında zarar görülmesinin nedeni tek başına elektriksel potansiyelin büyük olmasından değil aynı zamanda elektriksel potansiyel enerjinin de büyük olmasından kaynaklanır.

Elektrik alan içindeki pozitif birim (q_0) yük başına düşen elektriksel potansiyel enerjisi olan elektriksel potansiyeli (V), elektriksel potansiyel enerjisi cinsinden

$$V = \frac{E_p}{q_0} \text{ bağıntısı ile hesaplanır.}$$

Elektriksel potansiyel skaler bir büyüklüktür ve SI sistemindeki birimi volttur. Elektriksel potansiyeli yüklü bir cisim ile +1 birim q_0 deneme yükü üzerinden de formüle edilebilir. Buna göre Şekil 2.13'teki q_1 yüklü noktasal cisim ile kendisinden r kadar uzakta bulunan A noktasındaki +1 birim q_0 deneme yükünden oluşan sistemde, elektriksel potansiyel enerjileri E_p



Şekil 2.13: q_1 yüklü noktasal cisim ile +1 birim q_0 deneme yükü

$$E_p = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_0}{r} \text{ dir.}$$

E_p enerjisine sahip A noktasının elektriksel potansiyeli A noktasında pozitif birim yüke düşen elektrik potansiyel enerji olacağından A noktasının potansiyeli V_A

$$V_A = \frac{E_p}{q_0} = \frac{k \cdot \frac{q_1 \cdot q_0}{r}}{q_0}$$

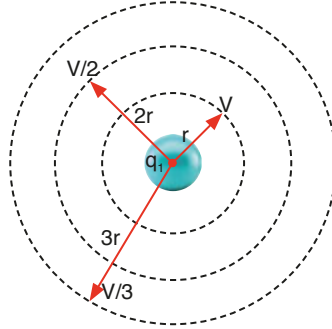
$$V_A = k \cdot \frac{q_1}{r} \text{ şeklindedir.}$$

Formülde kullanılan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.4'te verilmiştir.

Tablo 2.4: Birim Tablosu

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
elektriksel potansiyel	V	volt	V
coulomb sabiti	k	newton · metre/kare/coulombkare	$N \cdot m^2/C^2$
yük	q	coulomb	C
uzunluk	r	metre	m

Şekil 2.14'te q_1 yüklü noktasal cismin r uzaklığındaki elektriksel potansiyel enerjisi V kabul edilerek 2r ve 3r uzaklığındaki noktaların elektriksel potansiyeli gösterilmiştir.

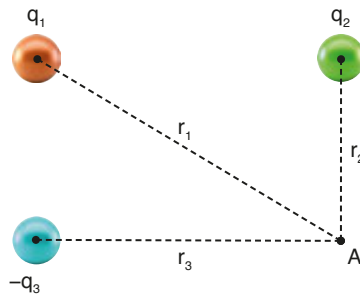


Şekil 2.14: q_1 ve elektriksel potansiyeller

Birden fazla yüklü noktasal cisimden oluşan sistemde sistemin elektriksel potansiyeli, yüklerin her birinin seçilen noktadaki elektriksel potansiyellerinin skaler toplamıdır.

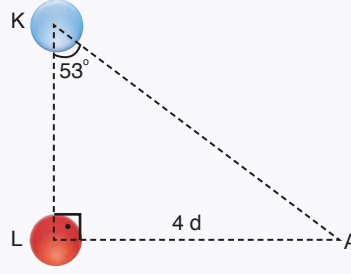
Şekil 2.15'teki gibi q_1 , q_2 ve q_3 yükleri ile kurulmuş sistemin, A noktasındaki elektriksel potansiyeli

$$V_A = V_1 + V_2 + V_3 = \frac{k \cdot q_1}{r_1} + \frac{k \cdot q_2}{r_2} - \frac{k \cdot q_3}{r_3} \text{ bağıntısı ile hesaplanır.}$$



Şekil 2.15: q_1 , q_2 ve $-q_3$ yükleri ile kurulmuş sistem

Örnek: K ve L noktalarında bulunan noktasal cisimler aynı düzlemde olup yük miktarları sırasıyla $5q$ ve $-2q$ 'dir.



K ve L noktasal cisimlerinin, cisimlerle aynı düzlemde bulunan A noktasında oluşturdukları elektriksel potansiyeli kaç $\frac{k \cdot q}{d}$ 'dir? ($\sin 53^\circ = 0,8$; $\cos 53^\circ = 0,6$)

Çözüm: Öncelikle K ve A noktalarının arasındaki mesafe bulunmalıdır. d_{KA} uzaklığı

$$\sin 53^\circ = \frac{|LA|}{|KA|}$$

$$0,8 = \frac{4d}{d_{KA}}$$

$d_{KA} = 5d$ olarak bulunur. K ve L noktasal yüklerinin A noktasında oluşturdukları elektriksel potansiyeli

$$V_A = V_K + V_L$$

$$V_A = \frac{k \cdot q_K}{d_{KA}} + \frac{k \cdot q_L}{d_{LA}}$$

$$V_A = \frac{k \cdot 5q}{5d} - \frac{k \cdot 2q}{4d}$$

$$V_A = \frac{k \cdot q}{d} - \frac{k \cdot q}{2d}$$

$$V_A = \frac{1}{2} \cdot \frac{k \cdot q}{d} \text{ bulunur.}$$

Elektriksel Potansiyel Farkı ve Elektriksel İş: Denizlerde ve göllerde bulunan su Güneş enerjisi veya yapay enerji kaynakları nedeniyle buharlaşıp yerküreden uzaklaşır. Uzaklaşan buharın yoğunlaşmasıyla oluşan bulutlar aşırı miktarda pozitif (+) yükle yüklenebilir. Böyle bir durumda oluşan yıldırım, bulutlar ile yerküre arasındaki elektriksel potansiyel farkından kaynaklanır.

Bulutlar ve yerküre gibi iki nokta arasındaki **elektriksel potansiyel farkı**, q yükünün elektrik alanı içinde bulunan $+1$ birim q_0 deneme yükünü veya yüklü cismi sabit hızla bir noktadan başka bir noktaya götürülmesi sırasında elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş **elektriksel iş** olarak ifade edilir. Elektriksel iş, **W** sembolüyle gösterilir ve SI sistemindeki birimi **J**'dür. Elektriksel işin matematiksel modeli

$$W = \Delta E_p = q \cdot \Delta V = q \cdot (V_{\text{son}} - V_{\text{ilk}}) \text{ şeklindedir. Burada}$$

q cismin yükünü,

V_{ilk} yüklü cismin ilk bulunduğu noktanın elektriksel potansiyelini,

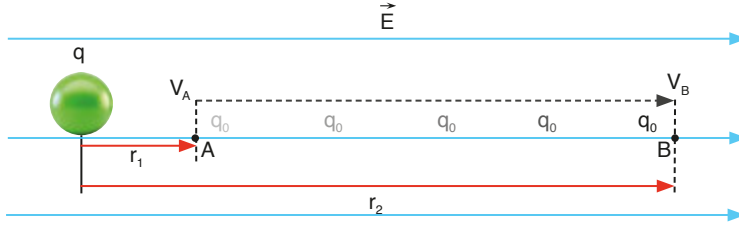
V_{son} yüklü cismin son bulunduğu noktanın elektriksel potansiyelini ifade eder.

Formülde kullanılan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5: Birim Tablosu

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
elektriksel iş	W	joule	J
yük	q	coulomb	C
elektriksel potansiyel	V	volt	V

Şekil 2.16'daki elektrik alanı içinde q yükünden r_1 kadar uzaklıktaki A noktasında bulunan +1 birim q_0 yükü, q yükünden r_2 kadar uzaklıktaki B noktasına götürüldüğünde yapılan elektriksel iş, iş enerji teoremi-ne göre aşağıdaki işlem basamakları ile bulunur.



Şekil 2.16: Elektrik alan içinde A noktasından B noktasına götürülen +1 birim q_0 yük

r_1 uzaklığında bulunan q ve q_0 yük sisteminin elektrik potansiyel enerjisi

$$E_{PA} = k \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_1} \text{ ile ifade edilir.}$$

r_2 uzaklığında bulunan q ve q_0 yük sisteminin elektrik potansiyel enerjisi

$$E_{PB} = k \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_2} \text{ ile ifade edilir.}$$

Yapılan elektriksel iş

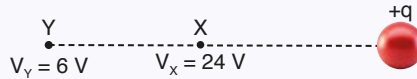
$$W_{AB} = \Delta E_P = E_{PB} - E_{PA}$$

$$W_{AB} = k \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_2} - k \cdot \frac{q \cdot q_0}{r_1}$$

$$W_{AB} = q_0 \left(k \cdot \frac{q}{r_2} - k \cdot \frac{q}{r_1} \right)$$

$$W_{AB} = q_0 (V_B - V_A) = q_0 \cdot V_{AB} \text{ şeklinde olur.}$$

Örnek: +q yüklü noktasal parçacığın X ve Y noktalarındaki elektriksel potansiyeli sırasıyla 24 V ve 6 V'tur.



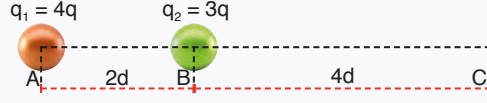
Buna göre yükü 3 Coulomb olan bir cismi Y noktasından X noktasına sabit hızla götürmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş kaç J'dür?

Çözüm: Yüğü q olan bir parçacık potansiyeli V_Y olan bir noktadan V_X olan bir noktaya taşındığında elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş ifadesi

$$W = q \cdot V_{YX} = q \cdot (V_X - V_Y) \text{ şeklindedir. Değerleri yerlerine yazdığımızda}$$

$$W = 3 \cdot (24 - 6) = 3 \cdot 18 = 54 \text{ J bulunur. Sonuç pozitif olduğundan bu işi dış bir kuvvet yapmıştır.}$$

Örnek: Aynı düzlem üzerinde bulunan noktasal q_1 ve q_2 yüklü cisimlerinin yükleri sırasıyla $4q$ ve $3q$ 'dur. A noktasında bulunan $4q$ yüklü cisim sabittir.



$3q$ yükünü B noktasından C noktasına götürmek için yapılan iş kaç $\frac{k \cdot q^2}{d}$ 'dir?

Çözüm: Yapılan iş, sistemin elektrik potansiyel enerjisindeki değişimine eşit olacağından $3q$ yüklü cismin B noktasındaki enerjisine E_{Pilk} , C noktasındaki enerjisine E_{Pson} denirse

$$E_p = E_{Pson} - E_{Pilk}$$

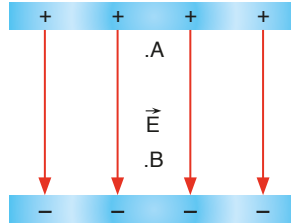
$$E_p = k \cdot \frac{4q \cdot 3q}{6d} - k \cdot \frac{4q \cdot 3q}{2d}$$

$$E_p = k \cdot \frac{2q^2}{d} - k \cdot \frac{6q^2}{d}$$

$$E_p = -\frac{4 \cdot k \cdot q^2}{d} \text{ bulunur.}$$

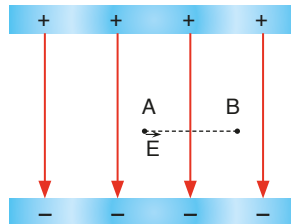
Sonucun negatif çıkması yapılan işin sistemin iç kuvvetleri tarafından yapıldığını ifade eder.

Elektrik alanı çizgilerinin yönünde elektriksel potansiyeli daima azalır. Örneğin Şekil 2.17'deki yüklü bir levhanın y doğrultusunda olan elektrik alan çizgileri içinde A noktasının potansiyeli B noktasının potansiyelinden büyüktür. $+1$ birim q_0 deneme yükü A noktasından B noktasına götürüldüğünde elektriksel potansiyel enerji kaybeder. Bu da A noktasının potansiyelinin B noktasının potansiyelinden büyük olması anlamına gelir.



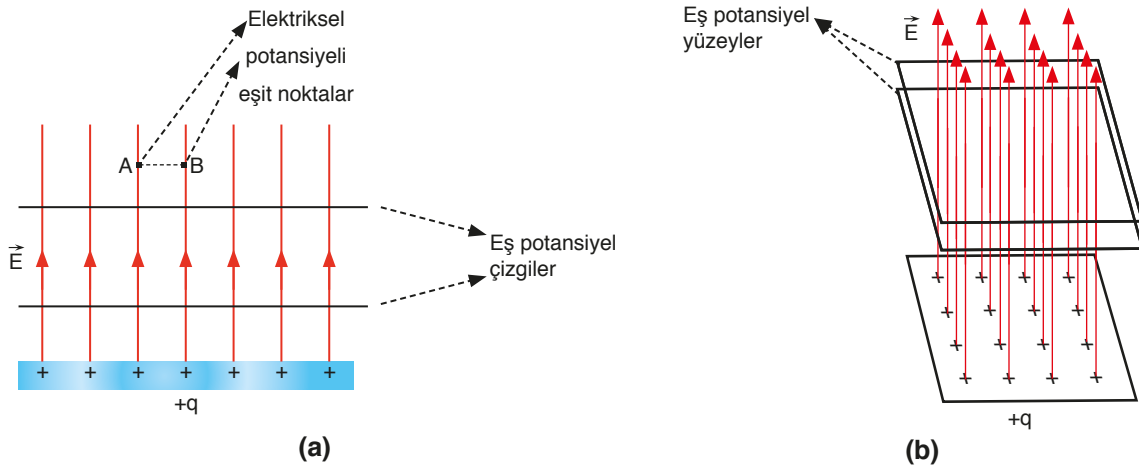
Şekil 2.17: Elektrik alan çizgileri, A ve B noktaları

Şekil 2.18'deki yüklü bir levhanın y doğrultusunda olan elektrik alan çizgileri içinde $+1$ birim q_0 deneme yükü, A noktasından B noktasına gittiğinde elektriksel potansiyel enerjisinde bir değişme olmaz. Dolayısıyla A ve B noktalarının elektriksel potansiyelleri $V_A = V_B$ şeklinde olur.



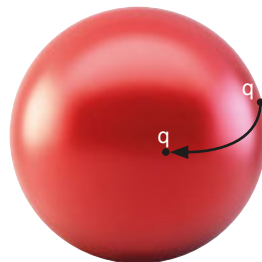
Şekil 2.18: Elektrik alan çizgileri, A ve B noktaları

Düzgün elektrik alana dik olan düzlem üzerindeki bütün noktaların elektriksel potansiyelleri eşittir. Eşit elektriksel potansiyele sahip noktaları birleştiren çizgilere **eş potansiyel çizgiler** denir. Eş potansiyel çizgilerinin oluşturduğu yüzeye de **eş potansiyel yüzey** denir. Eş potansiyel yüzeyleri, elektrik alan doğrultusuna diktir. Eş potansiyel yüzey içinde yüklü bir cisim üzerine elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş sıfırdır. Şekil 2.19'da iki boyutta ve üç boyutta düzgün elektrik alanda eş potansiyel yüzeyler gösterilmiştir.



Şekil 2.19: İki boyutta ve üç boyutta düzgün elektrik alanda eş potansiyel yüzeyler

İletken kürelerde de benzer durum söz konusudur. Küre yüzeyi üzerindeki yükler homojen şekilde dağılır ve her birinin üzerindeki net elektriksel kuvvet sıfırdır. Dolayısıyla küre yüzeyindeki yükleri hareket ettirmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş de sıfırdır (Şekil 2.20). Yüklü bir kürenin yüzeyindeki her noktanın elektriksel potansiyelinin aynı olması sebebiyle küre yüzeyleri de eş potansiyel yüzeylerdir.



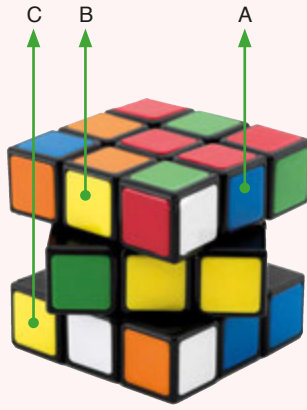
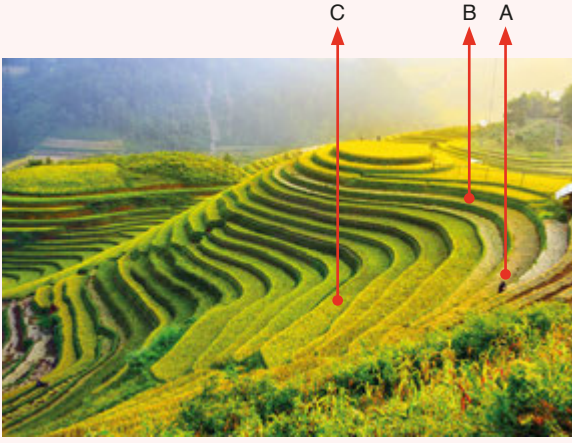
Şekil 2.20: Küre yüze-
yinde taşınan yük



ÇALIŞMA KÖŞESİ 6

Güney Asya ülkesi olan Vietnam'da bulunan teras şeklinde bir pirinç tarlası ile bu pirinç tarlası üzerindeki A, B ve C konumları görülmektedir. A noktasında bulunan bir pirinç işçisi, ailesinin geçimini sağlamak için tek tek topladığı pirinçleri bir çuvala koyup B noktasına getirirse yerin merkezine göre çuvaldaki pirinçlerin potansiyel enerjisinde bir değişim olmaz. Ancak pirinç işçisi elindeki pirinç çuvalını C noktasına atarsa yerin merkezine göre pirinç çuvalının potansiyel enerjisi azalır.

Cevap



A konumunda bulunan pirinç çuvalı +1 birim q_0 deneme yükü, teraslar da rubik küpün sütunları kabul edilirse noktasal yüklerin bir noktada oluşturduğu elektrik potansiyeli ve eş potansiyel yüzeyi ile benzerlik kurulabilir mi?

Cevap

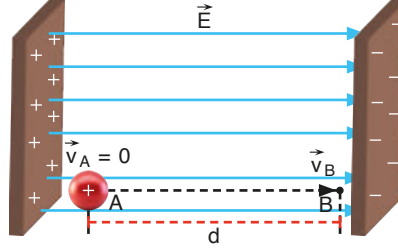
2.2.2. Düzgün Elektrik Alan İçinde İki Nokta Arasındaki Elektriksel Potansiyel Farkı

Elektrik alanı içerisinde +1 birim q_0 deneme yükünü bir noktadan başka bir noktaya götürmek için elektriksel kuvvetlere karşı iş yapılması gerektiğinde, elektrik potansiyel enerjisinde değişim meydana gelir. Elektriksel potansiyel enerjisindeki değişimin +1 birim q_0 deneme yüküne oranı, parçacığın hareket ettiği iki nokta arasındaki elektriksel potansiyel farkı olarak tanımlanır. İki nokta arasındaki elektriksel potansiyel farkı

$$\Delta V = \frac{\Delta E_p}{q_0} \text{ şeklinde yazılır.}$$

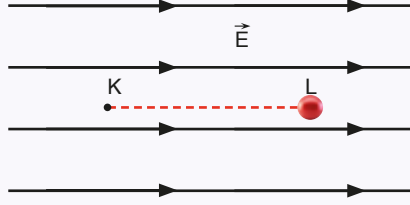
Örneğin bir proton, Şekil 2.21'deki gibi pozitif x eksenini doğrultusunda boyuncu yönelen düzgün bir elektrik alan içinde A noktasında durgun hâlde iken serbest bırakılmış olsun. Proton bu elektriksel kuvvetin etkisiyle A noktasından d uzaklıktaki B noktasına geldiğinde bu noktalar arasındaki elektriksel potansiyeldeki değişimi

$\Delta V_{AB} = V_B - V_A$ şeklindedir.



Şekil 2.21: Düzgün elektrik alan içinde serbest bırakılan proton

Örnek: Düzgün elektrik alanı içinde şekildeki K noktasının elektriksel potansiyeli 300 V'tur.



Yükü $-3 \cdot 10^{-2}$ C olan noktasal cismi, L noktasından K noktasına götürmek için yapılan iş $-7,2$ J olduğuna göre L noktasının elektriksel potansiyeli kaç V'tur?

Çözüm: Yüklü bir cismi bir noktadan bir noktaya taşımak için gerekli enerji

$W = q \cdot \Delta E_p = q \cdot \Delta V = q \cdot (V_{\text{son}} - V_{\text{ilk}})$ eşitliği ile bulunur.

$$W_{LK} = q \cdot (V_K - V_L)$$

$$-7,2 = -3 \cdot 10^{-2} \cdot (300 - V_L)$$

$$2,4 \cdot 10^2 = 300 - V_L$$

$$V_L = 60 \text{ V olarak bulunur.}$$

Örnek: Düzgün elektrik alan içindeki iki nokta arasında yükü $2 \cdot 10^{-4}$ C olan noktasal cismi hareket ettirmek için yapılan iş $16 \cdot 10^{-3}$ J'dür. **Buna göre noktalar arasındaki potansiyel fark kaç V olmalıdır?**

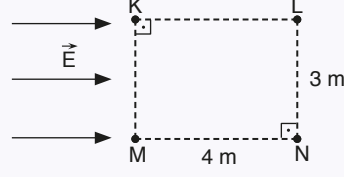
Çözüm: Yüklü cismin hareketi için gerekli enerjiyi veren bağıntıdan faydalanılarak noktalar arasındaki potansiyel fark bulunabilir. Buna göre iki nokta arasındaki potansiyel fark

$$W = q \cdot \Delta V$$

$$16 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta V$$

$$\Delta V = 80 \text{ V'tur.}$$

Örnek: Düzgün $\vec{E}$ elektrik alan içinde dikdörtgen biçiminde oluşturulmuş şekildeki düzenekte K ve L noktalarına sırasıyla $10 \cdot 10^{-9}$ C ve $30 \cdot 10^{-9}$ C olan yükler yerleştirilmiştir.



Buna göre V_{MN} potansiyel farkı kaç V'dir? ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ alınız.)

Çözüm: Dikdörtgen biçimli düzenekte IKNI ve ILMİ arası uzaklık eşit ve 5 m'dir.

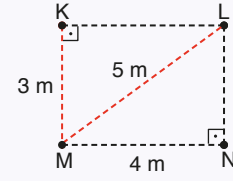
K ve L yüklü cisimlerin M noktasında oluşturdukları potansiyel farkı

$$V_M = V_K + V_L$$

$$V_M = \frac{k \cdot q_K}{d_{KM}} + \frac{k \cdot q_L}{d_{LM}}$$

$$V_M = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-9}}{3} + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{30 \cdot 10^{-9}}{5}$$

$$V_M = 30 + 54 = 84 \text{ V'tur.}$$



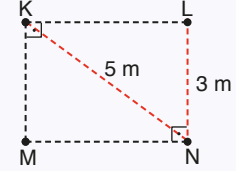
K ve L yüklü cisimlerin N noktasında oluşturdukları potansiyel farkı

$$V_N = V_K + V_L$$

$$V_N = \frac{k \cdot q_K}{d_{KN}} + \frac{k \cdot q_L}{d_{LN}}$$

$$V_N = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{10 \cdot 10^{-9}}{5} + 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{30 \cdot 10^{-9}}{3}$$

$$V_N = 18 + 90 = 108 \text{ V'tur.}$$



Bu durumda V_{MN}

$$V_{MN} = V_N - V_M = 108 - 84 = 24 \text{ V bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 7

Düzgün elektrik alanı içinde bulunan şekildeki A noktasından B noktasına, yükü $2 \cdot 10^{-2}$ C olan noktasal bir cismi götürmek için gerekli enerji 3 J'dür.



Buna göre A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı $V_B - V_A$ kaç V'tur?

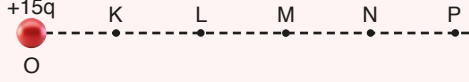
Cevap





ÇALIŞMA KÖŞESİ 8

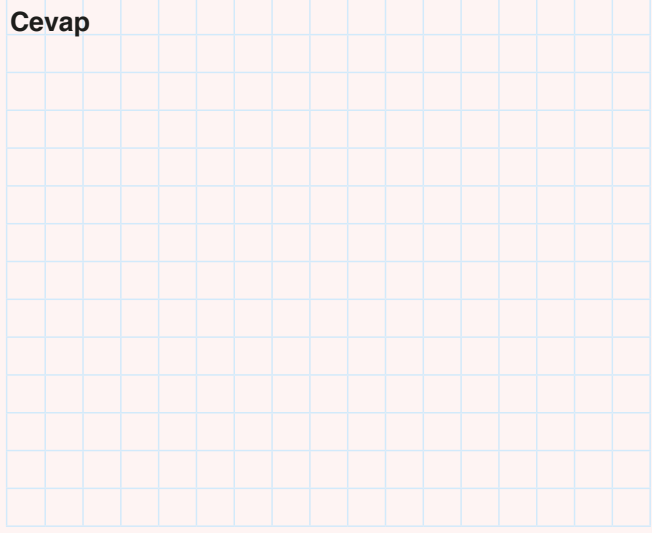
Şekildeki düzende noktalar arası eşit ve O noktasındaki $+15q$ yüklü cismin K noktasında meydana getirdiği potansiyel farkı V_K , 60 V 'tur.



Buna göre

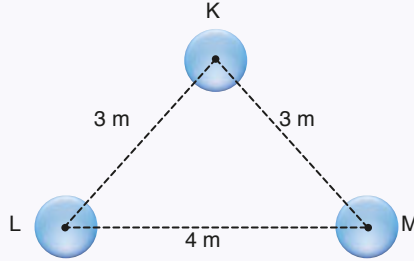
- M ve K noktaları arasındaki potansiyel farkı $V_M - V_K$ kaç V 'tur?
- M ve P noktaları arasındaki potansiyel farkı $V_M - V_P$ kaç V 'tur?

Cevap



2.2.3. Elektriksel Potansiyel ile İlgili Hesaplamalar

Örnek: Aynı düzlemde noktasal yüklü cisimler şekildeki gibi yerleştirilmiştir. K, L ve M noktasal cisimlerinin yük miktarları sırasıyla $3 \cdot 10^{-5} \text{ C}$, $6 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ ve $-4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ 'dur.



Buna göre toplam elektriksel potansiyel enerjisi kaç J 'dür? ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$)

Çözüm: Toplam elektriksel potansiyel enerjisi yüklü cisimler ikili gruplandırılarak

$$E_{\text{PTop.}} = E_{\text{PLK}} + E_{\text{PKM}} + E_{\text{PML}}$$

$$E_{\text{PTop.}} = k \cdot \frac{q_L \cdot q_K}{d_{KL}} + k \cdot \frac{q_K \cdot q_M}{d_{KM}} + k \cdot \frac{q_M \cdot q_L}{d_{ML}}$$

$$E_{\text{PTop.}} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-5} \cdot 3 \cdot 10^{-5}}{3} - \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot 10^{-5}}{3} - \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-5} \cdot 6 \cdot 10^{-5}}{4}$$

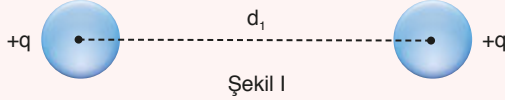
$$E_{\text{PTop.}} = 54 \cdot 10^{-1} - 36 \cdot 10^{-1} - 54 \cdot 10^{-1} = -36 \cdot 10^{-1}$$

$$E_{\text{PTop.}} = -3,6 \text{ J bulunur.}$$

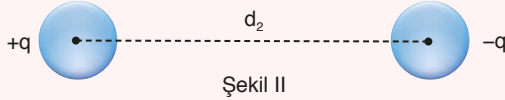


ÇALIŞMA KÖŞESİ 9

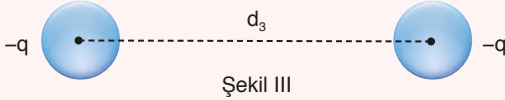
$+q$ ve $-q$ yüklü noktasal cisimler Şekil I, Şekil II ve Şekil III'teki gibi yerleştirilmiştir. Potansiyel enerjileri sırasıyla E_{P1} , E_{P2} ve E_{P3} 'tür.



Şekil I



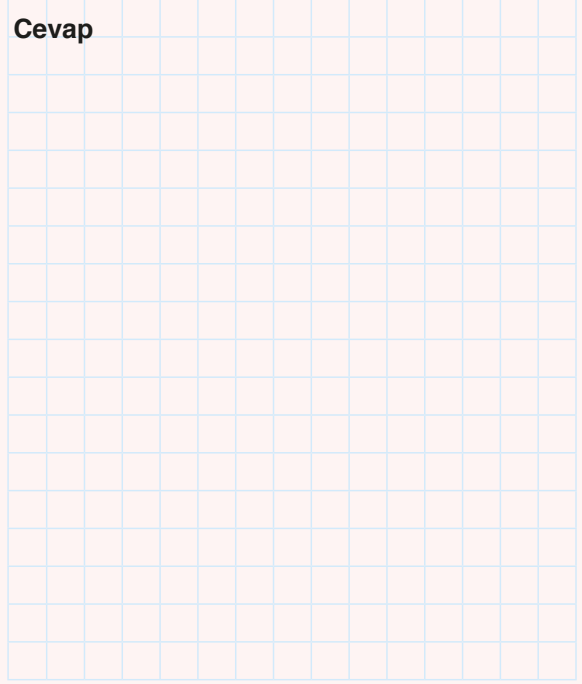
Şekil II



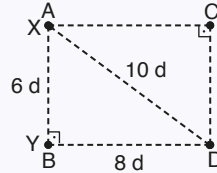
Şekil III

Şekil I ve Şekil II'deki d_1 ve d_2 uzaklıkları iki katına çıkartılıp Şekil III'teki d_3 uzaklığı yarıya indirildiğinde şekillerdeki yüklere ait elektriksel potansiyel enerjiler E_{P1} , E_{P2} ve E_{P3} nasıl değişir?

Cevap



Örnek: A ve B noktalarında bulunan X ve Y noktasal cisimlerinin yükleri sırasıyla $4q$ ve q_Y 'dir.



Noktasal cisimlerin C noktasında oluşturdukları elektriksel potansiyeli sıfır ise D noktasında oluşturdukları elektriksel potansiyeli kaç $\frac{k \cdot q}{d}$ dir?

Çözüm: X ve Y noktasal cisimlerinin C noktasında oluşturdukları elektriksel potansiyeli yazılarak sıfıra eşitlenirse Y noktasal cisminin yük miktarı q_Y

$$V_C = \frac{k \cdot q_X}{d_{AC}} + \frac{k \cdot q_Y}{d_{BC}}$$

$$0 = \frac{k \cdot 4q}{8d} + \frac{k \cdot q_Y}{10d}$$

$$\frac{k \cdot 4q}{8d} = -\frac{k \cdot q_Y}{10d}$$

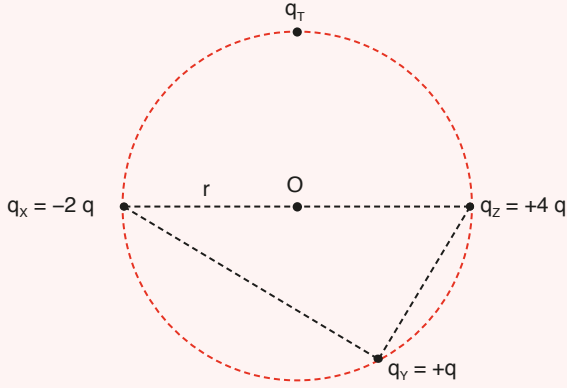
$q_Y = -5q$ olarak bulunur. D noktasında oluşan elektriksel potansiyeli,

$$V_D = \frac{k \cdot q_X}{d_{AD}} + \frac{k \cdot q_Y}{d_{BD}} = \frac{k \cdot 4q}{10d} - \frac{k \cdot 5q}{8d} = \frac{k \cdot 16q}{40d} - \frac{k \cdot 25q}{40d} = -\frac{9}{40} \cdot \frac{k \cdot q}{d} \text{ bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 10

Aynı düzlemde bulunan, yükleri q_x , q_y , q_z ve q_T noktasal cisimlerin çemberin merkezi olan O noktasındaki elektriksel potansiyeli sıfırdır.

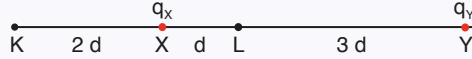


q_T yüklü cisminin yük miktarı kaç q 'dur?

Cevap



Örnek: Aynı düzlem üzerinde bulunan X ve Y noktasal cisimlerinin elektrik yükleri sırasıyla $-2q$ ve $+4q$ 'dur. Parçacıklar şekildeki gibi yerleştirildiğinde X noktasal cisminin K noktasındaki elektriksel potansiyeli V olmaktadır.



Buna göre K ve L noktalarının elektriksel potansiyel farkı ($V_K - V_L$) kaç V'tur?

Çözüm: X noktasal cisminin K noktasındaki elektriksel potansiyeli

$$V_x = V = \frac{k \cdot q_x}{d_x} = \frac{k \cdot (-2q)}{2d} = -\frac{k \cdot q}{d} \text{ dir.}$$

Buna göre X ve Y noktasal cisimlerinin K noktasındaki elektriksel potansiyeli

$$V_K = V_x + V_y = \frac{k \cdot q_x}{d_x} + \frac{k \cdot q_y}{d_y} = \frac{k \cdot (-2q)}{2d} + \frac{k \cdot (+4q)}{6d} = -\frac{k \cdot q}{3d} = \frac{V}{3} \text{ bulunur.}$$

X ve Y noktasal cisimlerinin L noktasındaki elektriksel potansiyeli

$$V_L = V_x + V_y = \frac{k \cdot q_x}{d_x} + \frac{k \cdot q_y}{d_y} = \frac{k \cdot (-2q)}{d} + \frac{k \cdot (+4q)}{3d} = -\frac{k \cdot 2q}{3d} = \frac{2V}{3} \text{ bulunur.}$$

Elde edilen sonuçlara göre K ve L noktalarının elektriksel potansiyel farkı

$$(V_K - V_L) = \left(\frac{V}{3} - \frac{2V}{3} \right) = -\frac{V}{3} \text{ bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 11

q yüklü noktasal cismin X noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel V 'tur.

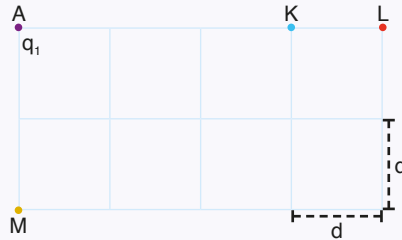


Buna göre X ve Y noktalarının elektriksel potansiyel farkı ($V_X - V_Y$) kaç V'tur?

$$(k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)$$

Cevap

Örnek: A noktasında bulunan q_1 yükünün L noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel 15 V'tur.



Elektriksel yükü 2 C olan noktasal q cismini K noktasından M noktasına getirildiğinde elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş kaç J olur?

Çözüm: q_1 yükünün L noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel

$$V_L = k \cdot \frac{q_1}{4d} = 15 \text{ V'tur. Buradan}$$

$$k \cdot \frac{q_1}{d} = 60 \text{ V olur.}$$

q_1 yüklü cisminin K noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel V_K ,

$$V_K = k \cdot \frac{q_1}{3d} = \frac{1}{3} \cdot \left(k \cdot \frac{q_1}{d} \right) = \frac{1}{3} \cdot 60 = 20 \text{ V}$$

q_1 yüklü cisminin M noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel V_M

$$V_M = k \cdot \frac{q_1}{2d} = \frac{1}{2} \cdot \left(k \cdot \frac{q_1}{d} \right) = \frac{1}{2} \cdot 60 = 30 \text{ V}$$

2 C yüklü noktasal q cismini K noktasından M noktasına getirildiğinde elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş

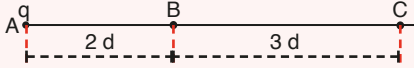
$$W_{KM} = qV_{KM} = q \cdot (V_M - V_K)$$

$$W_{KM} = 2 \cdot (30 - 20) = 20 \text{ J'dür.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 12

A noktasında sabit tutulan q yükünün C noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel 6 V 'tur.



Elektriksel yükü 5 C olan noktasal q cismi B noktasından sonsuza götürüldüğünde elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş kaç J olur?

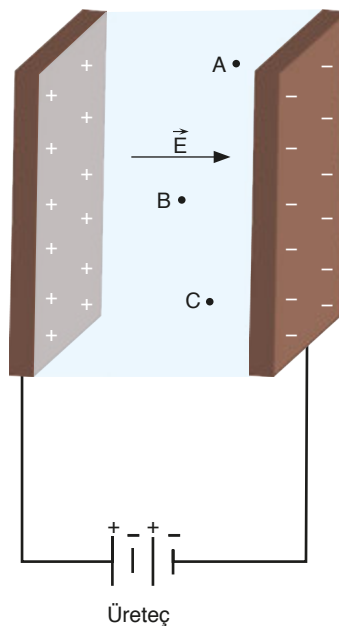
Cevap

2.3. Düzgün Elektrik Alan ve Sığa

Karşılıklı ve paralel olarak konumlandırılan iki iletken metal levha, bir üreteçle kutuplandığında levhalar eşit sayıdaki zıt yüklerle yüklenir. Levhalar arasındaki uzaysal bölgede düzgün elektrik alan meydana gelir. Bu alanın düzgün elektrik alan olarak ifade edilmesinin nedeni, uzaysal bölgenin her noktasında elektrik alan şiddetinin aynı değerde olmasıdır. Elektrik alan çizgileri birbirine paralel olup levhaların yüzeylerine diktir. Elektrik alan çizgileri birbirini kesmez.

Şekil 2.22’de bir üreteç ile elektrik yüküyle yüklendirilmiş paralel levhalar verilmiştir. Üretecin (+) kutbuna bağlanan levha (+), (-) kutbuna bağlı levha (-) yüklerle yüklenir. Bu levhalar arasında bulunan A, B ve C noktaları düzgün elektrik alan içindedir. Bu noktalardaki elektrik alan şiddetleri arasındaki ilişki

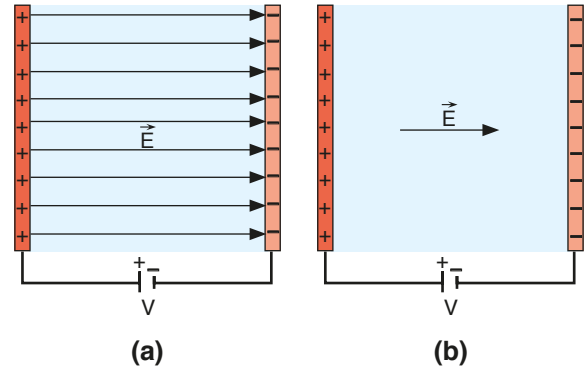
$E_A = E_B = E_C$ şeklindedir.



Şekil 2.22: Elektrik yüklü paralel levhalar

2.3.1. Yüklü İletken ve Paralel Levhalar Arasındaki Elektrik Alan

Kutuplanmış levhalar arasında meydana gelen elektrik alanın temsili elektrik alan çizgileri, levhaların birindeki pozitif yüklerden çıkıp diğer levhadaki negatif yüklerde son bulur. Bu çizgiler Şekil 2.23.a'daki gibi ve tek çizgi olarak Şekil 2.23.b'deki gibi gösterilebilir. Elektrik alan çizgileri elektrik alanı temsil eder. Gerçekte levhalar arasındaki bölgede çizgilerin varlığı söz konusu değildir. Levhalar arasındaki her noktada elektrik alan şiddeti aynı değerdedir.

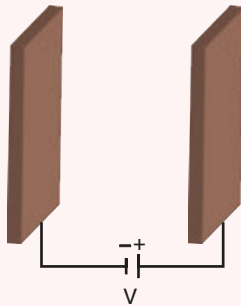


Şekil 2.23: Temsilî elektrik alan çizgileri



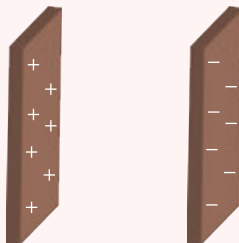
ÇALIŞMA KÖŞESİ 13

- A)** V gerilimli üretece iletken ve paralel levhalar bağlanmıştır.



Buna göre levhaların yük cinsi ne olacaktır? Levhalar arasında oluşan elektrik alanı, alan çizgilerini çizerek açıklayınız.

- B) Yüklü, iletken ve paralel levhaların yük cinsleri verilmiştir.**



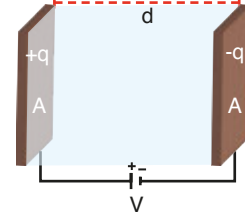
Buna göre Levhalar arasında oluşan elektrik alanı, alan çizgilerini çizerek açıklayınız.

Cevap

Cevap

2.3.2. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanının Bağlı Olduğu Değişkenler

Şekil 2.24'te V gerilim altında yüklendirilmiş paralel levhalar verilmiştir. Burada d (m), levhalar arasındaki uzaklığı, A (m^2), levhaların yüzey alanını, V (volt), levhaların gerilimini, $+q$ ve $-q$ yükleri, levhaların yük miktarını ifade etmektedir.



Şekil 2.24: Yüklü paralel levhalar

Elektrik alan şiddeti, elektrik alan çizgilerinin yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla ifadelerde verilen büyüklüklerde yapılacak değişiklik elektrik alanının şiddetinde değişime neden olur.



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Elektrik Alan ve Değişkenleri

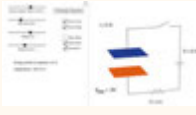
Etkinliğin Amacı: Yüklü, iletken ve paralel levhalar arasında oluşan elektrik alanının bağlı olduğu değişkenleri belirlemek ve analiz etmek

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, fare, kâğıt ve kalem

Yönerge

- Yüklü, iletken ve paralel levhalar arasında oluşan elektrik alanı konulu simülasyona ulaşmak için kitabınızı pdf dosya üzerinden açınız ve ekran görüntüsüne tıklayınız.



- Değerlerin bulunduğu bölümdeki anahtarı kapat "Close Switch" kutucuğuna fare yardımıyla tıklayınız.
- Levhalar arasındaki uzaklığı "Distance between plates", levhaların yüzey alanını "Plate Area", iletken tele bağlı üreticinin gerilimini "Voltage" değiştirmek için şerit üzerindeki noktayı fare yardımıyla tutup ileri geri hareket ettirerek tabloda istenen değerlerin oluşmasını sağlayınız.
- Elde ettiğiniz değerlerin sonucunda levhalar arasında elektrik alanının büyüklüğünü ifade eden ve levhaların birinden diğerine doğru gösterilen yeşil renkteki okları gözlemleyerek bahsi geçen büyüklüklerin simülasyondaki ilk değerlerine kıyasla ok miktarının arttığını veya azaldığını tablodaki ilgili bölüme yazınız.

Not: Kıyaslama yapılabilmesi için büyüklüklerin ilk değerleri tablonun ilk satırında verilmiştir.

Uzaklık (m)	Yüzey Alanı (m^2)	Gerilim (V)	Ok Miktarı
0,8	2	3	-----
0,8	3	3	
0,8	2	1	
0,8	2	5	
0,5	2	3	

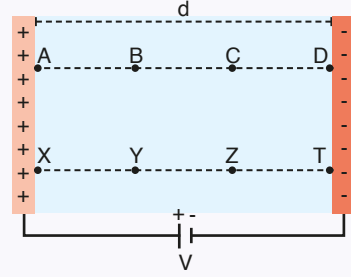
Sonuçlandırma: Elektrik alanının değişkenleri arasında nasıl bir ilişki bulunmaktadır? Açıklayınız.

Levhalar arasında meydana gelen elektrik alanın büyüklüğü, üretcin potansiyeli ile doğru; levhalar arasındaki uzaklıkla ters orantılıdır. Levhaların yüzey alanlarının büyüklüğü elektrik alanın şiddetini etkilemez. Sadece sınırları daha geniş veya daha dar bir elektrik alan bölgesi oluşturur. Noktasal bir elektrik yükünün meydana getirdiği elektrik alan şiddeti, yükten uzaklaştıkça azalır. Levhalar arasındaki uzaklık artırıldığında meydana gelen elektrik alanın şiddeti azalır. Levhalar arasında elektrik alan oluşmasını sağlayan kaynak üretçidir. Üretcin potansiyeli artırılırsa meydana gelen elektrik alanın şiddeti de artar. Paralel levhalar arasındaki elektrik alan şiddeti

$|\vec{E}| = \frac{V}{d}$ şeklinde ifade edilir. Birimi **volt/metre**'dir.

Örnek: Aralarında 1,2 m uzaklık bulunan birbirine paralel, yüklü ve iletken levhalar arasındaki potansiyel farkı V 'tur.

Y noktasının elektriksel potansiyeli V_Y , 300 V olduğuna göre C noktasının elektrik alanı kaç V/m'dir? (Noktasal arasındaki yatay uzaklıklar eşittir.)



Çözüm: Noktalar arası uzaklıklar eşit olduğu için iki nokta arasındaki uzaklıklar ve Y noktasının (+) yüklü levhaya uzaklığı 0,4 m'dir. İki nokta arasındaki elektriksel potansiyel büyüklüklerinden yararlanarak iki levha arasındaki potansiyel farkı bulunabilir. Buna göre

$$\frac{V_{XY}}{0,4} = \frac{V_{XT}}{1,2}$$

$$\frac{V_Y - V}{0,4} = \frac{V_T - V}{1,2}$$

$$(300 - V) \cdot 3 = -V$$

$$V = 450 \text{ volt'tur.}$$

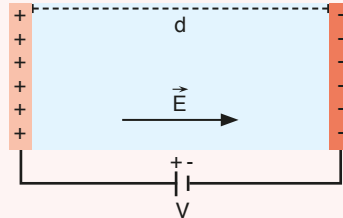
Paralel levhalar arasındaki elektrik alanı her noktada eşit olduğu için C noktasındaki elektrik alanı

$$|\vec{E}| = \frac{V}{d} = \frac{450}{1,2} = 375 \text{ V/m'dir}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 14

Aralarında d uzaklığı bulunan iletken, paralel iki levhaya V gerilimi uygulanarak levhalar arasında düzgün $\vec{E}$ elektrik alanı oluşturulmuştur.



Levhalar arasındaki uzaklık yarıya indirilip gerilim 2 katına çıkartıldığında levhalar arasındaki elektrik alan kaç $|\vec{E}|$ olur?

A) 2

B) $\frac{1}{2}$

C) 3

D) 4

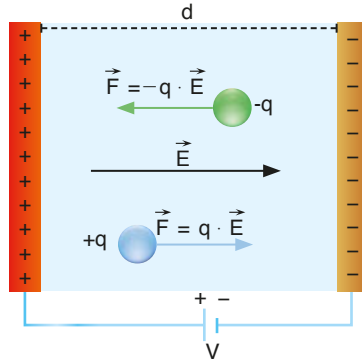
E) $\frac{1}{4}$

2.3.3. Yüklü Parçacıkların Düzgün Elektrik Alanındaki Davranışı

Elektrik alan şiddetinin $\vec{E}$ olduğu paralel iki levha arasındaki bölgede bulunan bir q yüküne elektrik alanın uyguladığı kuvvet

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \text{ olarak ifade edilir.}$$

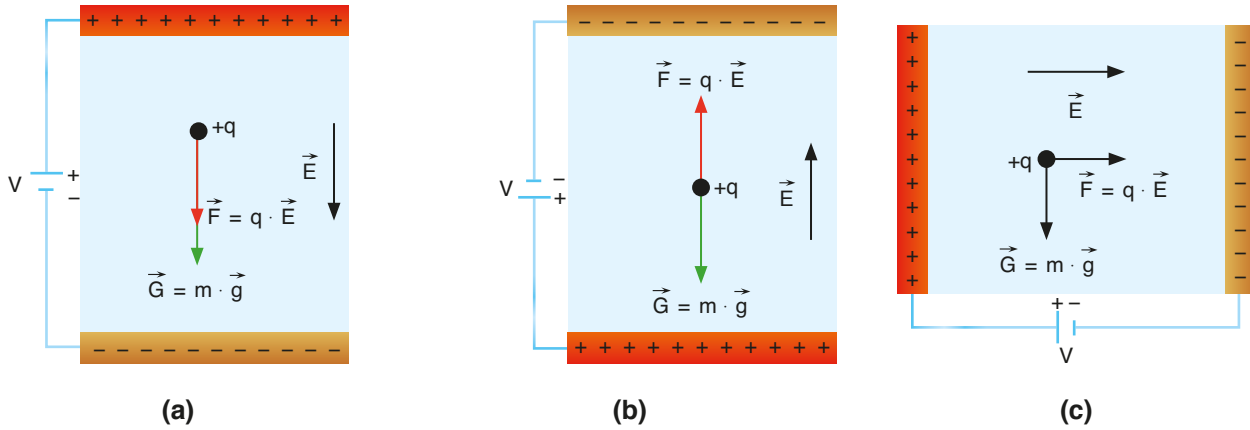
Elektriksel kuvvetin yönü, yük pozitif (+) olduğunda elektrik alan yönünde, negatif (-) olduğunda elektrik alana zıt yöndedir (Şekil 2.25).



Şekil 2.25: Elektrik alan içinde (+) ve (-) yüklere etki eden elektriksel kuvvetin yönü

Elektrik alan şiddeti $|\vec{E}| = \frac{V}{d}$ olduğundan elektriksel kuvvet $|\vec{F}| = q \cdot \frac{V}{d}$ olarak da ifade edilir.

Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu bir ortamda $+q$ yüklü noktasal cisme etki eden kuvvetler Şekil 2.26'da verilmiştir.



Şekil 2.26: $+q$ yüklü noktasal cismine etki eden kuvvetler

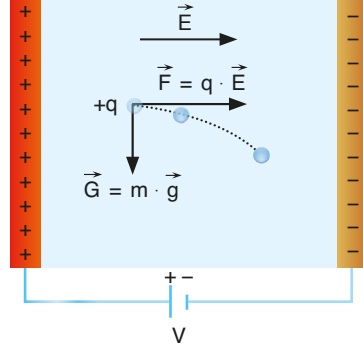
Yüklü cismin yüklü, iletken ve paralel levhalar arasında, üzerine etki eden net kuvvet için vektörel işlemler yapılır. Buna göre $\vec{F}_{\text{net}}$

$$\text{Şekil 2.26.a'da } \vec{F}_{\text{net}} = \vec{G} + \vec{F}$$

$$\text{Şekil 2.26.b'de } |\vec{G}| > |\vec{F}| \text{ ise } |\vec{F}_{\text{net}}| = |\vec{G}| - |\vec{F}|$$

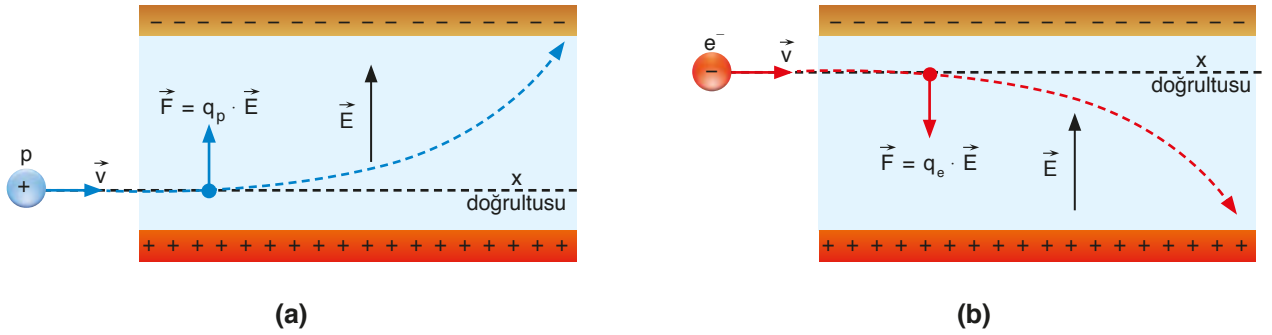
$$\text{Şekil 2.26.c'de } |\vec{F}_{\text{net}}|^2 = |\vec{G}|^2 + |\vec{F}|^2 \text{ şeklinde bulunur.}$$

Zıt yüklü paralel levhalarla oluşturulmuş düzgün elektrik alan içine gönderilen yüklü parçacık, üzerine etki eden net kuvvet doğrultusunda hareket eder. Düzgün elektrik alan içinde sabit tutulan (+) yüklü parçacık serbest bırakıldığında Şekil 2.27'deki gibi hareket eder. Bunun nedeni parçacığın üzerine etki eden elektriksel kuvvet yönünün (-) yüklü levhaya dik doğrultuda olmasıdır.



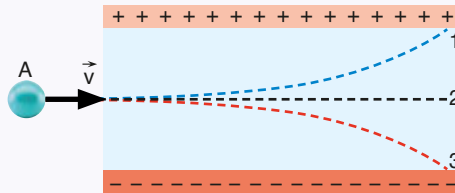
Şekil 2.27: (+) yüklü parçacığın yörüngesi

Şekil 2.28'deki gibi kütle çekim kuvvetinin ihmal edildiği bir ortamda, zıt yüklü paralel levhalar arasına elektron (e^-) ve proton (p) parçacıkları elektrik alan dik olarak $\vec{v}$ hızıyla x doğrultusunda gönderilmiş olsun. Yükleri nedeniyle elektron (+) levhaya, proton (-) levhaya doğru üzerlerine etki eden elektriksel kuvvet ve hız vektörünün bileşkesi doğrultusunda bir yörünge izler.



Şekil 2.28: Elektron ve proton parçacıklarının yüklü levhalardaki hareketleri

Örnek: Yer çekimi ivmesinin $\vec{g}$ olduğu bir ortamda yüklü levhalar arasında oluşturulan düzgün elektriksel alana yüklü A parçacığı $\vec{v}$ hızı ile şekildeki gibi gönderilmektedir.



A parçacığının 1, 2 ve 3 yollarını izleyebilme şartı nedir? Açıklayınız.

Çözüm: A parçacığının

1 yolunu izleyebilmesi için cisim kesinlikle (-) yüklü ve elektriksel kuvvet kütle çekim kuvvetinden büyük olmalıdır.

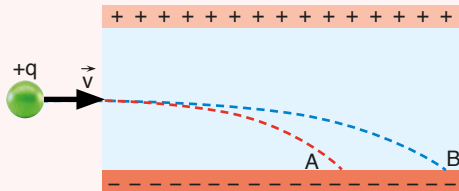
2 yolunu izleyebilmesi için (-) yüklü ve elektriksel kuvvet kütle çekim kuvvetine eşit olmalıdır.

3 yolunu izleyebilmesi için (+) veya (-) yüklü olabilir. Ancak (-) yüklü ise kütle çekim kuvveti elektriksel kuvvetten büyük olmalıdır.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 15

Yer çekimi kuvvetinin ihmal edildiği bir ortamda $+q$ yüklü bir cisim, yatay levhalarla oluşturulan düzgün elektriksel alana $\vec{v}$ hızı ile şekildeki gibi gönderilmektedir.



A noktasına düşen yüklü cismin B noktasına düşmesi için

- I. Hızı artırılmalı
- II. Elektriksel alan şiddeti artırılmalı
- III. Levhalar arasındaki uzaklık artırılmalı

işlemlerinden hangileri yapılabilir?

Cevap



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

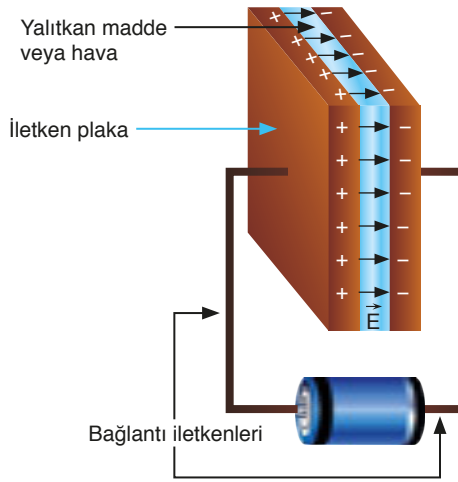
Yüklü parçacıkların elektrik alandaki davranışının teknolojideki kullanım yerlerini araştırınız. Araştırdığınız bu konunun teknolojideki kullanım alanlarından birini seçerek sınıfta sunum yapınız.

2.3.4. Sığa (Kapasite)

Kapasitenin işlevsel tanımı birbirinden çok farklı anlamlar içerir. Örneğin bir bardağın su kapasitesi ile bir uçağın yolcu kapasitesi “içinde barındırma sınırı” anlamı taşıırken bir kişinin anlama kapasitesi o kişinin “öğrenme yeteneği” anlamına gelir. Fizik literatüründe kapasite veya diğer adıyla sığa bir cismin elektrik yükü depo etme yeteneğidir. Yalıtkan cisimler birbirlerine sürtündüğünde elektriklenirler. Cisimlerin birinde biriken elektrik yükünün miktarı $+q$ olduğunda diğerinde biriken yük miktarı $-q$ olur. Bu iki cismin elektriklenme miktarı cisimlerin atom sayıları ile orantılı olur.

Son yörüngesinde 1 elektron bulunan atomlardan oluşan bir cisim başka bir cisme sürtünerek elektriklendiğinde 1 mol elektron verdiği kabul edilirse cisim $(6,02 \cdot 10^{23}) \cdot (1,6 \cdot 10^{-19}) = 96\,320\text{ C}$ pozitif elektrik yükü ile yüklenmiş olur. Buradan çıkarılacak sonuç, bir cismin yüklenme kapasitesi, sahip olduğu atom sayısı ile orantılıdır. Sürtünme ile elektriklenmede cisimlerin yüklenme miktarı olan q 'nın değeri, cisimlerin fiziksel özelliklerine de bağlıdır.

Benzer durum iletkenler için de geçerlidir. Birbirine paralel, iletken iki metal levha arasına, yalıtkan (dielektrik) bir madde konulup bir üretcin kutuplarına bağlandıklarında elektrik yükleri ile yüklenir. Böylece levhalar arasındaki yalıtkan bölgede düzgün bir elektrik alan meydana gelir (Şekil 2.29).

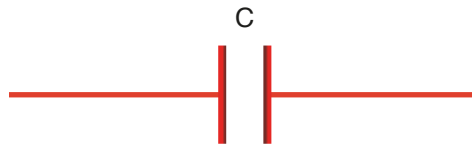


Şekil 2.29: Yalıtkan bölgede düzgün bir elektrik alan

İletken metal iki levha ve yalıtkan maddeden oluşan bu sistem, üreteçten ayrılıp uygun bir lambaya bağlandığında lambanın anlık olarak ışık verdiği gözlenir. Lambanın ışık vermesi, üretcin bu sisteme enerji aktardığı ve bu enerjinin sistemde tutulduğu, ısı ve ışık enerjisine dönüştüğü anlamına gelir.

Metal levhalar ve bir yalıtkan maddeden oluşan böyle birleşime **sığaç (kondansatör)** denir. Geometrik ve fiziksel özelliklerine de bağlı olarak levhalardan biri üzerindeki yükün büyüklüğünün, levhalar arasındaki potansiyel farkının büyüklüğüne oranına kondansatörün **sığası** denir. Bir kondansatörün sığası bu kondansatörde depolanabilecek maksimum yük miktarı ile ilgili bir niceliktir.

Bir devre elemanı olan ve devre çizimlerinde Şekil 2.30'daki gibi modellenen kondansatörün sığası **C** sembolüyle gösterilir. Birimi **farad** olarak ifade edilir. Farad birimi F sembolüyle gösterilir. 1 volt potansiyel farkı altındaki bir levhada 1 C yük ($6,25 \cdot 10^{18}$ tane elektron) depolayabilen kondansatörün sığasına 1 F'lık sığa denir.



Şekil 2.30: Devre çizimlerinde kondansatör



ÇALIŞMA KÖŞESİ 16

Bir fizik öğretmeni sınıfındaki öğrencilerine açıkla-
mak istediği kavramla ilgili olarak aşağıdaki ifadele-
ri kullanmıştır.

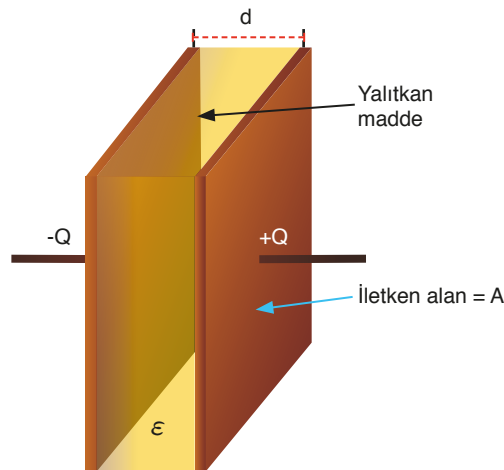
Cevap

- I. 10 kg çamaşır, bazı çamaşır makinelerinde tek seferde yıkanabilmektedir.
- II. Bu sınıfa ancak 20 sıra yerleştirilebilmiştir.
- III. Hârici bellek hafızası 1 TB'tır.

Fizik öğretmeni öğrencilerine hangi kavramı açıklamak istemektedir?

2.3.5. Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler

Şekil 2.31’de aralarında yalıtkan bir madde bulunan iki iletken levhadan oluşan ve levhalarında enerji depolamaya yarayan elektrik yüklü kondansatör verilmiştir. Kondansatörlerin iletken levhalarına **armatür** de denir. Armatürleri düzlem levhalar şeklinde olan kondansatörler, yüzey alanları A olan iki armatür arasındaki uzaklık d olacak şekilde karşılıklı konumlandırılarak bir kondansatör düzeneği elde edilir.



Şekil 2.31: Düzlem kondansatör

ϵ ise armatürler arasındaki yalıtkan ortamın dielektrik sabitidir. Birimi F/m'dir (farad/metre). “Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan” konusunda da bahsedilen dielektrik sabiti veya geçirgenlik sabiti, yalıtkan madde- nin elektrik alanı ne derece etkilendiğini ya da ne ölçüde yük depolanabildiğini ifade eden bir katsayıdır.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot k} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m'dir. Burada k, Coulomb sabitidir.}$$

İletken levhalar arasına konulan maddeler çoğunlukla hava, porselen ve camdır.



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Sığanın Değişkenleri

Etkinliğin Amacı: Sığanın bağlı olduğu değişkenleri belirlemek, analiz etmek ve matematiksel modelini elde etmek

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, kâğıt ve kalem

Yönerge

- Kondansatör Lab. konulu simülasyona ulaşmak için kitabınızı pdf dosya üzerinden açınız ve ekran görüntüsüne tıklayınız.



- Bilgisayarınızda java oynatıcı yüklü değilse aşağıdaki ekran görüntüsüne tıklayarak yükleyiniz.



- Simülasyon ekranının sol üst köşesinde “Dielektrik” sayfasını seçiniz.
- “Offset” nesnesini yanında bulunan sağ-sol okları ile 0,0 mm uzaklığa taşıyınız.
- Simülasyon ekranının sağ tarafında bulunan “Ölçü Araçları” bölümünden “Sığa” seçeneğini işaretleyiniz.
- Levhalara bağlı pilin gerilim değerini üzerindeki sürgü yardımıyla 1,5 V çizgisine getiriniz.
- Aşağıdaki tabloda “Plakalar arası mesafe”, “Plakanın alanı” ve ekranın sağ tarafında “Dielektrik” bölümünde bulunan “Malzemenin cinsi” için istenen büyüklükleri yanlarındaki okları kullanarak getiriniz.
- Getirdiğiniz büyüklüklere karşılık gelen “Sığa” değerini tabloda ilgili bölüme yazınız.

Plakalar Arası Mesafe (mm)	Plakanın alanı (mm ²)	Malzemenin Cinsi	Sığa (10 ⁻¹³)
10,0	100,0	teflon	
10,0	100,0	cam	
8,5	100,0	cam	
8,5	155,2	cam	

Sonuçlandırma

- Sığa hangi büyüklüklerin değişmesinden etkilenmiştir? Açıklayınız.
- Sığa ile değişkenleri arasında nasıl bir ilişki bulunmaktadır?
- Sığanın matematiksel modeli nasıl olmalıdır?

Bir kondansatörün sığası dielektrik maddesinin yalıtkanlık özelliği ve metal levhaların büyüklüğü ile doğru, metal levhalar arasındaki uzaklıkla ters orantılıdır. Sığa için kullanılan matematiksel model

$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$ şeklindedir. SI birim sisteminde birim analizi Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6: Birim Tablosu

Ortamin Dielektrik Sabiti	Levhalar dan Birinin Alanı	Levhalar Arasındaki Uzaklık	Kondansatörün Sıgasi
ϵ	A	d	C
$\frac{F}{m}$	m ²	m	F

Örnek: Boyutları 0,4 m ve 1 m olan iki dikdörtgen levha, aralarında 6 cm açıklık olacak biçimde birbirine paralel olarak bir üretcin kutuplarına bağlanmıştır. **Levhalar arasında bulunan yalıtkan tabakanın dielektrik sabiti $3 \cdot 10^{-12}$ F/m olduğuna göre kondansatörün kapasitesi kaç F'dir?**

Çözüm: Levhaların yüzey alanı

$$A = 0,4 \cdot 1 = 0,4 = 4 \cdot 10^{-1} \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

Levhalar arası uzaklık için birim dönüşümü yapılarak

$6 \text{ cm} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ şeklinde kullanılır.

Bir kondansatörün sığası $C = \epsilon \cdot \frac{A}{d}$ bağıntısıyla bulunur. Buna göre kondansatörün sığası

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

$$C = 3 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-1}}{6 \cdot 10^{-2}} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ F olarak bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 17

Bir kondansatörün sırası C iken levhaları arasındaki uzaklık yarıya indirilip dielektrik katsayısı kullanılan yalıtkan maddenin dört katı olan başka bir maddeyle değiştirilmektedir.

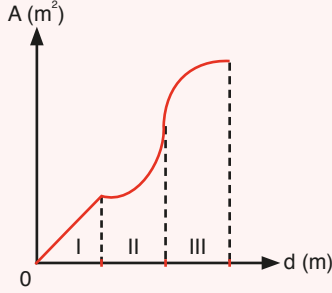
Bu durumda elde edilen kondansatörün kapasitesi kaç katına çıkmıştır?

Cevap



ÇALIŞMA KÖŞESİ 18

Aşağıdaki grafikte bir kondansatörün yüzey alanı ile levhaları arasındaki uzaklığa bağlı ($A-d$) grafiği verilmiştir.



I, II ve III bölgelerinde kondansatörün sığası nasıl değişir?

Cevap



2.3.6. Kondansatörün İşlevi

Kondansatörler, piller gibi enerji depolama amacıyla değil depo edilen enerjinin anlık olarak hızlı bir şekilde kullanılacak şekilde tasarlanır. Piller ile kondansatörler arasındaki başka bir fark da pillerde güç kimyasal reaksiyon yoluyla üretilirken kondansatörlerde bu enerjinin depolanması ve bir elektrik alanında tutulmasıdır. Piller, kondansatörlerden daha uzun sürelerde daha fazla enerji sağlayabilir. Öte yandan, bir kondansatör bir pilden kat kat daha hızlı bir şekilde daha fazla enerjiyi yüksek verimlilikle şarj/deşarj edebilir. Kondansatörlerde enerji, pozitif ve negatif elektrostatik yüklerin ayrışmasıyla depo edilir. Kondansatörlerin güç yoğunlukları çok yüksek fakat enerji yoğunlukları çok düşüktür. Levhalar arasındaki dielektrik malzeme de iki levha arasında bağ oluşmasını önleyerek daha fazla şarj yapılmasını sağlar.

Kalp pili ve elektroşok cihazının içinde bulunan kondansatörlere çok fazla enerji depo edilememesine rağmen istenilen hızda enerjiyi aktarmayı sağlar (Görsel 2.2 ve Görsel 2.3).



Görsel 2.2: Kalp pili



Görsel 2.3: Elektroşok cihazı



ÇALIŞMA KÖŞESİ 19

Verilen yargılardan hangisinde sığanın işlevinden yararlanılmıştır?

- I. Araçlarda klasik ateşleme sistemi
- II. Şarjlı el feneri
- III. Aydınlatma otomatığı

A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II D) II ve III E) I, II ve III



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Kondansatörler, elektrikli bir cihazın herhangi bir sebeple enerji kaynağından ayrılmasının ardından bir süre daha kullanılmasını sağlar. Bu cihazlara hoparlörler örnek olarak verilebilir. Hoparlörün çalıştığı süre boyunca depolanan kondansatör, kaynağın kesintiye uğramasının ardından depoladığı yük, hoparlörün çalışmasını ve ses kaybı olmamasını sağlar. Kondansatörler, fotoğraf makinelerinde de kullanılır. Fotoğraf makinelerindeki flaşın ışık vermesi, yüklü kondansatörün iki ucunun kısa devre yaptırılmasıyla gerçekleşmektedir.

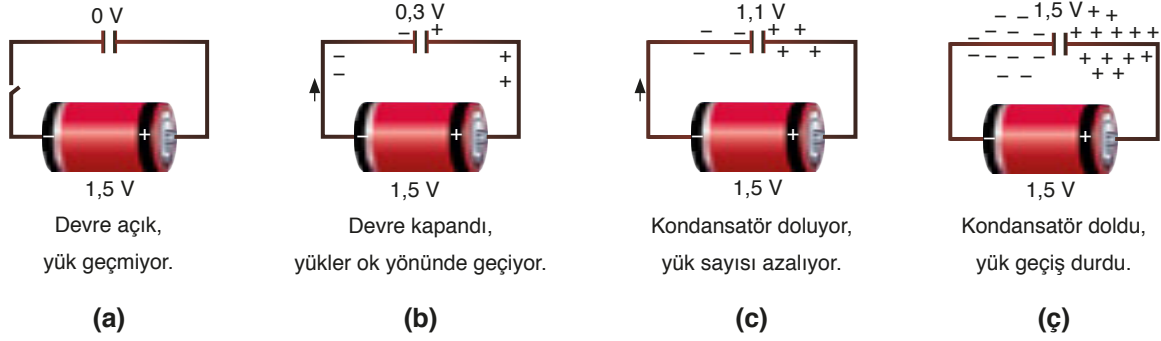
Sizler de sığaçların kullanım alanlarını araştırınız. Elektrik yüklerinin depolanarak kullanılabildiğini sınıfta beşer kişilik grup oluşturarak tartışınız ve elektrik enerjisi ile ilişkilendiriniz.



2.3.7. Yüklenmiş Bir Sığaçta Yük ve Gerilim

Yüksüz bir kondansatörü yüklemek amacıyla kurulan bir devrede, anahtar açıkken kondansatörün levhalarında eşit sayıda pozitif ve negatif yük bulunacağından levhaların her ikisi de nötrdür. Anahtar kapatıldığında devreden elektrik akımı geçmeye başlar.

Üretcin negatif kutbundan ayrılan elektronlar negatif kutba bağlı iletken metal levhada birikmeye başladığında pozitif kutba bağlı levhadan ayrılan elektronlar da üretcin pozitif kutbuna ulaşır (Şekil 2.32).



Şekil 2.32: Bir kondansatörün dolması

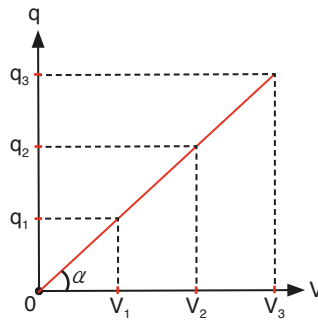
Kondansatörün her iki levhasının atomlarında meydana gelen yük değişimi eş zamanlı olarak gerçekleşir. Bu süreçte pozitif ve negatif kutba bağlı iletken metal levhalarda yüklenen atom sayıları her an için eşit sayıdadır. Yüklenme anahtar kapatıldığı anda başlar ve kondansatörün potansiyel farkı üretcin potansiyel farkına eşit olduğu anda yüklenme tamamlanmış olur. Üretcin kutupları arasındaki potansiyel farkına eşit olduğu anda kondansatör elektrik yükleri ile yüklenmiş olur. Başka bir ifadeyle kondansatör, kapasitesi kadar yükle yüklendiğinde devredeki yük akışı durur. Dolayısıyla devreden geçen akım durur. Kondansatöre bağlanan üretcin gerilimi, kondansatörün çalışma geriliminden daha büyük olmamalıdır. Böyle bir durumda kondansatör zarar görür.

Boş bir kondansatör, bir üretceyle yüklenmeye başlandığında metal levhaları arasındaki potansiyel farkı sıfır olan kondansatörün levhaları arasındaki gerilim artmaya başlar. Bu da levhalarda biriken yük miktarının gerilimle orantılı olarak artmasına neden olur.

Levhalar yüklenmeye başladıktan sonraki herhangi t_1 , t_2 ve t_3 anlarındaki levhaların birinde biriken yük miktarları sırasıyla q_1 , q_2 , q_3 ise levhalar arasındaki ölçülen gerilimler V_1 , V_2 , V_3 olduğunda yük değerinin o andaki gerilim değerlerine oranının sabit olduğu görülür. Bu oran

$$\frac{q_1}{V_1} = \frac{q_2}{V_2} = \frac{q_3}{V_3} \text{ şeklinde yazılır.}$$

Bu sabit kondansatörün sığasını ifade eder. Sığa için çizilecek q-V grafiği Şekil 2.33'teki gibidir.



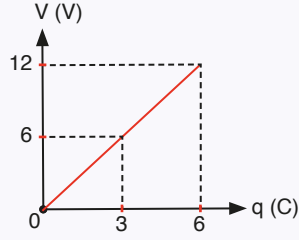
Şekil 2.33: q-V grafiği

Yük-gerilim grafiğinin eğiminden yararlanarak kondansatörün sığası bulunabilir. Buna göre

$$\tan \alpha = \frac{q}{V} = C \text{ şeklinde yazılır.}$$

$C = \frac{q}{V}$ bağıntısına göre gerilimin artması sayısal olarak sığanın azalması anlamına gelir ancak burada sığa kondansatörün fiziksel özelliklerine bağlı bir nicelik olduğundan gerilim değerinden etkilenmez. Kondansatöre uygulanan gerilim değeri, çalışma gerilimine eşit veya küçük olmak koşuluyla artırılırsa kondansatördeki yük miktarı da artacağından sığası değişmez. Bir bardağa doldurulabilecek su miktarının sürahideki su miktarına bağlı olmadığı, bardağa kapasitesinden daha fazla su konulduğunda suyun taşması bu duruma örnek olarak verilebilir.

Örnek: Bir kondansatörün V-q grafiği şekilde verilmiştir.



Bu kondansatörün sığası kaç F'dir?

Çözüm: Kondansatörün sığası V-q grafiğinden yararlanılarak bulunabilir. Buna göre

$$C = \frac{q}{V} = \frac{3}{6} = 0,5 \text{ F bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 20

Sığası C olan kondansatör V gerilimi uygulanarak yüklenmiştir. **Devre gerilimi artırıldığında kondansatörün sığası C ve yükü q nasıl etkilenir?**

	<u>C</u>	<u>q</u>
A)	Artar	Artar
B)	Azalır	Azalır
C)	Değişmez	Değişmez
D)	Azalır	Değişmez
E)	Değişmez	Artar

2.3.8. Sığaçta Depolanan Enerji

Bir kondansatörün yüklenmesi sürecinde yapılan iş kondansatörde depolanan enerjideki değişim kaddır. Bu enerji değişimi kondansatörün levhaları arasındaki potansiyel farkının sıfırdan maksimum V değerine ulaşması sürecinde levhalar arasındaki ortalama potansiyel farkı sabit $V/2$ alınarak bulunabilir. Buna göre üreticin $V/2$ potansiyel fark altında kondansatör q kadar yükle yüklendiğinde kondansatörde depolanan enerji

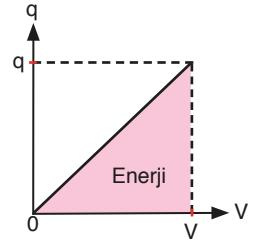
$$W = q \cdot \frac{V}{2} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot V \text{ olarak ifade edilir.}$$

Bu eşitlik ile $q = C \cdot V$ eşitliği birleştirilerek enerji bağıntısı genişletilebilir. Buna göre kondansatörde depolanan enerji

$$W = \frac{1}{2} \cdot q \cdot V = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

Kondansatörün sığası için çizilen q - V grafiğinde kullanılan çizginin altındaki alan hesaplanarak da kondansatörde depolanan enerji elde edilebilir (Şekil 2.34). Buna göre kondansatörde depolanan enerji

$$\text{Alan} = \frac{q \cdot V}{2} = W \text{ şeklinde bulunur.}$$



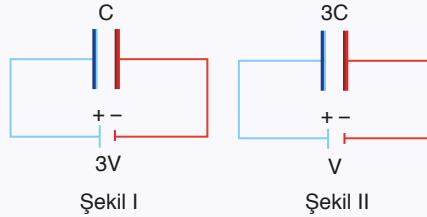
Şekil 2.34: q - V grafiği

Kondansatörler dolu iken kutuplarına dokunmak ciddi yanıklara sebebiyet verebilir. Çünkü dolu bir kondansatörün kutuplarına dokunulduğunda yükler ani olarak boşalacağından deşarj akım değeri yüksek olacaktır. Tablo 2.7'de değişik akım değerlerinin insan vücudundaki etkileri verilmiştir.

Tablo 2.7: Değişik Akım Değerlerinin İnsan Vücudundaki Etkileri [2.1]

Vücuda Gösterdiği Etki	Akım Aralığı	
	Kadın	Erkek
Hissetme Sınırı: Gıdıklanma hissi oluşur.	0,25 mA-0,5 mA	0,5 mA-1 mA
Uyuşma Hissi: Temas eden yerde rahatsızlık duygusu oluşur.	1 mA-2 mA	
Son Bırakabilme Noktası: Elde kolda kramplar oluşur ve tansiyon yükselir.	9 mA	15 mA
Çırpınım Seviyesi: Kalpte ritim bozukluğu meydana gelir ve bilinç kaybı oluşabilir.	500 mA altında 0,2 sn veya 75 mA altında 0,5 sn	
Bilinç Kaybı: Kas kontrolü kaybedilir, kas kasılmaları akım kesilene kadar devam eder ve akciğer şişer.	3 A-8 A	

Örnek: Sığa değerleri C ve $3C$ olan kondansatörler Şekil I ve Şekil II'deki gibi potansiyel farkı sırasıyla $3V$ ve V olan üreteçlere bağlanmaktadır.



Şekil I'de bulunan kondansatörde depolanan enerji W ise Şekil II'de bulunan kondansatörde depolanan enerji kaç W olur?

Çözüm: Kondansatörde depolanan enerji $W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2$ ile bulunur. Buna göre Şekil I'deki kondansatörde depolanan enerji W_1

$$W_1 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (3V)^2 = 9 \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \text{ bulunur. } 9 \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = W \text{ yazılarak eşitlik } \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{W}{9}$$

şeklinde düzenlenebilir. Bu durumda Şekil II'deki kondansatörde depolanan enerji W_2 ,

$$W_2 = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \cdot 3C \cdot V^2 = 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 = 3 \cdot \frac{W}{9} = \frac{W}{3} \text{ bulunur.}$$

- Her bir kondansatörün yükü

$$q_1 = C_1 \cdot V_1, q_2 = C_2 \cdot V_2 \text{ eşitlikleriyle bulunur.}$$

Seri bağlı kondansatörlerde eşit sayıda yük bulunduğu için kondansatörlerden birinin yükü, aynı zamanda devrenin toplam yüküdür. Devrenin toplam yükü (q_{top}) ile kondansatörlerdeki yük arasındaki ilişki

$$q_{\text{top}} = q_1 = q_2 \text{ şeklindedir.}$$

- Her bir kondansatörün gerilimi

$$V_1 = \frac{q_1}{C_1}, V_2 = \frac{q_2}{C_2} \text{ eşitlikleriyle bulunur.}$$

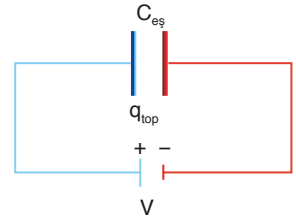
Devrenin toplam gerilimi

$$V_{\text{top}} = V_1 + V_2 \text{ yazılır.}$$

Buradan V_{top} için yazılan eşitlik ile q_{top} eşitliği birleştirildiğinde $C_{\text{eş}}$

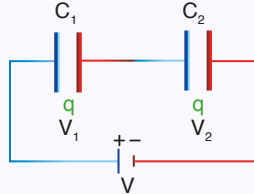
$$V_{\text{top}} = V_1 + V_2 = \frac{q_1}{C_1} + \frac{q_2}{C_2} = \frac{q_{\text{top}}}{C_1} + \frac{q_{\text{top}}}{C_2} = q_{\text{top}} \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{V_{\text{top}}}{q_{\text{top}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_{\text{eş}}} \text{ bulunur. Devre } C_{\text{eş}} \text{ kullanılarak Şekil 2.36'daki gibi çizilebilir.}$$



Şekil 2.36: $C_{\text{eş}}$ kullanılarak sadeleştirilmiş devre

Örnek: Sıgaları C_1 ve C_2 olan kondansatörler 12 V'luk üretece şekildeki gibi bağlanmıştır. Kondansatörlerin sırasıyla sıgaları $1 \cdot 10^{-5}$ F, $15 \cdot 10^{-6}$ F; gerilimleri V_1 ve V_2 'dir.



Buna göre

- Kondansatörlerde biriken yük miktarı kaç C'dur?
- Kondansatörler üzerindeki V_1 ve V_2 gerilimleri kaç volttur?

Çözüm:

- Kondansatörler seri bağlı olduğundan her bir kondansatörde biriken yük miktarı eşit olacaktır. Seri bağlı kondansatörler için $C_{\text{eş}}$ kullanılarak kondansatörlerde biriken yük miktarı

$$\frac{1}{C_{\text{eş}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-5}} + \frac{1}{15 \cdot 10^{-6}} = \frac{5}{30 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{6 \cdot 10^{-6}}$$

$$C_{\text{eş}} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F bulunur. Buradan}$$

$$q_{\text{top}} = C_{\text{eş}} \cdot V_{\text{top}}$$

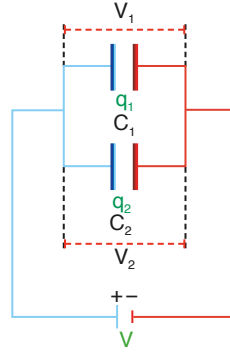
$$q_{\text{top}} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 12 = 72 \cdot 10^{-6} \text{ C bulunur.}$$

b) Her bir kondansatörde biriken yük miktarının eşit olmasından yararlanılarak

$$V_1 = \frac{q}{C_1} = \frac{72 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} = 7,2 \text{ V},$$

$$V_2 = \frac{q}{C_2} = \frac{72 \cdot 10^{-6}}{15 \cdot 10^{-6}} = 4,8 \text{ V olarak bulunur.}$$

Paralel Bağlı Kondansatörler: Sıgaları C_1 ve C_2 olan kondansatörlerin, gerilimi V olan üretece Şekil 2.37'deki gibi bağlanmasıyla paralel bağlı kondansatör devresi elde edilir.



Şekil 2.37: Paralel bağlı kondansatörler

Paralel bağlı kondansatörlerin eşdeğer sıgasını veren matematiksel modele aşağıdaki işlem basamaklarıyla ulaşılabilir.

- Her bir kondansatörün sıgası

$$C_1 = \frac{q_1}{V_1}, C_2 = \frac{q_2}{V_2} \text{ eşitlikleriyle bulunur.}$$

- Her bir kondansatörün yükü

$$q_1 = C_1 \cdot V_1, q_2 = C_2 \cdot V_2 \text{ eşitlikleriyle bulunur.}$$

Devrenin toplam yükü, kondansatörlerin yükleri toplamına eşittir. Buna göre devrenin toplam yükü

$$q_{\text{top}} = q_1 + q_2 \text{ şeklindedir.}$$

- Her bir kondansatörün gerilimi

$$V_1 = \frac{q_1}{C_1}, V_2 = \frac{q_2}{C_2} \text{ eşitlikleriyle bulunur.}$$

Her bir kondansatörün gerilimi üretecin gerilimine eşittir. Devrenin toplam gerilimi ile kondansatörlerin gerilimleri arasındaki ilişki

$$V_{\text{top}} = V_1 = V_2 \text{ şeklindedir.}$$

Buradan q_{top} eşitliği ilgili eşitlikler birleştirildiğinde $C_{\text{eş}}$

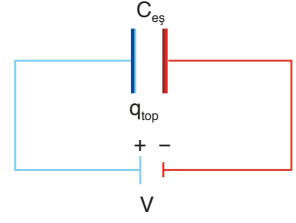
$$q_{\text{top}} = q_1 + q_2$$

$$C_{eş} \cdot V_{top} = C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2$$

$$C_{eş} \cdot V_{top} = C_1 \cdot V_{top} + C_2 \cdot V_{top}$$

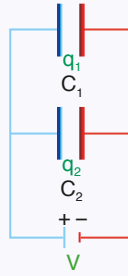
$$C_{eş} = C_1 + C_2 \text{ bulunur.}$$

Devre $C_{eş}$ kullanılarak Şekil 2.38'deki gibi çizilebilir.



Şekil 2.38: $C_{eş}$ kullanılarak sadeleştirilmiş devre

Örnek: Sığası $12 \cdot 10^{-6}$ F olan C_1 kondansatörü ile sığası $4 \cdot 10^{-6}$ F olan C_2 kondansatörü şekildeki gibi 6 V'luk üretece bağlanmıştır. Kondansatörlerin sırasıyla gerilimleri V_1 ve V_2 ; yük miktarları q_1 ve q_2 'dur. **Buna göre**

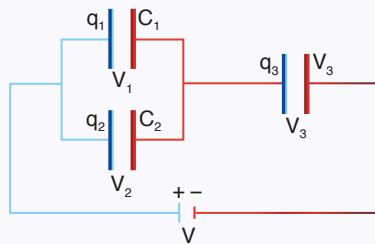


- Kondansatörler üzerindeki V_1 ve V_2 gerilimleri kaç V'tur?
- Kondansatörlerde biriken yük miktarı q_1 ve q_2 kaç C'dur?
- Devrenin eşdeğer sığası kaç F'dır?

Çözüm:

- Kondansatörler ve üreteç paralel bağlı olduğundan her bir kondansatör üzerindeki gerilimleri, üretecin gerilimine eşittir. Buna göre kondansatörler üzerindeki V_1 ve V_2 gerilimleri $V_1 = V_2 = V = 6$ V'tur.
- Paralel bağlı kondansatörlerin gerilim eşitliklerinden yararlanarak her bir kondansatörün yükü
 $q_1 = V \cdot C_1$
 $q_1 = 6 \cdot 12 \cdot 10^{-6} = 72 \cdot 10^{-6}$ C,
 $q_2 = V \cdot C_2$
 $q_2 = 6 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 24 \cdot 10^{-6}$ C olarak bulunur.
- Devreni eşdeğer sığası kondansatörler paralel bağlı olduğu için
 $C_{eş} = C_1 + C_2 = 12 \cdot 10^{-6} + 4 \cdot 10^{-6} = 16 \cdot 10^{-6}$ F şeklinde bulunur.

Örnek: Sıgaları C_1 , C_2 ve C_3 kondansatörler 22 V'luk üretece şekildeki gibi bağlanmıştır. Kondansatörlerin kapasiteleri sırasıyla $6 \cdot 10^{-6}$ F, $6 \cdot 10^{-6}$ F ve $12 \cdot 10^{-6}$ F'dir.

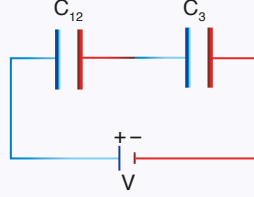


Buna göre

- Devrenin eşdeğer sığası kaç F'dır?
- Kondansatörler üzerindeki V_1 , V_2 ve V_3 gerilimler kaç V'tur?
- Kondansatörlerin her birinde biriken yük miktarı q_1 , q_2 ve q_3 kaç C'dur?

Çözüm:

- Seri ve paralel bağlı kondansatörlerin bir arada bulunduğu devrelerde öncelikle paralel bağlı kondansatörler ele alınmalıdır. Buna göre C_1 ve C_2 kondansatörleri paralel bağlı olduğundan C_1 ve C_2 kondansatörünün eşdeğer sığası C_{12} ise



$C_{12} = C_1 + C_2 = 6 \cdot 10^{-6} + 6 \cdot 10^{-6} = 12 \cdot 10^{-6}$ F bulunur. Bulunan C_{12} , C_3 kondansatörüne seri bağlıdır. C_{12} ve C_3 ün eşdeğeri devrenin eşdeğer sığası $C_{eş}$ tir. Buradan

$$\frac{1}{C_{eş}} = \frac{1}{C_{12}} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{12 \cdot 10^{-6}} + \frac{1}{12 \cdot 10^{-6}} = \frac{2}{12 \cdot 10^{-6}} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F bulunur.}$$

- Paralel bağlı C_1 ve C_2 kondansatörleri üzerindeki gerilimler eşittir. Bu gerilime V_{12} denilirse $V_{12} = V_1 = V_2$ 'dir. Bu durumda toplam gerilim $V_{top} = V_{12} + V_3$
 $V_3 = 22 - V_{12}$ yazılır.

Her bir kondansatörün yükü için

$$q_1 = C_1 \cdot V_1 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot V_{12}$$

$$q_2 = C_2 \cdot V_2 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot V_{12}$$

$$q_3 = C_3 \cdot V_3 = 12 \cdot 10^{-6} \cdot (22 - V_{12}) \text{ yazılır.}$$

C_1 ve C_2 kondansatörlerindeki yük miktarlarının toplamı C_3 kondansatöründeki yük miktarına eşittir. Bu eşitlikten yararlanarak V_{12} ,

$$q_3 = q_1 + q_2$$

$$12 \cdot 10^{-6} \cdot (22 - V_{12}) = 6 \cdot 10^{-6} \cdot V_{12} + 6 \cdot 10^{-6} \cdot V_{12}$$

$$12 \cdot 10^{-6} \cdot (22 - V_{12}) = 12 \cdot 10^{-6} \cdot V_{12}$$

$$22 - V_{12} = V_{12}$$

$$V_{12} = 11 \text{ V bulunur.}$$

Bu durumda $V_{12} = V_1 = V_2 = 11 \text{ V}$,

$$V_3 = 22 - V_{12} = 22 - 11 = 11 \text{ V olarak elde edilir.}$$

- Kondansatörlerin her birinde biriken yük miktarları

$$q_1 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot V_{12} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 11 = 66 \cdot 10^{-6} \text{ F,}$$

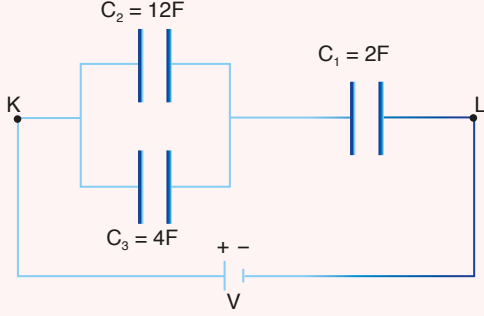
$$q_2 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot V_{12} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 11 = 66 \cdot 10^{-6} \text{ F,}$$

$$q_3 = 12 \cdot 10^{-6} \cdot V_3 = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 11 = 132 \cdot 10^{-6} \text{ F olarak bulunur.}$$



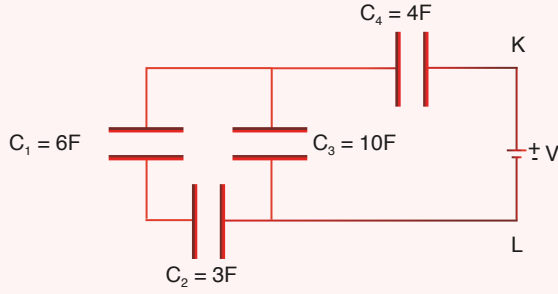
ÇALIŞMA KÖŞESİ 22

- A) C_1 , C_2 ve C_3 kondansatörleri üretece bağlanarak bir devre kurulmaktadır.



K ve L noktaları arasındaki eşdeğer sığa kaç F dir?

- B) C_1 , C_2 , C_3 ve C_4 kondansatörleri 48 V'luk üretece şekildeki gibi bağlanmıştır.



Buna göre C_1 kondansatörünün yükü kaç C'dur?

Cevap

Cevap

2.3.10. Sığaç Modeli

Elektrik enerjisinin depolanmasını zorunlu kılan nedenlerden bazıları; enerji kaynaklarının daha verimli kullanılması, maliyetlerin en aza indirilmesi, iletim ve dağıtım problemlerinin azaltılmasıdır. Ancak elektrik enerjisinin az maliyetli ve direkt depolanması kolay olmamaktadır. Enerji, elektrik enerjisi, mekanik enerji ve kimyasal enerji olarak farklı formlarda depolanabilmektedir. Elektrik enerjisinin etkili ve verimli bir şekilde depolamak elektrik enerjisinin kolayca kullanılabilirliği açısından oldukça önemlidir. Kondansatörler elektrik enerjisini depolayabilen düzeneklerden biridir. Kondansatörler, enerji depolama kapasitesinin küçük olması nedeniyle alternatif bir depolama aracı olarak üretilmemiştir. Pillerle aynı seviyede olmasa da süper veya ultra kondansatörlerin pillerle rekabet edebilecek düzeye geldiği araştırmacılar tarafından belirtilmektedir. Süper kondansatörler şarj-deşarj döngüsünü sonsuz denebilecek sayıda gerçekleştirebilmektedir.

Lityum-iyon bataryanın yer aldığı bir elektrikli aracın bataryasına biçilebilecek en fazla ömür, yaklaşık 10 yıldır (Görsel 2.4). Süper kondansatörlerin genişleyen uygulama alanı sadece elektrikli araçlarla sınırlı değildir. Örneğin iş hayatında ve günlük hayatta kullanılan cihazların önce birbirleriyle daha sonra otonom olarak kullanıcıyla iletişime geçmesi mümkün hâle gelmiştir. Bu uygulama akıllı sistemlerin alt yapısını oluşturmuştur. Süper kondansatörlerin sağladıkları bu imkânlarla kondansatörlerin gelecekte ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılayabilecek güçte olması beklenmektedir.



Görsel 2.4: Lityum-iyon bataryası



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Ayarlı, değişken ve sabit olmak üzere üç çeşit kondansatör bulunur. Bunun yanında kondansatörlerde kullanılan iletkenler, farklı geometrik şekillerde olabilir. Bu levhalar; düzlem, küresel ve silindirik kondansatörler gibi isimlerle ifade edilir. Kondansatördeki şekil ve kapasite, enerji depolama bakımından önem arz etmektedir.

Kondansatörlerin farklı geometrik şekillerini araştırıp elektrik enerjisini depolama özellikleri bakımından pil olarak kullanılıp kullanılmayacağını tartışınız. Ayrıca enerjinin depolanmasının ülke ekonomisine katkılarını göz önünde bulundurarak bir kondansatör tasarlayınız.

2.4. Manyetizma ve Elektromanyetik İndüklenme

En az biri yalıtkan olan iki cisim, birbirine sürtüldüğünde elektriklenir. Benzer durum, bir mıknatısın aynı kutbuna aynı yönde demir, nikel, kobalt gibi maddeler sürtüldüğünde bu maddeleri mıknatıslandırdığı gözlemlenir. Buna yönelik çalışmalar yapan Danimarkalı fizikçi Hans Christian Oersted (Hans Kırstiyen Örsted), 1820’de bir iletken telden elektrik akımı geçtiğinde telin yakınında bulunan pusula iğnesinin hareket ettiğini gözlemlemiştir. Bu olay ile birlikte doğal mıknatısların yanında elektrik akımının da manyetik etki gösterdiği anlaşılmıştır. Elektrik akımının manyetik etkisi, bugünkü elektrik motorlarının, dinamo ve jeneratör gibi sistemlerin temel çalışma prensiplerinin temelini oluştur. Bu sistemlerin bulunduğu bazı elektrikli ev eşyaları örnek olarak Görsel 2.5’te verilmiştir.



Görsel 2.5: Bazı elektrikli ev eşyaları

Üzerinden akım geçen iletken düz bir telin yakınında bulunan pusula iğneleri, oluşan manyetik alanın etkisiyle alan çizgilerine paralel olarak Şekil 2.39'daki gibi konumlanmıştır. İletken düz bir telin oluşturduğu manyetik alan temas gerektirmeden bir kuvvet oluşturur. Bu kuvvetin, elektrik enerjisinin hareket enerjisi olarak kullanılabileceğini göstermesi bilim, sanayi ve teknoloji açısından birçok gelişmenin en temel bilgisi olmuştur.

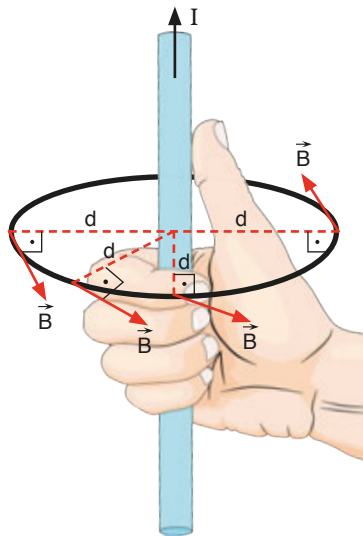


Şekil 2.39: Akım geçen iletken düz tel ve pusula ibreleri

2.4.1. Üzerinden Akım Geçen Telin Oluşturduğu Manyetik Alan

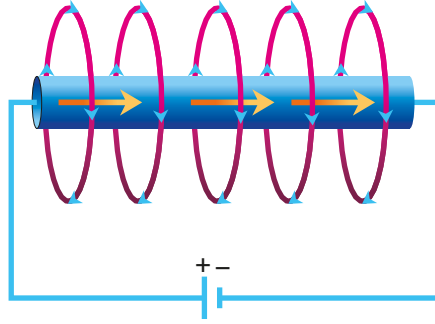
Düz Tel Çevresinde Oluşan Manyetik Alan: İletken düz bir telden elektrik akımı geçtiğinde merkezi iletken tel olan silindirik uzayda bir manyetik alan meydana gelir.

Manyetik alanın yönü telden geçen elektrik akımının yönü ile ilgilidir. Akım geçen iletken telin çevresinde oluşturduğu manyetik alanın yönünü bulmak için sağ el kuralı olarak ifade edilen bir yöntem kullanılır. Şekil 2.40'ta sağ el kuralı ile iletken düz telin çevresinde oluşan manyetik alanın yönünü bulmak için bir uygulama gösterilmiştir. Düz tel, baş parmak teldeki elektrik akımının yönünü gösterecek şekilde sağ elin avuç içine alınır. Teli saran dört parmak, iletken telin oluşturduğu manyetik alanın dolanım yönünü gösterir.



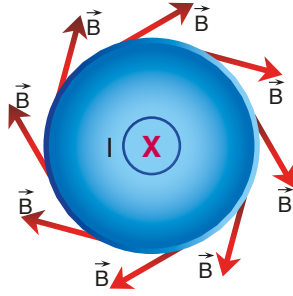
Şekil 2.40: Düz iletken tel üzerinde sağ el kuralı uygulaması

İletken düz telin çevresinde oluşan manyetik alan çizgileri, merkez noktaları aynı doğru üzerinde olan aynı sonsuz sayıda çemberler şeklindedir (Şekil 2.41).



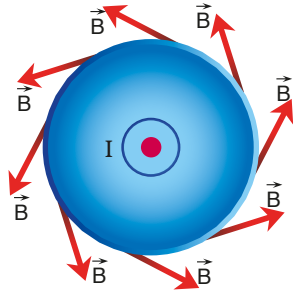
Şekil 2.41: Manyetik alan çizgileri

İletken düz telden geçen elektrik akımının yönü sayfa düzleminden içeri yönde olduğunda yönü $\otimes$ şeklinde gösterilir. Böyle bir durumda sağ el kuralı uygulanarak sağ elin baş parmağı akım yönünü gösterecek şekilde iletken tel avuç içine alınır. Manyetik alan vektörleri, manyetik alan çizgisine dik ve sayfa düzleminde dört parmağın gösterdiği yönde çizilir (Şekil 2.42).



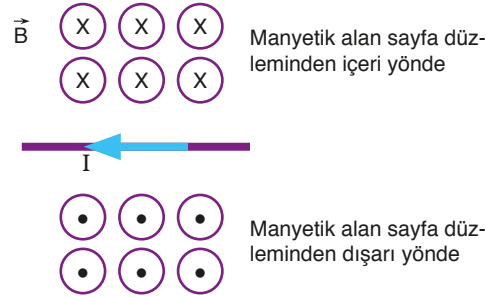
Şekil 2.42: Düzlemden içeri yönde akım taşıyan telin oluşturduğu manyetik alan vektörleri

İletken düz telden geçen elektrik akımının yönü, sayfa düzleminden dışarı yönde olduğunda akım yönü $\odot$ şeklinde gösterilir. Böyle bir durumda sağ el kuralı uygulanarak, sağ elin baş parmağı akım yönünü gösterecek şekilde, iletken tel avuç içine alınır. Manyetik alan vektörleri, manyetik alan çizgisine dik ve sayfa düzleminde dört parmağın gösterdiği yönde çizilir (Şekil 2.43).



Şekil 2.43: Düzlemden dışarı yönde akım taşıyan telin oluşturduğu manyetik alan vektörleri

İletken düz telden geçen elektrik akımının yönü yatay sayfa düzlemine paralel olduğunda sağ el kuralına göre sağ elin baş parmağı elektrik akım yönünü gösterecek şekilde, iletken tel avuç içine alınır. Sayfa düzlemine dik olarak içeri giren ve sayfa düzleminden dik olarak dışarı çıkan manyetik alan vektörleri Şekil 2.44'teki gibi çizilir. Burada $\otimes$ manyetik alanın yönünün sayfa düzleminden içeri yönde olduğunu, $\odot$ manyetik alanın yönünün sayfa düzleminden dışarı yönde olduğunu ifade eder.



Şekil 2.44: Akım geçen iletken telin oluşturduğu manyetik alan yönleri

Akım taşıyan iletken düz telin d uzaklığındaki bir noktada oluşturduğu manyetik alan şiddeti büyüklüğü (B)

$$B_{\text{düz tel}} = K \cdot \frac{2I}{d} \text{ bağıntısı ile hesaplanır.}$$

Burada K, ortamın manyetik özelliğine bağlı katsayıdır. Boşluk için

$$K = 10^{-7} \text{ N/A}^2 \text{ dir.}$$

Buradan manyetik alan şiddeti boş uzayın manyetik geçirgenliğine bağlı ifadesi

$$K = \frac{\mu_0}{4\pi} \text{ kullanılarak}$$

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{2I}{d} \text{ şeklinde genişletilebilir.}$$

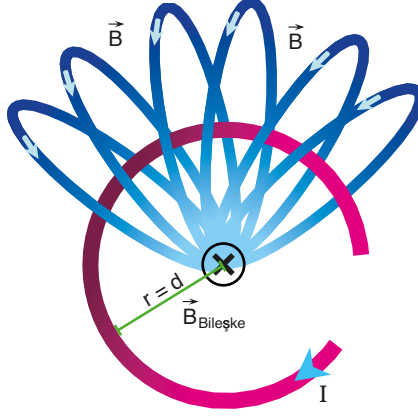
Bağıntıda bulunan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8: Birim Tablosu

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
manyetik alan	B	tesla	T
akım	I	amper	A
uzaklık	d	metre	m
manyetik geçirgenlik	μ_0	tesla · metre/amper	T · m/A
manyetik alan katsayısı	K	newton/amperkare	N/A ²

Tablo 2.8'de verilen manyetik geçirgenlik ve manyetik alan katsayısının birimi incelendiğinde eşit olduğu görülür.

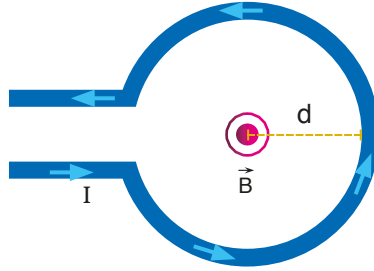
Akım Taşıyan İletken Halkanın Merkezinde Oluşan Manyetik Alan: Elektrik akımı geçen iletken düz tel, halka olacak şekilde büküldüğünde düz telin d uzaklığındaki manyetik alan vektörleri halkanın merkezinde toplanır (Şekil 2.45). Düz telin d uzaklığı halka telin yarıçap uzunluğunu ifade eder. İletken halka telin çevresinde oluşturduğu manyetik alanın en şiddetli olduğu nokta iletken halka telin merkezidir. Halkanın merkezinde toplanan sonsuz sayıda manyetik alan vektörlerini temsil eden bileşke manyetik alan vektörü, halkanın merkezinde gösterilir.



Şekil 2.45: Halkanın merkezinde toplanan manyetik alan vektörleri

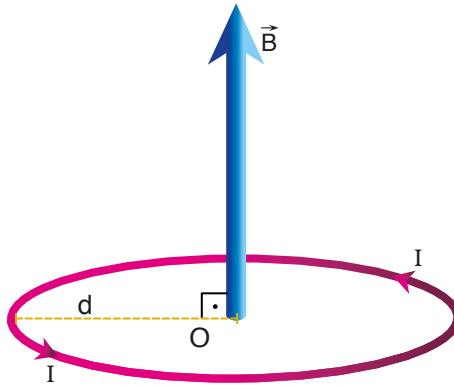
Şekil 2.46'daki gibi elektrik akımı geçen iletken halka telin merkezindeki manyetik alan şiddeti büyüklüğü

$B_{\text{Halka tel}} = K \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I}{d}$ bağıntısı ile hesaplanır.



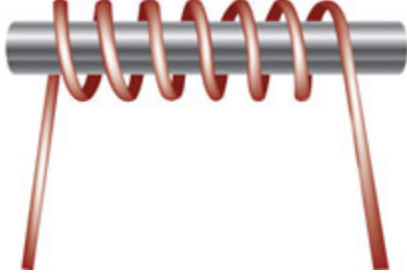
Şekil 2.46: Halka telin merkezindeki manyetik alan

Akım geçen iletken halka telin merkezinde oluşan manyetik alanın yönü, sağ el kuralı ile bulunur. Baş parmak elektrik akımının yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda halkanın merkezinden dik olarak geçirilen dört parmak merkezdeki manyetik alanın yönünü gösterir (Şekil 2.47).

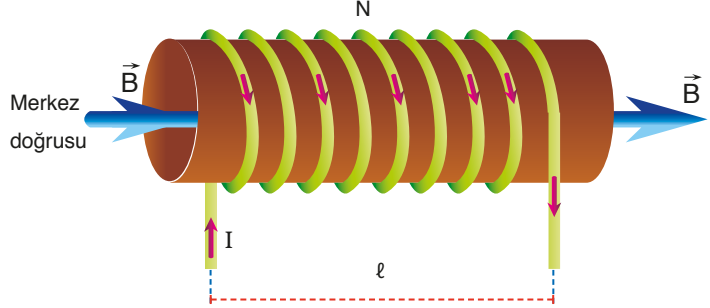


Şekil 2.47: Halka telin merkezindeki sağ el kuralına göre $\vec{B}$ ve I yönleri

Akım Makarasının (Bobin) Merkezinde Oluşan Manyetik Alan: Elektrik akımı geçen birden çok hal-ka tel, merkezleri çakışık olacak şekilde yan yana getirilirse merkez doğruyu boyunca bir manyetik alan oluşturulur. İletken telin Şekil 2.48'deki gibi yalıtkan cisim üzerine sarılmasıyla akım makarası (bobin) elde edilir. Bobin düzenekleri elektromıknatıs olarak kullanılır. Sembolik olarak akım makarası Şekil 2.49'daki gibi gösterilir.



Şekil 2.48: Akım makarası



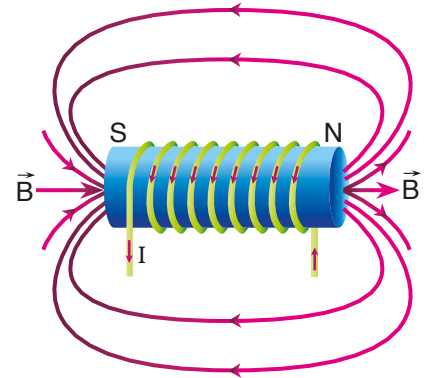
Şekil 2.49: Sembolik olarak akım makarası

Merkez doğru üzerindeki manyetik alan şiddeti

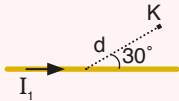
$$|\vec{B}_{\text{bobin}}| = K \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot N \cdot I}{\ell} \text{ ifadesi ile hesaplanır.}$$

Burada N bobin telinin sarım sayısını, ℓ sarımların olduğu kısmın boyunu ifade eder.

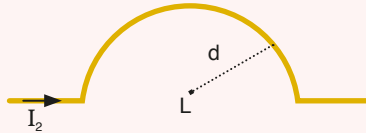
Bobinin merkezinde oluşan alanın yönü, sağ el kuralı ile bulunur. Ancak bobinlerde sağ el kuralı uygulanırken dört parmak elektrik akımının yönünü gösterecek şekilde bobin tutulur. Baş parmak, manyetik alan vektörünün yönünü gösterir (Şekil 2.50). Burada bobin sarımı ile elde edilen elektromıknatısın manyetik kutupları da gösterilmiştir.

Şekil 2.50: Elektromıknatısın manyetik kutupları, $\vec{B}$ ve $\vec{I}$ yönü

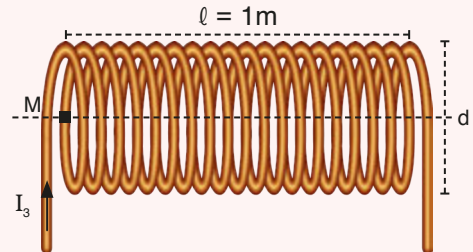
ÇALIŞMA KÖŞESİ 23



Şekil I



Şekil II



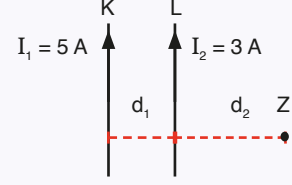
Şekil III

Aynı maddeden yapılmış tellerle oluşturulmuş Şekil I, Şekil II ve Şekil III'deki düzeneklerde teller üzerinden geçen akımlar arasındaki ilişki $I_1 = I_2 = I_3$ olduğuna göre K, L ve M noktalarındaki manyetik alanların büyüklükleri B_1 , B_2 ve B_3 arasındaki ilişki nasıldır? ($\pi = 3$ alınız.)

- A) $B_1 = B_2 = B_3$ B) $B_3 > B_1 > B_2$ C) $B_1 = B_2 > B_3$ D) $B_1 > B_2 = B_3$ E) $B_1 = B_3 > B_2$

2.4.2. İletken Tel üzerinden Geçen Akımın Oluşturduğu Manyetik Alanla İlgili Hesaplamalar

Örnek: Birbirinden yalıtılmış aynı düzlemde sonsuz uzunluktaki iletken düz tellerin üzerinden geçen I_1 ve I_2 elektrik akımları ve yönleri şekildeki gibidir.



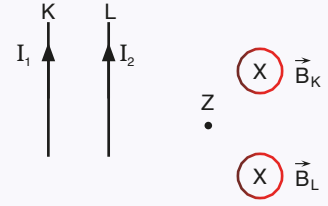
d_1 ve d_2 uzunlukları sırasıyla 0,2 m ve 0,3 m olduğuna göre Z noktasında oluşan manyetik alanın yönü ve şiddeti nedir? ($K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$ alınız.)

Çözüm: K iletken düz telinin Z noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti $|\vec{B}_K|$

$$|\vec{B}_K| = K \cdot \frac{2 \cdot I_1}{d_1 + d_2} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 5}{0,2 + 0,3} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ T olur.}$$

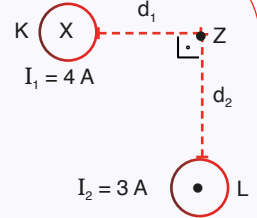
L iletken düz telinin Z noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti $|\vec{B}_L|$

$$|\vec{B}_L| = K \cdot \frac{2 \cdot I_2}{d_2} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 3}{0,3} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ T olur.}$$



Sağ el kuralına göre K ve L tellerinin Z noktasında oluşturduğu manyetik alan vektörleri sayfa düzleminde içeri yöndedir. Bu durumda Z noktasında oluşan manyetik alanın yönü vektörel işlemler sonucu $|\vec{B}_Z| = |\vec{B}_K| + |\vec{B}_L| = 4 \cdot 10^{-6} \text{ T}$ bulunur. Z noktasındaki manyetik alan vektörü (X) yönündedir.

Örnek: Birbirinden yalıtılmış aynı düzlemdeki sonsuz uzunluktaki iletken düz tellerin üzerinden geçen I_1 ve I_2 elektrik akımları ve yönleri şekildeki gibidir.



d_1 ve d_2 uzunlukları sırasıyla 1,6 m ve 1,2 m olduğuna göre Z noktasında oluşan manyetik alanın yönü ve şiddeti nedir?

($K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\tan 45^\circ = 1$ alınız.)

Çözüm: K iletken düz telinin Z noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti B_K

$$|\vec{B}_K| = K \cdot \frac{2 \cdot I_1}{d_1} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 4}{1,6} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ T olur.}$$

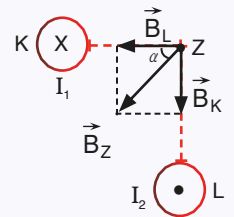
L iletken düz telinin Z noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti B_L

$$|\vec{B}_L| = K \cdot \frac{2 \cdot I_2}{d_2} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 3}{1,2} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ T olur.}$$

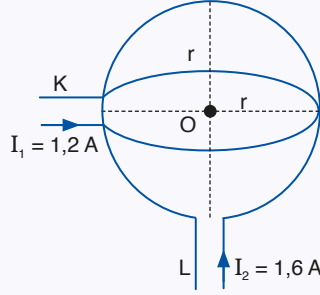
Z noktasında oluşan manyetik alanın yönü vektörel işlemler sonucu

$$|\vec{B}_Z|^2 = |\vec{B}_K|^2 + |\vec{B}_L|^2 = (5 \cdot 10^{-7})^2 + (5 \cdot 10^{-7})^2 = 5\sqrt{2} \cdot 10^{-7} \text{ T bulunur.}$$

$\tan \alpha = \frac{|\vec{B}_K|}{|\vec{B}_L|} = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-7}} = 1$ olduğundan $\alpha = 45^\circ$ dir. Buradan $\vec{B}_Z$ sayfa düzlemi üzerinde olup güneybatı yönündedir.



Örnek: Yarıçapı 0,4 cm olan iletken halka tellerden I_1 ve I_2 akımları şekildeki yönlerde geçmektedir.



Tellerin merkezi olan O noktasında oluşan manyetik alanın yönü ve şiddeti nedir?

($K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\pi = 3$, $\tan 37^\circ = \frac{3}{4}$ alınız.)

Çözüm: Halkaların yarıçapı için birim dönüşümü yapılarak

$r = 0,4 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ kullanılır.

K iletken halkasının O noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti B_K

$$|\vec{B}_K| = K \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I}{d} = K \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I_1}{r} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 1,2}{4 \cdot 10^{-3}} = 18 \cdot 10^{-5} \text{ T olur.}$$

K iletken halkasının O noktasında oluşturduğu manyetik alan şiddeti B_L

$$|\vec{B}_L| = K \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I}{d} = K \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot I_2}{r} = 10^{-7} \cdot \frac{2 \cdot 3 \cdot 1,6}{4 \cdot 10^{-3}} = 24 \cdot 10^{-5} \text{ T olur.}$$

O noktasında oluşan manyetik alanının yönü, vektörel işlemler sonucu

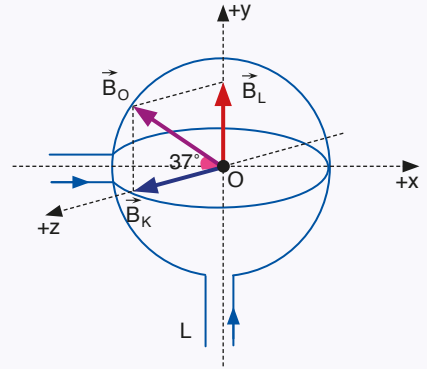
$$|\vec{B}_O|^2 = |\vec{B}_K|^2 + |\vec{B}_L|^2 = (18 \cdot 10^{-5})^2 + (24 \cdot 10^{-5})^2$$

$|\vec{B}_O| = 3 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ bulunur. O noktasında oluşan manyetik alanı için

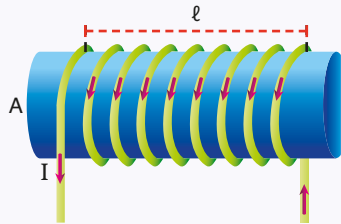
$\vec{B}_K$ ve $\vec{B}_L$ arasında yazılacak eğim $\vec{B}_O$ vektörünün z doğrultusu ile yaptığı eğim açısını verecektir. Buna göre eğim açısı

$$\tan \alpha = \frac{|\vec{B}_K|}{|\vec{B}_L|} = \frac{18 \cdot 10^{-6}}{24 \cdot 10^{-6}} = \frac{3}{4} \text{ olduğundan } \alpha = 37^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

Elde edilen eğim açısına göre $\vec{B}_O$ şekildeki gibi çizilir.



Örnek: Sarım sayısı 30 olan X bobininden 2 A'lık elektrik akımı geçmektedir.



Bobinin sarımının uzunluğu 20 cm olduğuna göre merkez doğrultusu üzerinde oluşan manyetik alan şiddeti kaç T'dir? ($K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\pi = 3$ alınız.)

Çözüm: Bobinin sarımının uzunluğu için birim dönüşümü yapılarak $\ell = 20 \text{ cm} = 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$ kullanılır.

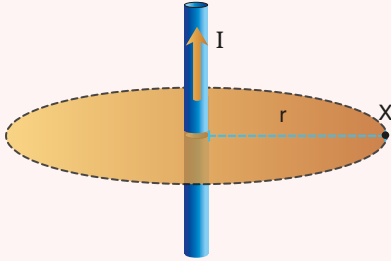
Bobinin merkez doğrusu üzerinde oluşan manyetik alan şiddeti

$$|\vec{B}| = K \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot N \cdot I}{\ell} = 10^{-7} \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 30}{2 \cdot 10^{-1}} = 36 \cdot 10^{-5} \text{ T bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 24

- A) Üzerinden I elektrik akımı geçen iletken düz telin X noktasında oluşturduğu manyetik alan $\vec{B}$ 'dir.

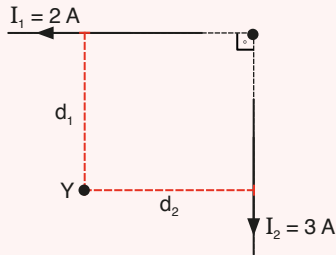


$\vec{B}$ ile ilgili olarak

- I. r ile ters orantılıdır.
- II. I ile doğru orantılıdır.
- III. Yönü sayfa düzleminden içeri yöndedir.

İfadelerinden hangilerinin doğru olduğunu nedenleriyle birlikte açıklayınız.

- B) I_1 ve I_2 elektrik akımlarının geçtiği iletken düz teller şekildeki gibi yerleştirilmiştir. İletken düz tellerin Y noktasına olan d_1 ve d_2 uzaklıkları sırasıyla $0,4 \text{ cm}$ ve $0,6 \text{ cm}$ 'dir.



Buna göre Y noktasındaki manyetik alan şiddeti kaç T'dir? ($K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$ alınız.)

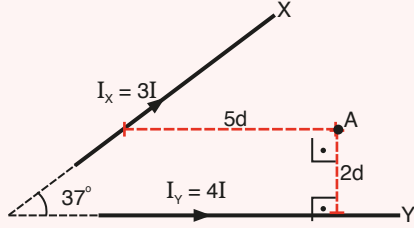
Cevap

Cevap



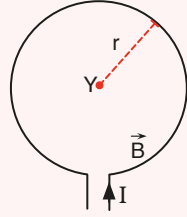
ÇALIŞMA KÖŞESİ 25

- A) X ve Y iletken düz telleri ile A noktası aynı düzlemindedir.



X telinden geçen elektrik akımının A noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü B ise A noktasında oluşan manyetik alanın büyüklüğü kaç $\vec{B}$ olur?

- B) Üzerinden geçen elektrik akımı I olan halka telin Y noktasında oluşturduğu manyetik alan büyüklüğü $\vec{B}$ 'dir?

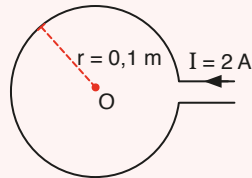


$\vec{B}$ ile ilgili

- I. r artarsa azalır.
- II. I artarsa artar.
- III. Sayfa düzleminden dışarı yöndedir.

ifadelerinden hangileri doğrudur? Açıklayınız.

- C) 0,1 m yarıçaplı iletken halka telden 2 A şiddetinde akım geçmektedir.



Halka telin O noktasında oluşturduğu manyetik alanın yönü ve şiddeti nedir? ($K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\pi = 3$ alınız.)

Cevap

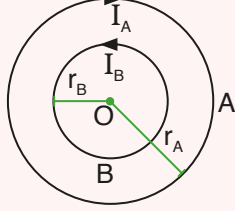
Cevap

Cevap



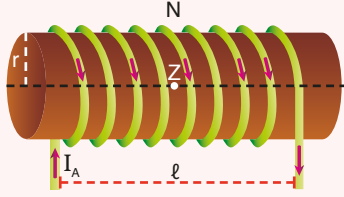
ÇALIŞMA KÖŞESİ 26

- A) Yarıçapları sırasıyla $3r$ ve $2r$ olan halka biçiminde ki A ve B iletken tellerinden şekilde gösterilen yönlerde I_A ve I_B akımları geçmektedir.



O noktasındaki manyetik alanın sıfır olabilmesi için halka biçimindeki iletken tellerden geçen elektrik akımları oranı I_A/I_B kaç olmalıdır?

- B) Üzerinden I elektrik akımı geçen bobinin sarım sayısı N 'dir. Bobinin Z noktasında oluşturduğu manyetik alanın şiddeti B 'dir.

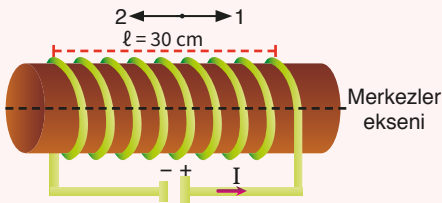


B ile ilgili

- I. I artarsa artar.
- II. r artarsa değişmez.
- III. N artarsa artar.
- IV. L artarsa artar.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

- C) Sarım sayısı 1000 olan üretece bağlı bobinden I elektrik akımı geçmektedir.



L uzunluğundaki bobinin merkezler ekseninde manyetik alanı $4 \cdot 10^{-2} \text{ N/A} \cdot \text{m}$ olduğuna göre

- a) Manyetik alanın yönü nedir?
- b) I elektrik akımı kaç A'dır?

($K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$, $\pi = 3$ alınız.)

Cevap

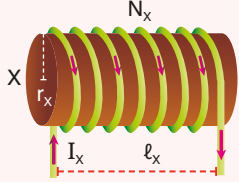
Cevap

Cevap

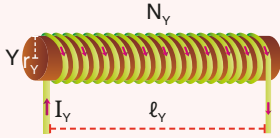


ÇALIŞMA KÖŞESİ 27

İletken düz bir tel sarılarak sarım sayısı N , sarım uzunluğu 3ℓ ve yarıçapı $4r$ olan Şekil I'deki X bobini elde edilmektedir. Aynı telden Şekil II'deki gibi düzgün sarılarak sarım sayısı $3N$, sarım genişliği 4ℓ ve yarıçapı $2r$ olan Y bobini elde edilmektedir.



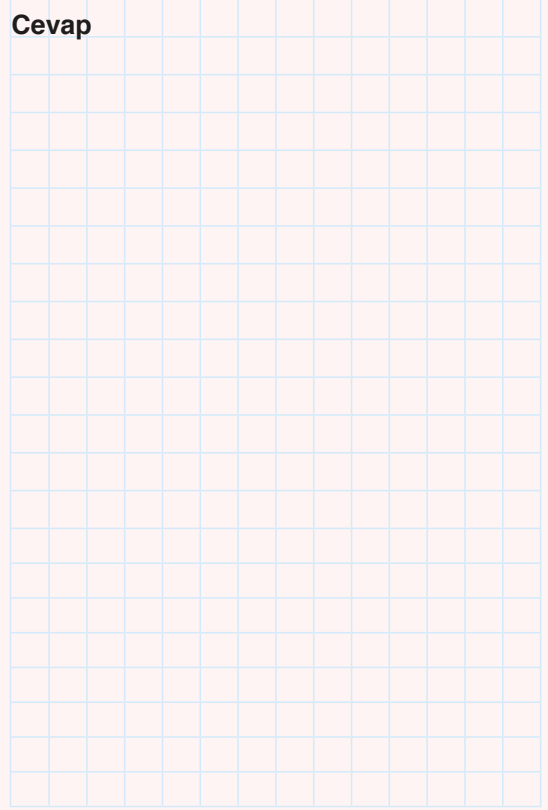
Şekil I



Şekil II

X bobininden $3I$ ve Y bobininden $2I$ elektrik akımı geçirildiğinde bobinlerin merkez doğrultusu üzerinde oluşan manyetik alanlarının büyüklükleri $\frac{B_x}{B_y}$ oranı kaçtır?

Cevap



2.4.3. Üzerinden Akım Geçen İletken Düz Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet

Üzerinden elektrik akımı geçen iletken düz tel, manyetik alana konulduğunda tele manyetik alan tarafından bir kuvvet etki eder. Etkileşimin en büyük olduğu durum, telin manyetik alana dik olarak konulduğu konumda gerçekleşir. Manyetik alanın doğrultusu ile akım taşıyan iletken telin doğrultusu paralel olduğunda iletken tel ile manyetik alan arasında kuvvet etkileşimi olmaz.

Tele etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğü; manyetik alanın büyüklüğüne, telden geçen akımın şiddetine, telin manyetik alan içinde kalan uzunluğuna ve telin manyetik alan içindeki konumuna bağlıdır.

Manyetik kuvvetin büyüklüğü $|\vec{F}_{\text{man}}| = |\vec{B}| \cdot I \cdot \ell \cdot \sin \alpha$ bağıntısı ile hesaplanır .

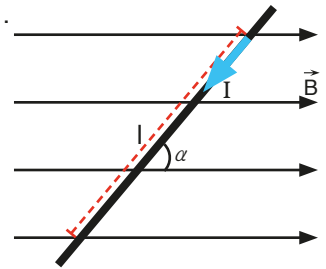
Burada $\vec{F}_{\text{man}}$ manyetik kuvveti,

$\vec{B}$ manyetik alanı,

I elektrik akımının şiddetini,

ℓ telin manyetik alan içinde kalan uzunluğunu,

α manyetik alan ile elektrik akım doğrultusu arasındaki açıyı ifade eder (Şekil 2.51).



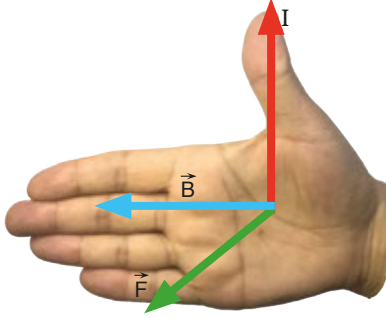
Şekil 2.51: Manyetik alanda akım taşıyan iletken tel

Bağıntıda kullanılan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.9'da verilmiştir.

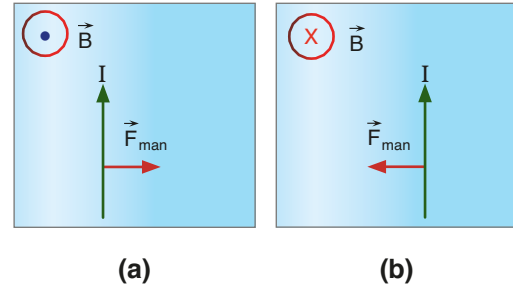
Tablo 2.9: Birim Tablosu

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
manyetik kuvvet	$\vec{F}_{\text{man}}$	newton	N
manyetik alan	$\vec{B}$	tesla (weber/metrekare)	T (W/m ²)
akım	I	amper	A
manyetik alan içindeki telin uzunluğu	ℓ	metre	m

Akım geçen iletken tele manyetik alan tarafından etkiyen kuvvetin yönü, sağ el kuralı ile bulunur. Sağ el Şekil 2.52'de gösterildiği gibi baş parmak bitişik tutulan dört parmağa dik olacak şekilde açılır. Başparmak telden geçen akım yönünü, dört parmak telin içinde bulunduğu manyetik alanın yönünü, avuç içi akım geçen tele etki eden manyetik kuvvetin yönünü gösterir. Örneğin manyetik alan içindeki iletken tele etki eden manyetik kuvvet Şekil 2.53'teki gösterilen yönlerde etki eder.



Şekil 2.52: $\vec{F}$, $\vec{B}$ ve I için sağ el kuralı



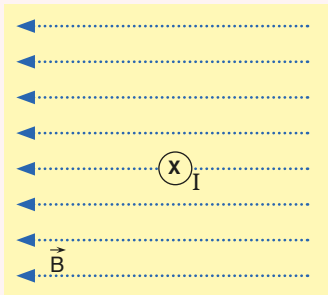
Şekil 2.53: $\vec{B}$ ve I yönlerine göre $\vec{F}_{\text{man}}$ yönleri



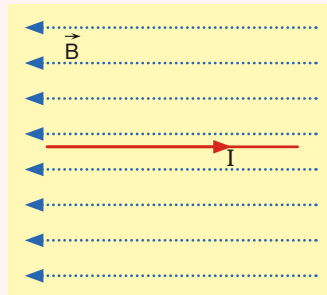
ÇALIŞMA KÖŞESİ 28

Aşağıda iletken telin içinde bulunduğu manyetik alanın vektör çizgileri ve o tel üzerinden geçen elektrik akımı gösterilmiştir. Buna göre sağ el kuralı ile manyetik kuvvet yönünü iletken tel üzerinde gösteriniz.

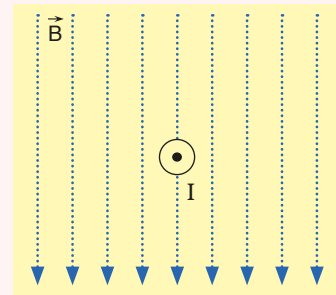
a)



b)



c)

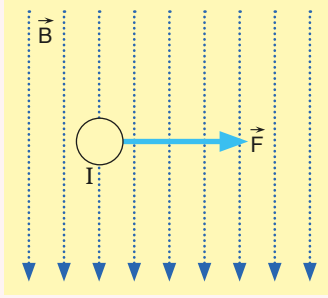




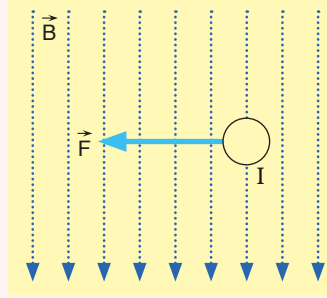
ÇALIŞMA KÖŞESİ 29

A) Aşağıda iletken telin içinde bulunduğu manyetik alanın vektör çizgileri ve o tele etki eden manyetik kuvvet yönü gösterilmiştir. **Buna göre sağ el kuralı ile tel üzerinden geçen elektrik akımı yönünü boş bırakılan yuvarlak içine işaretleyiniz.**

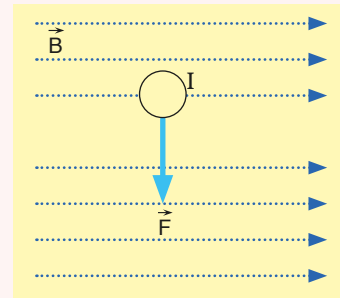
a)



b)

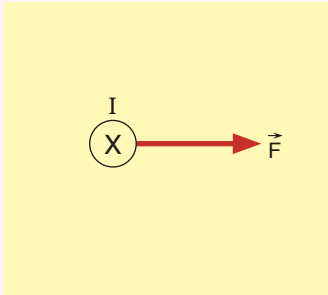


c)

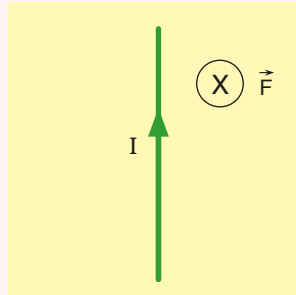


B) Aşağıda iletken telin üzerinden geçen elektrik akımı yönü ve o tele etki eden manyetik kuvvet yönü gösterilmiştir. **Buna göre sağ el kuralı ile iletken düz telin içinde bulunduğu manyetik alanın vektörlerini çiziniz.**

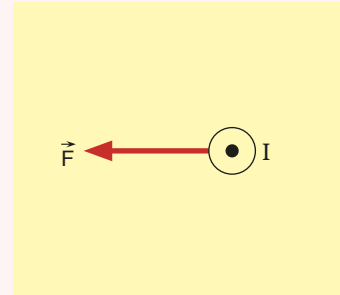
a)



b)

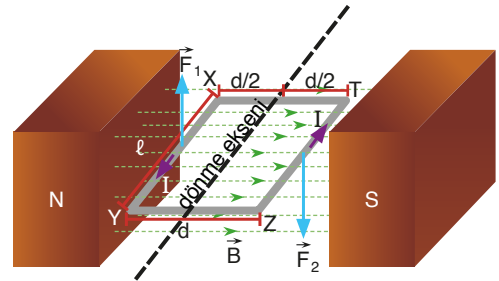


c)



2.4.4. Manyetik Alan İçerisinde Akım Taşıyan Dikdörtgen Tel Çerçevesine Etki Eden Kuvvetlerin Döndürme Etkisi

İletken düz bir tel bükülerek dikdörtgen, çember, kare gibi kapalı geometrik şekil verilerek üzerinden elektrik akımı geçmesi sağlandığında manyetik alan içinde sabit bir eksen etrafında dönmeye başlar. Şekil 2.54'teki gibi mıknatıslarla oluşturulmuş manyetik alan içindeki üzerinden elektrik akımı geçen dikdörtgen tel çerçevesinin XY uzunluğuna etki eden manyetik kuvvet $\vec{F}_1$ yönünde olurken ZT boyunca etki eden manyetik kuvvet $\vec{F}_2$ yönünde olur. $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ manyetik kuvvetlerinin tork etkilerinden dolayı akım geçen iletken tel, dönme eksenini etrafında dairesel hareket yapmaya başlar. Bu durum akım taşıyan tele manyetik alanda etkiyen kuvvetin, elektrik enerjisini hareket enerjisine nasıl dönüştürdüğünü açıklayan temel ilkedir.



Şekil 2.54: Akım taşıyan iletken çerçevesine etkiyen tork

İletken tel çerçeveden XT ve YZ boyunca geçen akımlar manyetik alanla aynı doğrultuda olduklarından manyetik alanla kuvvet etkileşimi göstermez. İletken tel çerçevenin XY ve ZT uzunluğu boyunca etkiyen kuvvetler zıt yönlü olmalarına karşın tork etkileri aynı yönlüdür.

İletken telin XY uzunluğuna etkiyen $\vec{F}_1$ kuvvetinin torku $\vec{\tau}_1$, ZT uzunluğuna etkiyen $\vec{F}_2$ kuvvetinin torku $\vec{\tau}_2$ olduğunda, dikdörtgen çerçeveye uygulanan bileşke torkun büyüklüğü

$$\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 = \vec{F}_1 \cdot \frac{d}{2} + \vec{F}_2 \cdot \frac{d}{2}$$

$$\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 = \vec{B} \cdot I \cdot \ell \cdot \frac{d}{2} + \vec{B} \cdot I \cdot \ell \cdot \frac{d}{2}$$

$$\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 = \vec{B} \cdot I \cdot (\ell \cdot d)$$

$$\vec{\tau} = \vec{\tau}_1 + \vec{\tau}_2 = \vec{B} \cdot I \cdot A$$

$\vec{\tau} = \vec{B} \cdot I \cdot A$ bağıntısı ile hesaplanır.

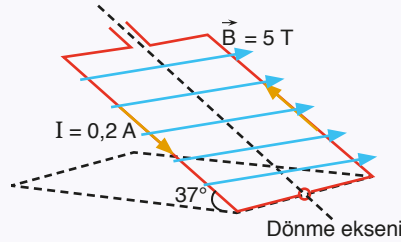
Buna göre iletken dikdörtgen çerçeveye etkiyen manyetik kuvvetin torku; manyetik alan şiddeti, akım şiddeti ve dikdörtgen çerçevenin alanı ile doğru orantılı olduğu görülür.

Bağıntıda kullanılan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10: Birim Tablosu

Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
tork	$\vec{\tau}$	newton · metre	N · m
manyetik alan	$\vec{B}$	tesla	T
akım	I	amper	A
tel çerçevenin yüzey alanı	A	metrekare	m ²

Örnek: Düzgün $\vec{B}$ manyetik alanı içinde bulunan iletken tel çerçevenin alanı 0,6 m² olup dönme eksenini etrafında dönebilmektedir.



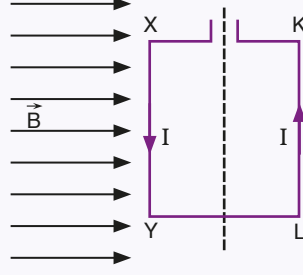
Çerçeve telinden 0,2 A akım geçtiğinde çerçeveye etkiyen tork kaç N · m olur? (cos 37° = 0,8)

Çözüm: Tel çerçevenin yatay zemin ile yaptığı açının çerçevenin dönmesinde etkisi yoktur. Buna göre

$$|\vec{\tau}| = |\vec{B}| \cdot I \cdot A$$

$$= 5 \cdot 0,2 \cdot 0,6 = 0,6 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ olarak bulunur.}$$

Örnek: Yönü şekildeki gibi olan manyetik alanın şiddeti 2 T'dir. Bu manyetik alan içinde bulunan iletken XKLY çerçevesinin yüzey alanı 100 cm^2 dir.

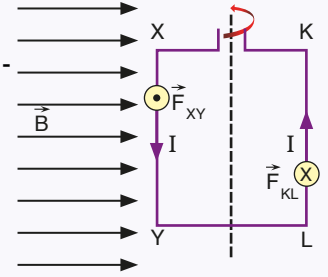


İletken tel üzerinden 2 A şiddetinde elektrik akımı geçtiğinde çerçeveye etkiyen torkun yönü ve büyüklüğü nedir?

Çözüm: Sağ el kuralı uygulanarak çerçevenin XY kenarına etki eden manyetik kuvvet $\vec{F}_{XY}$ sayfa düzleminden dışarı doğrudur. Çerçevenin KL kenarına etki eden manyetik kuvvet $\vec{F}_{KL}$ sayfa düzleminden içeri doğrudur.

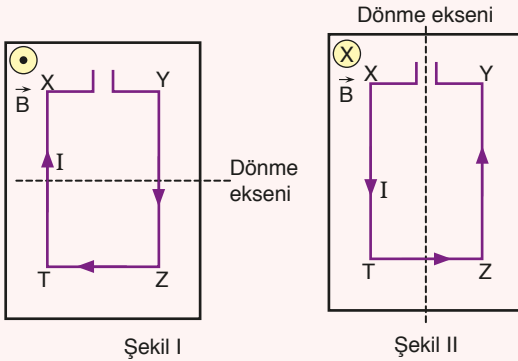
İletken çerçevenin yüzey alanı için birim dönüşümü yapılarak $A = 100 \text{ cm}^2 = 1 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$ kullanılır. Buradan çerçeveye etkiyen tork

$$|\vec{\tau}| = |\vec{B}| \cdot I \cdot A = 2 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ N} \cdot \text{m} \text{ olarak bulunur.}$$

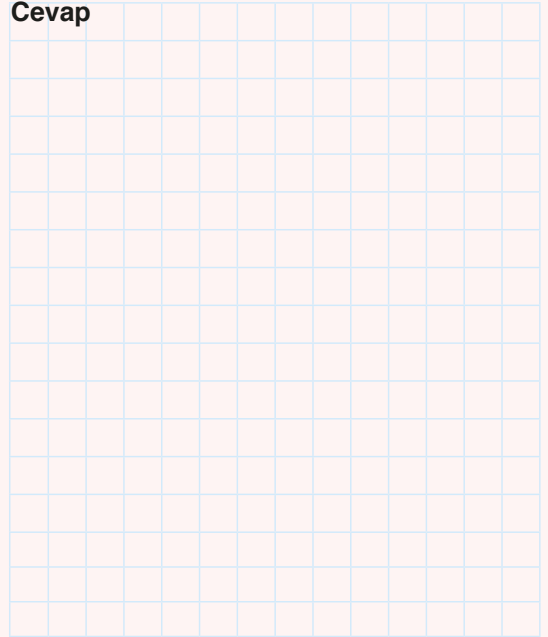


ÇALIŞMA KÖŞESİ 30

XYZT dikdörtgen tel çerçevesi, Şekil I ve Şekil II'deki manyetik alanlarda döndürülmek istenmektedir.



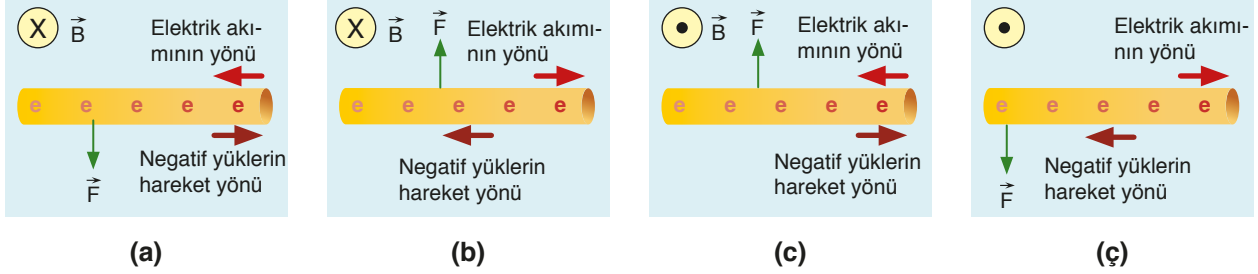
Cevap



- XYZT dikdörtgen tel çerçevesinin kenarlarına etki eden manyetik kuvvetin yönünü gösteriniz.
- XYZT dikdörtgen tel çerçevesiye etki eden manyetik kuvvetlerin döndürme etkisini açıklayınız.

2.4.5. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi

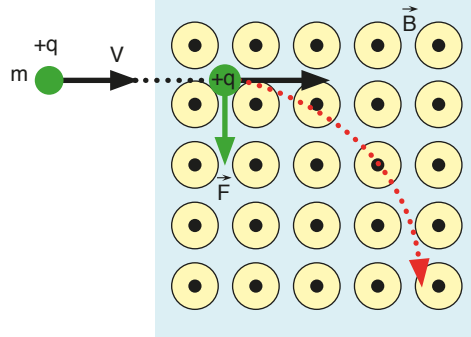
Manyetik alan içinde bulunan ve üzerinden elektrik akımı geçen iletken tele kuvvet etki etmesi, iletkendeki akımı oluşturan hareketli serbest yüklerin manyetik alanla etkileşiminden kaynaklanır. Şekil 2.55 incelenildiğinde akım geçen iletken tele manyetik alan tarafından etki eden kuvvetle birlikte yüklerin hareket yönü ve buna karşılık oluşan elektrik akımının yönü gösterilmiştir.



Şekil 2.55: Manyetik kuvvet ile hareket eden serbest yük ve akım yönü

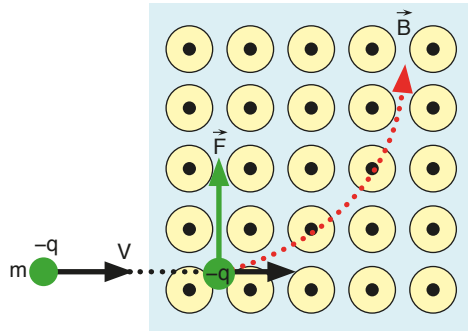
Yüklü parçacık manyetik alana dik olarak girdiğinde manyetik alan yüklü parçacığı dairesel yörüngede sabit süratle hareket etmeye zorlar. Parçacık manyetik alana 90° den farklı bir açıyla girdiğinde, parçacığın manyetik alana hem dik hem de paralel hız vektörü olacağından manyetik alan içindeki yörüngesi helis şeklinde olur. Yüklü cisme manyetik alanda etkiyen kuvvetin yönü parçacığın yüküne bağlı olarak sağ el kuralı ile bulunur.

Şekil 2.56'daki gibi bir $+q$ yükü manyetik alana dik olarak girdiğinde yüke etkiyen manyetik kuvvetin yönü, sağ elin baş parmağı $+q$ yükünün hız vektörünü, dört parmak manyetik alanın yönünü, gösterecek şekilde tutulduğunda avuç içi $+q$ yüküne etkiyen manyetik kuvvetin yönünü gösterir.



Şekil 2.56: Manyetik alana giren $+q$ yükü

Şekil 2.57'deki gibi bir $-q$ yükü manyetik alana dik olarak girdiğinde yüke etkiyen manyetik kuvvetin yönü, sağ elin baş parmağı $-q$ yükünün hız vektörünü, dört parmak manyetik alanın yönünü, gösterecek şekilde tutulduğunda avuç içinin tersi yön $-q$ yüküne etkiyen manyetik kuvvetin yönünü gösterir.

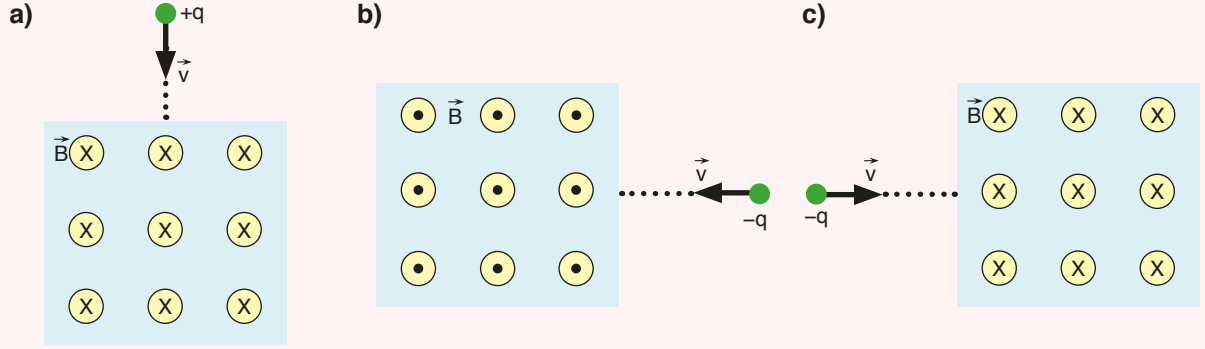


Şekil 2.57: Manyetik alana giren $-q$ yükü

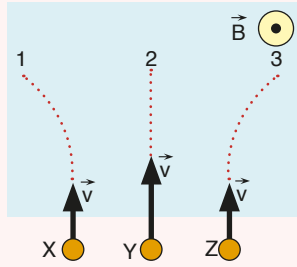


ÇALIŞMA KÖŞESİ 31

- A) Aşağıda yüklü parçacıkların dik olarak girdiği manyetik alanlar verilmiştir. Bu manyetik alanlar içinde parçacığa etki eden manyetik kuvvetin yönünü göstererek parçacığın izleyeceği yörüngeyi çiziniz.



- B) Düzgün manyetik alanına aynı büyüklükte hızlarla dik olarak giren eşit kütleli X, Y, Z cisimlerinin sırasıyla 1, 2 ve 3 yörüngelerini izlediği gözlenmektedir.



X, Y, Z cisimlerinin bu yörüngeleri izlemesinin sebebi nedir?

Cevap



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

H^+ iyonları (proton) normal şartlar altında eksenleri etrafında spin hareketi yaparken manyetik alana girdiklerinde manyetik alan yönünde dizilerek spin hareketi yapar. H^+ iyonlarının bu özelliği, manyetik rezonans (MR) cihazlarında H^+ iyonlarının yüksek frekanslı dalgalarla maruz bırakılmasıyla açığa çıkarılabilmektedir. Büyük bir mıknatıs içinde yapılan bu uygulama, iyonların dizilişinde değişiklik meydana getirir. Bu sırada iyonlar, manyetik alan içinde uygulanan yüksek frekanslı dalgaların bir kısmını soğururken bir kısmını da yayar. Yayılan dalgalarla geri alınan sinyaller bilgisayar yardımıyla görüntüye dönüştürülür. Sonuç olarak H^+ iyonlarının manyetik alan içindeki davranışı, yapısında su bulunan canlı organizmadaki birtakım hastalıkların tanısı için kullanılır.

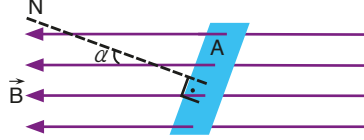
Sizler de manyetik kuvvetin teknolojiye kullanım alanlarıyla ilgili araştırma yapınız. Sınıfınızda beşer kişilik gruplar oluşturarak araştırmanızın sonuçlarını sunum şeklinde diğer gruplarla paylaşınız.

2.4.6. Manyetik Akı

Bir yüzeyden dik olarak geçen manyetik alan çizgilerinin sayısına **manyetik akı** denir. Yüzeyden geçen manyetik alan çizgilerinin sayısı yüzeyin büyüklüğüne ve manyetik alanının yoğunluğuna bağlıdır. Manyetik akı Φ (fi) sembolüyle gösterilir, birimi **weber**dir.

Şekil 2.58'de manyetik alan içinde bulunan A yüzeyindeki manyetik akı büyüklüğü

$\Phi = |\vec{B}| \cdot A \cdot \cos \alpha$ bağıntısı ile hesaplanır.

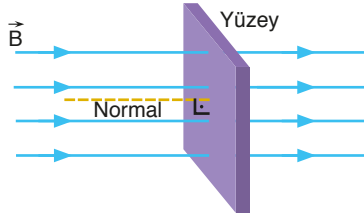


Şekil 2.58: Manyetik alan içindeki A yüzeyi

Burada α manyetik alan çizgileri ile yüzeyin normali arasındaki açıdır.

Şekil 2.59'da olduğu gibi manyetik alan çizgileri yüzeye dik ise $\cos 0^\circ = 1$ olacağından manyetik akı maksimum değerde olur. Bu durumda manyetik akı

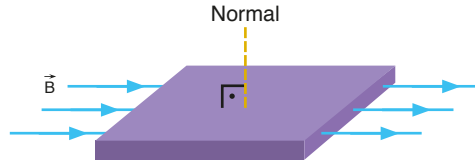
$\Phi = |\vec{B}| \cdot A$ büyüklüğünde olacaktır.



Şekil 2.59: Yüzeye dik manyetik alan çizgileri

Şekil 2.60'ta olduğu gibi manyetik alan çizgileri yüzeye paralel ise $\cos 90^\circ = 0$ olacağından manyetik akı minimum değerde olur. Bu durumda manyetik akı

$\Phi = 0$ büyüklüğünde olacaktır.



Şekil 2.60: Yüzeye paralel manyetik alan çizgileri

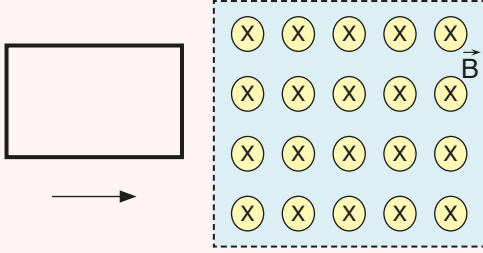
Dolayısıyla birim yüzeyin manyetik alanda hareket ettirilmesi manyetik akıda değişime neden olur. Yüzey hareket ettirilirse yüzeyde meydana gelen akı değişimi

$\Delta\Phi = \Phi_{\text{son}} - \Phi_{\text{ilk}}$ bağıntısıyla bulunur.



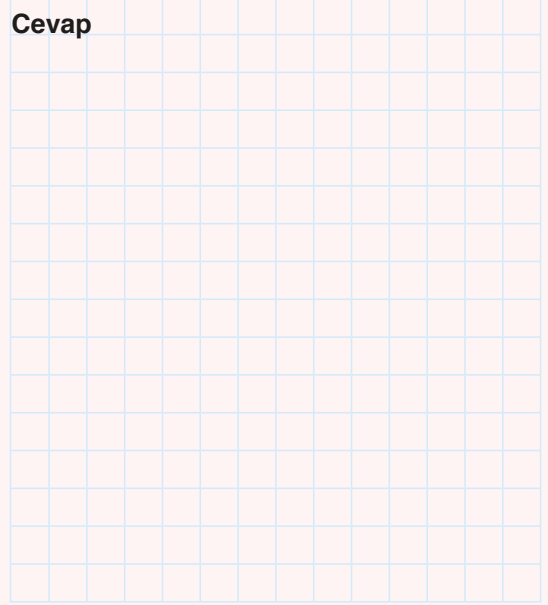
ÇALIŞMA KÖŞESİ 32

Dikdörtgen şeklindeki iletken çerçeve sabit $\vec{v}$ hızıyla doğrusal yörünge izleyerek kesikli çizgi ile belirtilen manyetik alan bölgesinden geçmektedir.



İletken çerçeve içindeki manyetik akının büyüklüğünün zamana göre değişim grafiğini çiziniz.

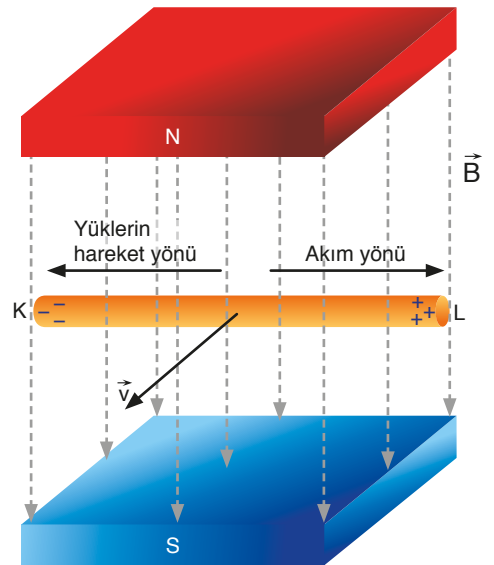
Cevap



2.4.7. İndüksiyon Akımı

Günlük hayatta kullanılan telefon bataryaları, otomobil aküleri gibi üreteçler doğru akım (DC) veren akım kaynaklarıdır. Üretece bağlı bir devreden geçen elektrik akımı tek yönlüdür. Üreteçler, depolanan kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesiyle doğru akım veren enerji kaynaklarıdır. Elektrik enerjisinin hareket enerjisine dönüşmesini sağlayan elektrik motorları, elektrikli ev araç gereçlerinde kullanılmaktadır. Manyetik alan içinde bulunan durgun yüklere kuvvet etki etmediği düşünülüğünde hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek mümkün müdür? Bunun için manyetik alan içinde yüklü parçacık olan elektronların hareket ettirilmeleri gerekmektedir.

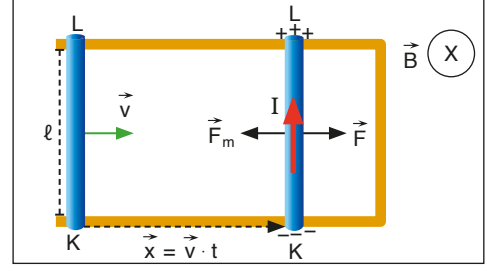
Manyetik alanda hareket ettirilen Şekil 2.61'de iletken teldeki serbest elektronların davranışı incelendiğinde elektronların iletken telde bir yönde hareket ettiği gözlemlenir. Böyle bir manyetik alanla iletken bir telin uygun şartlarda etkileşimi, iletken telde akım oluşturur. Oluşan bu akıma **indüksiyon akımı** denir. İndüksiyon akımının yönü, sağ el kuralı ile bulunur. Baş parmak hız vektörünün yönünü, dört parmak manyetik alan vektörünün yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda avuç içinin tersi; (-) yüklerin toplandığı ucu gösterir. K ucunda (-) yükler toplanacağından L ucu (+) yüklenmiş olur.



Şekil 2.61: Manyetik alan içinde hareket eden iletken tel

Şekil 2.62'de manyetik alan içinde $\vec{F}$ kuvvetiyle ve v sabit hızıyla hareket ettirilen KL iletken teli gösterilmiştir. İletken telin hareketi sırasında tel üzerinde; K ucunda (-), L ucunda (+) yükler olacak şekilde kutuplanır.

İki nokta arasındaki elektriksel yük farkı, potansiyel fark olarak ifade edildiğinden KL telinin manyetik alan içinde hareket ettirilmesiyle K ve L uçları arasında oluşan elektriksel yük farkı, elektromotor kuvveti (emk) olarak ifade edilir. KL telinde oluşan elektromotor kuvveti $\mathcal{E}$ sembolü ile gösterilir.



Şekil 2.62: Manyetik alan içinde sabit hız ile hareket ettirilen iletken tel

Telde oluşan elektromotor kuvvetinin bağlı olduğu değişkenleri belirlemek için Newton'ın II. kanunu ve iş-enerji kanunundan yararlanılır.

$\vec{F}$ kuvveti ile çekildiğinde KL telinin hızının sabit olması için tele $\vec{F}$ kuvvetine eşit ve zıt yönde ikinci bir kuvvetin etki etmesi gerekir. Bu kuvvet manyetik alanda akım geçen tele etkiyen $\vec{F}_m$ manyetik kuvvetidir. Newton'ın II. kanunu gereği bu kuvvetler arasında

$(\vec{F} = -\vec{F}_m)$ eşitliği yazılır.

KL teli, t süre boyunca sabit $\vec{v}$ hızı ile çekildiğinde manyetik kuvvetin yaptığı iş, elektriksel kuvvetin yaptığı işe eşit olmalıdır.

t süre boyunca birim yükü devrede dolaştırmak için elektriksel kuvvetin yaptığı iş

$W = I \cdot \mathcal{E} \cdot t$ bağıntısı ile ifade edilir.

KL teli, $\vec{v}$ hızı ile t süre çekildiğinde $\vec{x} = \vec{v} \cdot t$ kadar yer değiştirir.

KL teline etkiyen $\vec{F}_m$ manyetik kuvvetinin t süre boyunca yaptığı iş

$W_m = |\vec{F}_m| \cdot |\vec{x}| = -|\vec{B}| \cdot I \cdot \ell \cdot |\vec{v}| \cdot t$ şeklindedir. Ayrıca

$W = W_m$ olacağından

$I \cdot \mathcal{E} \cdot t = -|\vec{B}| \cdot I \cdot \ell \cdot |\vec{v}| \cdot t$ eşitliği elde edilir.

Elde edilen son eşitlikte $\ell \cdot |\vec{v}| \cdot t$ ifadesi, $\vec{v}$ hızı ile hareket ettirilen KL telinin t sürede taradığı alan (A) olduğundan

$I \cdot \mathcal{E} \cdot t = -|\vec{B}| \cdot I \cdot A$ ifadesi elde edilir.

$(|\vec{B}| \cdot A)$ ifadesi, çerçeveden geçen manyetik akı değişimi olduğundan çerçevede oluşan elektromotor kuvveti

$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ bağıntısıyla bulunur.

Burada $\mathcal{E}$ (epsilon) indüksiyon elektromotor kuvvetini ifade eder. Birimi Wb/s'dir.



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: İndüksiyon Akımı

Etkinliğin Amacı: İndüksiyon akımını oluşturan sebeplere ilişkin çıkarımda bulunarak indüksiyon akımının matematiksel modelini elde etmek

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, kâğıt ve kalem

Yönerge

- Faraday Elektromanyetik Lab. konulu simülasyona ulaşmak için kitabınızı pdf dosya üzerinden açınız ve ekran görüntüsüne tıklayınız.



- Bilgisayarınızda java oynatıcı yüklü değilse aşağıdaki ekran görüntüsüne tıklayarak yükleyiniz.



- Simülasyon ekranının sol üst köşesinde “Sarımları ayarla” sayfasını seçiniz.
- Fare yardımıyla mıknatısı tutup simülasyonda halkadan mümkün olan uzaklığa taşıyınız.
- Uzaklaştırdığınız mıknatısı tutarak küçük ileri geri hareketlerle yerinde titreştiriniz ve halka üzerindeki akı değişimini gözlemleyiniz.
- Mıknatısı tutarak oldukça yavaş bir şekilde halka içinden geçirin ve halka üzerindeki akı değişimini gözlemleyiniz.
- Mıknatısı halka içinde tutarak oldukça hızlı ileri geri hareket ettirerek halka üzerindeki akı değişimini gözlemleyiniz.

Sonuçlandırma

- Hangi durumlarda halka üzerinde akı değişimi olmuştur?
- İndüksiyon akımının matematiksel modeli nasıl olabilir?

İndüksiyon emk'sinin $\mathcal{E}$ ve direnci R olan bir devreden geçen indüksiyon akımı

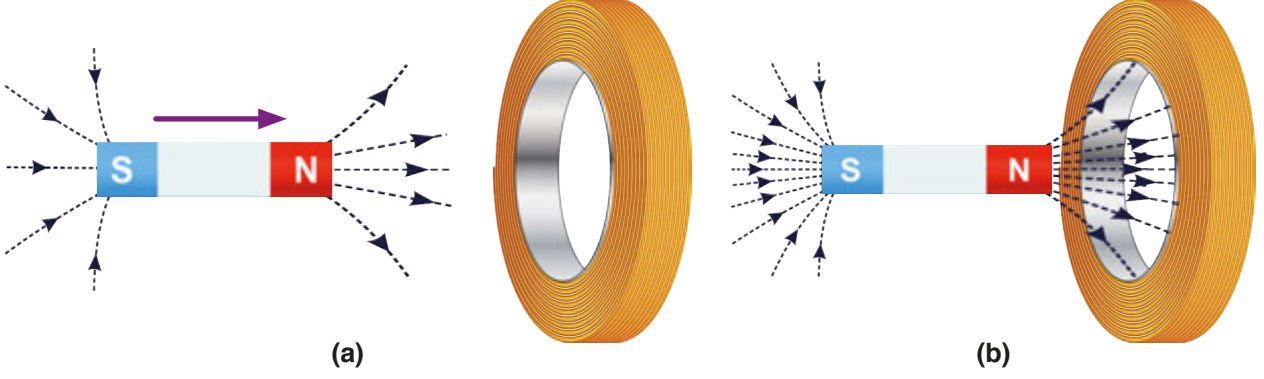
$$I = \frac{\mathcal{E}}{R} \text{ bağıntısıyla bulunur.}$$

Bağıntıda kullanılan büyüklüklerin SI sistemindeki sembol, birim ve birim sembolü Tablo 2.11’de verilmiştir.

Tablo 2.11: Birim Tablosu

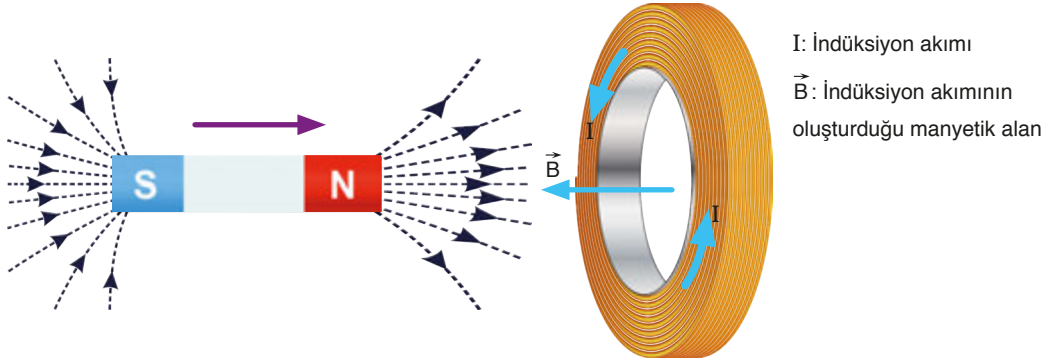
Fiziksel Büyüklük	Sembol	Birimi	Birimin Sembolü
indüksiyon elektromotor kuvveti	$\mathcal{E}$	weber/saniye	Wb/s
direnç	R	ohm	Ω
akım	I	amper	A
tel çerçevenin yüzey alanı	A	metrekare	m^2

İndüksiyon akımı oluşturmanın başka bir yolu da iletken bir bobine mıknatıs yaklaştırp uzaklaştırmaktır. Şekil 2.63'teki gibi mıknatısın iletken bir bobine yaklaştırılması sırasında bobin içinden geçen manyetik alan çizgi sayısı artacağından, iletken bobinde manyetik akı değişimi olacaktır. Böylelikle manyetik kuvvetin etkisi ile bobinin iletken tellerindeki serbest elektronlar hareket ettirilerek bobinde indüksiyon akımı oluşturulabilir.



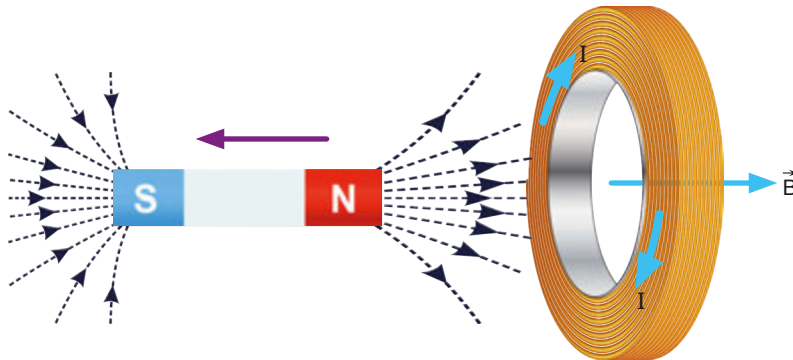
Şekil 2.63: Mıknatısın bobine yaklaştırılmasıyla artan manyetik alan çizgileri

Şekil 2.64'te sabit tutulan iletken bobine yaklaştırılan bir mıknatıs gösterilmiştir. Mıknatısın bobine yaklaştırılmasıyla bobinde manyetik akı artar. Bobinde oluşan indüksiyon akımının yönü, iletken bobinde artan manyetik akıyı azaltacak yönde manyetik alan oluşturan akım yönündedir.



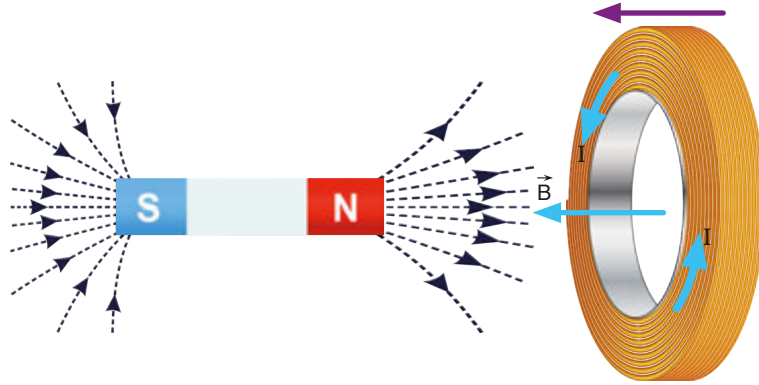
Şekil 2.64: Sabit tutulan iletken bobine yaklaştırılan mıknatıs

Şekil 2.65'te sabit tutulan iletken bobinden uzaklaştırılan bir mıknatıs gösterilmiştir. Mıknatısın bobinden uzaklaştırılmasıyla iletken bobinden geçen manyetik akı azalır. Bobinde oluşan indüksiyon akımının yönü, bobindeki azalan manyetik akıyı artıracak yönde manyetik alan oluşturan akım yönündedir.



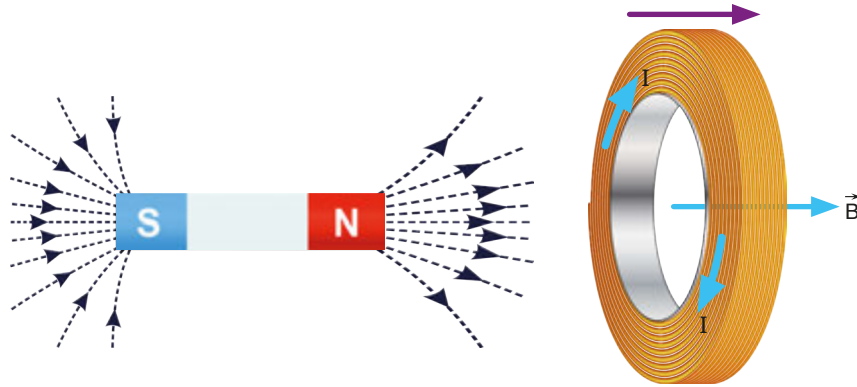
Şekil 2.65: Sabit tutulan iletken bobinden uzaklaştırılan mıknatıs

Şekil 2.66'da sabit tutulan bir mıknatısa yaklaştırılan iletken bir bobin gösterilmiştir. İletken bobinin mıknatısa yaklaştırılmasıyla iletken bobinden geçen manyetik akı artar. Bobinde oluşan indüksiyon akımının yönü, iletken bobindeki artan manyetik akıyı azaltacak yönde manyetik alan oluşturan akım yönündedir.



Şekil 2.66: Sabit mıknatısa yaklaştırılan bobin

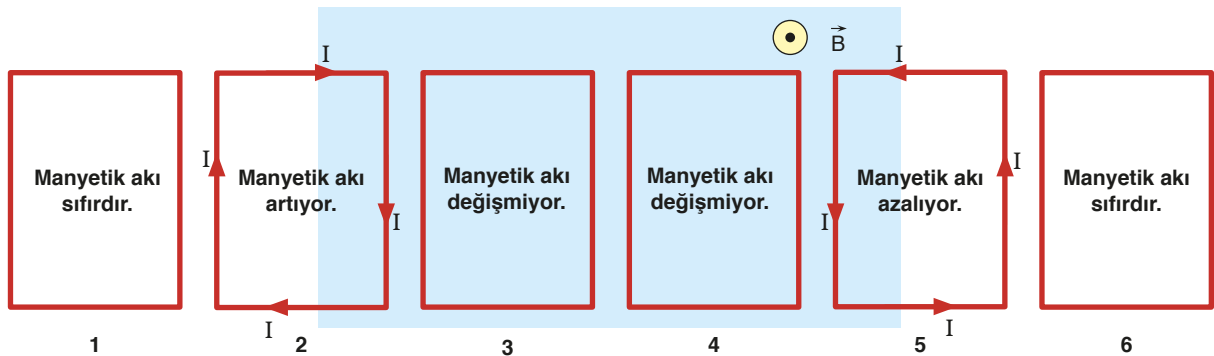
Şekil 2.67'de sabit tutulan bir mıknatıstan uzaklaştırılan iletken bir bobin gösterilmiştir. İletken bobinin mıknatıstan uzaklaştırılmasıyla iletken bobinden geçen manyetik akı azalır. Bobinde oluşan indüksiyon akımının yönü, iletken bobinde azalan akıyı artıracak yönde manyetik alan oluşturan akım yönünde olur.



Şekil 2.67: Sabit mıknatıstan uzaklaştırılan bobin

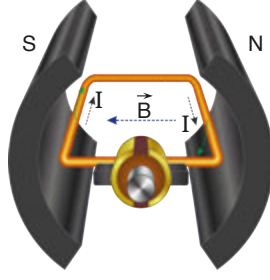
Görüldüğü üzere dikdörtgen, kare, halka gibi kapalı geometriye sahip iletken bir telin içinden geçen manyetik akıda değişim olduğunda indüksiyon elektromotor kuvveti ve indüksiyon akımı oluşmaktadır.

Şekil 2.68'de manyetik alan bölgesinin içine doğru hareket ettirilip çıkarılan iletken tel çerçevesinin hareket aşamaları verilmiştir. Burada iletken çerçeve tamamen manyetik alan bölgesi içinde olduğu 3 ve 4 konumlarında manyetik akı değişimi olmadığı için indüksiyon akımı oluşmaz.



Şekil 2.68: Manyetik alan içinde hareket ettirilen iletken tel çerçeve

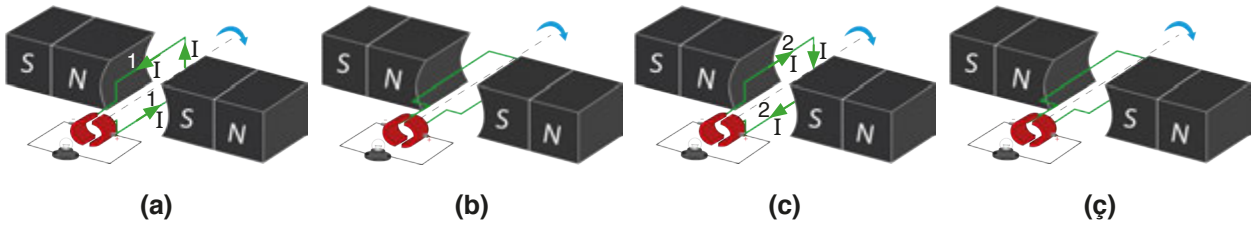
İletken tel çerçevede oluşan indüksiyon akımını sürekli hâle getirmek için manyetik alan içinde Şekil 2.69'daki gibi bir düzencele döndürülür.



Şekil 2.69: İndüksiyon akımı oluşturmak için döndürülen tel çerçeve

Şekil 2.70'te manyetik alan içinde döndürülen dikdörtgen tel çerçevenin üzerinde oluşan indüksiyon akımının aşamaları verilmiştir. İletken tel çerçeve Şekil 2.70.a'daki konumdan itibaren 1 periyotluk süre boyunca döndürülmeye başlandığında

- İletken tel çerçeve a konumundan b konumuna gelirken tel çerçevedeki manyetik akı azalır ve indüksiyon akımı 1 yönünde oluşur.
- İletken tel çerçeve b konumundan c konumuna gelirken tel çerçeveden geçen manyetik akı artar ve indüksiyon akımı 2 yönünde oluşur.
- İletken tel çerçeve c konumundan ç konumuna gelirken tel çerçevedeki manyetik akı azalır ve indüksiyon akımı tekrar 1 yönünde oluşur.



Şekil 2.70: Dikdörtgen tel çerçevenin üzerinde oluşan indüksiyon akımının aşamaları

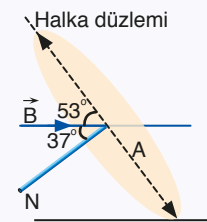
2.4.8. Manyetik Akı ve İndüksiyon Akımı ile İlgili Hesaplamalar

Örnek: Yarıçapı 2 m olan iletken halka tel çerçeve, 5 T şiddetindeki düzgün manyetik alan içinde döndürülmektedir.

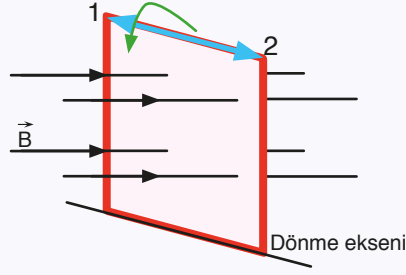
Halkanın yüzey normali, manyetik alan çizgileri ile 53° açı yaptığı anda halka tel yüzeyindeki manyetik akı kaç Wb olur? ($\cos 37^\circ = 0,8$; $\pi = 3$ alınız.)

Çözüm: Halkanın yüzey normali ile manyetik alan vektörünün yaptığı açıya dikkat ederek halka yüzeyindeki manyetik akı

$$\begin{aligned}\Phi &= |\vec{B}| \cdot A \cdot \cos \alpha \\ \Phi &= |\vec{B}| \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \cos \alpha \\ \Phi &= 5 \cdot 3 \cdot 2^2 \cdot \cos 37^\circ = 5 \cdot 3 \cdot 2^2 \cdot 0,8 = 48 \text{ Wb olarak bulunur.}\end{aligned}$$



Örnek: Boyutları 1 m ve 0,5 m olan dikdörtgen iletken tel çerçeve, şiddeti 10 T olan manyetik alan içinde döndürülerek 180°'lik dönüşünü 2 s'de tamamlamaktadır.



Çerçeve manyetik alana dik konumdan belirtilen yönde 90° döndüğünde çerçevede oluşan indüksiyon akımının yönü ve indüksiyon emk'sının büyüklüğü nedir? ($\cos 0^\circ = 1$)

Çözüm: Çerçeve belirtilen yönde 90° döndüğünde çerçevedeki manyetik akı azalır. Çerçevede azalan manyetik akının artmasını sağlayan indüksiyon akımı 2 yönünde oluşmaktadır.

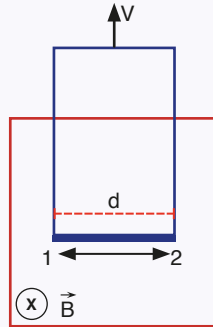
Çerçeve manyetik alana dik konumda iken manyetik akı

$$\Phi = |\vec{B}| \cdot A \cdot \cos 0^\circ = 10 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 5 \text{ Wb 'dir.}$$

Çerçeve 90° döndüğünde manyetik alana paralel olacağından manyetik akı sıfır olur. Bu durumda indüksiyon emk'si ϵ ,

$$\epsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_{\text{son}} - \Phi_{\text{ilk}}}{\Delta t} = -\frac{0 - 5}{1} = 5 \text{ V olarak bulunur.}$$

Örnek: Uzunluğu 0,4 m olan iletken tel, şiddeti 5 T olan manyetik alanı içinde sayfa düzleminde şekil-deki gibi 8 m/s hızla çekiliyor.



Buna göre telde oluşan indüksiyon emk'sının büyüklüğünü ve oluşan indüksiyon akımının yönünü bulunuz?

Çözüm: Çerçeve belirtilen yönde çekildiğinde manyetik akı azalır. Oluşan indüksiyon akımının yönü, azalan akıyı artıracak yönde, manyetik alan oluşturacak akım yönünde olacağından indüksiyon akımı 1 yönünde oluşur. Tel çerçevenin manyetik alanda akı değişiminin olduğu yüzey alanı hareket doğrultusunda aldığı yol x ise

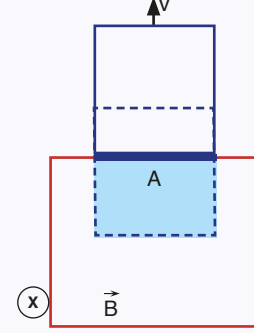
$$A = x \cdot d = V \cdot t \cdot d = 8 \cdot t \cdot 0,4 = 3,2 t \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

Buradan hareketle çerçevedeki manyetik akı değişimi

$$\Phi_{ilk} = |\vec{B}| \cdot A = 5 \cdot 3,2t = 16t \text{ olur.}$$

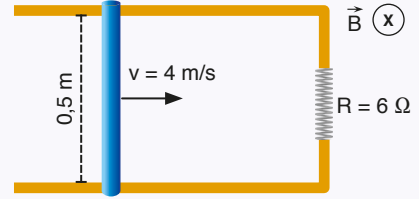
$\Phi_{son} = 0$ olduğu için indüksiyon emk

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_{son} - \Phi_{ilk}}{\Delta t} = -\frac{0 - 16t}{t} = 16 \text{ V bulunur.}$$



Örnek: İletken ray üzerindeki iletken çubuk 4 m/s büyüklüğünde sabit hızla yönü sayfa düzleminde içeri ve şiddeti 3T olan manyetik alan içinde şekildeki gibi çekilmektedir.

İletken rayın genişliği 0,5 m olduğuna göre 6 Ω 'luk dirençten geçen indüksiyon akımı kaç A'dır?



Çözüm: İletken çubuğun t süre boyunca 4 m/s hızla A noktasından B noktasına çekildiğinde ℓ uzunluğu 4 t olur.

İletken çubuğun t sürede süpürdüğü alandaki manyetik akı değişimi

$$\Delta\Phi = |\vec{B}| \cdot \Delta A$$

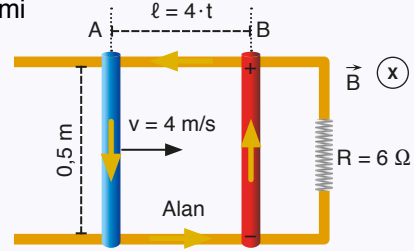
$$\Delta\Phi = |\vec{B}| \cdot L \cdot 0,5$$

$$\Delta\Phi = 3 \cdot 4 \cdot t \cdot 0,5 \text{ bulunur.}$$

Manyetik akı değişimine bağlı oluşan indüksiyon gerilimi

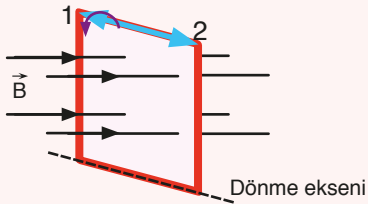
$$\varepsilon = \left| -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = \left| -\frac{3 \cdot 4 \cdot t \cdot 0,5}{t} \right| = 6 \text{ V}$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{6}{6} = 1 \text{ A bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 33

Yüzey alanı 5 m² olan dikdörtgen çerçeve, şiddeti 8T olan manyetik alan içinde döndürülmektedir.



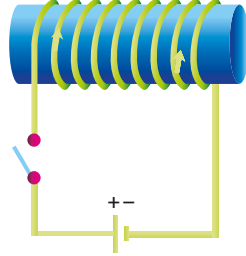
Buna göre dikdörtgen çerçevesindeki maksimum akı kaç Wb'dir?

Cevap



2.4.9. Öz-İndüksiyon Akımı

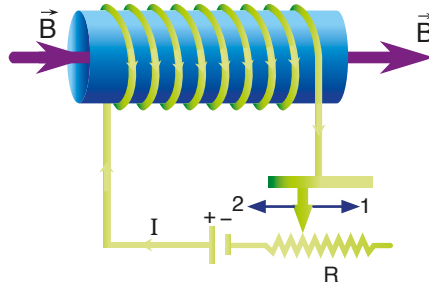
Şekil 2.71'deki anahtarı açık devrede üreteç, bobin ve anahtardan oluşan devrenin anahtarı kapatılarak geçmesi sağlanan elektrik akımı, bobinin çevresinde manyetik alan oluşturur. Akımın sıfırdan başlayarak maksimum değerine ulaşması, manyetik alanın da sıfırdan başlayarak maksimum değerine ulaşmasını sağlar. Böylelikle bobin sarımlarında anlık bir manyetik akı değişimi meydana gelir.



Şekil 2.71: Üreteç ve bobinden oluşan anahtarı açık devre

Anlık akı değişimi ile oluşan akıma **öz-indüksiyon** akımı denir.

Şekilde 2.72'deki devre reosta, 1 yönünde çekildiğinde devrenin direnci artacağından devreden geçen elektrik akımı azalır. Bu durumda öz-indüksiyon akımı devre akımı ile aynı yönde olur. Reosta, 2 yönünde çekildiğinde devrenin direnci azalacağından devre akımı artar. Öz-indüksiyon akımı devre akımına zıt yönde olur.

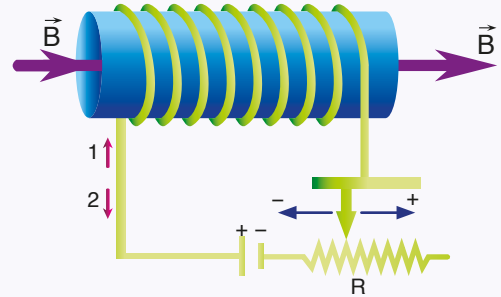


Şekil 2.72: Reosta, üreteç ve bobinden oluşan devre

Örnek: Bobin, reosta ve üreteç ile kurulan devrede

- I. Reosta (+) yönünde çekilirse öz-indüksiyon akımı 1 yönünde oluşur.
- II. Reosta (-) yönünde çekilirse öz-indüksiyon akımı 2 yönünde oluşur.
- III. Reosta (+) yönünde çekilirse öz-indüksiyon akımı 2 yönünde oluşur.

ifadelerinden hangisi doğrudur?

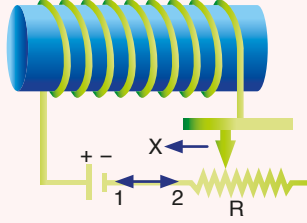


Çözüm: Öz-indüksiyon akımının yönü devre akımı azalırsa devre akımı ile aynı yönde, devre akımı artarsa devre akımına zıt yönde olur. Reosta (+) yönünde çekildiğinde direnç artacağından devre akımı azalacak, öz-indüksiyon akımı devre akımı ile 1 yönündedir. Reosta (-) yönünde çekildiğinde direnç azalacağından devre akımı artacak, öz-indüksiyon akımı devre akımı ile ters yönde olacağından öz-indüksiyon akımı 2 yönündedir. Bu durumda I. ve II. ifade doğru, III. ifade yanlıştır.



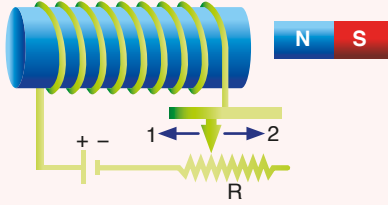
ÇALIŞMA KÖŞESİ 34

- A) Reostanın sürgüsü X yönünde sabit hızla kaydırılmaktadır.



Devre akımının ve öz-indüksiyon akımının yönü ile ilgili ne söylenebilir?

- B) Bobin, reosta ve üreteçten oluşan devre ile mıknatıs şekilde verilmiştir.



Buna göre

- I. Mıknatısı bobine yaklaştırmak
- II. Reosta sürgüsünü 1 yönünde çekmek
- III. Reosta sürgüsünü 2 yönünde çekmek

işlemlerinden hangisi yapıldığında bobinde öz-indüksiyon akımı oluşmaktadır?

Cevap

Cevap

2.4.10. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışı

Elektrik alanı içinde bulunan q yüklü parçacığa elektrik alan tarafından etki eden elektriksel kuvvetin büyüklüğü

$|\vec{F}| = q \cdot |\vec{E}|$ bağıntısı ile ifade edildiği belirtilmişti.

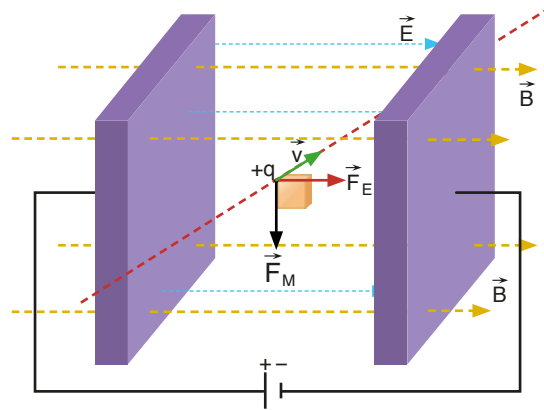
Elektrik alanı içinde bulunan q yüklü parçacığa elektriksel kuvvet etki etmesi için hareket etmesi gerekmez. Yüklü parçacık hareket etse de elektriksel kuvvetin büyüklüğünü ve yönünü etkilemez. Ancak yüklü bir parçacığa, manyetik alan içinde hareketli olması durumunda manyetik kuvvet etki eder. $\vec{B}$ manyetik alanında $\vec{v}$ hızı ile hareket eden ve yükü q olan parçacığa manyetik alan tarafından etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü

$|\vec{F}| = q \cdot (|\vec{v}| \cdot |\vec{B}|)$ bağıntısı ile ifade edilir.

q yüklü parçacık $\vec{E}$ ve $\vec{B}$ alanlarının iç içe olduğu uzay bölgesi içinde $\vec{v}$ hızı ile hareket ettiğinde q yüküne hem elektriksel kuvvet hem de manyetik kuvvet aynı anda etki eder. Burada q yüklü parçacık manyetik alana dik hareket etmektedir. Elektrik ve manyetik alanın bir arada olduğu bölgede bulunan q yükünün maruz kaldığı bu kuvvete **Lorentz kuvveti** denir.

Lorentz kuvveti $\vec{F} = q \cdot \vec{E} + q \cdot (\vec{v} \times \vec{B})$ bağıntısı ile ifade edilir.

Şekil 2.73'te elektrik ve manyetik alanda hareket eden yüklü parçacığa etki eden elektrik ve manyetik kuvvetler gösterilmiştir. Lorentz kuvvetiyle ilgili bağıntı incelendiğinde iki önemli çıkarım yapılabilir. Bunlardan biri parçacığın kütlesinin bu bağıntıda yer almamasıdır. Bunun anlamı parçacığın kütlesi ne kadar büyük olursa olsun etki eden kuvvetin değişmediğidir. Diğer bir çıkarım ise bağıntıda da verilen $(\vec{v} \times \vec{B})$ çarpımıdır.



Şekil 2.73: Elektrik ve manyetik alanda yüklü parçacık

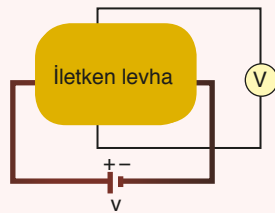
Bu çarpımda $\vec{B}$ ve $\vec{v}$ birbirine dik olduğunda parçacığa etki eden kuvvetin $\vec{B}$ ve $\vec{v}$ vektörlerinin oluşturduğu düzleme dik yönde olduğunu ifade eder. $\vec{B}$ ve $\vec{v}$ birbirine paralel olursa bu parçacık üzerine manyetik alanın bir etkisi olmaz. Böylece Lorentz kuvveti de oluşmaz.

Elektrik ve manyetik alanda yüklü parçacıklara etkiyen Lorentz kuvveti, pek çok teknolojik uygulamada kullanılmaktadır. Lorentz kuvveti bu uygulamalarda cismin pozisyonunu, uzaklığını veya dönüşünü algılayabilme özelliğine sahip olan sensörlerde ön plana çıkar. Örneğin cep telefonu kulağa yaklaştırdığında ekranın kararması mesafe algılayıcı sensörlerle gerçekleşir.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 35

İletken levha şekildeki gibi üretece bağlanarak devre kurulmaktadır.



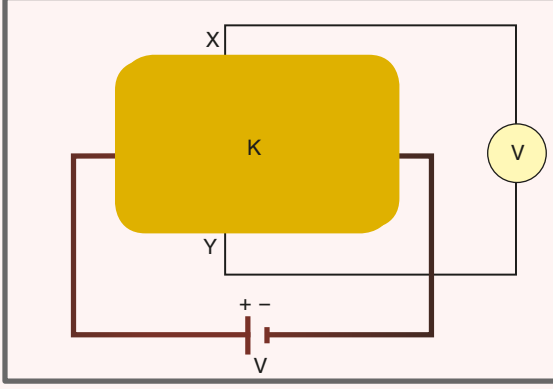
Bu devre yardımıyla bir mıknatısın manyetik alan şiddeti ölçülebilir mi?

Cevap



ÇALIŞMA KÖŞESİ 36

K plakası doğru akım kaynağına şekildeki gibi bağlanmıştır. Devredeki voltmetre X ve Y noktaları arasında gerilim olduğunu göstermektedir.

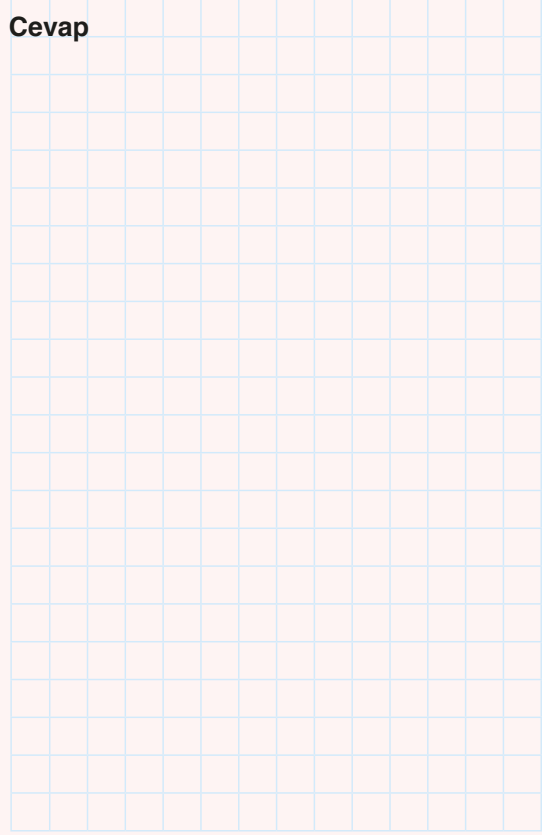


Buna göre

- I. Plaka manyetik alan içindedir.
- II. Voltmetrede okunan değer üretcin geriliminden büyüktür.
- III. Plaka iletkenidir.

İfadelerinden hangisi doğrudur?

Cevap



2.4.11. Elektromotor Kuvveti

Bir iletkendeki serbest elektronları, doğrudan temas kuvveti uygulayarak harekete geçirmek mümkün değildir. Bu durum elektronların yüklü parçacıklar olması ve elektriksel alanlarla her durumda, manyetik alanlarla uygun şartlarda etkileşmesinden kaynaklanır. Bu sebeplerle iletken telde serbest elektronlara hareket enerjisi kazandırmanın bir kaç yöntemi vardır. Bunlardan biri iletken telin iki ucuna bir üretcin bağlanıp iletken telin içinde elektrik alan meydana getirerek elektronlara elektriksel kuvvet etki etmesini sağlamaktır. Böylelikle serbest elektronlara etki eden elektriksel kuvvet, yükler üzerine iş yapar. Burada yapılan işin enerji kaynağı, üretçidir. Bu şekilde birim yükü, üretcin negatif kutbundan pozitif kutbuna götürmek için harcanan enerjiye üretcin **elektromotor kuvveti** denir. Örneğin bir elektrik devresine elektromotor kuvveti 1,5 volt olan pil bağlandığında devreden her 1C luk yük geçişini sağlamak için pil tarafından 1,5 J büyüklüğünde iş yapılır. Pil, akü, batarya, güneş pili; elektromotor kuvveti kaynağı olarak kullanılır.

Elektrik akımı oluşturmak için diğer bir yöntem de elektromotor kuvveti kaynağı olarak manyetik kuvvet etkisi ile yükleri harekete geçiren düzenekler kullanmaktır. İletken tel çerçevenin manyetik alanda uygun şartlarda döndürülmesi ile teldeki serbest elektronlar, hareket enerjisi kazanır ve iletken tel çerçevede bir elektrik akımı oluşur. Bu akıma **indüksiyon akımı** denir. İndüksiyon akımı elde etmek için kullanılan kaynaklara **indüksiyon elektromotor kuvveti kaynakları** denir. Manyetik indükleme ile indüksiyon akımı oluşturan kaynaklara jeneratör örnek verilebilir.



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Elektromotor Kuvveti

Etkinliğin Amacı: Elektromotor kuvvetini oluşturan sebeplere ilişkin çıkarımda bulunmak

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, kâğıt ve kalem

Yönerge

- Faraday Elektromanyetik Lab. konulu simülasyona ulaşmak için kitabınızı pdf dosya üzerinden açınız ve ekran görüntüsüne tıklayınız.



- Bilgisayarınızda java oynatıcı yüklü değilse aşağıdaki ekran görüntüsüne tıklayarak yükleyiniz.



- Simülasyon ekranının sol üst köşesinde “Jeneratör” sayfasını seçiniz.
- Çark üzerindeki devir göstergesi “0 Devir” iken halka üzerindeki akı değişimini, elektronları simgeleyen taneciklerin akışını gözlemleyiniz.
- Fare yardımıyla çeşmenin üzerindeki sürgüyü çark üzerindeki mıknatısın devir sayısını veren göstergeyi takip ederek “50 Devir” olana kadar sağa doğru çekiniz.
- Halka üzerindeki akı değişimini, mıknatısın kutup yönlerine göre taneciklerin akıştaki yön değişikliğini ve lambanın ışık çizgilerini gözlemleyiniz.
- Çeşme üzerindeki sürgüyü “100 Devir” olana kadar çekiniz.
- Halka üzerindeki akı değişimini, mıknatısın kutup yönlerine göre elektronları simgeleyen taneciklerin akıştaki yön değişikliğini ve lambanın ışık çizgilerini gözlemleyiniz.

Sonuçlandırma: Lambanın ışık çizgilerinin miktarı hangi durumlarda ve nasıl değişmiştir?



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Karmaşık bir yapıya sahip olsalar da rüzgâr tribünlerinde oyuncak arabalardaki elektrik motoruna benzer bir sistem bulunur. İçinde mıknatıslar ve bu mıknatısların ortasında ince tellerle sarılmış bir bölüm bulunur. Pervane şaftı döndürür ve motor içindeki bu sarım bölgesi mıknatısların ortasında dönmeye başlar.

Sizler de benzer yapıya sahip olan elektrik motoru ve dinamonun çalışma ilkelerini araştırarak karşılaştırınız.



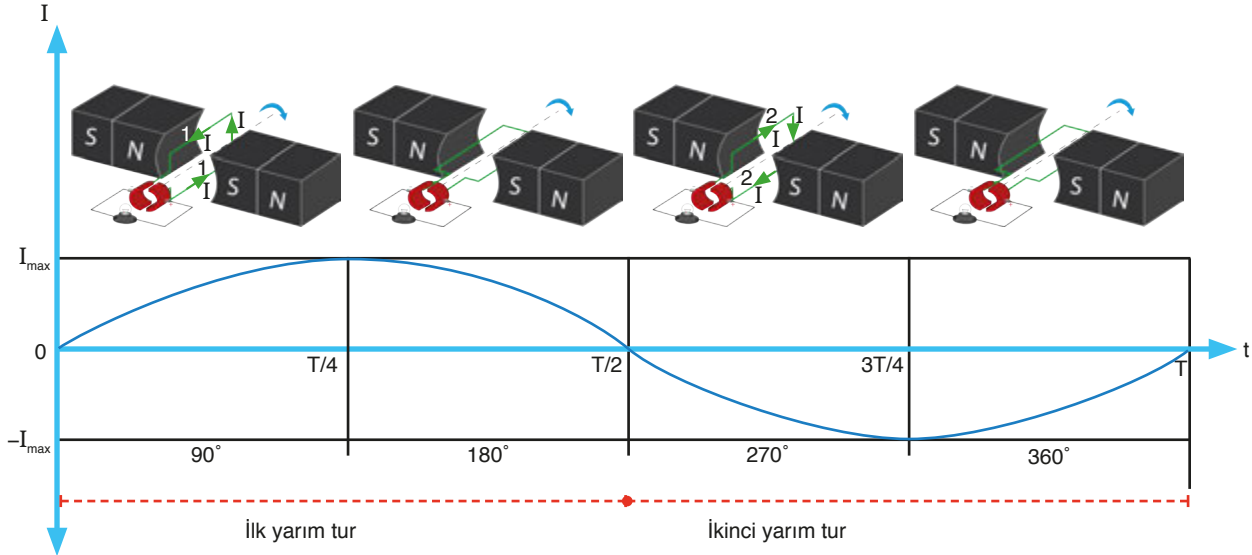
2.5. Alternatif Akım

İletken bir metalin atomlarının son yörüngelerinde 4'ten az sayıda elektron bulunur. Bu elektronlar atomlara zayıf bağlarla bağlı olduklarından serbest elektronlar olarak ifade edilir. Metallerin iletkenliği bu serbest elektronların varlığı ile gerçekleşir. Bu iletkenlere gerilim uygulandığında elektronlar negatif kutuptan pozitif kutba doğru hareket ederek elektrik akımı oluştururlar. Oluşan bu elektrik akımı doğru akım ve alternatif akım olmak üzere iki şekilde olabilir.

2.5.1. Alternatif Akım Kavramı

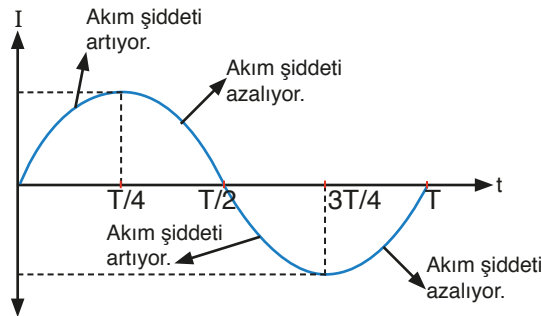
Manyetik alan içinde ve sabit frekansta döndürülen dikdörtgen biçimli iletken tel çerçevesindeki manyetik akı düzenli olarak değişir. Manyetik akıdaki bu değişimden kaynaklanan akıma **indüksiyon akımı** veya **alternatif akım** denir.

Şekil 2.74'te dikdörtgen tel çerçevenin üzerinde oluşan indüksiyon akımının aşamalarına göre alternatif akım ve zaman grafiği verilmiştir. Bir periyotluk süre boyunca tel çerçevenin ilk yarım turu tamamlamasına kadar geçen sürede çerçevede oluşan alternatif akım, 1 yönünde oluşurken ikinci yarım turu tamamlamasına kadar geçen sürede çerçevede oluşan alternatif akım, 2 yönünde oluşur.



Şekil 2.74: (I-t) grafiği

Alternatif akım ve zaman grafiğine ait akım şiddetinin durumu Şekil 2.75'te verilmiştir.



Şekil 2.75: (I-t) grafiğine ait akım şiddetinin durumu

(I-t) grafiği ve (I-t) grafiğine ait akım şiddetinin durumu grafiğinden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler hâlinde verilmiştir.

- Dikdörtgen çerçevenin manyetik alan içinde döndürülmesi sürecinde oluşan alternatif akım, çerçevenin tur sayısı kadar yön değiştirir.
- Dikdörtgen çerçevenin her bir turunda çerçevede iki yönlü alternatif akım oluşur.
- Dikdörtgen çerçevede oluşan alternatif akım şiddeti, her bir periyotluk sürede iki kere en büyük değere ulaşır.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 37

İletken tel çerçevede alternatif akım elde etmek için

Cevap

- I. elektrik alanda döndürme,
- II. manyetik alanda döndürme,
- III. manyetik akısını değiştirme

işlemlerinden hangileri yapılabilir?



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Elektrik enerjisi üretiminde Dünya genelinde enerji kaynakları farklılık gösterse de çoğunlukla akan suların hareket enerjisi kullanılmaktadır. Elde edilen elektrik enerjisinin, ülkelerin şebekelerinde farklı gerilim değerinde olduğu görülmektedir. Örneğin şebeke gerilim değeri Türkiye’de 220 V/50 Hz iken Kostarika’da 120 V/60 Hz’dir.

Ülkelerin şebekelerinde kullandıkları gerilim değerleri ve bu değeri kullanma sebeplerini araştırınız. Sınıfta grup oluşturarak araştırmalarınızı diğer grup veya gruplarla paylaşarak tartışınız.

2.5.2. Alternatif Akım ve Doğru Akımın Karşılaştırılması

Haberleşme, kaplamacılık ve arıtma sistemleri, elektrikli taşıtlar, elektromıknatıslar, radyo, teyp, televizyon gibi elektronik cihazlarda doğru akım kullanılırken kaynak makineleri, buzdolabı, çamaşır makineleri, fırınlar, elektrikli ocaklar alternatif akımla çalışır.

Evlerde kullanıma sunulan elektrik akımı alternatif akımdır. Ancak elektrikli ev aletlerinin birçoğu alternatif akım ile çalışmaya uygun olmadığından alternatif akımın doğru akıma çevrilmesi gerekir. Doğru akımla çalışan elektrikli araçlar, evlerdeki alternatif akım prizlerine takıldığında çalışmalarında bir sorun olmaz. Bunun nedeni doğru akımla çalışan cihazların kendi içlerinde, prizden gelen alternatif akımı doğru akıma

çevirmeleridir. Cep telefonu, taşınabilir bilgisayar ve tablet bataryaları ile şarj edilebilen pillerin doldurulmasında “şarj adaptörü” olarak ifade edilen akım dönüştürücüler kullanılır. Şarj adaptörünün görevi prizden gelen alternatif akımı doğru akıma çevirerek elektrik enerjisinin depolanmasını gerçekleştirmektir.

Alternatif akımın doğru akıma göre elde edilmesi daha kolaydır. Alternatif akımın doğru akıma dönüştürülmesinde enerji kaybı az ve maliyet düşüktür. Ancak doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi, karmaşık işlemler gerektirdiğinden zordur ve enerji kaybı fazladır. Ayrıca alternatif akımın uzak mesafelere iletilmesinde enerji kaybı az olurken doğru akımın iletilmesinde enerji kaybı daha fazla ve iletim maliyeti daha yüksektir.



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

- Alternatif akım ve doğru akım farklı yöntemlerle elde edilmektedir. Alternatif akım ve doğru akımı; özellikleri, uzak mesafelere ulaştırılması sırasındaki enerji kayıpları, maliyetleri ve üretim kolaylıkları bakımından karşılaştırınız.
- Alternatif akım ve doğru akımın bu farklılıkları Edison ve Tesla arasında da fikir ayrılıklarına neden olmuştur. Tarihsel süreçte Edison, doğru akımın özellikle aydınlatma amacıyla kullanımına öncülük ederken Tesla, Edison’un doğru akım kullanımı ile ilgili düşüncelerine katılmayarak alternatif akım kullanımını savunmuştur. Bilimsel bilgilerin deney ve gözlemlerle doğrulanabildikleri düşünüldüğünde Edison ve Tesla’nın alternatif akım ve doğru akım ile ilgili görüş ayrılıklarının nedenini araştırınız.

Alternatif akım elde ediliş yöntemine bağlı olarak şiddeti anlık değişen iki yönlü bir akımdır. Alternatif akım şiddetinin zamana bağlı değişim grafiği Şekil 2.76’da verilmiştir. Grafiğe bakıldığında alternatif akımın iki defa maksimum, iki defa sıfır değeri aldığı görülür. Bu durumda alternatif gerilim uygulanan ve direnç bağlı bir devrede harcanan enerji hesaplanmak istenildiğinde, değeri anlık olarak değişen alternatif akımın hangi değeri kullanılmalıdır? Bu sorunu çözmek için alternatif akımın ortalama değerini kullanmak düşünülebilir ancak bir periyotluk sürede alternatif akım pozitif değer aldığı süre kadar negatif değer alacağından ortalama değeri sıfır olacaktır. Oysa akım değeri sadece bir an için sıfır olmaktadır. Dolayısıyla akımın ortalama değerini almak uygun değildir. Alternatif akımın sürekli değişmesinden kaynaklanan bu durum için kabul gören yöntem, akımın etkin değerini almaktır. **Alternatif akımın etkin değeri**, bir dirençten belirli bir zaman aralığında geçen alternatif akımın açığa çıkardığı ısı enerjisini, aynı sürede açığa çıkaran doğru akımın değeridir.

$$I_{\text{etkin}} = \frac{I_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \text{ bağıntısı ile ifade edilirken}$$

Gerilimin etkin değeri

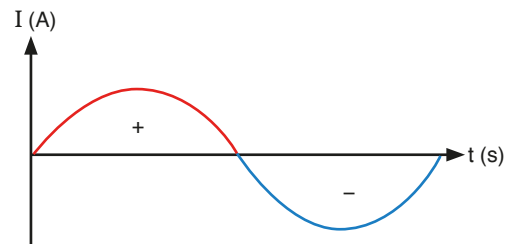
$$V_{\text{etkin}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \text{ bağıntısı ile ifade edilir.}$$

Burada I_e akımın etkin değerini,

I_m akımın maksimum değerini,

V_e gerilimin etkin değerini,

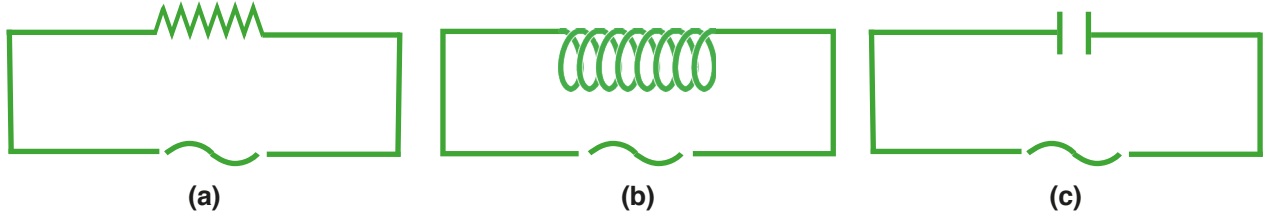
V_m gerilimin maksimum değerini ifade etmektedir.



Şekil 2.76: (I-t) grafiği

2.5.3. Alternatif Akım Devreleri

Alternatif akım devrelerinde devre elemanı olarak tek başına, ikiyeşerli veya birlikte olmak üzere direnç, bobin ve sığaç kullanılabilir. Bobin ya da akım makarası manyetik alanda, sığaç ise elektrik alanda geçici olarak elektrik enerjisi depolamak amacıyla kullanılır. Şekil 2.77’de alternatif uygulanmış devreye sırasıyla bağlanmış direnç (R), bobin (L) ve kondansatör (C) verilmiştir.



Şekil 2.77: Alternatif uygulanmış devrede direnç, bobin ve kondansatör



ETKİNLİK KÖŞESİ



Etkinliğin Adı: Alternatif ve doğru akım

Etkinliğin Amacı: Alternatif ve doğru akım devrelerinde direnç, bobin ve kondansatör davranışlarını incelemek, değerleri kontrol ederek gerçekleşen değişiklikleri gözlemlemek ve yorumlamak

Süre: 40 dk.

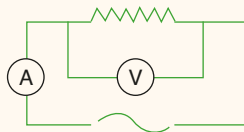
Araç Gereçler: AC ve DC güç kaynağı, 1 kΩ direnç, 100 nF kondansatör, 50 mH bobin, ampermetre, bağlantı kablosu ve yalıtkan eldiven

Yönerge

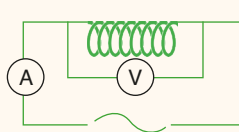
- Etkinliği öğretmen eşliğinde yapınız.
- Yalıtkan eldivenlerinizi etkinlik süresince çıkarmayınız.

1. Adım

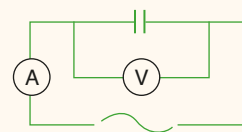
- Sembolik olarak verilen direnç, bobin ve kondansatör devrelerini AC güç kaynağı kapalı olarak Şekil I, Şekil II ve Şekil III’te gösterildiği gibi kurunuz.



Şekil I



Şekil II



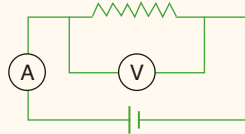
Şekil III

- AC güç kaynağını aşağıdaki tabloda belirtilen değerlere getirerek devreye ait akım ve gerilim değerlerini ilgili bölüme yazınız.

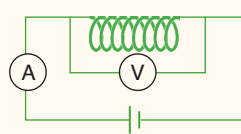
Devre Elemanı	Güç Kaynağı (Hz)	Akımın Maksimum Değeri (A)	Gerilimin Maksimum Değeri (V)
R	60		
	1000		
L	60		
	1000		
C	60		
	1000		

2. Adım

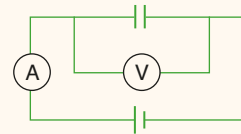
- Sembolik olarak verilen direnç, bobin ve kondansatör devrelerini DC güç kaynağı kapalı olarak Şekil IV, Şekil V ve Şekil VI'da gösterildiği gibi kurunuz.



Şekil IV



Şekil V



Şekil VI

- DC güç kaynağını aşağıdaki tabloda belirtilen değerlere getirerek devreye ait akım ve gerilim değerlerini ilgili bölüme yazınız.

Devre Elemanı	Güç Kaynağı (V)	Akımın Maksimum Değeri (A)	Gerilimin Maksimum Değeri (V)
R	50		
	200		
L	50		
	200		
C	50		
	200		

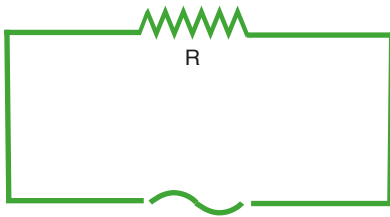
Sonuçlandırma

- Alternatif akıma bağlanan direnç, bobin ve kondansatör davranışlarını; devrede gerçekleşen değişiklikleri yorumlayınız.
- Doğru akıma bağlanan direnç, bobin ve kondansatör davranışlarını; devrede gerçekleşen değişiklikleri yorumlayınız.

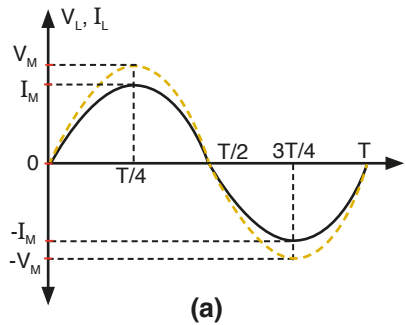
2.5.4. İndüktans, Kapasitans, Rezonans ve Empedans

Alternatif akım uygulanan bir devrede akım ile gerilim arasındaki gecikme faz farkı kavramı ile ifade edilir. Sadece direnç bağlı bir devreye alternatif gerilim uygulandığında akım ile gerilim arasında bir gecikme olmaz. Dolayısıyla akım ve gerilimin her ikisi de aynı anda maksimum ve aynı anda minimum olduğundan akımla gerilim arasında faz farkı oluşmaz. Bobin veya sığaçlı devrelerde akım ve gerilim arasında faz farkı söz konusudur. Akım ve gerilim arasındaki faz farkı fazör diyagramı denilen vektörel gösterim ile yapılır.

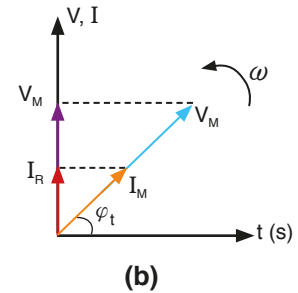
Dirençli Devre: Şekil 2.78'de alternatif akım uygulanmış direnç devresi verilmiştir. Dirençli devrede akım ve gerilim arasında faz farkı olmadığından V_M ve I_M fazörleri aynı yönlü olup saatin tersi yönünde açısal hızı ile döner. Şekil 2.79'da alternatif akım uygulanmış direnç devresine ait (V_L, I_L-t) grafiği ve $(V, I-t)$ fazör diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.78: Alternatif akım uygulanmış direnç devresi

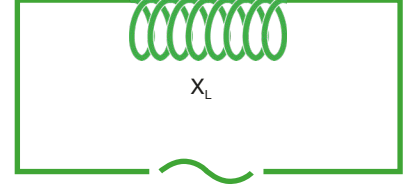


Şekil 2.79: (V_L, I_L-t) grafiği ve fazör diyagramı



V_m ve I_m fazörlerinin düşey eksen üzerine iz düşümleri, direnç üzerindeki anlık gerilim (V_R) ve akım (I_R) değerlerinin büyüklüğünü ifade eder. Grafikler incelendiğinde akım ile gerilimin aynı anda maksimum ve minimum değerler aldıkları ve kendi aralarında eş zamanlı bir değişim gösterdikleri görülür. Alternatif akım uygulanan ve sadece direncin bulunduğu devrede direnç, alternatif akımın frekans değişiminden etkilenmez.

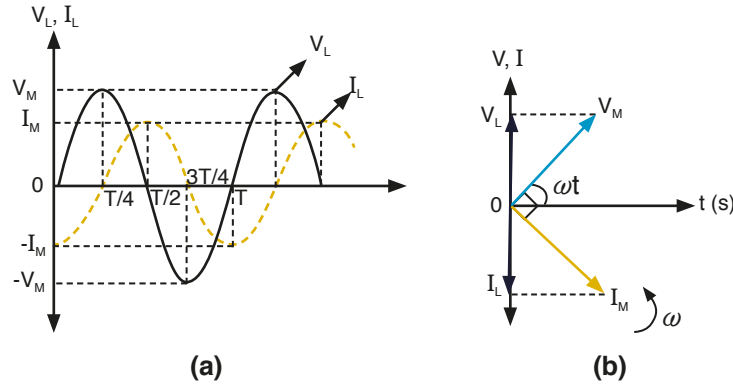
Bobinli Devre: Devredeki bobinin alternatif akımdaki değişime karşı koymasının ölçüsüne **indüktans** denir. L ile gösterilir ve bobinin geometrik özelliklerine bağlı bir nicelik. Indüktansın SI' da birimi **Henry** (Henri) 'dir, H ile gösterilir. Şekil 2.80'de alternatif akım uygulanmış bir bobin devresi verilmiştir. Bobinin alternatif akıma karşı gösterdiği dirence **indüktif reaktans** denir X_L sembolü ile gösterilir. $X_L = \omega L$ 'dir. SI'da birimi ohm'dur.



Şekil 2.80: Alternatif akım uygulanmış bobin devresi

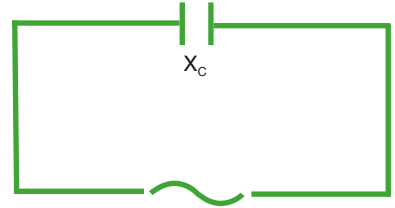
Bobinli devrede gerilim fazörü akım fazöründen 90° öndedir. V_m ve I_m fazörleri açısal hız ile saatin tersi yönünde dönmektedirler.

Şekil 2.81'de alternatif akım uygulanmış bobin devresine ait (V_R , I_R -t) grafiği ve (V , I -t) fazör diyagramı verilmiştir. Bobin üzerindeki gerilimin (V_m) ve akımın (I_m) anlık değerleri düşey eksen üzerindeki V_L ve I_L değerleri ile ifade edilir. Bobinin direnci alternatif akımın frekansı ile doğru orantılıdır.



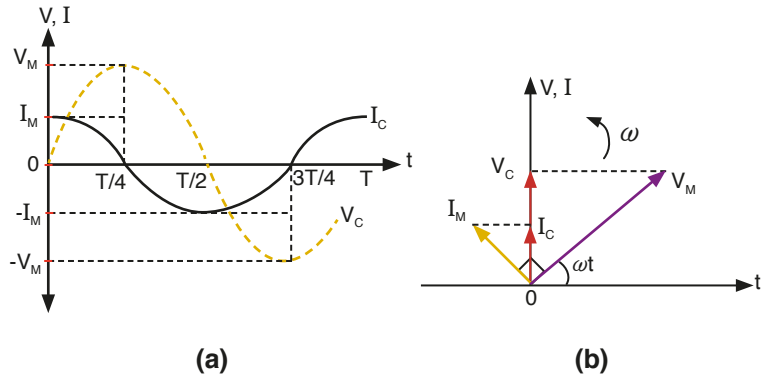
Şekil 2.81: (V_R , I_R -t) grafiği ve fazör diyagramı

Kondansatörlü Devre: Devredeki kondansatörün alternatif akıma karşı gösterdiği dirence **kapasitif reaktans** denir. X_C sembolüyle gösterilir $X_C = \frac{1}{\omega C}$ 'dir. SI'da birimi ohm'dur. Burada C kondansatörün sığası olup birimi farad'dır. Şekil 2.82'de alternatif akım uygulanmış kondansatör devresi verilmiştir.



Şekil 2.82: Alternatif akım uygulanmış bobin devresi

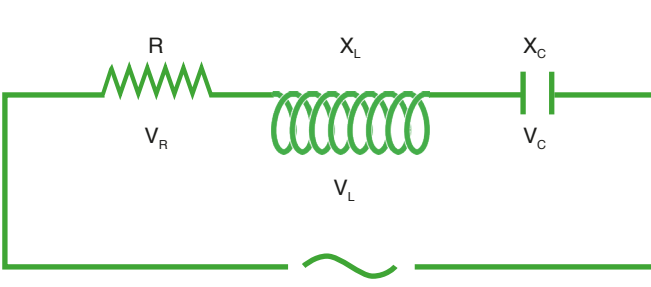
Sığaçlı devrede akım fazörü gerilim fazöründen 90° önde olduğundan fazörler arasında 90° açı vardır. V_m ve I_m fazörleri açısal hız ile saatin tersi yönünde dönmektedir. Şekil 2.83'te alternatif akım uygulanmış bobin devresine ait (V_R , I_R -t) grafiği ve (V , I -t) fazör diyagramı verilmiştir. Bobin üzerindeki gerilimin (V_m) ve akımın (I_m) anlık değerleri düşey eksen üzerindeki V_C ve I_C değerleri ile ifade edilir. Kondansatörün direnci alternatif akımın frekansı ile ters orantılıdır.



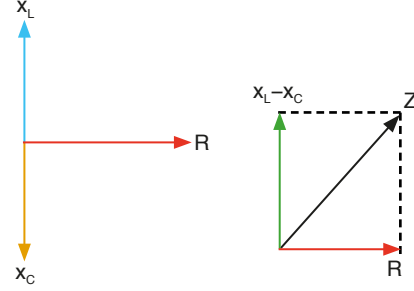
Şekil 2.83: (V_R , I_R -t) grafiği ve fazör diyagramı

Direnç, Bobin ve Sığaçlı Devre (RLC): Direnç, bobin ve kondansatör gibi elemanların, çeşitli şekilde bağlantılarında alternatif akıma karşı gösterilen eşdeğer dirence **empedans** adı verilir. **Z** sembolüyle gösterilir ve birimi ohm'dur. Ohm Yasası'ndaki R direnci yerine Z empedans değeri konularak, alternatif akım devrelerinde Ohm Yasası kullanılabilir.

Şekil 2.84'te alternatif akım uygulanmış RLC devresi verilmiştir. Devredeki direnç, bobin ve sığacın fazör diyagramlarını dikkate alarak devre elemanlarının her birinin alternatif akıma karşı gösterdikleri direncin geometrik gösterimi Şekil 2.85'teki gibi olacaktır.



Şekil 2.84: Alternatif akım uygulanmış RLC devresi



Şekil 2.85: RLC devresinin empedansı

Direnç, bobin ve sığaç bağlı bir devreye alternatif akım uygulandığında bobinin ve sığacın alternatif akıma karşı gösterecekleri zorluk, direncin göstereceği zorluktan farklıdır. Alternatif akım devresinde devrenin indüktif reaktans değerinin kapasitif reaktans değerine eşit olduğu duruma **rezonans durumu** denir. Bir RLC devresi rezonans durumunda iken $X_L = X_C$ olacağından devrenin empedansı minimum olup $Z = R$ olacaktır. RLC devresi rezonans durumunda iken devreden geçen akım maksimum değerde olur. Otomobil, televizyon, kapı gibi uzaktan kumanda sistemlerinde, kumanda devrelerinin ürettiği manyetik bilgi uzaktaki başka bir devre sistemi ile rezonansa girerek anahtar görevi yapar. Rezonans durumundaki devrede akıma karşı gösterilen zorluk sadece dirençten kaynaklanır. Her iletken, akıma karşı az da olsa bir direnç gösterir. İletkenin fiziksel özelliklerinden kaynaklanan saf direncine **ohmik direnç** denir. Bobin ve kondansatör alternatif akıma karşı iki farklı direnç etkisi gösterir. Bobin ve kondansatörden oluşan alternatif akım devresi rezonans durumunda iken indüktif ve kapasitif reaktans etkisi sıfır olsa da hem bobin hem de kondansatör akıma karşı ohmik bir direnç gösterir. Bobin ve kondansatörün yapıldığı maddenin fiziksel özelliklerine bağlı olan saf dirençlerine de ohmik direnç denir. Örneğin bobinin geometrik yapısından kaynaklanan direnç (indüktif reaktans, X_L) iken bobinin yapıldığı iletken telden kaynaklanan direnci R'dir.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 38

Aşağıda noktalı olarak boş bırakılan yerlere uygun kelimeleri yazınız.

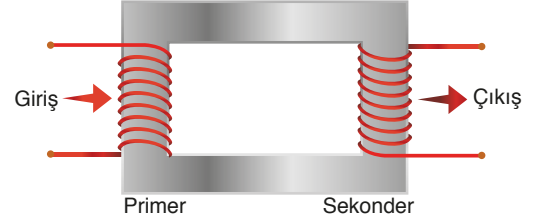
Bobinin ve kondansatörün alternatif akıma karşı gösterdiği direnç değerine sırasıyla denir. Bu direnç değerleri farklı olabildiği gibi eşit de olabilir. Bobinin ve kondansatörün alternatif akıma karşı gösterdiği direnç değerlerinin olma durumuna rezonans denir. Bobin ve kondansatörden oluşmuş bir devrenin alternatif akıma gösterdiği eşdeğer dirence ise denir.

2.6. Transformatörler

Elektrik üretim santrallerinden uzak mesafelere elektrik enerjisinin taşınması sırasında alternatif akımının gerilim değerini alçaltıp yükselten devre elemanına trafo ya da transformatör denir. Transformatörler, alternatif akımın frekans değeri korunarak akım ve gerilim değerlerinde değişiklik yapmak için kullanılan devre elemanıdır.

2.6.1. Tranformatörlerin Çalışma Prensibi

Şekil 2.86’da bir transformatör modeli verilmiştir. Alternatif gerilimin uygulandığı transformatörler, metal plakalardan elde edilmiş iki kol ve bu kollarındaki iletken tel sarımlarından oluşur. Alternatif akım kaynağına bağlanan ve kaynak geriliminin uygulandığı birinci bobine **primer** (giriş), elektrik enerjisinin farklı gerilimde alındığı ikinci bobine ise **sekonder** (çıkış) adı verilir.



Şekil 2.86: Transformatör modeli



ETKİNLİK KÖŞESİ

Etkinliğin Adı: Transformatör

Etkinliğin Amacı: Transformatörlerin çalışma ilkesine yönelik çıkarımda bulunmak, sarımları için gerilim, akım şiddeti ve güç kavramlarını açıklamak

Süre: 40 dk.

Araç Gereçler: Genel Ağ bağlantılı bilgisayar, kâğıt ve kalem

Yönerge

- Faraday Elektromanyetik Lab. konulu simülasyona ulaşmak için kitabınızı pdf dosya üzerinden açınız ve ekran görüntüsüne tıklayınız.



- Bilgisayarınızda java oynatıcı yüklü değilse aşağıdaki ekran görüntüsüne tıklayarak yükleyiniz.



- Simülasyon ekranının üst kısmında bulunan “Transformatör” sayfasını seçiniz.
- Pilin ve lambanın bağlı olduğu halkalardan geçen akımın akış hızını gözlemleyiniz.
- Simülasyon ekranının sağ tarafındaki “Elektromıknatıs” bölümünde bulunan “Akım kaynağı”nı AC olarak değiştiriniz ve meydana gelen değişimleri gözlemleyiniz.
- “Alternatif Akım Güç Kaynağı” göstergesini fare yardımıyla lambanın bulunduğu halkaya içinden geçirmeyecek şekilde yaklaştırınız.
- “Alternatif Akım Güç Kaynağı” göstergesinin sağ tarafındaki sürgüyü kullanarak gerilimi, önce “Elektromıknatıs” bölümünden “Sarımlar” göstergesinde, sonra “Sarımı Ayarla” bölümünden “Sarımlar” göstergesinde aşağı yukarı oklarını kullanarak aşağıdaki tabloda istenen değerleri sağlayınız.

- Sağladığınız değerlere karşılık meydana gelen değişimi tablodaki ilgili bölüme not ediniz.

Gerilim (v)	“Elektromıknatıs” Sarımlar	“Sarımlı Ayarla” Sarımlar	Değişimler

Sonuçlandırma

- Lamba hangi akım kaynağı ile ışık vermektedir?
- Lambanın ışık vermesini sağlayan büyüklük nedir?
- Bobinler üzerinden geçen akım şiddetini sağlayan büyüklük nedir?
- Lamba üzerindeki ışık şiddetini artıran ya da azaltan büyüklük nedir?

Transformatörlerde, birinci bobindeki alternatif gerilim, birinci bobin üzerinde alternatif akım oluşturur. Bu da birinci bobin içerisinde yönü ve şiddeti sürekli değişen bir manyetik alan meydana getirir. Bobinlerin sarıllı olduğu demir gibi ferromanyetik malzemeler, değişen manyetik alanı ikinci bobine iletir. İkinci bobin içerisinde değişen manyetik alan, ikinci sarım üzerinde giriş gerilimi ile aynı frekansta alternatif gerilim ve akım oluşturur. Böylelikle enerji, istenen ölçülere oldukça yakın değerlerde taşınır. Transformatördeki primer ve sekonder arasındaki enerji transferi, sarımlarının üzerindeki enerjiye bağlıdır. Primer sarımın sağladığı enerji miktarı sekonder sarımın aldığı enerjiye eşitse burada ideal bir transformatör söz konusudur. İdeal olmayan transformatörlerde ise sarımlardaki dirençten dolayı oluşan ısınmadan kaynaklı enerji kayıpları olur. Tablo 2.12’de transformatörün görünür güçlerine göre ortalama verimleri verilmiştir.

Tablo 2.12: Transformatörün Güçlerine Göre Ortalama Verimleri

Çıkış Gücü	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
Ortalama Verim	92	95,3	95,8	96,2	96,7	97,3	97,7	98,1	98,5

Tablo incelendiğinde transformatörün gücü büyüdükçe ortalama veriminin de arttığı sonucuna varılır.

2.6.2. Transformatörlerin Kullanım Amaçları

Elektrik santralleri, kullanılan yakıta yakın yerlerde tesis edildikleri için çoğu zaman tüketim merkezlerine uzakta bulunur. Bu sebepten elektrik enerjisinin üretildiği yerden uzak bölgelere iletilebilmesi gerekmektedir. Elektrik üretim santrallerinde elde edilen alternatif akımın uzak bölgelere taşınması için kullanılan iletken tellerde dirençlerinden dolayı enerji kaybı olur. Bu sebeple elektrik enerjisinin iletimi için kullanılan malzemelerde gerilimin yüksek, akımın düşük olması gerekmektedir. Santrallerde üretilen alternatif akımın gerilim değeri (0,4), (3,3), (6,3), (10,6), (13), (14,7), (15,8) ve (35) kV’tur. Bu düşük değerlerdeki gerilimlerin uzak yerlerdeki tüketim merkezlerine iletilmesi için yükseltilmesi gerekir. Alternatif akımın gerilim değerinin yükseltilmesi transformatörlerle yapılmaktadır. Bu gerilim değerlerinin tüketim merkezlerinde kullanma gerilimi olarak 220 voltluk alçak gerilim değerine düşürülmesi transformatörlerle sağlanmaktadır. Elektrik enerjisinin iletilmesi ve dağıtılması için gerilim değerlerinin değiştirilmesinde transformatörlerin önemi büyüktür. Transformatörler gerilimi yükseltmek için kullanıldıkları gibi düşürmek için de kullanılır. Santral çıkışında yükseltici, tüketim merkezlerinde ise düşürücü olarak kullanılır.



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Alternatörlerden (dalgalı akım üretici) alınan elektrik enerjisinin çok uzak yerlere ulaştırılması sırasında nakil hatlarında ısı kayıplarını azaltmak için hatlardaki akım şiddetinin çok küçük, dolayısıyla gerilimin çok büyük olması gerekmektedir. Böyle bir düzen ile alternatörden alınan 220 V gerilim 20 kat artırılır, kullanılacak yere ulaştığında tekrar 220 volta düşürülerek kullanım kolaylığı sağlanmış olur. Şehirlerde kullanılan akımın alternatif olmasının en önemli sebebi, az kayıp ile dağıtılabilmesidir. Elektrik enerjisinin doğru akım ile uzaklara iletilmesi ve bir şehre dağıtması, her yerde aynı potansiyel farkı sağlanamadığından yapılamaz. Bunlardan başka transformatörler fabrikalarda, hastanelerde, laboratuvarlarda çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Sizler de transformatörlerin kullanıldığı diğer yerleri araştırınız.



ÇALIŞMA KÖŞESİ 39

“Değişken manyetik alanın etkisinde kalan iletkenlerde indüksiyon yolu ile emk meydana gelir.”

Bu prensibe göre çalışan ve hareketli parçası olmayan makine

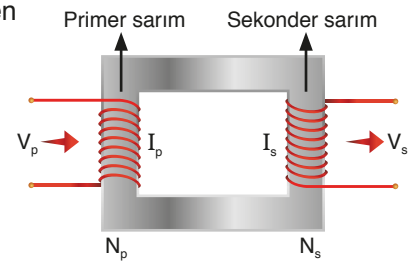
- I. Motor
- II. Akü
- III. Transformatör

verilen devre elemanlarından hangisidir?

2.6.3. Transformatörlerle İlgili Hesaplamalar

Şekil 2.87’de bir transformatörün primer ve sekonder sarımları üzerinden geçen akımları ve gerilimleri verilmiştir. Burada

- N_p : primer sarım sayısını,
- N_s : sekonder sarım sayısını,
- V_p : primer gerilimini,
- V_s : sekonder gerilimini,
- I_p : primer sarımlarındaki akımı,
- I_s : sekonder sarımlarındaki akımı ifade etmektedir.



Şekil 2.87: Transformatör devresi

Transformatörler alternatif akımla çalıştığı için alternatif geriliminin frekansı değiştirilemez. Dolayısıyla yalnız primer ve sekonder devrelerdeki akım ve gerilim değiştirilebilir. Transformatörün akım, gerilim ve sarım sayıları arasındaki ilişki

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \text{ şeklindedir.}$$

Akım, gerilim ve sarım sayıları arasındaki ilişkiyi gösteren eşitlikten, sekonder sarım sayısı primer sarım sayısından fazla ise gerilimi yükselten, sekonder sarım sayısı primer sarım sayısından az ise gerilimi alçaltan bir özellik taşıdığı anlaşılır. Transformatörün yükseltici ya da alçaltıcı olma durumu değiştirme oranıyla anlaşılır.

Değiştirme oranı sekonder devresinin sarım sayısının, primer devresinin sarım sayısına oranıdır. Değiştirme oranı

$\frac{N_s}{N_p}$ şeklinde gösterilir. Transformatörlerin primer ve sekonder devrelerindeki güç için

$P = V \cdot I$ eşitliğinden yararlanılarak

primer devresinin gücü $P_p = V_p \cdot I_p$

sekonder devresinin gücü $P_s = V_s \cdot I_s$ bağıntılarıyla hesaplanır.

Primer devresinin gücünün sekonder devresinin gücüne eşit olduğu bir transformatör, ideal bir transformatördür. İdeal bir transformatör için yazılacak primer ve sekonder devreleri arasındaki güç eşitliği

$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$ şeklindedir.

Bu eşitlik aynı zamanda bir transformatörün veriminin ölçüsüdür. Bir transformatörün yüzde olarak verimi; alınan (sekonder devresi) enerjinin, verilen (primer devresi) enerjiye oranı ile hesaplanır. Buna göre

Verim (η) = $\frac{P_{\text{alınan}}}{P_{\text{verilen}}} = \frac{I_s \cdot V_s}{I_p \cdot V_p}$ eşitliği ile bulunur.

Örnek: Primer sarım sayısı 300, sekonder sarım sayısı 200 olan ideal bir transformatörün çıkış gerilimin maksimum değeri 50 V olduğuna göre giriş geriliminin maksimum değeri kaç V'tur?

Çözüm: Transformatörde sarım sayıları ve gerilimleri arasındaki ilişki

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \text{ eşitliğinden yararlanılarak}$$

$$\frac{V_p}{50} = \frac{300}{200}$$

$V_p = 75 \text{ V}$ bulunur.

Örnek: Primer sarımlarındaki akım şiddeti 2 A olan transformatöre 100 V giriş gerilimi uygulandığında sekonder sarımlarındaki gerilim 34 V, akım 5 A olmaktadır. **Buna göre transformatörün verimi % kaçtır?**

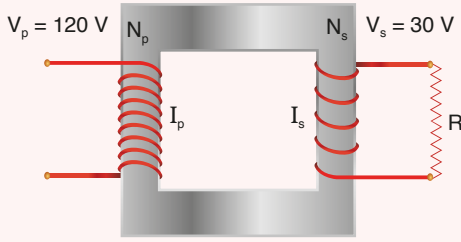
Çözüm: Transformatörde verim (η) = $\frac{I_s \cdot V_s}{I_p \cdot V_p}$ eşitliği ile bulunur. Buradan

$$\text{Verim} = \frac{5 \cdot 34}{2 \cdot 100} = \frac{85}{100} = \%85 \text{ bulunur.}$$



ÇALIŞMA KÖŞESİ 40

- A) %90 verimle çalışan şekildeki transformatörün primer sarımlarına etkin değeri 120 V olan gerilim uygulandığında sekonder sarımlarındaki gerilim 30 V, primer sarımlarındaki akımın etkin değeri 2 A olmaktadır.



Buna göre transformatörün sekonder sarımlarındaki akımın etkin değeri kaç A'dır?

- B) İdeal bir transformatörün primer devresi 400, sekonder devresi 1200 sarımlıdır.

Primer devresine 12 V alternatif gerilim uygulanırsa sekonder devresinden kaç V gerilim alınır?

Cevap

Cevap

2.6.4. Enerji Transferlerinde Güç Kaybı

Elektrik transferleri için yapılan yatırımların iyi analiz edilmiş projelere dayalı olması, bütçeden alacağı pay ve ülke ekonomisine katkısı açısından büyük önem taşımaktadır. Güç kaybının üretim ve tüketim zincirinin en zayıf halkasının dağıtım şebekeleri olduğu görülmektedir. Plansız bir gelişme gösteren şebekeler genel olarak 380 kV sistemiyle elektrik enerjisi üreten güçlü santrallerden 150 kV-154 kV'tan beslenmektedir. Bu durum şebekelerin dağıtım ve dağıtımın dönüşümü için ara transformatörler kullanmasını gerektirmektedir. Kullanılan ara transformatörlerin sayısı düşünüldüğünde bu sistemlerin devreden çıkarılması ülke ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır. Bu da enerjiyi kullanan bölgelere yakın üretim tesislerinin kurulmasıyla ve doğrudan 380/34,5 kV dönüşümünün yapılmasıyla mümkün olabilir.

Bunun yanında enerji dağıtım hatları ve kablolarında da enerji/güç kayıpları olmaktadır. Geniş arazilere sahip ancak enerji ihtiyacı az olan bir ülkede çok sayıda direğe bağlı uzun hatların kullanılması büyük ölçüde enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bunun yerine kullanıcısına yakın trafodan beslenen kısa hatların tercih edilmesi de ülke ekonomisine katkıda bulunacaktır.



ARAŞTIRMA KÖŞESİ

Enerji Transferlerinde Güç Kaybını Azaltmaya Yönelik Proje Tasarımı

Amaç	Enerji transferlerinde güç kaybını azaltacak projeler tasarlamak
Süre	2 hafta
Beklenen Performans	Araştırma, kavrama, analiz edebilme, yaratıcı düşünme, etkili iletişim, iş birliği
Değerlendirme	Araştırma sonucu elde edilen bilgileri analiz edebilme, ürün tasarlama, tasarımla ilgili sunum yapma, tasarım sürecini rapor hâline getirebilme
Ölçüt Kategorileri	Dereceli puanlama anahtarı

Enerjinin üretim santralinden kullanıcıya ulaşmasıyla kullanıcının bu enerjiyi tüketim biçimi, kaçak elektrik kullanımı, iklim farklılıkları gibi nedenler enerji kayıplarına sebep olan unsurlardan bazılarıdır. Enerji kaybı ile ilgili hazırlanan ve uygulanan projeler ülke ekonomisine katkı sağlamaktadır ve bu projelere gün geçtikçe daha da ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu amaçla sizler de enerji transferlerinde güç kaybını azaltmaya yönelik bir proje tasarlayınız. Tasarladığınız projeye ilgili bir sunum hazırlayıp sınıfınızda arkadaşlarınızla paylaşınız. Sunum sonrası, tasarım sürecinizi bir rapor hâline getirip raporunuzu belirlenen tarihte öğretmeninize teslim ediniz. Projenizi, ilgili kurumlarla paylaşarak ülke ekonomisine katkı sağlayabileceğinizi unutmayınız.

Aşağıda çalışmanızın planlamasında sizlere yardımcı olabilecek birtakım öneriler yer almaktadır. Bu önerileri takip etmeniz, proje tasarım sürecinizi kolaylaştıracaktır.

1. Sınıf mevcuduna göre dörder ve beşer kişilik gruplar oluşturunuz.
2. Çalışmanız dört ana aşamadan meydana gelmektedir: araştırma, ürün tasarımı, sunum ve raporlama. Yapacağınız tasarımla ilgili herkesin her aşamada eşit şekilde görev alacağı bir görev paylaşımı yapınız.
3. Araştırma aşamasında en az üç kaynaktan (Genel Ağ, kitap, dergi vb.) bilgi toplayınız.
4. Araştırma sürecinde topladığınız bilgileri paylaşarak tartışmak amacıyla toplantı günleri ve saatleri belirleyiniz. Bu çalışmalar sonucunda alınacak ortak kararla tasarlayacağınız ürünü kararlaştırınız.
5. Tasarımınızın yaratıcı, özgün ve günlük hayatta kullanılabilecek işlevsel bir ürün olması gerekmektedir. Bu ölçütleri göz önünde bulundurarak ürününüzü tasarlayınız ve zamanınızı verimli kullanmaya özen gösteriniz.
6. Tasarım sürecinizi sınıftaki arkadaşlarınızla paylaşacağınız bir sunu hazırlayınız.
7. Rapor hazırlama sürecinde, tasarım sürecine ait bütün başlıklara yer vererek tasarım sürecini özetleyiniz ve raporunuzu zamanında teslim ediniz.

Proje tasarımınız aşağıdaki dereceli puanlama anahtarına göre değerlendirilecektir.

Puanlama Anahtarı				
Ölçüt Kategorileri	Ölçütler	3 Beklenen Seviyenin Üstünde	2 Beklenen Seviyede	1 Beklenen Seviyenin Altında
Araştırma Yapma	1. En az üç kaynaktan yararlanılmıştır.			
	2. Olabildiğince farklı türde kaynaklardan yararlanılmıştır (Genel Ağ, kitap, dergi vs.).			
	3. Araştırmada toplanan bilgiler konuyla ilişkilidir.			
Ürün Tasarlama	1. Enerji transferlerinde güç kaybını azaltacak bir proje hazırlanmıştır.			
	2. Günlük hayatta kullanılabilecek işlevsel bir ürün tasarlanmıştır.			
	3. Tasarlanan ürün yaratıcıdır.			
	4. Tasarlanan ürün özgündür.			
	5. Ürün tasarımı belirlenen süre içerisinde bitirilmiştir.			
Grup Çalışması	1. Grup üyeleri sorumluluklarını eksiksiz yerine getirmiştir.			
	2. Grup üyeleri çalışmalarını işbirlikli bir şekilde yürütmüştür.			
Sunum	1. Ürün tasarımı sürecinin tamamına yönelik başlıklara sunumda yer verilmiştir (araştırma, bilgilerin analizi, ürün tasarımı vb.).			
	2. Tasarım süreci açık ve anlaşılır bir şekilde ifade edilmiştir.			
Rapor Hazırlama	1. Raporda ürün tasarımının tamamıyla ilgili başlıklara yer verilmiştir.			
	2. Tasarım süreci anlaşılır bir şekilde özetlenmiştir.			
	3. Yazım ve imlâ kurallarına dikkat edilmiştir.			
	4. Ürün tasarımı ve raporlama için verilen süre etkili kullanılmış ve rapor belirlenen tarihte teslim edilmiştir.			

2. Ünite Ölçme ve Değerlendirme

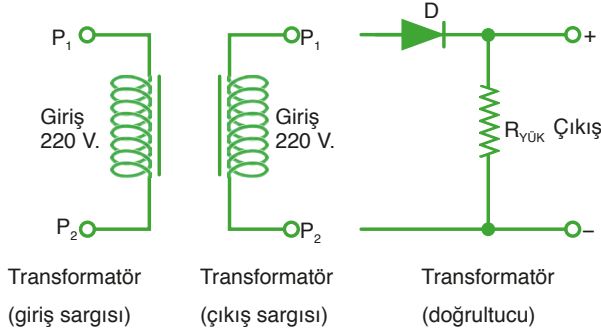
- 1 ile 12 arasındaki soruların doğru ya da yanlış olduklarını boş bırakılan kutucuklara doğruysa D, yanlışsa Y olduğunu belirterek cevabınızın nedenini yazınız.
- 13 ile 39 arasındaki açık uçlu soruların cevabını ilgili alana yazınız.
- 40 ile 67 arasındaki çoktan seçmeli soruları okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

D	Y	
		1. Elektrik yüklü iki cisim birbirine eşit büyüklükte kuvvet uygular.
		2. Elektrik yüklü cisimlerin birbirine uyguladığı kuvvet ortamdan bağımsızdır.
		3. Pozitif yüklü iki cisim birbirine yaklaştırılırsa elektriksel potansiyel enerjileri artar.
		4. Alternatif akımla aydınlatma yapılamaz.
		5. Bir sıgacın sığa değeri levhalarının yüzey alanı ile doğru orantılıdır.
		6. Elektrik motorları hem doğru akım hem de alternatif akımla çalışabilir.
		7. Paralel iki telden aynı yönlü akım geçiyorsa teller birbirini iter.
		8. Dinomalar hem doğru akım hem de alternatif akım üretebilirler.
		9. Alternatif akımla cep telefonu şarj edilebilir.
		10. Bobin üzerinden geçen akımın yönü veya büyüklüğü değişirse öz-indüksiyon akımı oluşur.
		11. Manyetik ve elektrik alan içindeki hareketli parçacığa Lorentz kuvveti etki eder.
		12. Transformatörler yalnızca gerilim değiştirmek için kullanılır.

13.



Kablosuz şarj özelliği olan telefonlar elektro-manyetik indüksiyon akımı ile şarj yöntemini kullanmaktadır. Şarj ünitesindeki telden geçen akım, telin etrafında dairesel bir manyetik alan oluşturur. Eğer bu tel bir bobine dolanırsa oluşan manyetik alan güçlenip büyür. Telefondaki bobin ise değişken manyetik alandan etkilenerek indüksiyon akımı üretir. Oluşan indüksiyon akımı doğrultucu devrede doğru akıma dönüştürülüp uygun gerilim değerine filtre edilir. Böylece telefonun pili şarj olur. Bu olayda kullanılan devre elemanlarının devredeki gösterimleri ise şu şekildedir.



a) Şarj sisteminin telefon tarafında neden akımı doğrultucu devre kullanılmaktadır?

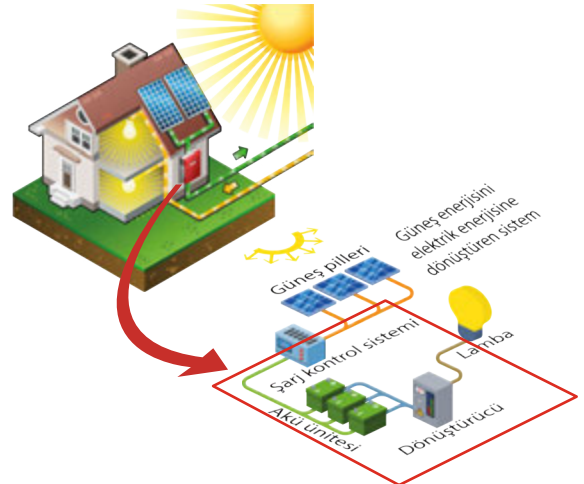
b) Şarj ünitesi ve telefon tarafındaki devre elemanlarının sembollerini çizerek devreyi gösteriniz.

c) Kablolu şarj ünitesine göre bu yöntemin avantaj ve dezavantajlarını belirtiniz.

14. Güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisinin bir kısmı ev ihtiyaçları için kullanılıp fazlası elektrik kurumuna satılabilmektedir. Bunu teşvik eden yasal düzenlemeler yapılarak enerji üretimindeki yenilenebilir enerjinin payı artırılmak istenmektedir.

Güneş, yeryüzüne her 1 m²'ye yaklaşık 1kw gücünde ışınım sağlar. Güncel teknolojiyle bu ışınımın az bir kısmı elektrik enerjisine dönüşmektedir. Panel verimleri % 20 civarındadır yani yüz birim ışınım enerjisinin yaklaşık 20 birimi elektrik enerjisine dönüşür. Bilim insanları bu verimi yükseltmek ve panel maliyetlerini düşürmek için çalışmaktadırlar. Bir evin tüm elektrik enerjisini güneşten elde etmesi için gereken kurulum maliyeti henüz hidroelektrik ve termik santrallerde üretilen elektriğe kıyasla pahalıya gelmektedir. Mevcut elektrik tesisatına güneş paneli eklenerek bireysel olarak tasarruf sağlanırken daha önemlisi fosil yakıtları daha az kullanarak çevre baskısı hafifletilebilir. Güneş panellerindeki özel kristaller elektro-manyetik enerjiyi doğru akım şeklinde elektrik enerjisine dönüştürür. Her bir güneş hücresi seri ve paralel bağlantılar yapılarak büyük panellere dönüştürülür. Panellerden sağlanan doğru akım ile aküler şarj edilir. Akülerin gereğinden fazla şarjını engellemek için bir regülatör kullanılır. Panellerden ya da akülerden elde edilen doğru akım invertör denilen devre elemanı ile alternatif akıma dönüştürülür. Bu şekilde elde edilen enerji evde kullanılır veya şehrin elektrik şebekesine verilerek gelir elde edilir.

Bir evde kurulu olan güneş enerji sisteminin düzeneği yönlendirme oku ile gösterilmiştir.

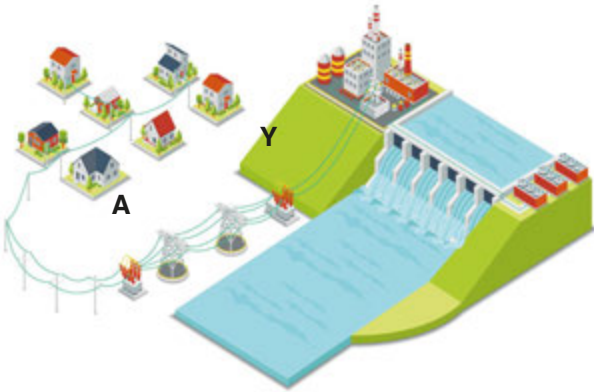


Ölçme ve Değerlendirme

- a) Sistem akü kullanmadan da yapılabilir mi? Akülü sisteme göre hangi farklar oluşur?
- b) Elektrik aboneleri konut veya iş yerlerine güneş paneli sistemi kurmak için neden yasal teşviklerden yararlanmak istemektedir?
- c) Elektrik üretiminde güneş ve fosil kaynaklarını maliyet ve çevre etkileri açısından karşılaştırınız.
- ç) Güneş enerjisi sistemlerindeki bileşenlerin gelecekte daha verimli ve daha ucuz olmalarının ne gibi faydaları olabilir?

Ölçme ve Değerlendirme

15.



Şehirlerde kullanılan elektrik genellikle yüzlerce km uzaktaki hidroelektrik, termik, nükleer vb. kaynaklarda üretilip taşınır. Bir iletken den elektrik akımı geçerken ısı enerjisi oluşur. Bu durum elektriği taşıırken bir kısmını kaybetmek anlamına gelir. Kaybın (ısı enerjisinin) büyüklüğü,

telin direnci ve akım şiddetinin karesi ile doğru orantılıdır. Direnci ve akım şiddetini azaltmak kaybı da azaltır.

Direnci azaltmak için gerekenler az dirençli bir metal seçmek ve kablo kesitini artırmaktır. İletken telin boyunu kısa tutmak iyidir ancak iki şehri birbirine yaklaştırmak mümkün değildir. Teli kalınlaştırmanın da başka ekonomik zorlukları vardır.

Taşınan enerji arttıkça akım şiddetinin de artması gerekir. Neyse ki akımı azaltmanın bir yolu var. Transformatörler burada devreye girer. Barajda üretilen elektriğin gerilim değeri yükseltilerek akım değeri düşürülür, enerji aynıdır. Görselde “Y” ile gösterilen yükseltici transformatör potansiyeli 160 000 V değerine yükselttiğinde, akım da aynı oranda azalmış olur. Kayıptan olabildiğince kurtarılan enerji yüzlerce km ötedeki “A” transformatöründe kademeli olarak şehir gerilimine düşürülerek konut ve iş yerlerine dağıtılır.

- a) Yüksek gerilim elektrik hatları ne amaçla yapılmıştır?

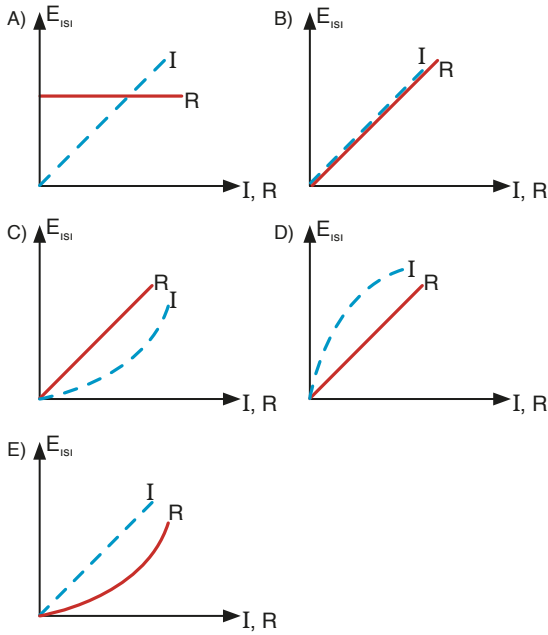
- b) Transformatörler elektriğin hangi özelliklerini değiştirir?

- c) İletkenden akım geçerken oluşan ısı enerjisi nelere bağlıdır?

- ç) Bir iletkenin direncini etkileyen faktörler nelerdir?

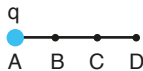
d) Elektrik enerjisinin tüketildiği noktalara daha az kayıpla ulaştırılması için başka hangi metotlar uygulanabilir? Alternatif yöntem öneriniz.

e) Aşağıdaki grafiklerden hangisinde iletkende oluşan ısı enerjisi ile akım şiddeti ve direnç değerleri arasındaki grafik doğru verilmiştir?



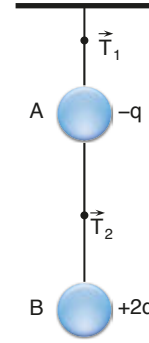
16. Hava ortamında q_1 ve q_2 yüklerinin birbirine uyguladığı elektriksel kuvvet $\vec{F}$ 'dir. Bu yükler aralarındaki uzaklık değiştirilmeden su ortamına konulduklarında $\vec{F}$ kuvveti nasıl etkilenir?

17. A noktasına noktasal bir q yükü konulmuştur. Bu yükün B noktasındaki elektrik alanı 36 N/C ve noktalar arası uzaklıklar eşit olduğuna göre



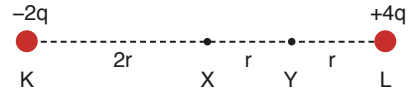
C ve D noktasındaki elektrik alanlarının büyüklüğü kaç N/C'tur?

18. Yükleri $-q$ ve $+2q$ olan özdeş A ve B küreleri şekildeki gibi dengedeyken ipteki gerilme kuvvetleri $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ dir.



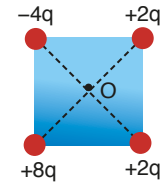
A ve B yükleri kendi aralarında yer değiştirdiklerinde T_1 ve T_2 gerilme kuvvetleri nasıl değişir?

19. K ve L noktalarına yerleştirilen $-2q$ ve $+4q$ yüklerinin X noktasındaki potansiyeli V_X , Y noktasındaki potansiyeli V_Y 'dir.



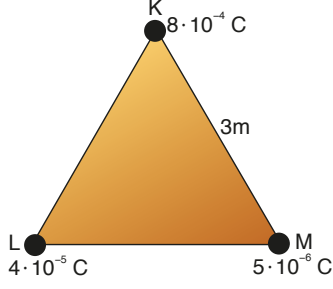
Buna göre V_X/V_Y oranı kaçtır?

20. Kenarı d olan şekildeki karenin köşelerine $+2q$, $+2q$, $-4q$ ve $+8q$ yükleri yerleştirilmektedir.



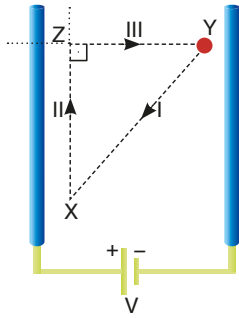
$+2q$ yükünün O noktasında oluşturduğu elektrik alanın büyüklüğü E olduğuna göre O noktasındaki bileşke elektrik alan büyüklüğü kaç E'dir?

21. Bir kenarı 3 m olan KLM eşkenar üçgeninin köşelerine $8 \cdot 10^{-4} \text{ C}$, $4 \cdot 10^{-5} \text{ C}$ ve $5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ 'luk yükler yerleştirilmektedir.



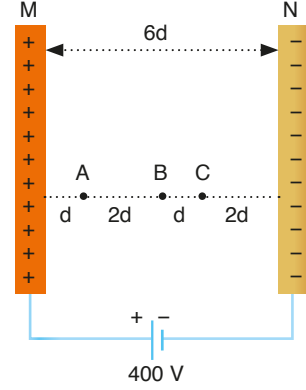
- K noktasındaki yükün potansiyel enerjisi kaç J'dür?
- L noktasındaki yükün potansiyel enerjisi kaç J'dür?
- M noktasındaki yükün potansiyel enerjisi kaç J'dür?
- Tüm sistemin potansiyel enerjisi kaç J'dür?

22. $-q$ yüklü parçacık I, II ve III yönlerinde hareket ettirilmektedir.



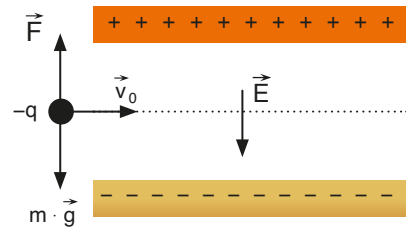
Hangi yönlerde parçacığın elektrik potansiyel enerjisi artar?

23. Şekildeki M-N levhalarına 400 V'luk bir gerilim uygulanmaktadır.



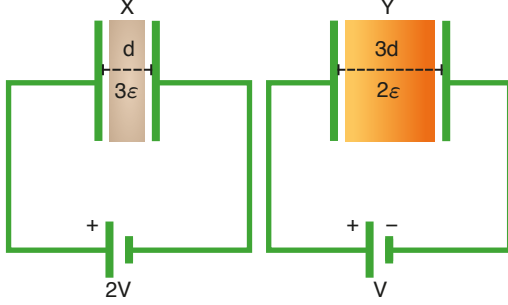
- A-B noktaları arasındaki potansiyel farkı kaç V'tur?
- B-C noktaları arasındaki potansiyel farkı kaç V'tur?
- A-C noktaları arasındaki potansiyel farkı kaç V'tur?

24. Yüklü paralel levhalar arasına $\vec{v}_0$ hızıyla fırlatılan $-q$ yüklü parçacığa etki eden kuvvetler şekilde gösterilmektedir.



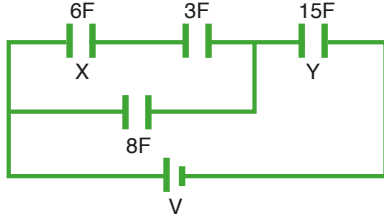
Parçacığın hareket yönü ne olabilir?

25. X ve Y kondansatörlerinin yüzey alanları eşittir. X ve Y kondansatörünün levhaları arasındaki uzaklık, sırasıyla d ve $3d$ dir. Levhaları arasındaki maddenin dielektrik sabiti sırasıyla 3ϵ ve 2ϵ dir.



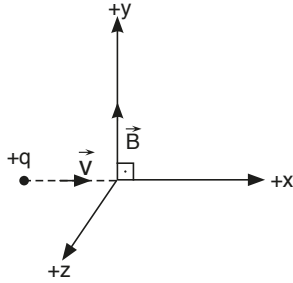
X kondansatörü 2V, Y kondansatörü V gerilimi ile tamamen doldurulduğunda yükleri oranı kaç olur?

26. Kondansatörler V üretime bağlanarak şekildeki devre kurulmuştur.



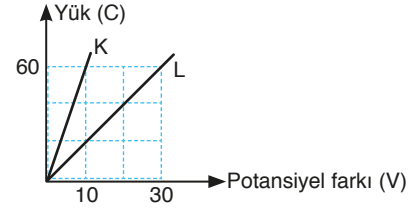
Buna göre X sığacı q yükü ile yüklendiğinde Y sığacının yükü kaç q olur?

27. $+q$ yüklü parçacık düzgün $\vec{B}$ manyetik alanına $\vec{v}$ hızıyla girmektedir.



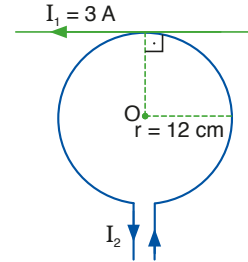
Parçacığa etki eden manyetik kuvvetin yönü nedir?

28. K ve L kondansatörlerinin yük potansiyel grafiği verilmiştir.



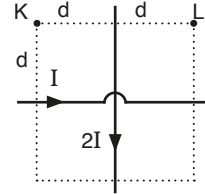
K ve L kondansatörleri seri olarak 20 V'luk üretece bağlandığında her bir kondansatörün enerjisi kaç J olur?

29. I_1 akımı taşıyan düz tel ile I_2 akımı taşıyan r yarıçapı halka tel sayfa düzleminde ve O noktasında oluşturdıkları manyetik alan şiddeti $1 \cdot 10^{-5} \text{ N/A} \cdot \text{m}$ 'dir.



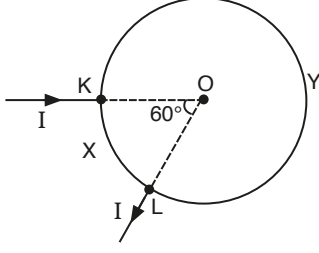
Buna göre I_2 akımının kaç A'dır? ($\pi = 3$, $K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$)

30. Aynı düzlemde ve aralarında 90° açı bulunan sonsuz uzunluktaki teller üzerinden I ve $2I$ akımı geçmektedir.



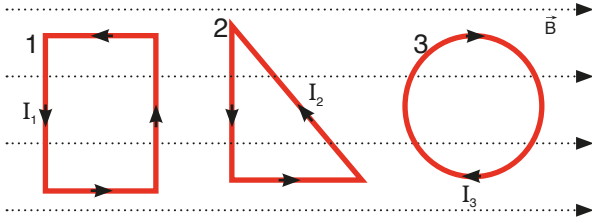
K noktasındaki manyetik alanın büyüklüğü $\vec{B}$ olduğuna göre L noktasındaki bileşke manyetik alanın büyüklüğü kaç $\vec{B}$ olur?

31. Düzgün türdeş telden yapılmış çemberin K noktasından giren I akımı, L noktasından çıkmıştır.



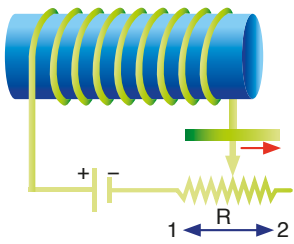
X yayının O noktasında oluşturduğu manyetik alan $\vec{B}$ ise O noktasında meydana gelen manyetik alan kaç $\vec{B}$ olur?

32. $\vec{B}$ manyetik alanında bulunan 1, 2 ve 3 iletken tellerinden sırasıyla I_1 , I_2 ve I_3 akımları geçmektedir.



Hangi tele etki eden bileşke manyetik kuvvet sıfırdır?

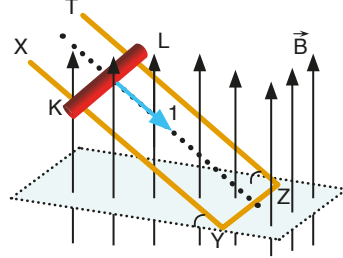
33. Bobin ve reostadan kurulmuş elektrik devresi şekildeki gibidir.



Bobin bağlı devrede reosta sürgüsü ok yönünde çekildiğinde

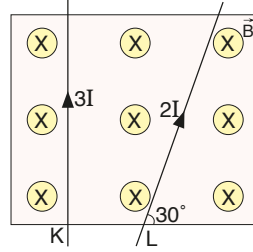
- Bobindeki manyetik akı nasıl değişir?
- Öz-indüksiyon akımının yönü nedir?

34. Aynı maddeden yapılan iletken XYZT ray düzeneği ile kütlesi ihmal edilen iletken KL çubuğu sürtünmesizdir. KL çubuğu yeterince uzun ray üzerinde 1 yönünde doğrultusunu değiştirmeden kayabilmektedir.



KL çubuğunun YZ kenarına ulaşınca kadar geçen sürede hareket türü nedir?

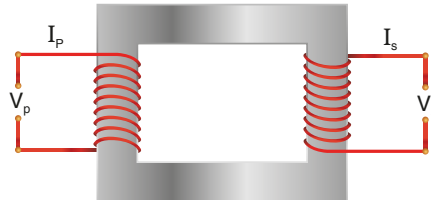
35. Sonsuz uzunluklu K ve L tellerinden $3I$ ve $2I$ büyüklüğünde akımlar geçmektedir.



Her iki telin manyetik alan içinde kalan ℓ uzunluğundaki bölümüne etki eden kuvvet-

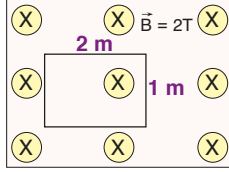
lerin oranı $\frac{|\vec{F}_K|}{|\vec{F}_L|}$ kaçtır?

36. Primer ve sekonder gerilimi sırasıyla V_p ve V_s olan transformatorün sarım sayıları ve akım şiddetleri arasındaki ilişki sırasıyla $2N_s = N_p$ ve $8I_p = 5I_s$ dir



Buna göre transformatorün verimi % kaçtır?

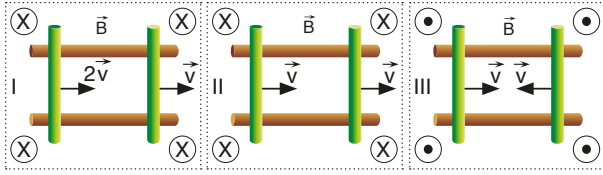
37. Kenar uzunlukları 2 m ve 1 m olan dikdörtgen şeklindeki iletken tel çerçeve bulunduğu konumdan 0,5 saniyede 90° döndürülerek manyetik alana paralel hâle getirilmektedir.



- a) İletken tel çerçevede oluşan indüksiyon emk'si kaç V'tur?

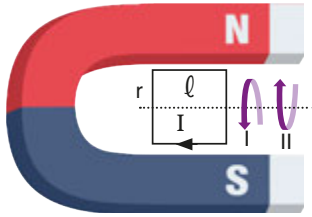
- b) İndüksiyon akımının yönü nasıl belirlenir?

38. Sayfa düzlemine dik düzgün $\vec{B}$ manyetik alanında bulunan özdeş I, II ve III numaralı düzeneklerdeki iletken teller raylar üzerinde gösterilen hızlarla çekilmektedir.



Buna göre I, II ve III nolu düzeneklerin hangisinde indüksiyon akımı oluşur?

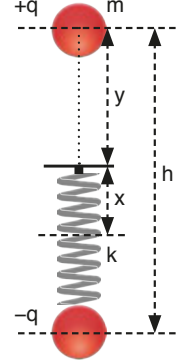
39. İletken çerçeve üzerinden şekilde gösterilen yönde I büyüklüğünde akım geçmektedir.



- a) Kesikli çizgi ile gösterilen eksen etrafında dönebilen çerçeve hangi ok yönünde dönebilir?

- b) Çerçeveye etkiyen torku artırmak için ℓ , r , I değerlerinden hangilerini arttırmak gerekir?

40. Noktasal $+q$ ve $-q$ yüklerinin merkezlerinden geçen doğrular arasındaki yükseklik farkı h kadardır. m kütleli $+q$ yükü serbest bırakıldığında esneklik sabiti k olan yayı x kadar sıkıştırılmaktadır.



Yayda depolanan enerji hangi denklemlerle bulunabilir?

A) $m \cdot g \cdot (x + y) + k \cdot \frac{q^2}{h} = \frac{1}{2} \cdot k_{\text{yay}} \cdot x^2 + k \cdot \frac{q^2}{(h - x - y)}$

B) $m \cdot g \cdot (x - y) + k \cdot \frac{q^2}{h} = \frac{1}{2} \cdot k_{\text{yay}} \cdot x^2 + k \cdot \frac{q^2}{(h - x + y)}$

C) $m \cdot g \cdot (x + y) + k \cdot \frac{q^2}{h} = \frac{1}{2} \cdot k_{\text{yay}} \cdot x^2 - k \cdot \frac{q^2}{(h - x + y)}$

D) $m \cdot g \cdot (x + y) + k \cdot \frac{q^2}{h} = \frac{1}{2} \cdot k_{\text{yay}} \cdot x^2 - k \cdot \frac{q^2}{(x + y)}$

E) $m \cdot g \cdot h + k \cdot \frac{q^2}{(x + y)} = \frac{1}{2} \cdot k_{\text{yay}} \cdot x^2 - k \cdot \frac{q^2}{h}$

41. Elektrik alanla ilgili olarak

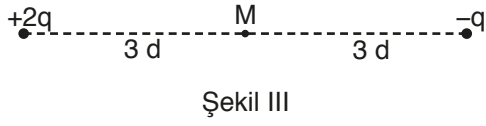
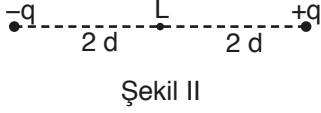
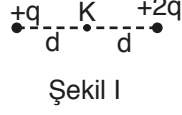
- Elektrik yüklerinin etkisini gösterdiği bölgelerdir.
- Vektörel bir büyüklüktür.
- Temel bir büyüklüktür.

İfadelerden hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) I ve II
D) II ve III E) I, II ve III

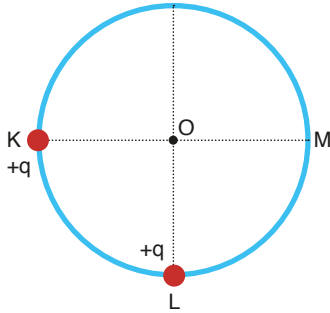
Ölçme ve Değerlendirme

42. Şekil I, II, III'teki K, L, M noktalarının hangilerinde elektriksel potansiyel sıfırdır?



- A) Yalnız K B) Yalnız L C) Yalnız M
D) K ve L E) L ve M

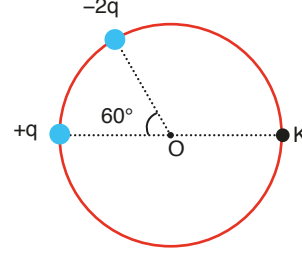
43. Elektrik yükleri eşit ve q olan noktasal iki cisim O merkezli çember üzerinde K ve L noktalarına yerleştirilmiştir. Bu yükler arasındaki elektriksel potansiyel enerji E_p , yüklerin O noktasında oluşturdukları elektriksel potansiyel V 'dir.



Buna göre L noktasındaki yük M noktasına getirildiğinde E_p ve V için ne söylenebilir?

- | | E_p | V |
|----|----------|----------|
| A) | Artar | Artar |
| B) | Artar | Değişmez |
| C) | Azalır | Değişmez |
| D) | Azalır | Azalır |
| E) | Değişmez | Değişmez |

44. Noktasal $+q$ ve $-2q$ yüklerinin O noktasında oluşturdukları elektrik alanının büyüklüğü $|\vec{E}|$, elektriksel potansiyel V 'tur.



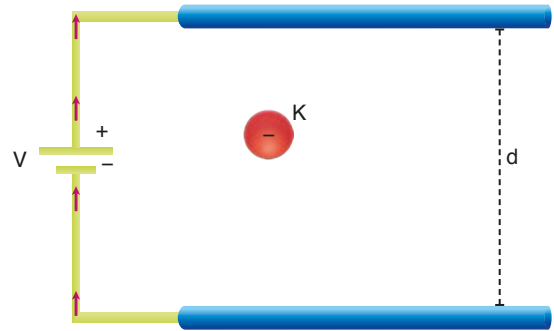
$-2q$ yüklü cisim K noktasına getirildiğinde O noktasındaki $|\vec{E}|$ ve V nasıl değişir?

- | | $ \vec{E} $ | V |
|----|-------------|----------|
| A) | Artar | Azalır |
| B) | Değişmez | Artar |
| C) | Artar | Değişmez |
| D) | Artar | Artar |
| E) | Azalır | Azalır |

Ölçme ve Değerlendirme

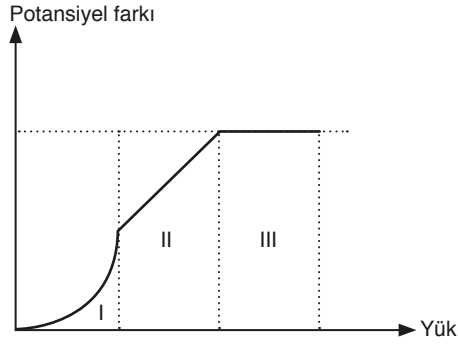
45. Paralel levhalar arasındaki $-q$ yüklü K cismi şekildeki konumda dengededir.

Buna göre hangi durumda K cisminin denge durumu bozulmaz?



- A) V iki katına çıkartılıp d yarıya indirilmeli.
B) V yarıya indirilip d iki katına çıkartılmalı.
C) q ve d iki katına çıkartılmalı.
D) q ve V iki katına çıkartılmalı.
E) q ve V yarıya indirilmeli.

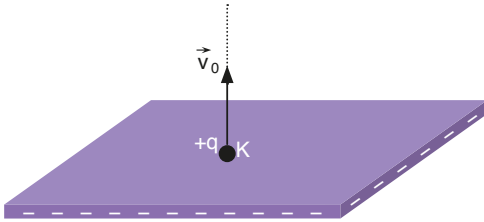
46. Bir kondansatörün yük-potansiyel farkı grafiği verilmiştir.



Buna göre kondansatör sığası I, II ve III aralıklarında nasıl değişir?

	I	II	III
A)	Artar	Artar	Değişmez
B)	Azalır	Değişmez	Artar
C)	Azalır	Azalır	Artar
D)	Azalır	Artar	Değişmez
E)	Artar	Değişmez	Artar

47. $+q$ yüklü parçacık negatif yüklü levha üzerindeki K noktasından düşey yukarı yönde $\vec{v}_0$ hızı ile atılan parçacık atıldığı noktaya düşmektedir.



Parçacığın

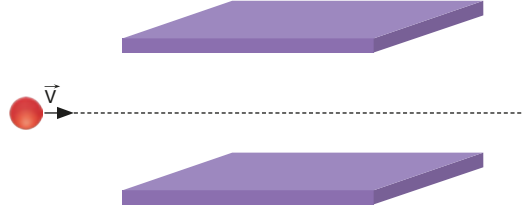
- Hareketi süresince ivmesi sabittir.
- Levhaya aynı büyüklükte hızla çarpar.
- Havada kalma süresi $\vec{v}_0$ ve $\vec{g}$ 'ye bağlıdır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

($\vec{g}$: yer çekim ivmesi)

- I ve II
- I ve III
- II ve III
- Yalnız II
- I, II ve III

48. Yer çekimi kuvvetinin ihmal edildiği bir ortamda elektrik yüklü bir cisim paralel levhalar arasına $\vec{v}$ hızı ile atıldığında, doğrultusunu değiştirmeden levhalar arasından ayrılmaktadır. Buna göre



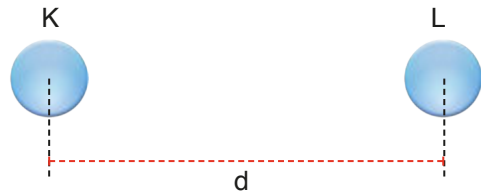
- Levhalar arasında hem elektrik hem de manyetik alan vardır.
- Manyetik alanın yönü sayfa düzlemine dik ve sayfadan içe doğrudur.
- Cismin yük miktarı daha büyük olsaydı yine aynı yörüngeyi izler.

yargılardan hangileri kesinlikle doğrudur?

- Yalnız I
- Yalnız II
- Yalnız III
- I ve III
- I ve II

Ölçme ve Değerlendirme

49. Aralarında d kadar uzaklık bulunan K ve L noktasal cisimlerinin yükleri sırasıyla $+2q$ ve $+q$ 'dur.



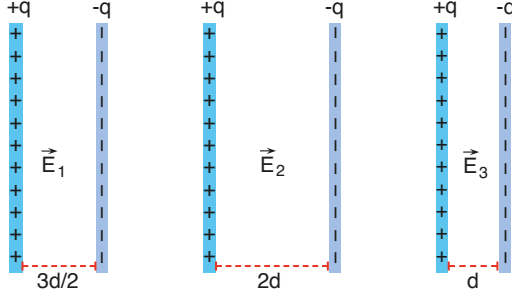
Noktasal yüklü K ve L cisimlerden oluşan sistemin sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji

- Yüklü cisimlerin arasındaki uzaklığın azaltılması
- K cisminin yükünün azaltılması
- L cisminin yük miktarının artırılması

işlemlerinden hangisi yapılırsa artar?

- Yalnız I
- Yalnız II
- Yalnız III
- I ve III
- I ve II

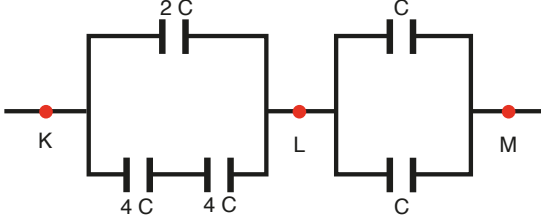
50. İletken levhalar üzerindeki yük miktarları eşittir.



Buna göre bu levhalar arasındaki $\vec{E}_1$, $\vec{E}_2$ ve $\vec{E}_3$ elektrik alanlarının birbirleriyle ilişkisi aşağıdakilerden hangisidir?

- A) $E_1 = E_2 = E_3$ B) $E_1 > E_2 > E_3$
C) $E_1 > E_3 > E_2$ D) $E_2 > E_3 > E_1$
E) $E_3 > E_2 > E_1$

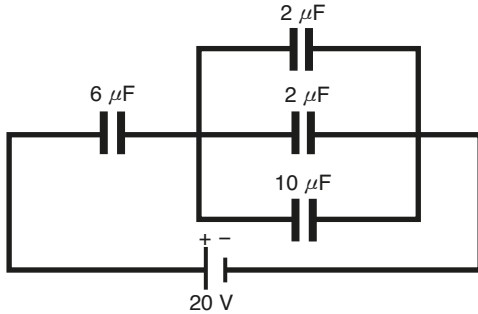
51. Kondansatörlerle kurulu devrede KL noktaları arasındaki potansiyel farkı 10 V'tur



Buna göre KM noktaları arasındaki potansiyel farkı kaç V'tur?

- A) 10 B) 15 C) 30 D) 40 E) 50

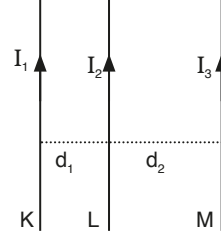
52. Kondansatörler 20 V'luk üretece şekilindeki gibi bağlanarak yüklenmeleri sağlanmaktadır.



Buna göre $2 \mu F$ ' kondansatörlerden bir tanesinin yükü kaç μC 'dur?

- A) 10 B) 12 C) 20 D) 25 E) 30

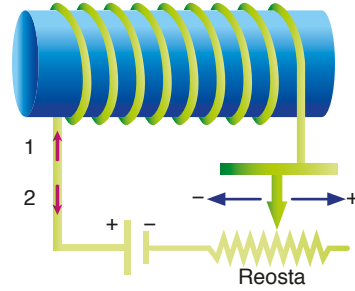
53. Sonsuz uzunluktaki K, L, M tellerinden belirtilen yönlerde sırasıyla I_1 , I_2 ve I_3 akımları geçmektedir. K ve M telleri bulundukları yere sabitlenmiş, L teli ise serbesttir.



Sürtünmesiz ortamda L telinin dengede kalması için akım şiddetleri ile d_1 ve d_2 uzaklıkları arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

- A) $I_1 > I_3$, $d_1 > d_2$ B) $I_1 = I_3$, $d_1 > d_2$
C) $I_1 > I_3$, $d_1 = d_2$ D) $I_1 > I_3$, $d_1 < d_2$
E) $I_1 < I_3$, $d_1 > d_2$

54. Bobin, reosta ve üreteç ile şekildeki gibi devre kurulmuştur.



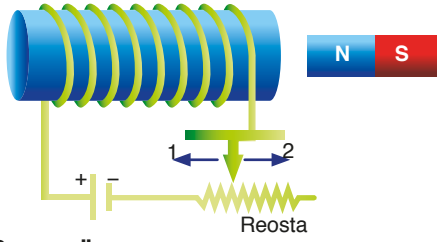
Bu devre ile ilgili

- I. Reosta + yönünde çekilirse öz-indüksiyon akımı 1 yönünde oluşur.
- II. Reosta - yönünde çekilirse öz-indüksiyon akımı 2 yönünde oluşur.
- III. Reosta + yönünde çekilirse öz-indüksiyon akımı 2 yönünde oluşur.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I ve II

55. Mıknatıs, bobin ve reostadan oluşan devrenin yakınında tutulmaktadır.



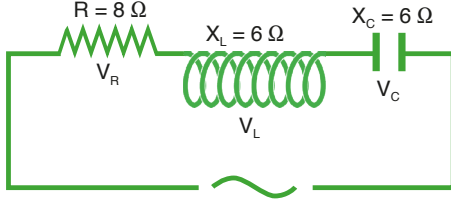
Buna göre

- I. Mıknatısı bobine yaklaştırmak
- II. Reosta sürgüsünü 1 yönünde çekmek
- III. Reosta sürgüsünü 2 yönünde çekmek

işlemlerinden hangileri yapıldığında bobinde öz-indüksiyon akımı oluşur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) II ve III

56. Direnç, bobin ve sıfır alternatif akım kaynağına bağlanmıştır.



Bu devre ile ilgili

- I. Devre rezonanstadır.
- II. Akım maksimumdur.
- III. Devre maksimum güçte çalışmaktadır.

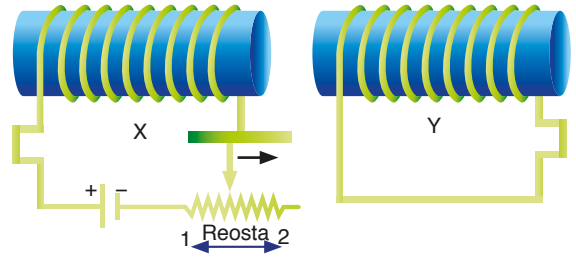
ifadelerinden hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I, II ve III

57. Bir alternatif akım devresinde indüktans değeri kapasitans değerinden büyük ise hangi ifade doğru olur?

- A) Akım gerilimden öndedir. Faz açısı negatiftir.
- B) Akım gerilimden geridedir. Faz açısı pozitifdir.
- C) Gerilim akımdan öndedir. Faz açısı negatiftir.
- D) Gerilim akımdan geridedir. Faz açısı pozitifdir.
- E) Akımla gerilim aynı fazdadır.

58. İndüklenebilecek mesafede bulunan X ve Y bobinleri ile şekildeki devre kurulmuştur.



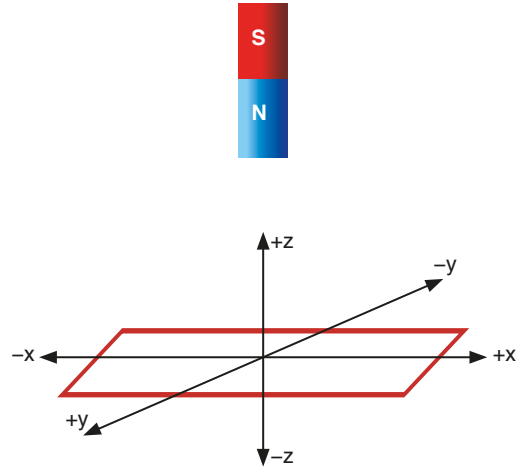
Buna göre

- I. X devresinin anahtarını açıp kapama
- II. Y devresinin anahtarını açıp kapama
- III. Reostayı hareket ettirme

hangileri yapıldığında Y devresinde indüksiyon akımı oluşur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve III E) I ve II

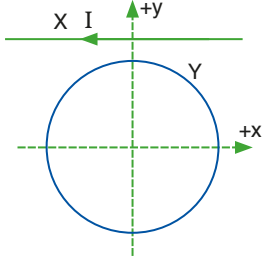
59. İletken dikdörtgen tel çerçeve XY düzleminde yer almaktadır.



Hangi durumda çerçevede indüksiyon akımı oluşmaz?

- A) Mıknatısı $-z$ yönünde hareket ettirmek
- B) Çerçeveyi $+z$ yönünde hareket ettirmek
- C) Mıknatısı $-x$ yönünde hareket ettirmek
- D) Mıknatısı $+z$ yönünde hareket ettirmek
- E) Çerçeveyi z ekseninde döndürmek

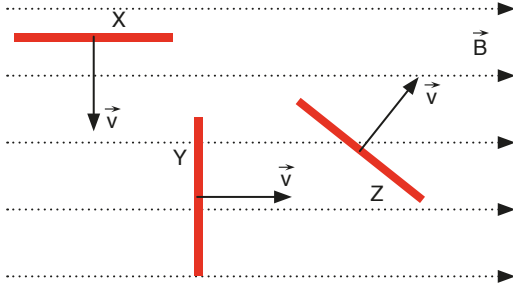
60. Sonsuz uzunluktaki I akımı taşıyan düz tel ile iletken halka tel sayfa düzleminde.



Hangi durumda halka telde indüksiyon akımı oluşmaz?

- A) I akımının şiddeti azalırken
B) Halka tel, +y yönünde çekilirken
C) I akımının şiddeti artarken
D) Halka tel, -y yönünde çekilirken
E) Halka tel, -x yönünde çekilirken

61. Düzgün manyetik alan içinde bulunan iletken X, Y, Z telleri $|\vec{v}|$ büyüklüğündeki hızlarla çekilmektedir.



Hangi tellerde indüksiyon emk'si oluşmaz?

- A) X B) Y C) Z D) X ve Y E) X, Y, Z

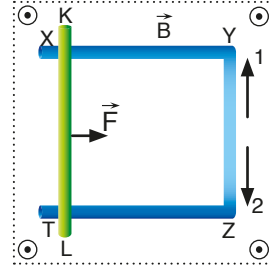
62. Üretece bağlı bir kondansatör yüklendikten sonra üreteçten ayrılmaktadır. Üreteçten ayrıldıktan sonra sadece dielektrik katsayısı azaltılan kondansatör için

- I. Yükü değişmez.
II. Sığası artar.
III. Enerjisi azalır.

ifadelerinden hangileri doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) I ve II E) I, II ve III

63. XYZT ve KL teli iletkenlerdir. $\vec{B}$ manyetik alanı, sayfa düzlemine dik ve dışarı yöndedir.



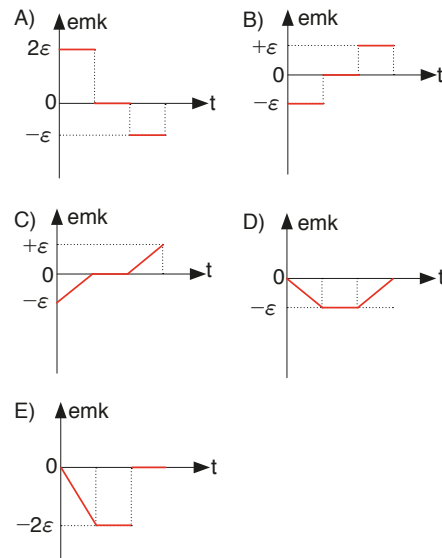
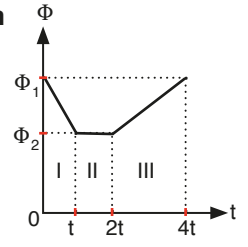
KL Çubuğu $\vec{F}$ kuvvetiyle çekildiğinde

- I. K ucu + kutuplanır.
II. İndüksiyon akımı 1 yönündedir.
III. Çubuğun hızı sabit ise indüksiyon akımı oluşmaz.

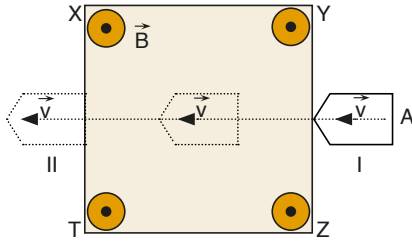
ifadelerinden hangileri doğrudur?

- A) I ve II B) I ve III C) II ve III
D) Yalnız II E) I, II ve III

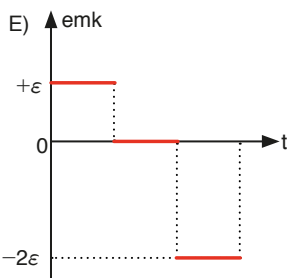
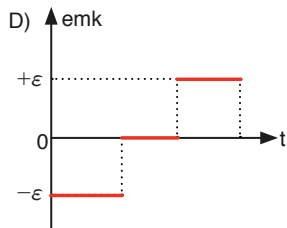
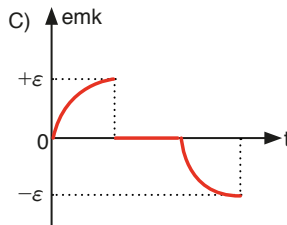
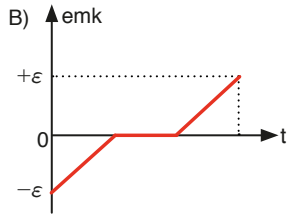
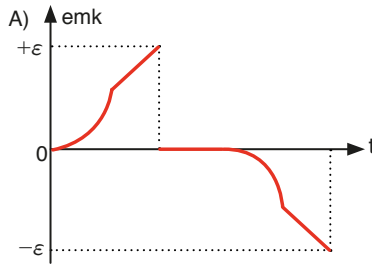
64. İletken çerçeveden geçen manyetik akının zamana bağlı değişimi verilen grafikteki bilgilere göre çerçevede oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetinin zamana bağlı (emk-t) değişim grafiği hangisidir?



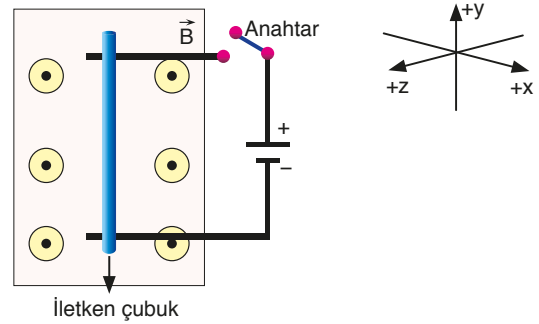
65. XYZT bölgesinde sayfa düzlemine dik $\vec{B}$ manyetik alanı vardır. İletken A tel çerçevesi, sabit $\vec{v}$ hızıyla manyetik alan içinden geçerek I konumundan II konuma gelmektedir.



X telinde oluşan indüksiyon emk'nin zamana bağlı değişim grafiği hangisidir?



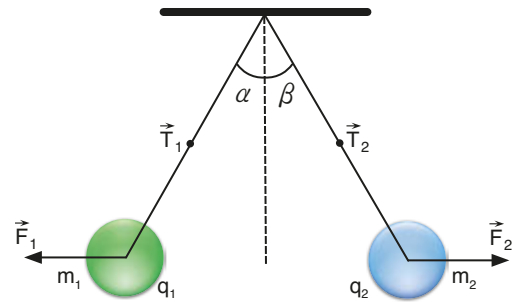
66. İletken çubuk, anahtar ve üreteçten oluşan devre sayfa düzlemine dik ve dışarı yöndeki manyetik alan içinde şekildaki gibi kurulmuştur.



Devrede anahtar kapatıldığında çubuğa etki eden manyetik kuvvet hangi yönde olur?

- A) $-x$ B) $+x$ C) $+z$ D) $-z$ E) $-y$

67. İp gerilmeleri $\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ olan eşit uzunluktaki yalıtkan iplere bağlı q_1 ve q_2 yüklerinin kütleleri m_1 ve m_2 olup yükler arasındaki elektrostatik kuvvet $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ 'dir.



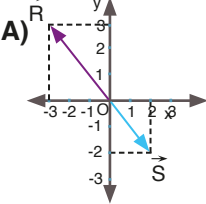
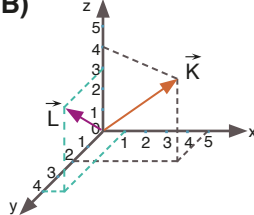
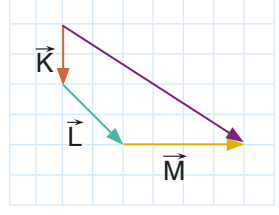
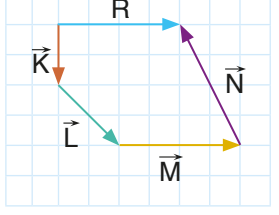
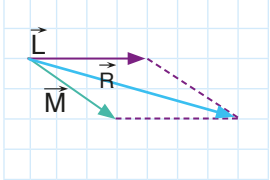
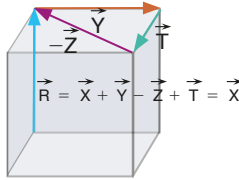
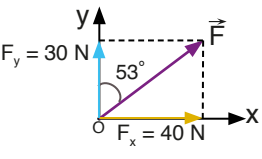
$\alpha < \beta$ olduğuna göre

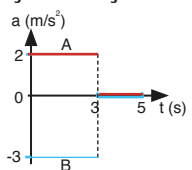
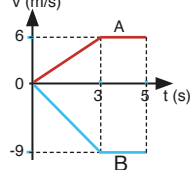
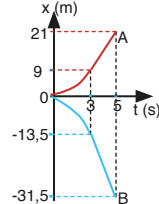
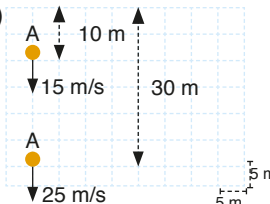
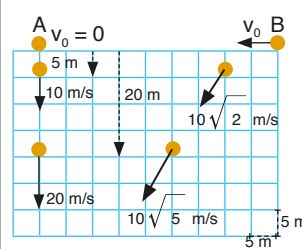
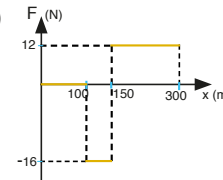
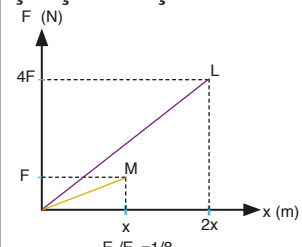
- I. $\vec{F}_1 > \vec{F}_2$
II. $q_1 < q_2$
III. $m_1 > m_2$
IV. $\vec{T}_1 = \vec{T}_2$

ifadelerinden hangisi kesinlikle doğrudur?

- A) Yalnız I B) Yalnız II C) Yalnız III
D) Yalnız IV E) I ve IV

1. Ünite Çalışma Köşesi Cevap Anahtarı

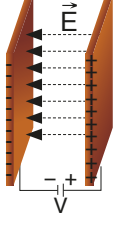
Çalışma Köşesi 1 E	Çalışma Köşesi 2 	Çalışma Köşesi 3 A)  B) 	Çalışma Köşesi 4 a)  b) 
Çalışma Köşesi 5 	Çalışma Köşesi 6 a) $8\sqrt{5} \text{ N}$ b) $4\sqrt{5} \text{ N}$	Çalışma Köşesi 7 $\frac{\sqrt{3}}{3} \vec{R} $	Çalışma Köşesi 8 
Çalışma Köşesi 9 	Çalışma Köşesi 10 $2\sqrt{2} \text{ N}$	Çalışma Köşesi 11 Güneybatı yönünde 40 m/s hızla hareket ediyor görür.	Çalışma Köşesi 12 C aracı A aracını duruyor- muş gibi görür.
Çalışma Köşesi 13 $3\vec{V}$	Çalışma Köşesi 14 $-5/2 \vec{V}$	Çalışma Köşesi 15 a) 3 m/s b) 5 m/s c) 36 m	Çalışma Köşesi 16 90 m
Çalışma Köşesi 17 a) $ \vec{a} = 1 \text{ m/s}^2$ b) $ \vec{T}_1 = 7 \text{ N}$ $ \vec{T}_2 = 9/2 \text{ N}$	Çalışma Köşesi 18 $ \vec{F}_{KM} = 10 \text{ N}$ $ \vec{F}_{LM} = 4 \text{ N}$	Çalışma Köşesi 19 $ \vec{F} = 1/2 \text{ N}$	Çalışma Köşesi 20 $ \vec{F} = 24 \text{ N}$
Çalışma Köşesi 21 $ \vec{F} = 100 \text{ N}$	Çalışma Köşesi 22 $ \vec{F} = 3/4 \vec{G} $	Çalışma Köşesi 23 a) $ \vec{a} = 1 \text{ m/s}^2$ b) $ \vec{F}_{KL} = 12 \text{ N}$ c) $ \vec{F}_{LK} = 12 \text{ N}$	Çalışma Köşesi 24 12 N

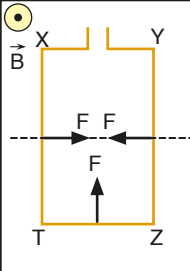
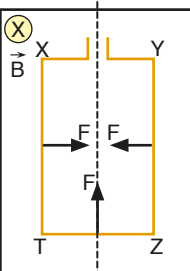
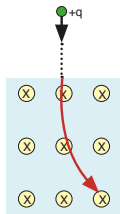
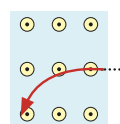
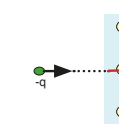
Çalışma Köşesi 25 $m = 10 \text{ kg}$ Çalışma Köşesi 26 $k = 0,5$ $\vec{T} = 15 \text{ N}$	Çalışma Köşesi 27  A otomobili +x yönünde hareket ettiğinden ivme pozitif, B otomobili -x yönünde hareket ettiğinden ivme negatif işareti alır.	 A otomobili +x yönünde hareket ettiğinden hızı pozitif, B otomobili -x yönünde hareket ettiğinden hızı negatif işareti alır.	 A ve B otomobilleri zıt yönde hareket ettiklerinden birbirinden uzaklaşır. 5 s sonra aralarındaki uzaklık 52,5 m olur.
Çalışma Köşesi 28 Köprüden bir cismi serbest düşmeye bırakıp suya düşme süresini ölçerek bulabilir. Çalışma Köşesi 29 $\sqrt{2/3}$	Çalışma Köşesi 30 a) 2 görüntü yakalar b) 	Çalışma Köşesi 31 a) $t_{\text{çık}} = 4 \text{ s}$ b) $t_{\text{iniş}} = 4 \text{ s}$ c) $h_{\text{max}} = 80 \text{ m}$ d) $\vec{v} = 40 \text{ m/s}$	Çalışma Köşesi 32 $T_{\text{çık}} = 4 \text{ s}$ $T_{\text{iniş}} = 4\sqrt{2}$
Çalışma Köşesi 33 $h_1/h = 1/8$	Çalışma Köşesi 34 	Çalışma Köşesi 35 $KL = 240 \text{ m}$	Çalışma Köşesi 36 a) 160 m b) 25 m
Çalışma Köşesi 37 A ve B cisimleri 2 s sonra çarpışacaklarından iki görüntüleri yakalanır. C cisminin ise 3 görüntüsü yakalanır.	Çalışma Köşesi 38 1440 J	Çalışma Köşesi 39 a) 90 m b) 10 m/s (ilk harekete zıt yönde) c) 80 m	Çalışma Köşesi 40 a)  b) 1000 J
Çalışma Köşesi 41 B	Çalışma Köşesi 42  $E_1/E_2 = 1/8$	Çalışma Köşesi 43 B	Çalışma Köşesi 44 $\vec{v} = 20\sqrt{5} \text{ m/s}$
Çalışma Köşesi 45 $\vec{v} = 10 \text{ m/s}$	Çalışma Köşesi 46 $\vec{v}_K = \vec{v}_L = \vec{v}_M$ $= 10\sqrt{10} \text{ m/s}$	Çalışma Köşesi 47 $h = 1,6 \text{ m}$	Çalışma Köşesi 48 D

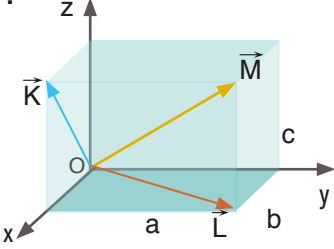
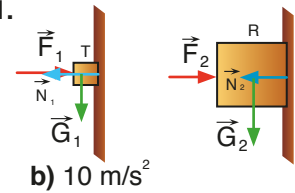
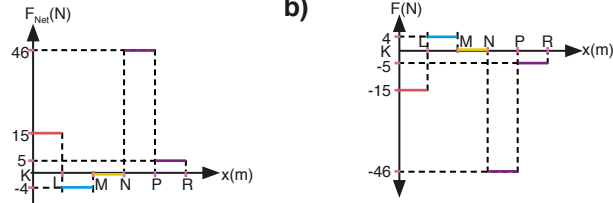
Çalışma Köşesi 49 a) $ AB = 15 \text{ cm}$ b) $ \vec{v} = \sqrt{1,5} \text{ m/s}$	Çalışma Köşesi 50 D	Çalışma Köşesi 51 $\vec{v}'_A = \vec{v}_B$ $\vec{v}'_B = \vec{v}_A$ Cisimler ilk hareket-yönüne ters yönde hareket eder.	Çalışma Köşesi 52 $ \vec{v}_{\text{Beyaz}} = 0$
Çalışma Köşesi 53 $\vec{v}'_K = 22/3 \text{ m/s}$ $\vec{v}_L = 21 \text{ m/s}$	Çalışma Köşesi 54 a) $\frac{1}{3}$ b) $2\sqrt{\ell}$	Çalışma Köşesi 55 $ \vec{v}_{\text{Ort}} = 20 \text{ m/s}$	Çalışma Köşesi 56 Batı yönünde 20 m/s
Çalışma Köşesi 57 9 sn	Çalışma Köşesi 58 30 N·m	Çalışma Köşesi 59 F_1 ve F_3	Çalışma Köşesi 60 E
Çalışma Köşesi 61 $ \vec{F}_3 = 20 \text{ N}$	Çalışma Köşesi 62 8/3	Çalışma Köşesi 63 1/5	Çalışma Köşesi 64 $\frac{ \vec{N}_1 }{ \vec{N}_2 } = \frac{\sqrt{3}}{4}$
Çalışma Köşesi 65 A) 15 N B) 240 N	Çalışma Köşesi 66 $3 \vec{G} $	Çalışma Köşesi 67 a) (7,2) b) (7,5)	Çalışma Köşesi 68 $\sqrt{10} \text{ r}$
Çalışma Köşesi 69 $\frac{5\sqrt{3}}{6}$	Çalışma Köşesi 71 a) 39 b) $\approx \%92$	Çalışma Köşesi 72 a) 3 b) 5	Çalışma Köşesi 73 $3 \vec{G} $
Çalışma Köşesi 70 15 cm	Çalışma Köşesi 74 a) 0,04 b) 40	Çalışma Köşesi 75 $\frac{3h}{8a}$	Çalışma Köşesi 76 3
Çalışma Köşesi 74 a) 0,04 b) 40	Çalışma Köşesi 75 $\frac{3h}{8a}$	Çalışma Köşesi 76 3	Çalışma Köşesi 77 Saat yönünde 2 tur

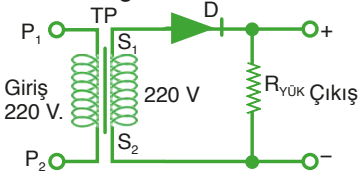
2. Ünite Çalışma Köşesi Cevap Anahtarı

Çalışma Köşesi 1 Yüklü cisimler arasındaki elektriksel kuvvetin büyüklüğü, yüklerin büyüklüğü ile doğru aralarında ki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.	Çalışma Köşesi 2 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon}$ olduğundan ϵ artarsa k azalır. $ \vec{F} = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ olduğundan uzaklık yarıya inerse kuvvet artar. Yükler artarsa kuvvet artar. II ve III Doğru I Yanlış	Çalışma Köşesi 3 A) $\frac{9}{16} \vec{E} $ B) a) Yük miktarı artarsa elektrik alan şiddeti artar, alan çizgileri sıklaşır. b) Elektrik alan şiddeti değişmez, alan çizgileri yüke doğru olur.	Çalışma Köşesi 4 $ \vec{E} = 1,2 \cdot 10^2 \text{ N/C}$ Çalışma Köşesi 5 A) $-3/4$ B) $ \vec{F} = 5\vec{F}$ dir.
--	---	--	---

Çalışma Köşesi 6  Terasın merdiven düzlükleri ve  3 sıra küplerin her bir sırası eş potansiyel yüzeydir.	Çalışma Köşesi 7 150 V	Çalışma Köşesi 9 E_{P1} azalır. E_{P2} artar. E_{P3} artar.	Çalışma Köşesi 11 2V/3	Çalışma Köşesi 13 A)  B) Alan çizgileri birbirine paraleldir. Alan çizgileri birbirini kesmez. Alan çizgileri pozitif levhadan negatif levhaya doğrudur.
	Çalışma Köşesi 8 A) -40 V B) 8 V	Çalışma Köşesi 10 -3q	Çalışma Köşesi 12 -75 J	
Çalışma Köşesi 14 4 $ \vec{E} $ olur.	Çalışma Köşesi 16 Öğretmen kapasite kavramını açıklamak istemektedir.	Çalışma Köşesi 17 8 katına çıkmıştır.	Çalışma Köşesi 19 I, II, III	
Çalışma Köşesi 15 I Doğru II Yanlış III Doğru		Çalışma Köşesi 18 I. Bölgede değişmiyor. II. Bölgede artar. III. Bölgede azalır.	Çalışma Köşesi 20 E	
Çalışma Köşesi 21 I ve III doğru	Çalışma Köşesi 22 A) 16F/9 B) 24 C	Çalışma Köşesi 23 B	Çalışma Köşesi 24 A) Tel baş parmak akım yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda dört parmak manyetik alanın dolanım yönünü gösterir. $ \vec{B} = 2 \cdot K \cdot \frac{I}{d}$ bağıntısı gereği manyetik alan akımla doğru, uzaklıkla ters orantılıdır. I, II ve III doğrudur. B) Manyetik alan şiddeti sıfır olduğundan manyetik alanın yönü söz konusu değildir.	

Çalışma Köşesi 25 A) $-\vec{B}$ B) I, II, III Manyetik alan, akımla doğru, yarıçapla ters orantılıdır. Yönü sağ el kuralına göre sayfa düzleminden dışarı yöndedir. C) Sayfa düzleminden dışarı yöndedir, $B = 12 \cdot 10^{-6} \text{ T}$	Çalışma Köşesi 26 A) $\frac{I_A}{I_B} = \frac{3}{2}$ B) I, II ve III C) Manyetik alan 2 yönündedir, $I = 10 \text{ A}$'dır. Çalışma Köşesi 27 2/3 Çalışma Köşesi 28 a)  b) 0 c) 	Çalışma Köşesi 29 A) a) Sayfa düzleminden dışarı yönde b) Sayfa düzleminden içeri yönde c) Sayfa düzleminden içeri yönde B) a)  b)  c) 	Çalışma Köşesi 30  Dönme eksen  Dönme eksen
Çalışma Köşesi 31 A) a)  b)  c)  B) Başparmak hız vektörü, dört parmak manyetik alan yönünde tutulduğunda avuç pozitif yüke etki eden manyetik kuvveti, avuç içinin tersi negatif yüke etki eden manyetik kuvvet yönünde olur.	Çalışma Köşesi 32 Çerçeve manyetik alana girerken manyetik akı artar, manyetik alan içinde iken manyetik akı değişmez. Çerçeve manyetik alandan çıkarken manyetik akı azalır, manyetik alan içindeyken akı değişmez. 	Çalışma Köşesi 33 40 Wb Çalışma Köşesi 34 A) Direnç azalacağından devre akımı artar. Öz-indüksiyon akımı devre akımı ile zıt yönde olacaktır. B) Öz-indüksiyon akımı ancak reostanın 1 veya 2 yönünde hareket ettirilmesi ile oluşur. II ve III	
Çalışma Köşesi 35 İletken levhaya gerilim uygulandığında iletkendeki hareketli yüklere mıknatısın manyetik alanı kuvvet uygulayacağından voltmetrede gerilim okunacaktır. Okunan gerilim değeri mıknatısın manyetik alan şiddeti için bir ölçü olarak kullanılabilir.	Çalışma Köşesi 36 I ve III Çalışma Köşesi 37 II ve III Çalışma Köşesi 38 İndüktans, kapasitans, eşit, empedans	Çalışma Köşesi 39 Yalnız III Çalışma Köşesi 40 A) 7,2 A B) 36 V	

1. Y	2. D	3. D	4. Y	5. Y	6. Y																				
7. Y	8. Y	9. Y	10. D	11. Y	12. D	13. Y																			
14. 13	15. $F_x = 10\sqrt{3}$ N $F_y = 10$ N	16. $\vec{M}(-4, 8\sqrt{2})$ ve $\vec{N}(4, -8\sqrt{2})$																							
17.	18. 3/2 m/s		19. v_x gibi görür.																						
	20. 25 m/s hızla yükselmektedir.		21. $\sqrt{3}$ br, +x yönünde																						
	22.		<table border="1"><tr><td></td><td>a</td><td>b</td><td>c</td><td>ç</td><td>d</td><td>e</td></tr><tr><td>Doğru</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td>x</td><td></td></tr><tr><td>Yanlış</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>x</td></tr></table>				a	b	c	ç	d	e	Doğru	x	x	x	x	x		Yanlış					
	a	b	c	ç	d	e																			
Doğru	x	x	x	x	x																				
Yanlış						x																			
23. $8\sqrt{2}$ m/s	24. 12 N	25. 36 N	26. 12 N																						
27.	28.	29. a) $ \vec{T}_1 = 84$ N, $ \vec{T}_2 = 48$ N b) 24 N azalır.		30. 1																					
a) $1,2 \vec{G}_1 $ b) $1,2 \vec{G}_2 $	a) $0,6 \vec{G} $ b) $0,7 \vec{G} $	31.		32.																					
	b) 10 m/s^2	a) 15 m/s b) 33,375 m		33.																					
		a) 40 m/s b) 400 m		34. 2																					
39.	40.	41. a)	35. 240 m	36. 1/36	38. 165 m																				
a) $t_1/t_2 = 4/9$ b) $h = 45$ m	a) 300 J b) 20 m/s c) 350 m			37. 9/40																					
42. 700J	43. 20 m/s	44. 40 N	45. 0,24 m	46. a) 3/4	47. a) 10 N b) $\sqrt{15}$ m/s																				
48. $3/2 \vec{v}_{Ort} $	50.	51. $\frac{4}{3}\sqrt{3}$	52. K	53. a) $\vec{F}_K$ (S noktası), $\vec{F}_L$ (N noktası), $\vec{F}_M$ (P noktası), b) $ \vec{\tau}_K = 15 \text{ m} \cdot \text{N}$, $ \vec{\tau}_L = 15 \text{ m} \cdot \text{N}$, $ \vec{\tau}_M = 100 \text{ m} \cdot \text{N}$																					
49. 60 m/s	$ \vec{v}_A = 22/3 \text{ m/s}$ $ \vec{v}_B = 21 \text{ m/s}$																								
54. 2 cm	55. L	56. $\frac{5}{3}$	57. N	58. 6/5	59. a) 1 kg b) % 62,5	60. $60r_1$																			
61. B	62. D	63. D	64. E	65. B	66. D	67. E	68. B	69. C	70. D	71. D	72. B														
73. E	74. D	75. E	76. D	77. E	78. D	79. C	80. B	81. A	82. E	83. E	84. A														
85. B	86. D	87. D	88. C	89. C																					

1. D	2. Y	3. D	4. Y	5. D	6. D
7. Y	8. D	9. Y	10. D	11. D	12. D
13. a) Telefonda bulunan batarya bir çeşit doğru akım üreticidir. Bu yüzden şarj işleminin doğru akımda yapılması gerekir. b) Ayrı ayrı verilen devre elemanları bir arada gösterilirse  c) Kabloların kopması, dolanması, zarar görmesi ve soketlerin aşınması gibi sorunlar bu yöntemde yaşanmaz. Dezavantajlı taraflarından bazıları ise değişken manyetik alan ürettiği için elektrik alan kirliliği oluşturması ve daha fazla devre elemanı kullanmasıdır.			14. a) Akü kullanmadan yapılabilir ancak güneşlenme olmadığı zamanlarda elektrik üretimi de olmaz. Ancak şebeke beslemeli sistemlerde gerektiğinde şebekeden enerji alınıyor olması sorunu ortadan kaldırır. b) Henüz güneş enerjisi ile üretilen elektrik için kurulum maliyeti geleneksel yöntemlere göre pahalıdır. c) Maliyet açısından fosil kaynaklar avantajlı iken çevrecilik açısından güneş ve diğer yenilenebilir kaynaklar tartışmasız öndedir. ç) İhtimallerden bazıları şöyle olabilir: Enerji, tüketim yerinde üretilir olacağından şimdiki şebekelere (elektrik ağlarına) gerek kalmaz. Fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar ortadan kalkar. Ülkeler arası enerji kaynaklı siyasî sorunlarda değişimler gözlenir.		
15. a) Elektrik enerjisinin üretim ve tüketim merkezleri arasında büyük uzaklıklar bulunur. Elektrik enerjisi bu uzak mesafeler arasında aktarılırken kayıp yaşanır. Bu kayıpları en aza indirmek için gerilim değerinin yükseltilmesi bir teknik zorunluluktur. b) Transformatörler elektriğin gerilim ve akım değerlerinin ters orantılı olarak değiştirirler. c) Telin direncine ve geçen akım şiddetine bağlıdır. ç) Telin direnci; yapıldığı maddenin cinsine uzunluğuna ve kesit alanına bağlıdır. d) Önerdiğiniz yöntemi; bilimsel olarak mümkün olmak, kullanışlı olmak ve ekonomik olmak argümanlarıyla savunabilmelisiniz. e) D seçeneğindeki grafik doğrudur.					
16. Suyun dielektrik sabiti boşluğunkinden büyük olduğundan k'nin değeri azalır. Bu durumda kuvvet de azalacaktır.			17. 9 N/C ve 4 N/C	18. $\vec{T}_1, \vec{T}_2$ değişmez.	
19. 3/10 bulunur.		20. $3\sqrt{2}$		21. a) 108 J b) 96,6 J c) 12,6 J ç) 108,6 J	
22. Yalnız III	23. a) 400/3 b) 200/3 c) 200		24. Artı levhaya doğru hareket edebilir. Eksi levhaya doğru da hareket edebilir. Hareket doğrultusunu da değiştirebilir.		
25. 9 bulunur.		26. 5q	27. Manyetik kuvvetin yönü +z'dir.		
28. $W_K = 75 \text{ J}$, $W_L = 225 \text{ J}$,		29. 1 A'dır		30. $-3 \vec{B}$	
31. $\vec{B} = 0$		32. 1, 2 ve 3		33. Manyetik akı azalır. Öz-indüksiyon akımı 1 yönünde olur.	
34. Önce hızlanır. Sonra sabit hız ile devam eder.			35. 3/2	36. %80	
37. a) 8 volt b) Telde oluşan indüksiyon akımının yönü, kendini oluşturan manyetik akı değişimine karşı koyacak yönde manyetik alan oluşturan akımın yönüdür.			38. I ve III 39. a) II yönünde b) ϵ, r ve I değerlerini arttırmak gerekir.		

2. Ünite Ölçme Değerlendirme Soruları Cevap Anahtarı

40. A	41. C	42. B	43. C	44. C	45. C
46. B	47. C	48. D	49. D	50. A	51. B
52. B	53. A	54. E	55. E	56. E	57. B
58. D	59. E	60. E	61. E	62. A	63. D
64. A	65. A	66. A	67. C		

SÖZLÜK

A

akışkan	: Akış özellikleri gözlenebilen (sıvı veya gaz).
alınan yol	: Karada, havada, suda bir yerden bir yere gitmek için aşılacak uzaklık.
alyan	: Cıvataları çıkarıp takmaya yarayan, altıgen kesitli, L biçiminde alet
anlık hız	: Hareketlinin gözlemlendiği andaki ölçülen hızı.
atıf	: Yöneltilme, çevirme, ilişkili bulma, gönderme.
avantaj	: Olay ya da gelişmelerin fayda sağlayıcı nitelikte olması.

B

bijon	: Motorlu taşıtlarda jantın şafta sabitlenmesi için kullanılan bir tür cıvata.
birim	: Bir büyüklüğe değer verilmesinde başvurulacak aynı boyuttan karşılaştırma örneği.
boyut	: Birbiriyle açık ya da örtük ilişkisi olan çeşitli tutum ve davranış görünümlerine bir içbütünlük kazandıran temel öge ya da bir ölçme aracının ölçtüğü konu.
bulgu	: Araştırma verilerinin çözümlenmesinden sonra elde edilen bilimsel sonuç.

C

cıvata	: Birbirine bağlanmak istenen ağaç veya demir parçalarının üzerinde hazırlanmış olan deliklerden geçirilerek ucuna somun takılıp sıkıştırılan iri başlı vida.
---------------	---

D

daireesel	: Daire biçiminde olan, dairevi.
deney	: Bir hipotezin doğruluğunun tespit edilmesi için yapılan yöntemi tanımlanmış işlemler bütünü.
dengelenmiş kuvvet	: Kendisi ile aynı büyüklük ve zıt yöndeki kuvvet etkisindeki kuvvet.
dezavantaj	: Avantajlı olmama durumu.
dinamik	: Hareketli, her an değişebilen, duruk karşıtı.
diyagram	: Bir olayın çeşitli durumlarını göstermeye ve birkaç değişken arasında karşılaştırma yapmaya yarayan çizgisel anlatım türü.
doğrultu	: Paralel olmayan iki sonsuz doğruyu birbirinden ayırt ettiren durum.
düzlem	: Üzerine, kesişen iki doğrunun her noktasının dokunması gereken yüzey.

E

eğim	: Bir doğru için dikey yönde değişimin, yatay yönde değişime oranı.
eksen	: Üzerinde bir yön belirlenmiş doğru.
elektrik	: Elektriksel yük taşıyan parçacıkların yer değiştirmesi sonucunda meydana gelen enerji değişimi.
elektriksel yük	: Elektron ve proton gibi parçacıkların birbirini itmesini ve çekmesini sağlayan fiziksel bir özellik.
enerji	: Bir cismin veya fiziksel bir sistemin iş yapabilme kapasitesi.
enerji aktarımı	: Enerjinin bir sistemden bir başkasına geçmesi.
esnek	: Kuvvetle orantılı olarak uzayıp kısalan.
etkinlik	: Öğrencilerin yaptığı ya da öğretmenin düzenlediği her türlü çalışma ve oyun.
etki-tepki kuvvetleri	: Temas hâlindeki cisimlerin birbirlerine uyguladıkları aynı büyüklükteki ve zıt yönlü

eylemsizlik : kuvvet çifti.
: Bir nesnenin konumunu, biçimini ya da devinim durumunu koruma özelliği.

F

ferromanyetik : Yüksek manyetik geçirgenliğe sahip olma.

G

göreceli hareket : Hareket gözleminin gözlemcinin hareketine bağlı olması.
gözlem : Bir nesne ya da olayın özelliklerini öğrenmek ya da varsayımların doğruluğunu sınamak için yapılan inceleme.
gözlemci : Belli nesne ve olayları yakından izleyen, gözleme işini yapan kişi.
grafik : Değişkenler arasındaki ilişkiyi göstermeye yarayan çizgisel anlatım şekli.

H

hareket : Bir öteleme ile bir dönmenin bileşkesi.
hız : Hareketli bir cismin birim zamanda aldığı yol.

i

ivme : Birim zamandaki hız değişimi tutarı; hızın değişim hızı.

J

joule : SI birim sisteminde iş, enerji ve ısı birimi.

K

kavram : Nesnelerin ya da olayların ortak özelliklerini kapsayan ve bir ortak ad altında toplayan genel tasarım.
kaynak : 1. Herhangi bir enerjinin oluşup çevreye yayıldığı yer. 2. Araştırma ve incelemede yararlanılan belge.
kinetik : Hareket ile ilgili.
kinetik sürtünme katsayısı : Cismin hareket hâlindeki sürtünme katsayısı.
kinetik sürtünme kuvveti : Hareket hâlindeki cismin sürtünme kuvveti.
konum : Bir nesnenin seçilen bir başvuru noktasına, eksenine ya da eksenlerine göre yeri.
koordinat : Kartezyen koordinat sisteminde eksenlerin ortak kesişme noktası.
kutup : 1. Elektrik akımını oluşturan gerilim ayrılığının en yüksek dereceyi bulduğu iki noktadan her biri. 2. Bir mıknatıs demirinin iki ucundan her biri.
kütle : Bir nesneye uygulanan kuvvetle, oluşan ivme arasındaki orantıyı veren katsayı veya nesne niceliği.
kütle çekim kuvveti : Dünya'nın ve diğer gök cisimlerinin, üzerinde bulunan cisimlere uyguladığı çekim kuvveti.

M

matematiksel model : İki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi cebirsel terimlerle ifade

	eden bir matematiksel yapı.
mekik	: Uzay gemisi.
model	: Semboller veya şekillerin tasarlanması.
modelleme	: Tam anlaşılamamış bir mekânizmanın, bilinen başka mekanizmalara benzetilerek anlaşılmasını sağlayan mantıksal modelin geliştirilmesi.
mutlak hız	: Bir cismin sabit bir eksen takımına göre hızı.

N

nicelik	: Bir şeyin sayılabilen, ölçülebilen veya azalıp çoğalabilen durumu.
----------------	--

O

ortalama hız	: Fizikte bir grup molekül veya parçacığın hızlarının ortalaması.
---------------------	---

Ö

öteleme	: Aynı doğrultuda bir yerden başka yere götürme işlemi.
öteleme hareketi	: Aynı doğrultuda bir yerden başka yere götürme hareketi.

P

pak	: Buz hokeyi sporunda kullanılan disk.
proje	: Olması veya yapılması istenen bir şeyin zihinde aldığı biçim, tasarısı.

R

rota	: Bir gemi veya uçağın gidiş yönü, izleyeceği yol.
-------------	--

S

sektör	: Aynı işi yapan topluluk.
simülasyon	: Fiziksel ya da soyut bir sistemin belirli özelliklerinin, onun gibi davranan genellikle matematiksel ya da mantıksal bir modelle temsil edilip incelenmesi.
sistem	: Bir sonuç elde etmeye yarayan yöntemler düzeni.
statik	: Duran.
statik sürtünme katsayısı	: Cismin durgun hâldeki sürtünme katsayısı.
statik sürtünme kuvveti	: Cismin durgun hâldeki sürtünme kuvveti.
sürtünme kuvveti	: Cisimlerin birbiri üzerinden kayarken kayma hareketine karşı gösterdikleri direnç kuvveti.

T

teorem	: Doğruluğu kanıtlanabilen önerme.
terim	: Bilim veya sanat kavramları için kullanılan anlamı sınırlı sözcük.

U

uzay	: Bütün varlıkların içinde bulunduğu sonsuz boşluk, feza, mekân.
-------------	--

Y

yer çekimi : Yer kütlesinin çekimi etkisiyle bir cismin, türlü bölümlerine uygulanan güçlerin bileşkesi, arz cazibesi.

yer değiştirme: Bir nesnenin bulunduğu ilk konum ile -aradaki gezingesi ne olursa olsun- son konumu arasındaki vektörün uzunluğu.

yiv : Bir dişli çarkta veya bir vidada iki diş arasında kalan çukur bölüm

yöntem : Bir işi yapmak, bir sorunu çözmek, bir deneyi sonuçlandırmak, bir konuyu öğrenmek ya da öğretmek, belli bir sonuca ya da hedefe erişmek gibi amaçlara ulaşmak için bilinçli olarak seçilen ve izlenen yol, yordam ve düzenekler bütünü.

yörünge : Hareketli bir nesnenin izlediği yol ya da çizgi.

Z

zaman : Bir sürecin başlangıcından bitişine kadar olan süre.

DİZİN

A

ağırlık 13, 15, 40, 41, 60, 83, 107, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 170, 171
ağırlık merkezi 13, 161, 162, 163, 164, 165, 167, 168, 170, 171
akım 211, 254, 256, 264, 265, 266, 268, 275, 276, 277, 279, 282, 283, 284, 285, 286, 288, 293, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 309, 310, 311, 312, 316, 319, 320, 326, 329
akışkan 71, 331
alınan yol 331
alternatif akım 211, 295, 296, 297, 299, 300, 301, 303, 320
anlık hız 331
armatür 249
aşağıdan yukarı atış hareketi 76, 91, 93, 119
atıf 331
atış hareketi 74, 76, 77, 81, 83, 84, 89, 91, 93, 119, 146
avantaj 310, 331

B

bağıl hareket 13, 30
bağıl hız 30, 31
basit makine 171, 172, 173, 181, 184, 193
bileşke vektör 20, 22, 23, 25, 194
birbirinin negatifi olan vektörler 24
bir boyutta çarpışma 132
bir boyutta sabit ivmeli hareket 64
birim 18, 40, 72, 108, 109, 110, 124, 125, 189, 215, 216, 217, 218, 220, 228, 230, 231, 232, 234, 251, 266, 270, 271, 278, 281, 282, 283, 300, 310, 331, 332
bobin 268, 290, 298, 299, 300, 301, 303, 310, 320
boyut 331
bulgu 331

C

Coulomb Yasası 212, 214, 220

Ç

çıkış süresi 76, 79

çıkırık 186, 187, 188
çizgisel momentum 13, 124, 125, 130, 131, 132, 135, 136, 137, 140, 141, 142, 143, 145, 146, 147

D

dairesel 176, 183, 189, 276, 279, 310, 331
deney 297, 331
denge 13, 110, 111, 139, 149, 152, 157, 160, 161, 162, 166, 172, 173, 174, 180, 182, 219, 223, 317
dengelenmiş kuvvet 331
dielektrik sabiti 213, 214, 249, 251, 329
dinamik 331
direnç kuvveti 71, 72, 183, 184, 185, 333
diyagram 331
doğrultu 16, 17, 47, 49, 57, 68, 268, 331
düzgün doğrusal hareket 59, 60, 72, 84, 93
düzgün elektrik alan 231, 241, 246
düzgün hızlanan doğrusal hareket 59, 60, 65, 66, 68, 69
düzgün yavaşlayan doğrusal hareket 59, 60, 62, 66, 76
düzlem 15, 16, 43, 50, 52, 53, 54, 56, 58, 113, 172, 181, 182, 183, 204, 207, 227, 232, 233, 239, 249, 263, 331

E

eğik atış hareketi 89, 91, 146
eğim 49, 57, 181, 183, 198, 202, 331
eksen 276, 300, 316, 331, 332
elektrik 14, 15, 98, 115, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 223, 224, 225, 226, 227, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 251, 252, 253, 254, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 278, 279, 282, 290, 291, 292, 294, 295, 296, 297, 298, 302, 303, 304, 306, 310, 311, 312, 313, 315, 317, 318, 319, 325, 329, 331
elektrik alan 14, 15, 211, 212, 215, 216, 217, 231, 232, 233, 235, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 248, 291, 312, 317, 325, 329
elektiriksel iş 230, 231
elektiriksel kuvvet 212, 214, 217, 218, 220, 221, 224, 225, 245, 246, 292, 312
elektiriksel potansiyel 211, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 234, 237, 238, 239, 240, 241, 309, 317, 318

elektriksel yük 283, 331
empedans 211, 301, 327
enerji 13, 87, 98, 102, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 117, 121, 122, 128, 129, 131, 132, 133, 136, 138, 152, 172, 194, 206, 211, 225, 226, 227, 230, 231, 232, 235, 236, 248, 249, 252, 253, 255, 256, 262, 263, 282, 283, 296, 297, 303, 306, 310, 311, 316, 317, 318, 329, 331, 332
enerji aktarımı 331
esnek 48, 50, 56, 115, 129, 132, 133, 134, 135, 136, 138, 140, 141, 202, 331
esnek çarpışma 129, 132, 133, 135
esneklik potansiyel enerjisi 110, 111, 119, 122, 225
esnek olmayan çarpışma 132, 138, 140, 141, 202
eşit vektör 23
eş potansiyel yüzey 233
etkinlik 72, 331
etki-tepki kuvvetleri 331
eylemsizlik 331

F

farad 248
faz farkı 299
fazör diyagramı 299, 300
ferromanyetik 303, 331

G

gerilme kuvveti 40, 44, 45, 158, 159, 180, 182, 198, 207, 221, 223
göreceli hareket 332
gözlem 30, 41, 332
gözlemci 30, 31, 32, 33, 195, 332
grafiğin eğimi 65
grafik 64, 106, 312, 329, 332
güç 11, 171, 189, 252, 302, 305, 306

H

hareket 13, 19, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 37, 40, 41, 42, 43, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 74, 76, 77, 79, 81, 82, 83, 84, 86, 89, 90, 93, 98, 100, 101, 102, 103, 105, 107, 112, 114, 118, 124, 126, 129, 131, 132, 133, 135, 137, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 152, 171, 176, 177, 182, 186, 191, 194, 195, 196, 197, 198, 200, 202, 206, 207,

212, 233, 234, 235, 246, 263, 264, 276, 279, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 288, 289, 291, 292, 295, 296, 313, 315, 320, 327, 329, 332
hız 13, 14, 15, 30, 31, 32, 35, 39, 59, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 82, 83, 84, 85, 90, 91, 93, 94, 95, 96, 98, 99, 102, 105, 106, 118, 121, 126, 131, 132, 133, 136, 138, 140, 144, 145, 147, 195, 199, 200, 202, 209, 246, 279, 282, 283, 300, 327, 329, 331, 332, 333

İ

iki boyutlu 16, 17, 18, 26, 163, 166, 170
iki boyutta çarpışma 132
ilk hızsız düzgün hızlanan hareket 61, 69
indüksiyon akımı 211, 282, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 295, 310, 316, 320, 321, 327
indüksiyon elektromotor kuvveti 284, 286
indüktans 211, 300, 301, 320
iniş süresi 76
iş 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 107, 108, 109, 112, 113, 121, 152, 172, 183, 192, 200, 224, 225, 227, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 240, 241, 255, 263, 283, 311, 331, 332
itme 13, 40, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 212, 224, 225, 226, 227
ivme 15, 42, 43, 48, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 66, 67, 68, 101, 105, 194, 197, 207, 332

J

joule 225, 231, 332
Joule 102, 105, 106, 108

K

kapasitans 211, 300, 301, 320, 327
kapasite 211, 247, 263, 326
kartezyen koordinat sistemi 16, 145
kavram 332
kaynak 244, 296, 302, 332
kinetik 40, 102, 112, 113, 114, 115, 120, 121, 122, 123, 130, 131, 132, 136, 138, 194, 206, 207, 209, 332
kinetik enerji 112, 113, 131, 132, 136, 138, 194, 206
kinetik sürtünme katsayısı 332
kinetik sürtünme kuvveti 40, 332
konum 63, 65, 68, 70, 90, 105, 106, 195, 332,

334

koordinat 16, 17, 18, 24, 26, 28, 29, 42, 43, 47,
49, 52, 53, 55, 57, 61, 83, 91, 135, 140, 145, 146,
158, 163, 165, 167, 168, 195, 220, 332

kutup 294, 332

kuvvet 14, 15, 19, 40, 41, 42, 43, 44, 46, 47, 49,
51, 52, 53, 55, 57, 59, 60, 71, 72, 73, 102, 105,
106, 107, 110, 112, 114, 119, 124, 126, 127, 129,
130, 131, 149, 150, 151, 152, 153, 157, 171, 172,
173, 174, 175, 176, 178, 180, 181, 182, 184, 187,
188, 192, 194, 195, 200, 203, 211, 212, 213, 214,
217, 218, 219, 220, 221, 224, 225, 231, 233, 245,
246, 264, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 282, 283,
291, 292, 309, 312, 315, 322, 325, 327, 331

kuvvet kolu 149, 150, 173, 174, 188

kuvvetten kazanç 172, 173, 174, 177, 180, 181,
186, 194

kütle 13, 42, 51, 52, 68, 119, 131, 132, 133, 144,
164, 165, 166, 167, 168, 170, 176, 204, 212, 214,
246, 332

kütle çekim kuvveti 332

kütle merkezi 13, 164, 166, 168, 204

L

limit hız 13, 72, 73

Lorentz kuvveti 292

M

maksimum yükseklik 76, 114

manyetik akı 211, 281, 283, 285, 286, 287, 288,
289, 290, 295, 315, 327, 329

manyetik alan 14, 15, 211, 235, 236, 264, 265,
266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275,
276, 277, 278, 279, 281, 282, 283, 285, 286, 287,
288, 289, 290, 291, 292, 293, 296, 303, 310, 314,
315, 318, 321, 322, 326, 327, 329

manyetik kuvvet 211, 275, 276, 278, 279, 283,
291, 292, 315, 327

matematiksel model 251, 332

mekanik enerji 112, 114

mekik 131, 332

menzil 84, 85, 94

model 217, 224, 251, 332

modelleme 332

momentum 13, 124, 125, 127, 128, 130, 131,
132, 135, 136, 137, 139, 140, 141, 142, 143, 145,

146, 147

momentum korunumu 132

mutlak hız 31, 332

N

negatif 27, 59, 61, 62, 64, 99, 100, 101, 104, 121,
144, 227, 242, 245, 252, 253, 254, 297, 318, 326,
327

net kuvvet 40, 41, 42, 44, 53, 59, 60, 71, 72, 245,
246

nicelik 19, 172, 220, 255, 333

noktasal yük 215

O

ohmik 301

orijin 16, 18, 26

ortalama hız 333

ortamın direnç kuvveti 71

Ö

öteleme 121, 157, 161, 332, 333

öteleme hareketi 121, 333

öz-indüksiyon akımı 211, 290, 291

P

pak 333

palanga 180, 181

primer 302, 303, 304, 305, 306

proje 193, 333

R

rota 333

S

sağ el kuralı 264, 265, 267, 268, 275, 276, 279,
282

sekonder 302, 303, 304, 305, 306

sektör 333

serbest düşme hareketi 68, 69, 70, 71, 74, 84, 93,
147

sığa 211, 247, 248, 255, 257, 262, 309

sığaç 211, 248, 298, 301

simülasyon 148, 149, 333
sistem 114, 222, 226, 229, 248, 294, 333
statik 40, 53, 157, 333
statik sürtünme katsayısı 53, 333
statik sürtünme kuvveti 40, 53, 333
sürtünme kuvveti 40, 41, 52, 53, 56, 71, 121, 160,
202, 207, 332, 333

T

teorem 333
tepe noktası 76
tepki kuvveti 40, 41, 42, 45, 47, 49, 52, 53, 55,
57, 110, 127, 157, 158, 159, 161
terim 333
tork 13, 148, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 157,
160, 161, 163, 167, 173, 174, 175, 176, 177, 186,
194, 203, 276, 277, 278
transformatör 211, 302, 303, 305, 311

U

uçuş süresi 76, 95, 97
uzay 16, 131, 292, 333

Ü

üç boyutlu 16, 17, 18, 166, 195

V

vektör 14, 15, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 29,
31, 194, 275, 276
verim 13, 172, 182, 305

W

weber 275, 281, 284

Y

yatay atış hareketi 81, 91
yavaşlayan doğrusal hareket 59, 60, 62, 66, 76
yer çekimi 333
yerçekimi 81, 84, 108, 163
yerçekimi potansiyel enerjisi 108
yer değiştirme 334
yerdeğiştirme 15, 16, 19, 33, 65, 98, 121, 167,
207

yöntem 19, 264, 297, 312, 334
yörünge 91, 105, 183, 246, 282, 334
yukarıdan aşağıya atış hareketi 74, 76

Z

zaman 3, 13, 22, 27, 40, 59, 61, 63, 64, 65, 67,
68, 70, 76, 90, 93, 105, 106, 121, 124, 126, 129,
130, 131, 166, 194, 195, 199, 200, 206, 207, 208,
209, 227, 295, 297, 303, 334
zamansız hız denklemi 65
zıt vektörler 196

KAYNAKÇA*

- Canan Dağdeviren: <http://canandagdeviren.com/> adresinden alınmıştır. (Erişim: 21.12.2017, 10:30)
- Griffiths, D. J. (1991). *Elektromagnetik Teori*. (B. Karaoğlu, Çev.). İstanbul: Güven.
- Güneş, B., Ateş, S., Eryılmaz, A., Yürük, N., Özdemir, Ö. F., Kanlı, U. ve Damalı, V., (2017). *Fizikte Kavram Yanılgıları*. Ankara: Palme.
- Halliday, D. ve Resnick, R. (1990). *Fiziğin Temelleri*. (C. Yalçın, Çev.). Ankara: Arkadaş.
- Kartal S., Bölükbaşı O., Ünsalan O., Olgun T. A., Yılmaz A. ve Tavukoğlu Şahin, Z. (2016). *Üniversiteler İçin Fizik* (Cilt 1, 2). Ankara: Nobel.
- Mazur, E. (2016). *Fizik İlkeler ve Pratik* (Cilt 1, 2). (A. U. Abdullah Verçin, Çev.). Ankara: Nobel.
- MEB (2018). *Ortaöğretim Fen Lisesi Fizik Dersi Öğretim Programı*. Ankara.
- Raymond, A. ve Serway, R. J. (2000). *Fen ve Mühendislik İçin Fizik 2*. (K. Çolakoğlu, Çev.). Ankara: Palme.
- TDK Türkçe Sözlük. (2012). Ankara : TDK Yayınları.
- TDK Yazım Kılavuzu. (2012). Ankara : TDK Yayınları.
- Topdemir, H.G. (2010, Ekim). Isaac Newton ve Bilim Devrimi. *Bilim Teknik*, s. 86.
- Young, H. D. ve Freedman, R. A., (2017). *Üniversite Fiziği* (Cilt 1, 2). (A. T. Hilmi Ünlü, Çev.). İstanbul: Pearson.
- 3. Sınıf Elektrik Tesisatçılığı Elektrik Bilgisi <http://hbogm.meb.gov.tr/mtao/3elektrikbilgisi/unite17.pdf> (Erişim: 19.01.2018, 15:40)

*Kaynakça APA 6 formatında düzenlenmiştir.

KAREKOD UZANTILARI

1.Ünite

Sayfa 82 Etkinlik Köşesi: https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_en.html

Sayfa 89 Etkinlik Köşesi: https://phet.colorado.edu/sims/html/projectile-motion/latest/projectile-motion_en.html

Sayfa 148 Etkinlik Köşesi: <https://interactives.ck12.org/simulations/physics/see-saw/app/index.html?referrer=ck12Launcher&backUrl=https://interactives.ck12.org/simulations/physics.html>

Sayfa 149 Meraklısına: <https://interactives.ck12.org/simulations/physics/drawbridge/app/index.html?referrer=ck12Launcher&backUrl=https://interactives.ck12.org/simulations/physics.html>

2.ünite

Sayfa 213 Etkinlik Köşesi: <http://ophysics.com/em1.html>

Sayfa 243 Etkinlik Köşesi: <http://ophysics.com/em5.html>

Sayfa 250 Etkinlik Köşesi: <https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/capacitor-lab>

Sayfa 284 Etkinlik Köşesi: <https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/faraday>

Sayfa 294 Etkinlik Köşesi: <https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/faraday>

Sayfa 302 Etkinlik Köşesi: <https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/faraday>
<https://www.java.com/tr/download/>

GÖRSEL KAYNAKÇA

- 1.Ünite Kapağı Görsel 1: www.shutterstock.com/tr/image-illustration/balancing-ball-newtons-cradle-pendulum-3d-513158257?src=x5PHOwjharQYVwO8dTHSTQ-1-6 (Erişim: 18.09.2017, 10:00)
- 1.Ünite Kapağı Görsel 2: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/osman-gazi-bridge-512891896?src=7oMMaWZJAKcHIXSeWou6TA-3-43> (Erişim: 18.09.2017, 10:20)
- 1.Ünite Kapağı Görsel 3: www.shutterstock.com/tr/image-photo/misano-adriatico-italy-june-21-kawasaki-206275078?src=WvVZyEzedLAnjGjDwhyfrA-1-3 (Erişim: 18.09.2017, 10:40)
- 1.Ünite Kapağı Görsel 4: https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/watch-background-special-toned-focus-point-22964596?src=wH4Fh4mdWwEv_9h_epReXw-1-40 (Erişim: 18.09.2017, 11:00)
- Görsel 1.1: <https://www.dreamstime.com/stock-photos-airplane-transportation-jet-air-plane-flies-blue-sky-image35213513> (Erişim: 20.09.2017, 10:05)
- Görsel 1.2: <https://www.dreamstime.com/stock-image-rocky-mountain-sled-dog-championships-competitor-musher-shouts-commands-to-his-team-coming-out-turn-th-january-image37132971> (Erişim: 20.09.2017, 10:25)
- Görsel 1.3: <https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-image-faroese-rowing-competitor-image5938166> (Erişim: 20.09.2017, 11:15)
- Görsel 1.4: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/istanbul-turkey-january-15-senior-men-120421069?src=h-GN4sqHN3yNKiR9uPqlug-1-7> (Erişim: 21.09.2017, 09:40)
- Görsel 1.5: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/red-acerola-cherry-on-tree-thailand-456291748> (Erişim: 21.09.2017, 10:15)
- Görsel 1.6: <https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-photos-apples-image3073838> (Erişim: 21.09.2017, 11:40)
- Görsel 1.7: https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/watercolor-tree-red-apples-grass-flowers-202257157?src=4kcwiAzyogE_afvxuXH42g-2-60 (Erişim: 22.09.2017, 14:20)
- Görsel 1.8: <https://www.dreamstime.com/stock-photography-elevator-exposed-shuttled-department-store-image35420692> (Erişim: 22.09.2017, 15:10)
- Görsel 1.9: <https://www.dreamstime.com/royalty-free-stock-photo-private-jet-plane-taking-off-motion-blur-image29519235> (Erişim: 25.09.2017, 09:15)
- Görsel 1.10: <https://tr.123rf.com/stok-foto%C4%9Fraf/6991630.html?&sti=mfit29pz1hiql46cxhl&mediapup=6991630> (Erişim: 27.05.2019, 13:34)
- Görsel 1.11: https://www.shutterstock.com/tr/download/confirm/14259955?size=huge_jpg (Erişim: 21.06.2018, 9:55)
- Görsel 1.12: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/young-woman-archer-holds-his-bow-435475372> (Erişim: 21.06.2018, 10:00)
- Görsel 1.13: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/one-brazilian-soccer-football-player-young-177148802> (Erişim: 27.09.2017, 09:15)
- Görsel 1.14: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/young-male-basketball-player-taking-free-429546778?src=J3294t500OywA74FITryxQ-2-97> (Erişim: 27.09.2017, 10:55)
- Görsel 1.15: <https://www.shutterstock.com/tr/image-vector/triple-jump-moves-illustration-woman-jumps-691657498?src=rfgzf6H6o7j6X-9R8vQk-A-2-65> (Erişim: 28.09.2017, 08:35)
- Görsel 1.16: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/engineering-consulting-people-on-construction-site-691912672> (Erişim: 28.09.2017, 16:40)
- Görsel 1.17: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/loader-work-shop-on-manufacture-building-55378669> (Erişim: 29.09.2017, 10:40)
- Görsel 1.18: <http://canandagdeviren.com/Biography.aspx> (Erişim: 21.06.2018, 14:20)
- Görsel 1.19: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/metal-cutting-rotating-disc-674727313> (Erişim: 02.11.2017, 11:20)

Görsel 1.20: <https://www.shutterstock.com/tr/image-illustration/3d-rendering-swarm-meteorites-asteroids-entering-622750775> (Erişim: 02.11.2017, 12:30)

Görsel 1.21: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/hoeven-netherlands-august-1-train-moving-475709923> (Erişim: 03.11.2017, 09:40)

Görsel 1.22: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/huge-powerful-big-rig-semi-truck-525923404?src=zX3uOqN5ADO3yw-Aan4haw-3-61> (Erişim: 04.11.2017, 10:40)

Görsel 1.23: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/large-trucks-transporting-goods-on-steep-309913544> (Erişim: 13.07.2018, 15:39)

Görsel 1.24: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/young-worker-toolbox-repairing-washer-kitchen-306290816> (Erişim: 05.11.2017, 10:35)

Görsel 1.25: <https://www.shutterstock.com/tr/image-illustration/bowling-pins-ball-strike-illustration-on-on-138679685> (Erişim: 05.11.2017, 14:25)

Görsel 1.26: https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/hockey-player-shoots-puck-attacks-168412541?src=JQgL5soZnGDm_xRLqJHX6g-1-4 (Erişim: 06.11.2017, 15:55)

Görsel 1.27: <https://www.shutterstock.com/tr/image-illustration/first-space-shuttle-launch-on-april-245965435?src=oiK8EzUetm2QSVC2iyBRGQ-1-5> (Erişim: 07.11.2017, 09:18)

Görsel 1.28: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/broken-debris-caused-by-explosion-against-704131039> (Erişim: 09.11.2017, 11:05)

Görsel 1.29: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/blast-open-cast-mining-quarry-69021271?src=TXxJD90f6Amyfawvl3XJcw-18-92> (Erişim: 10.11.2017, 12:25)

Görsel 1.30: https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/hand-young-man-opening-freezer-door-229477021?src=DUEVbUvxGkLhMUQ_zmJdwQ-5-0 (Erişim: 11.11.2017, 14:35)

Görsel 1.31: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/portrait-beautiful-professional-female-driver-opening-510743011> (Erişim: 12.11.2017, 10:40)

Görsel 1.32: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/close-hands-opening-jar-697204240?src=76nyOM9kljZZ3Sv24zAeZw-2-36> (Erişim: 13.11.2017, 10:10)

Görsel 1.33: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/brass-coffee-mill-isolated-on-white-68845348?src=AXNh5KTZ0y2n6d-YzNg2oA-8-53> (Erişim: 16.11.2017, 17:40)

Görsel 1.34: https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/woman-changing-tire-her-car-wheel-186342566?src=UaQgawwtMC2IFs_HwXEtmw-2-34 (Erişim: 17.11.2017, 15:09)

Görsel 1.35: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/bicycle-pedal-backdrop-artificial-grass-296323250> (Erişim: 17.11.2017, 16:20)

Görsel 1.36: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/osman-gazi-bridge-450015193> (Erişim: 17.11.2017, 10:20)

Görsel 1.37: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/crane-building-construction-site-sunset-612163364> (Erişim: 18.11.2017, 13:26)

Görsel 1.38: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/blue-mosque-evening-624910772> (Erişim: 18.11.2017, 13:40)

Görsel 1.39: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/old-ladder-leaning-against-brick-wall-149936798> (Erişim: 19.11.2017, 08:40)

Görsel 1.40: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/vintage-coat-rack-winter-hats-scarves-8429389> (Erişim: 19.11.2017, 08:45)

Görsel 1.41: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/car-tire-isolated-on-white-background-506920264> (Erişim: 20.06.2018, 14:30)

Görsel 1.42: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/bangkok-thailand-february-20-2016-jinnan-568810390> (Erişim: 20.11.2017, 13:30)

Görsel 1.43: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/performing-dolphin-red-ball-105696122> (Erişim: 21.11.2017, 09:30)

Görsel 1.44: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/equilibrium-tower-stones-138512906> (Erişim: 21.11.2017, 11:20)

Görsel 1.45: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/istanbul-turkey-september-10-skyscrapers-modern-210051403> (Erişim: 22.11.2017, 13:10)

Görsel 1.46: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/ata-tower-616769438> (Erişim: 22.11.2017, 16:42)

Görsel 1.47: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/dump-truck-dumping-gravel-on-excavation-27411592> (Erişim: 23.11.2017, 10:20)

Görsel 1.48: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/motorcycle-transmission-734150851> (Erişim: 23.11.2017, 15:20)

Görsel 1.49: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/closeup-joiner-hand-hexagonal-key-screwing-710094355> (Erişim: 27.11.2017, 17:25)

Görsel 1.50: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/well-88231504> (Erişim: 27.11.2017, 18:25)

Görsel 1.51: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/car-engine-pulley-drive-belt-280502279> (Erişim: 27.11.2017, 19:25)

Görsel 1.52: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/stylish-hipster-bicycle-isolated-on-white-595603079> (Erişim: 27.11.2017, 19:25)

Görsel 1.53: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/clock-inside-macro-background-31764304> (Erişim: 28.11.2017, 11:25)

Görsel 1.54: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/car-gear-box-repair-automotive-workshop-569233861> (Erişim: 28.11.2017, 16:25)

2.Ünite Kapağı Görsel 1: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/business-technology-internet-network-concept-young-596608511> (Erişim: 06.11.2017, 09:05)

2.Ünite Kapağı Görsel 2: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/capacitor-311769458?src=0Nwo-aXFxTXK03rUFM0nM0w-1-26> (Erişim: 07.11.2017, 11:24)

2.Ünite Kapağı Görsel 3: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/cook-who-starts-induction-cooktops-kitchen-602601917?src=uABXwviBK5Abz8DVsgiyIlg-1-31> (Erişim: 07.11.2017, 12:25)

2.Ünite Kapağı Görsel 4: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/opened-electric-motor-on-white-background-530827159?src=pHhgYep4dcCVVA-CZh5T4g-1-29> (Erişim: 10.11.2017, 14:15)

Görsel 2.1: https://www.shutterstock.com/tr/image-illustration/coulombs-torsion-balance-3d-illustration-apparatus-714765619?src=Yf7qph42Qw26VEy__SL1_w-1-14 (Erişim: 30.11.2017, 10:25)

Görsel 2.2: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/pacemaker-over-white-background-214679437?src=omVE1c0qTgDAk35cMlnolg-1-88> (Erişim: 01.12.2017, 09:16)

Görsel 2.3: <https://www.shutterstock.com/tr/image-photo/cprexternal-pacer-analyzerusing-defibrillator-save-lives-541045471?src=omVE1c0qTgDAk35cMlnolg-1-55> (Erişim: 04.12.2017, 12:35)

Görsel 2.4: <https://www.shutterstock.com/tr/image-illustration/ev-electric-vehicle-liion-battery-concept-744766768?src=2aCg17GXWX8Sfz9ija4wHQ-1-2> (Erişim: 05.12.2017, 15:40)

Görsel 2.5: <https://www.shutterstock.com/tr/image-illustration/home-appliances-group-white-refrigerator-washing-574308055> (Erişim: 06.12.2017, 19:25)