

ORTAÖĞRETİM

# FİZİK

# 11

## DERS KİTABI

YAZAR

Muhammet ÇORUH

Bu kitap, Millî Eğitim Bakanlığı, Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı'nın 18.04.2019 tarih ve 8 sayılı (ekli listenin 170'inci sırasında) kurul kararıyla 2019-2020 öğretim yılından itibaren 5 (beş) yıl süreyle ders kitabı olarak kabul edilmiştir.



Her hakkı saklıdır ve **ANKA KUŞU YAYIN DAĞITIM LİMİTET ŞİRKETİ**'ne aittir. İçindeki şekil, yazı, metin ve grafikler, yayınevinin izni olmadan alınamaz; fotokopi, teksir, film şeklinde ve başka hiçbir şekilde çoğaltılamaz, basılamaz ve yayımlanamaz.

ISBN: 978-605-74477-4-6

***Dil Uzmanı***

Necla ŞANAL

***Görsel Tasarım Uzmanı***

Aysel GÜNEY TÜRKEÇ



Kavacık Subayevleri Mah. Fahrettin Altay Cad. No.: 4/5 Keçiören/ANKARA

tel.: (0.312) 318 0 318 • belgegeçer: (0.312) 318 0 318



## 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 dünyada cüda.

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

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

**Mehmet Âkif Ersoy**

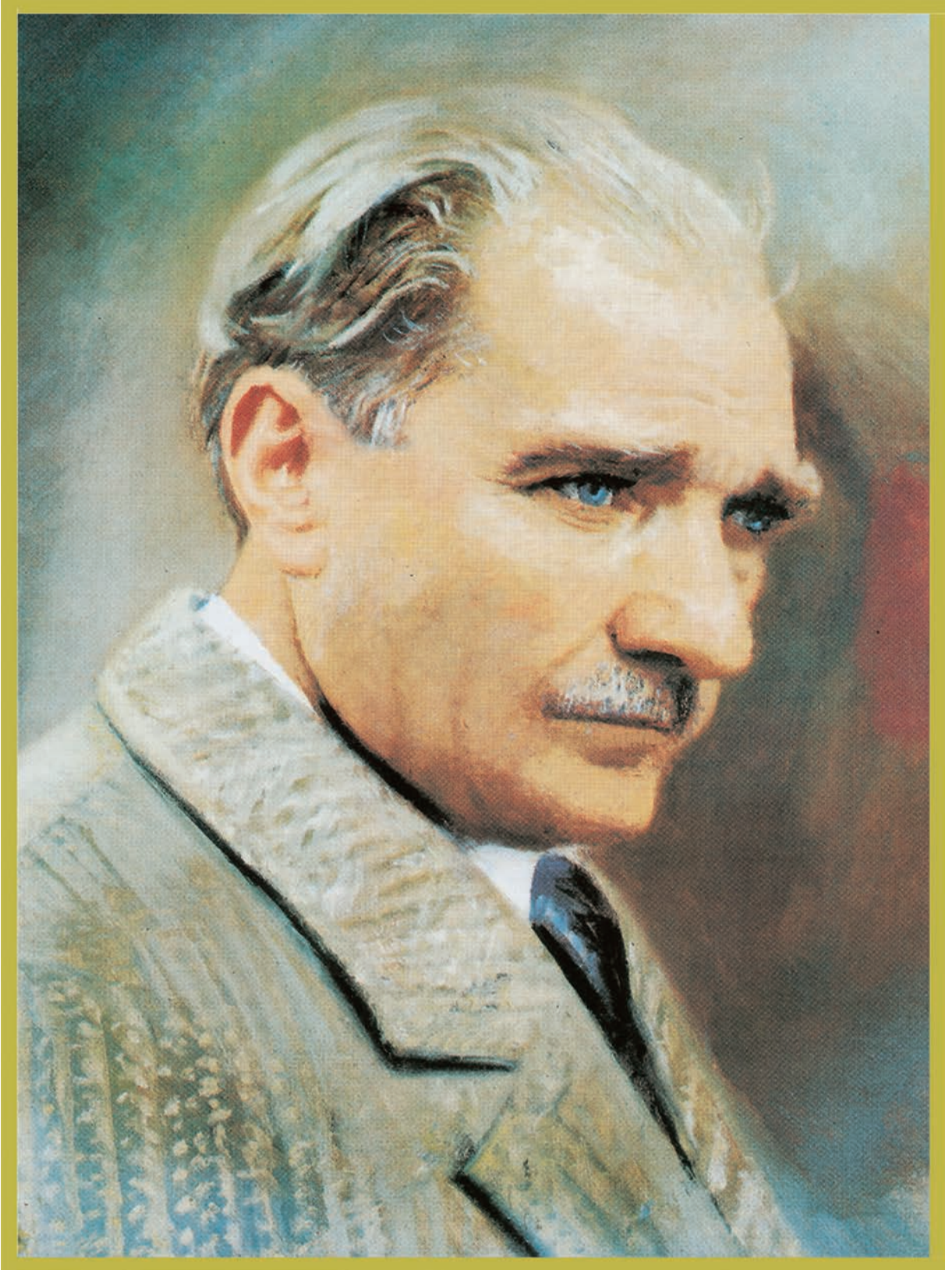
## GENÇLİĞE HİTABE

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

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

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

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

# İÇİNDEKİLER

ORGANİZASYON ŞEMASI .....	9
LABORATUVAR GÜVENLİK SEMBOLLERİ .....	12
<b>1. ÜNİTE: KUVVET VE HAREKET</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1. VEKTÖRLER</b> .....	<b>14</b>
1.1.1. Vektörlerin Özellikleri .....	14
1.1.2. Kartezyen (Dik) Koordinat Sisteminde Vektör Çizimi .....	17
1.1.3. Vektörlerin Bileşkesinin Bulunması .....	20
1.1.4. Vektörlerin Kartezyen Koordinat Sistemindeki Bileşenleri .....	24
<b>1.2. BAĞIL HAREKET</b> .....	<b>34</b>
1.2.1. Sabit Hızlı İki Cismin Birbirine Göre Hareketi .....	34
1.2.2. Hareketli Bir Ortamdaki Sabit Hızlı Cisimlerin Hareketi .....	40
1.2.3. Bağıl Hareket ile İlgili Hesaplamalar .....	47
<b>1.3. NEWTON'IN HAREKET YASALARI</b> .....	<b>53</b>
1.3.1. Net Kuvvet .....	53
1.3.2. Net Kuvvet Etkisindeki Cismin Hareketi ile İlgili Hesaplamalar .....	65
<b>1.4. BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET</b> .....	<b>75</b>
1.4.1. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket Örnekleri .....	75
1.4.2. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket ile İlgili Hesaplamalar .....	88
1.4.3. Havanın Olmadığı Ortamda Serbest Düşen Cisimler .....	95
1.4.4. Serbest Düşen Cisimlere Etki Eden Sürtünme Kuvvetinin Bağlı Olduğu Değişkenler .....	100
1.4.5. Limit Hız .....	102
1.4.6. Düşey Doğrultuda İlk Hızı Olan Sabit İvmeli Hareket .....	104
<b>1.5. İKİ BOYUTTA HAREKET</b> .....	<b>113</b>
1.5.1. Atış Hareketlerinin Yatay ve Düşey Boyutta Analizi .....	113
1.5.2. İki Boyutta Sabit İvmeli Hareket ile İlgili Günlük Hayattan Problemler .....	120
<b>1.6. ENERJİ VE HAREKET</b> .....	<b>128</b>
1.6.1. Yapılan İş ile Enerji Arasındaki İlişki .....	128
1.6.2. Mekanik Enerji Korunumu .....	137
1.6.3. Sürtünmeli Yüzeylerde Enerji Korunumu ve Dönüşümü .....	142

<b>1.7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM</b> .....	148
1.7.1. İtme ve Çizgisel Momentum Kavramları .....	148
1.7.2. İtme ve Çizgisel Momentum Değişimi Arasındaki İlişki .....	150
1.7.3. Çizgisel Momentum Korunumu .....	153
1.7.4. Çizgisel Momentum Korunumu ile İlgili Hesaplamalar .....	160
<b>1.8. TORK</b> .....	169
1.8.1. Kuvvetin Etkisi ile Oluşan Tork .....	169
1.8.2. Torkun Bağlı Olduğu Değişkenler .....	169
1.8.3. Tork ile İlgili Hesaplamalar .....	174
<b>1.9. DENGE VE DENGE ŞARTLARI</b> .....	181
1.9.1. Cisimlerin Denge Durumu .....	181
1.9.2. Cisimlerin Kütle ve Ağırlık Merkezleri .....	186
1.9.3. Kütle ve Ağırlık Merkezleri ile İlgili Hesaplamalar .....	191
<b>1.10. BASİT MAKİNELER</b> .....	198
1.10.1. Basit Makineler Hayatımızı Kolaylaştırır .....	198
1.10.2. Basit Makineler ile İlgili Hesaplamalar .....	202
1.10.3. Günlük Hayattaki Bir Problemi Çözebilecek Basit Makineler .....	213
<b>1. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI</b> .....	217
<b>2. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA</b> .....	223
<b>2.1. ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALAN</b> .....	224
2.1.1. Yüklü Cisimler Arasındaki Elektriksel Kuvvetin Bağlı Olduğu Değişkenler .....	224
2.1.2. Bir Elektrik Yükünün Oluşturduğu Elektriksel Alan .....	226
2.1.3. Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan ile İlgili Hesaplamalar .....	229
<b>2.2. ELEKTRİKSEL POTANSİYEL</b> .....	237
2.2.1. Elektriksel Potansiyel Enerji, Potansiyel, Potansiyel Farkı ve İş Kavramları .....	237
2.2.2. Düzgün Bir Elektrik Alan İçinde İki Nokta Arasındaki Potansiyel Farkı .....	244
2.2.3. Elektriksel Potansiyel Enerji, Potansiyel, Potansiyel Farkı ve İş Kavramları ile İlgili Hesaplamalar .....	245
<b>2.3. DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SİĞA</b> .....	252
2.3.1. Yüklü Levhalar Arasında Elektrik Alan .....	252
2.3.2. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanının Bağlı Bulunduğu Değişkenler .....	253

2.3.3. Yüklü Parçacıkların Düzgün Elektrik Alanındaki Davranışı .....	254
2.3.4. Sığa (Kapasite) .....	257
2.3.5. Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler .....	259
2.3.6. Sığacın (Kondansatör) İşlevi .....	261
<b>2.4. MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK İNDÜKLENME .....</b>	<b>264</b>
2.4.1. Üzerinden Akım Geçen Telin, Halkanın ve Akım Makarasının (Bobin) Oluşturduğu Manyetik Alan .....	264
2.4.2. Manyetik Alan ile İlgili Hesaplamalar .....	269
2.4.3. Üzerinden Akım Geçen Bir Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet .....	273
2.4.4. Manyetik Alan İçinde Akım Taşıyan Tel Çerçevesinin Hareketi .....	275
2.4.5. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi .....	276
2.4.6. Manyetik Akı .....	278
2.4.7. Manyetik Akı Değişimi ile Oluşan İndüksiyon Akımı .....	279
2.4.8. Manyetik Akı ve İndüksiyon Akımı ile İlgili Hesaplamalar .....	282
2.4.9. Öz İndüksiyon Akımının Oluşumu .....	285
2.4.10. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışı .....	286
2.4.11. Elektromotor Kuvveti Oluşturan Sebepler .....	287
<b>2.5. ALTERNATİF AKIM .....</b>	<b>293</b>
2.5.1. Alternatif Akım .....	293
2.5.2. Alternatif ve Doğru Akım Arasındaki Benzerlik ve Farklılıklar .....	294
2.5.3. Alternatif ve Doğru Akım Devrelerinde Direncin, Bobinin ve Sığacın Davranışı .....	298
2.5.4. İndüktans, Kapasitans ve Empedans .....	299
<b>2.6. TRANSFORMATÖRLER .....</b>	<b>307</b>
2.6.1. Transformatörlerin Çalışma İlkeleri .....	307
2.6.2. Transformatörlerin Kullanım Amaçları .....	309
<b>2. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>313</b>
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI CEVAP ANAHTARLARI .....</b>	<b>318</b>
<b>SÖZLÜK .....</b>	<b>325</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>329</b>
<b>GENEL AĞ KAYNAKÇASI .....</b>	<b>329</b>
<b>KAREKOT ADRESLERİ .....</b>	<b>329</b>
<b>GÖRSEL KAYNAKÇA .....</b>	<b>330</b>



# ORGANİZASYON ŞEMASI



## 1. ÜNİTE

### KUVVET VE HAREKET

#### Anahtar Kavramlar

1. Vektör
2. Bağlı hareket
3. İvmeli hareket
4. Serbest düşme
5. Düşey atış
6. Yatay atış
7. Eğik atış
8. Limit hız
9. Enerji
10. Hooke Yasası
11. İtme
12. Çizgisel momentum
13. Çizgisel momentumun korunumu
14. Tork
15. Denge
16. Kütle merkezi
17. Ağırlık merkezi

#### KONULAR

- 1.1. Vektörler
- 1.2. Bağlı Hareket
- 1.3. Newton'ın Hareket Yasaları
- 1.4. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket
- 1.5. İki Boyutta Hareket
- 1.6. Enerji ve Hareket
- 1.7. İtme ve Çizgisel Momentum
- 1.8. Tork
- 1.9. Denge ve Denge Şartları
- 1.10. Basit Makineler

Bu ünite amacımız: Tek boyutta hareketle ilgili kavramları iki boyutta kullanabilmemiz; okçuluk, atıcılık, golf, güle atma, paraşütle atama, yağmur damlasının düşmesi gibi olayları analiz ederek problemler çözebilmenizdir. Hareket konusunu daha ayrıntılı, iyi anlayabilmemiz; yorumlayabilmemiz için momentum kavramını ve momentumun korunumunu yapılandırmamızdır. Momentum kavramını kuvvetle ilişkilendirerek günlük hayattaki çarpışma durumlarını (trafik kazaları, bilardo gibi) analiz edebilmemiz, problem durumları ortaya koyabilmemiz ve çözümler üretebilmenizdir. Kuvvetin döndürme etkisini analiz ederek tork kavramını yapılandırmamızdır. Tork kavramından faydalanarak günlük hayatta karşılaşılan cisimlerin denge koşullarını açıklayabilmemizdir. Kaldıraç, makara, makas gibi basit makinelerin çalışma ilkelerini inceleyerek yeni problem durumları ortaya koyabilmemiz, çözümler üretebilmeniz ve tasarımlar geliştirebilmenizdir.

13

Ünitenin adı ve numarası verilmiştir.

Ünite ile ilgili öğrenilmesi hedeflenen bilimsel kavramlar ve terimler verilmiştir.

Ünite de işlenecek konu başlıkları verilmiştir.

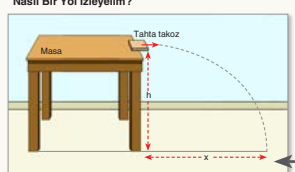
Ünite ile ilgili öğrenilmesi hedeflenenler verilmiştir.

### 1. ÜNİTE: KUVVET VE HAREKET

#### 4. Deney

#### İki Boyutta Atış Hareketi

Nasıl Bir Yol İzleyelim?



#### Araç Gereç

- Kronometre
- Metre
- Tahta takoz

► Masanın yüksekliğini ölçerek (h) tabloya kaydediniz.

► Masadan şekilde gösterildiği gibi tahta takozu elinizle fırlatınız. Takozun yere düşme süresini (t) tabloya kaydediniz. Takozun düştüğü noktanın masadan ayrıldığı noktanın düşeyine uzaklığını (x) tabloya kaydediniz.

► Düşme süresinden yararlanarak takozun düştüğü mesafeyi hareket bağıntıları kullanarak hesaplayınız (y) ve tabloya yazınız.

► Takozun yatayda aldığı yol ve düşme süresinden yararlanarak takozun masadan ayrıldığındaki yatay hızı ( $v_x$ ) hesaplayarak tabloya kaydediniz.

► Takozun yere çarpma hızını hesaplayarak (v) tabloya kaydediniz.

Masanın yüksekliği (h)	Takozun düşme süresi (t)	Takozun yatayda aldığı yol (x)	Takozun düştüğü yükseklik (y)	Takozun çıkış hızı ( $v_x$ )	Takozun yere çarpma hızı (v)

#### Sonuca Varalım

1. Ölçtüğünüz yükseklik ile hesapladığınız yükseklik arasında fark var mı? Varsa sebebi ne olabilir?
2. Takozun yatayda yaptığı hareket ile düşeyde yaptığı hareket arasındaki fark nedir?
3. Hava sürtünmesi takozun hareketini nasıl etkiler?

4. Deneyde gözlediğiniz gibi takoz iki hareket yapmaktadır. Yatayda sabit hızlı hareket, düşeyde ise serbest düşme hareketi. Yataydaki harekette atıldığı andaki hızı ile yer değiştirirken düşeyde yer çökmesi ile hızlanan hareket yapar.

119

Deneyin güvenlik uyarı sembolü verilmiştir.

Yapılacak deneyin adı verilmiştir.

Deney için gerekli araç gereç verilmiştir.

Deneyin uygulama basamaklarını gösteren resim veya resimler verilmiştir.

Deneyde yapılacak iş ve işlemler basamaklar hâlinde verilmiştir.

Deneyin işlenişi doğrultusunda ve sizleri deneyin amacına ulaştıracak nitelikte hazırlanan sorular verilmiştir.



### Araştırılmalı

Konuda öğrenilen bilgilerin günlük yaşamdaki uygulamalarının ve problem çözümünde nasıl kullanıldığının araştırılıp paylaşılması amacıyla araştırma konuları verilmiştir.



### Tartışılmalı

Öğrendiklerinizi sınıf ortamında tartışabilmeniz için belirlenmiş tartışma konuları verilmiştir.



### İzleyelim Öğrenelim

Faydalanabileceğiniz Genel Ağ adresleri bu bölümde verilmiştir.



### Kavram Yanılgıları

Fizik konuları ile ilgili yanlış bilinen kavramlar bu bölümde verilmiştir.

Öğrendiklerinizin daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla çözümlü soru örnekleri verilmiştir. Bu örnekleri çözüp öğrenmeniz daha sonra verilen soruları cevaplamanıza yardımcı olacaktır.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 23

1. Yerden 40 m yükseklikte evinin balkonunda bulunan Cemre, elindeki tenis topunu düşey doğrultuda yere doğru 10 m/s hızla fırlatıyor. Tenis topu yere kaç m/s hızla çarpacak? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Zamandan bağımsız hız denkleminde yararlanılarak yere çarpma hızı bulunabilir.

$$\begin{aligned} \text{Zamandan bağımsız hız denkleminde, } v^2 &= v_0^2 + 2g \cdot h \\ v^2 &= 10^2 + 2 \cdot 10 \cdot 40 = 100 + 800 \\ v^2 &= 900 \quad , \quad v = 30 \text{ m/s bulunur.} \end{aligned}$$



### Proje Hazırlayalım

Konu ile ilgili bilgi ve becerilerinizi geliştirmek amacıyla yapmanız gereken proje konuları verilmiştir.



### Gezelim Öğrenelim

Bu bölümde ünite ile ilgili öğrendiğiniz bilgilerin günlük yaşamdaki uygulamalarını gözlemlemek için planlanan geziler bulunmaktadır.

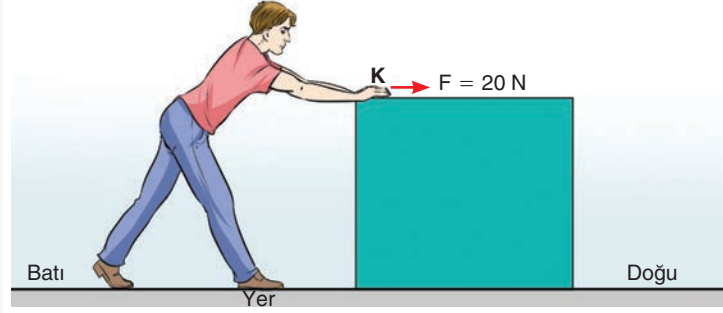


### 1. Etkinlik

Öğrendiğiniz konuları uygulamanız amacıyla verilmiş bölümdür.

Öğrendiğiniz kavramlarla ilgili sorular bu bölümde verilmiştir.

### KENDİMİZİ DENEYELİM 1



Sürtünmesiz bir düzlemde bulunan tahta bloka şekildeki gibi K noktasından F kuvveti uygulanmaktadır. Bu kuvvetin özelliklerini yazınız.

- ↺ Büyüklük:
- ↺ Uygulama noktası:
- ↺ Doğrultusu:
- ↺ Yönü:

Öğrendiklerinizi destekleyecek, konuyla ilgili merak uyandıracak ve konunun gündelik hayatla ilişkisini kurmanızı sağlayacak okuma metinleri verilmiştir.

### KISA YAŞAM ÖYKÜSÜ

#### Canan DAĞDEVİREN

Canan Dağdeviren, ülkemizi uluslararası bilim dünyasında tanıtan başarılı bir bilim insanıdır. Giyilebilir kalp pilinin mucidi Canan Dağdeviren, ABD’de yayımlanan dünyanın en prestijli dergilerinden Forbes’in “30 Yaşından Küçük 30 Bilim İnsanı” listesine girmiştir. Adını Massachusetts (Massachusetts) Teknoloji Enstitüsündeki (MIT) bilimsel araştırmalarla duyuran Dağdeviren, Harvard (Harvırt) Üniversitesinin Genç Akademi Üyeliğine seçilen ilk Türk olarak tanınmaktadır. Hâlen MIT’te çalışan Dağdeviren, listede 7’nci sırada yer bulmuştur (Resim 1.34).

### BÖLÜM SONU DEĞERLENDİRME SORULARI

Bu bölümde, bilgilerinizi pekiştirmek için klasik sorular verilmiştir

### 1. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

Her ünitenin sonunda kendinizi değerlendirebileceğiniz “ünite sonu ölçme ve değerlendirme çalışmaları” verilmiştir. Burada açık uçlu, doğru-yanlış, boşluk doldurma ve çoktan seçmeli türlerinde sorular vardır.

## LABORATUVAR GÜVENLİK SEMBOLLERİ

	<p>Bu sembol, açık alev etrafında tedbir alınması gerektiğini belirtir.</p>
	<p>Bu sembol, deriye dokunması hâlinde yakıcı, aşındırıcı veya zehirleyici etkisi olabilen kimyasal maddeler kullanılırken dikkat edilmesi gerektiğini belirtir.</p>
	<p>Bu sembol, deneylerde kullanılacak cam malzemelerin kırılabilir türden olduğunu gösterir. Cam araç gereçleri kullanmadan önce bunların temiz olduğu, kırık ve çatlak olmadığı kontrol edilmelidir.</p>
	<p>Bu sembol, gözler için tehlike olduğunu gösterir. Kimyasal maddeler ve ateşle çalışılırken veya göze zarar verme olasılığı bulunan tüm çalışmalarda koruyucu gözlük takılmalıdır.</p>
	<p>Bu sembol, yanlış kullanımdan dolayı patlamaya sebep olacak kimyasal maddeleri gösterir.</p>
	<p>Cilde zararlı bazı kimyasal maddelerle çalışılırken eldiven kullanılması gerektiğini hatırlatan uyarı işaretidir.</p>
	<p>Bu sembol, kesme ve delme tehlikesi olan cisimler kullanılırken dikkatli olunması gerektiğini gösterir.</p>
	<p>Bu sembol, elbiseyi lekeleyecek veya yakacak maddeler kullanılırken dikkatli olunması gerektiğini belirtir.</p>
	<p>Bu sembol, elektrikli aletler kullanılırken dikkat edilmesi gerektiğini gösterir.</p>

# 1. ÜNİTE



## KUVVET VE HAREKET

### Anahtar Kavramlar

- |                   |                                  |
|-------------------|----------------------------------|
| 1. Vektör         | 10. Hooke Yasası                 |
| 2. Bağlı hareket  | 11. İtme                         |
| 3. İvmeli hareket | 12. Çizgisel momentum            |
| 4. Serbest düşme  | 13. Çizgisel momentumun korunumu |
| 5. Düşey atış     | 14. Tork                         |
| 6. Yatay atış     | 15. Denge                        |
| 7. Eğik atış      | 16. Kütle merkezi                |
| 8. Limit hız      | 17. Ağırlık merkezi              |
| 9. Enerji         |                                  |

### KONULAR

- 1.1. Vektörler
- 1.2. Bağlı Hareket
- 1.3. Newton'ın Hareket Yasaları
- 1.4. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket
- 1.5. İki Boyutta Hareket
- 1.6. Enerji ve Hareket
- 1.7. İtme ve Çizgisel Momentum
- 1.8. Tork
- 1.9. Denge ve Denge Şartları
- 1.10. Basit Makineler

Bu ünite amacımız: Tek boyutta hareketle ilgili kavramları iki boyutta kullanabilmeniz; okçuluk, atıcılık, golf, gülle atma, paraşütle atlama, yağmur damlasının düşmesi gibi olayları analiz ederek problemler çözebilmenizdir. Hareket konusunu daha ayrıntılı, iyi anlayabilmeniz; yorumlayabilmeniz için momentum kavramını ve momentumun korunumunu yapılandırmanızdır. Momentum kavramını kuvvetle ilişkilendirerek günlük hayattaki çarpışma durumlarını (trafik kazaları, bilardo gibi) analiz edebilirsiniz, problem durumları ortaya koyabilirsiniz ve çözümler üretebilirsiniz. Kuvvetin döndürme etkisini analiz ederek tork kavramını yapılandırmanızdır. Tork kavramından faydalanarak günlük hayatta karşılaşılan cisimlerin denge koşullarını açıklayabilirsiniz. Kaldıraç, makara, makas gibi basit makinelerin çalışma ilkelerini inceleyerek yeni problem durumları ortaya koyabilirsiniz, çözümler üretebilirsiniz ve tasarımlar geliştirebilirsiniz.



**Resim 1.1:** Kaleci ile karşı karşıya kalan futbolcu

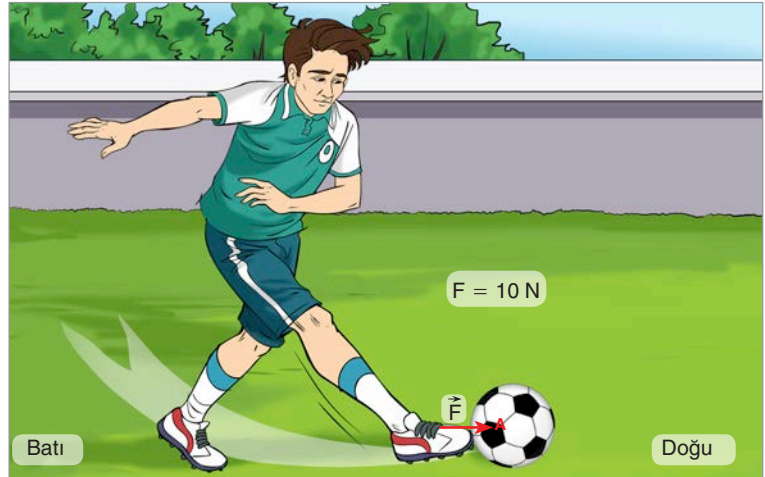
## 1.1. VEKTÖRLER

### 1.1.1. Vektörlerin Özellikleri

9. sınıfta fiziksel büyüklükleri vektörel ya da skaler olarak ayırdınız. Skaler büyüklükler bir sayı ve birim ile ifade edilebilen büyüklüklerdir. Zaman, ısı, sıcaklık, özkütle, hacim, enerji gibi büyüklükler skaler büyüklüklerdir. Vektörel büyüklükler ise sayının yanında, birim, yön, doğrultu ve uygulama noktası belirtmemiz gereken büyüklüklerdir. Kuvvet, konum, yer değiştirme, ivme, elektriksel kuvvet, elektrik alan vektörel büyüklüklere örnek verilebilir. Bu büyüklüklerden kuvveti inceleyerek vektörel büyüklüklerin özelliklerini kavrayalım.

Futbol maçında kaleci ile karşı karşıya kalan bir futbolcuyu düşünelim (Resim 1.1). Futbolcu topa vurduğunda kramponların topa temas ettiği noktada bir kuvvet uygulanır. Bu nokta, kuvvetin uygulama noktasıdır. Kuvvet, belirli bir doğrultu boyunca belirli bir yöne doğru uygulanır. Top kuvvetin doğrultusunda, uygulandığı yönde yer değiştirir. Futbolcu, topa belirli büyüklükte bir kuvvet uygulayarak topun kaleye ulaşmasını sağlar.

Örneğimizde gözlediğiniz kuvvetin özelliklerini bir model üzerinde inceleyelim.



**Şekil 1.1:** Topa uygulanan kuvvet modeli

Şekil 1.1'de topa uygulanan kuvvetin büyüklüğü (şiddeti)  $F = 10 \text{ N}$  ile gösterilmiştir. Kuvvetin uygulama noktası A noktasıdır. Kuvvet doğu batı doğrultusunda, doğu yönüne doğru uygulanmıştır. Top, bu kuvvetin etkisinde doğuya doğru harekete başlar.

Sonuç olarak vektörel gösterimde fiziksel büyüklüğün şiddetini (sayı değeri), uygulama noktasını, doğrultusunu ve yönünü belirtmemiz gerekmektedir.

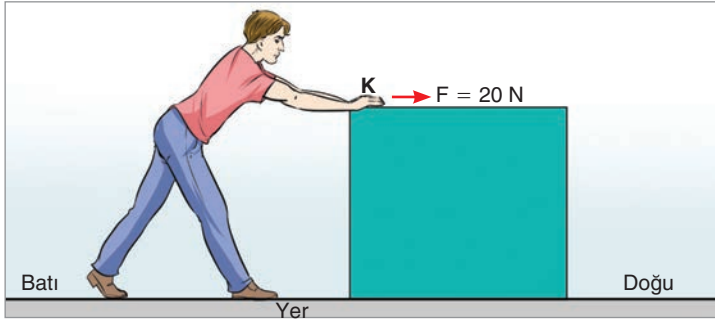


### Araştırılmalı

Vektörel ve skaler büyüklükleri araştırınız. Edindiğiniz bilgileri poster hâline getirerek sınıfta arkadaşlarınıza sununuz.

Vektörel büyüklükler yazılırken sembol üzerine bir ok konur. Bu ok yön göstermez, sadece büyüklüğün vektörel olduğunu gösterir. Örneğin kuvvet  $\vec{F}$  ile gösterilir. Vektörlerin büyüklüğü, üzerinde ok olmayan sembollerle ya da mutlak değer ifadesi kullanılarak gösterilir. Topa uygulanan kuvvetin büyüklüğü  $|\vec{F}| = F = 10 \text{ N}$ 'dir.

### KENDİMİZİ DENEYELİM 1



Sürtünmesiz bir düzlemde bulunan tahta bloka şekildeki gibi K noktasından  $F$  kuvveti uygulanmaktadır. Bu kuvvetin özelliklerini yazınız.

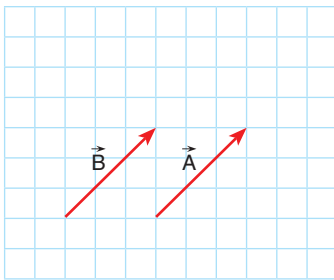


- ↻ Büyüklük:
- ↻ Uygulama noktası:
- ↻ Doğrultusu:
- ↻ Yönü:

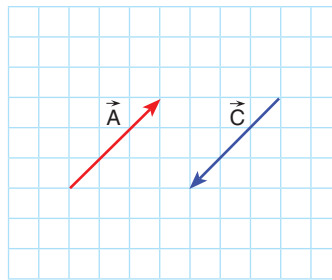
### Bir Vektörün Tersisi

Bir vektörün tersi alınırken vektörün doğrultusu ve büyüklüğü değiştirilmeden yönü ters çevrilir. Vektörün tersini almak için önüne eksi (-) işareti konur (Şekil 1.2).

### Eşit ve Zıt Vektör



(a)

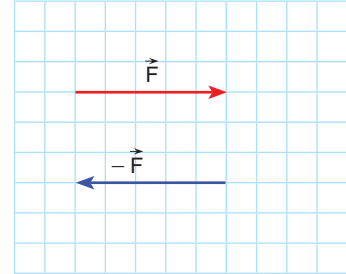


(b)

Şekil 1.3: a) Eşit vektör b) Zıt vektör

Yönü, doğrultusu ve şiddeti aynı olan vektörlere **eşit vektör** denir. Şekil 1.3.a'da görüldüğü gibi  $\vec{A}$  ve  $\vec{B}$  vektörleri eşit vektördür.  $\vec{A} = \vec{B}$

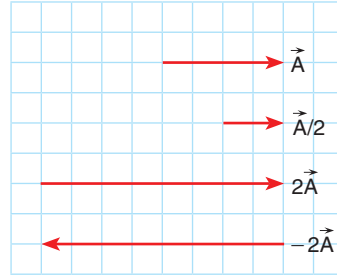
İki vektörün doğrultusu aynı, şiddeti eşit fakat yönü ters ise bu iki vektör **zıt vektördür**.  $\vec{A}$  ve  $\vec{C}$  vektörlerinin doğrultuları, büyüklükleri aynı fakat yönleri terstir (Şekil 1.3.b). Vektörlerin eşit



Şekil 1.2: Bir vektörün tersi

ya da zıt olmasında uygulama noktasının önemi yoktur.  $\vec{C}$  vektörünün tersi  $\vec{A}$  vektörüne eşit olduğu için  $\vec{C}$  vektörü, eksi (-) ile çarpılarak  $\vec{A}$  vektörüne eşitlenir:  $\vec{A} = -\vec{C}$

### Bir Vektörün Bir Skaler Sayı ile Çarpımı

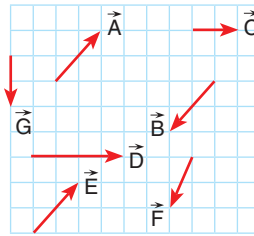


Şekil 1.4: Bir vektörün skaler sayı ile çarpımı

Bir vektörün bir skaler sayı ile çarpımı ya da bölümü yine bir vektördür. Bir pozitif sayı ile çarpılan vektörün sadece büyüklüğü değişir, doğrultusu ve yönü değişmez. Şekil 1.4'teki  $\vec{A}$  vektörünü 2'ye bölersek A vektörünün sadece büyüklüğü yarıya düşer.  $\vec{A}$  vektörünü 2 ile çarparsak büyüklüğü iki katına çıkar.  $\vec{A}$  vektörünü 1'den farklı negatif bir sayı ile çarparsak vektörün doğrultusu değişmez, yönü ve büyüklüğü değişir.  $\vec{A}$  vektörünü  $-2$  ile çarparsak vektörün büyüklüğü iki katına çıkar, yönü değişir.



### KENDİMİZİ DENEYELİM 2

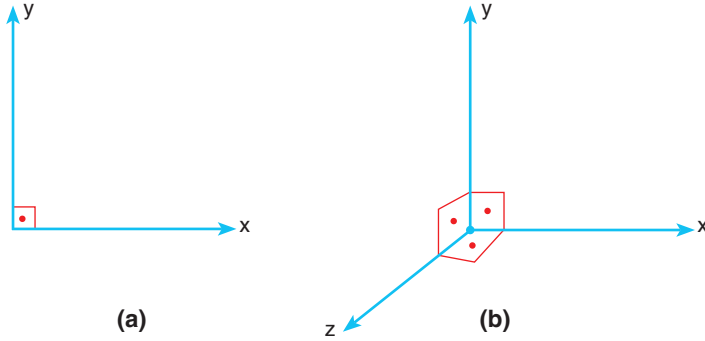


- (.....)  $\vec{A} = \vec{B}$
- (.....)  $\vec{D} = 2\vec{C}$
- (.....)  $\vec{F} = 2\vec{B}$
- (.....)  $\vec{A} = \vec{E}$
- (.....)  $\vec{E} = \vec{G}$
- (.....)  $|\vec{E}| = |\vec{B}|$

Şekildeki ölçekli çizimde gösterilen vektörlerle ilgili verilen eşitliklerden doğru olanlar için ayraç içine D, yanlış olanlar için Y yazınız.



### 1.1.2. Kartezyen (Dik) Koordinat Sisteminde Vektör Çizimi



**Şekil 1.5:** a) İki boyutlu kartezyen koordinat sistemi b) Üç boyutlu kartezyen koordinat sistemi

Vektörler, kartezyen koordinat sistemi ile gösterilir. Kartezyen koordinat sistemi birbirine dik koordinatlardan oluşur. Kartezyen koordinat sistemi iki boyut ya da üç boyutlu olarak gösterilir (Şekil 1.5.a, b).

Vektörler iki boyutlu koordinat sisteminde ifade edilirken  $\vec{A}$  vektörü  $\vec{A}(x, y)$  şeklinde gösterilir.  $\vec{A}$  vektörü  $\vec{A}_x$  ve  $\vec{A}_y$  vektörlerinin toplamıdır.  $\vec{A}_x$ ,  $\vec{A}$  vektörünün x eksenine üzerindeki bileşeni,  $\vec{A}_y$  ise  $\vec{A}$  vektörünün y eksenine üzerindeki bileşenidir.

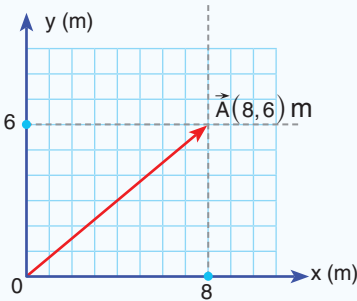


#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 1

1. Bir bisikletlinin konum vektörü olan  $\vec{A}(8,6)$  m vektörünü çizerek gösteriniz.

#### ÇÖZÜM

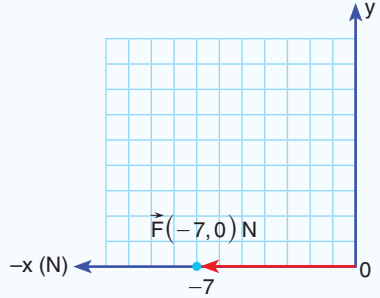
$\vec{A}$  vektörünün x eksenine üzerindeki bileşeni 8 m, y eksenine üzerindeki bileşeni ise 6 m'dir. Başlangıç noktasından 6 ve 8'in kesiştiği noktaya çizilen doğru,  $\vec{A}$  vektörüdür.



2. Bir cisme etki eden kuvvet vektörü olan  $\vec{F}(-7,0)$  N vektörünü çizerek gösteriniz.

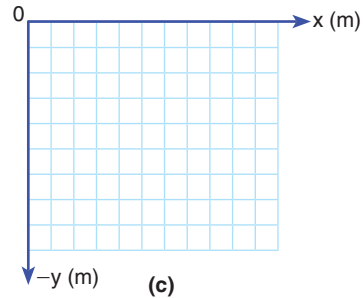
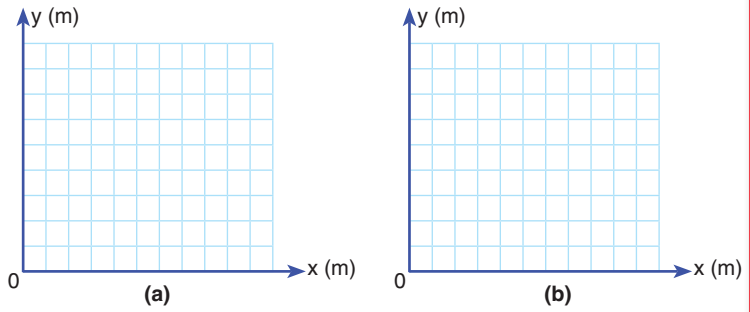
### ÇÖZÜM

$\vec{F}$  vektörünün x eksenindeki bileşenin büyüklüğü - yönde 7 N olduğu için -x ekseninde 7. bölme işaretlenir. y eksenindeki bileşen sıfır olduğu için y ekseninde bileşen yoktur.  $\vec{F}$  vektörü orijinden -7'ye doğru çizilerek gösterilir.



### KENDİMİZİ DENEYELİM 3

A, B ve C koşucularına ait konum vektörleri olan  $\vec{A}(5,9)$  m,  $\vec{B}(0,8)$  m ve  $\vec{C}(4,-6)$  m vektörlerini çizerek gösteriniz.



Üç boyutta vektör gösteriminde vektörler  $\vec{A}(\vec{A}_x, \vec{A}_y, \vec{A}_z)$  şeklinde ifade edilir.

Bu ifadede  $\vec{A}_x$ , x eksenindeki bileşeni;  $\vec{A}_y$ , y eksenindeki bileşeni;  $\vec{A}_z$  ise z eksenindeki bileşeni gösterir.

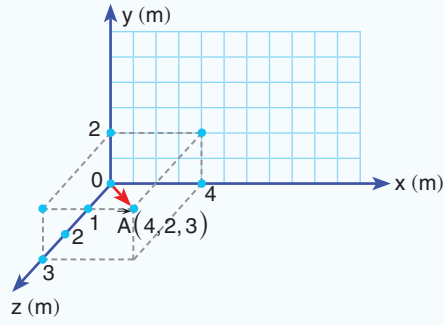


### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 2

Bir noktadaki yer değiştirme vektörü olan  $\vec{A}(4,2,3)$  m vektörünü çiziniz.

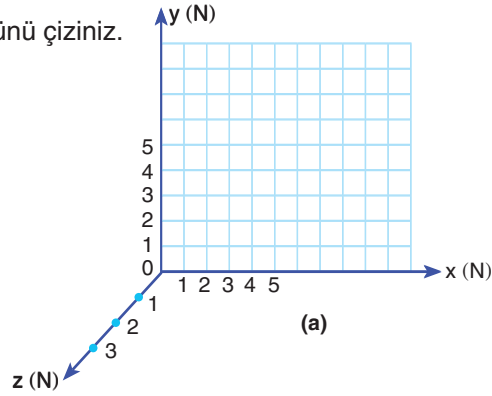
### ÇÖZÜM

A vektörünün x ek-seni üzerindeki bileşeni 4 m, y ek-seni üzerindeki bileşeni 2 m, z ek-seni üzerindeki bileşeni ise 3 m'dir. x ve y ek-senlerindeki bileşenlerin kesim noktası (4,2)dir. (4,2) noktası ile z ek-seni üzerindeki bileşen olan 3 noktasının kesim noktası; A(4,2,3) m noktasını verir. Başlangıç noktasından üç noktanın keşiştiği noktaya çizilen doğru, A vektörüdür.

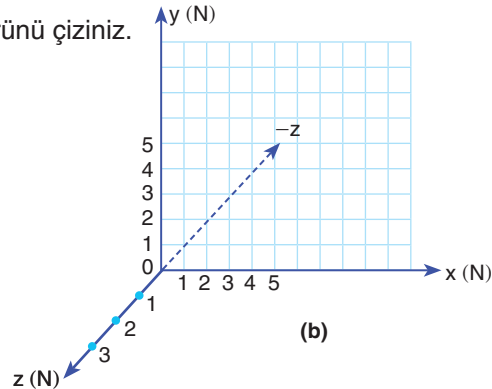


### KENDİMİZİ DENEYELİM 4

$\vec{A}(5,5,3)$  N vektörünü çiziniz.

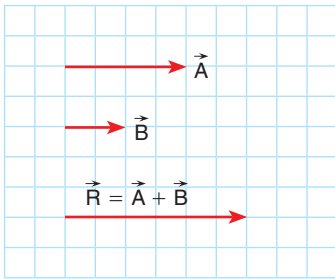


$\vec{B}(5,1,-3)$  N vektörünü çiziniz.

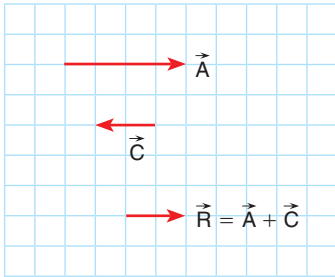


### 1.1.3. Vektörlerin Bileşkesinin Bulunması

Suda hareket etmek, hava ortamına göre daha çok güç harcamamıza sebep olur. Bu zorluğu aşmak için birden çok kuvveti bir araya getirerek uygulanan kuvvetin şiddeti büyütülür. Resim 1.2'de görüldüğü gibi kürekçilerin uyguladıkları kuvvetlerin toplamına bileşke kuvvet denir. Kürekçilerin dayanışması, birbiri ile uyum içinde hareket etmeleri ve kurallara uymaları sonucunda tekne, doğru boyunca hareket eder. **Bileşke vektör** iki veya daha fazla vektörün yerine geçen tek vektördür.  $\vec{R}$  sembolü ile gösterilir.



(a)



(b)

**Şekil 1.6:** a) Aynı yönlü vektörlerin toplanması b) Zıt yönlü vektörlerin toplanması

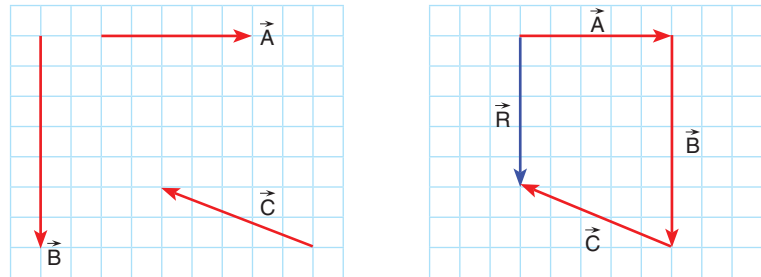


Resim 1.2: Kürekçilerin kürek çekmesi

Aynı yönlü vektörler toplanırken vektörlerin büyüklükleri toplanır. Şekil 1.6.a'da görüldüğü gibi  $\vec{A}$  vektörünün büyüklüğü 4 birim,  $\vec{B}$  vektörünün büyüklüğü ise 2 birimdir. İki vektörün toplamı ise 6 birimdir. Şekil 1.6.b'de büyüklüğü 4 birim olan  $\vec{A}$  vektörü ile  $\vec{A}$  vektörüne ters yönlü 2 birim büyüklüğündeki  $\vec{C}$  vektörünün toplamı 2 birimdir.

İki veya daha fazla vektörün toplanması için şu yöntemler geliştirilmiştir:

#### 1. Uç Uca Ekleme (Çokgen) Yöntemi



(a)

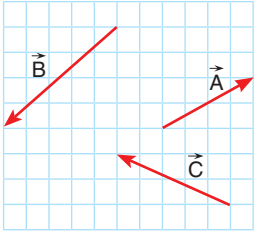
(b)

**Şekil 1.7:** a)  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$  ve  $\vec{C}$  vektörleri b)  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$  ve  $\vec{C}$  vektörlerinin bileşkesinin uç uca ekleme yöntemi ile bulunması

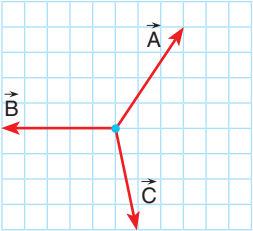
Uç uca ekleme yöntemi ile Şekil 1.7.a'da verilen vektörlerin toplanmasında bir başlangıç vektörü seçilir. Örneğin Şekil

1.7.b'de görülen vektörlerden  $\vec{A}$  vektörünü başlangıç olarak seçelim.  $\vec{A}$  vektörünün ucuna  $\vec{B}$  ve  $\vec{C}$  vektörü eklenir.  $\vec{A}$  vektörünün başlangıcından  $\vec{C}$  vektörünün ucuna çizilen ok, vektörlerin toplamını veya bileşkesini verir. 5 birim büyüklüğündeki  $\vec{R}$  ile gösterilen vektör, bileşke vektördür. Vektörleri uç uca eklerken sıranın bir önemi yoktur.

KENDİMİZİ DENEYELİM 5



(a)

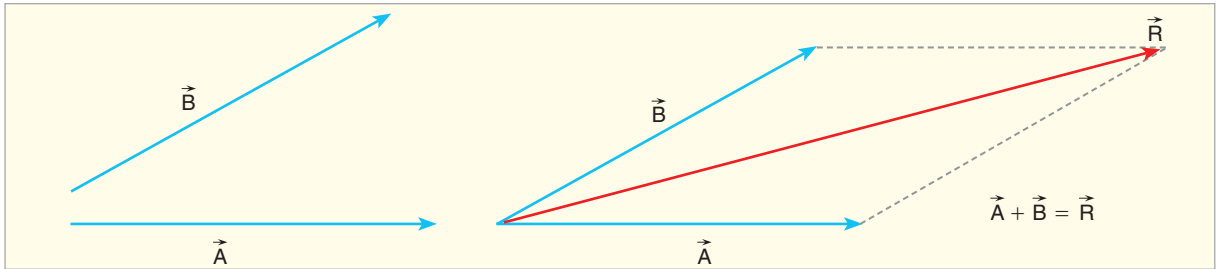


(b)

Şekil a ve b'de verilen  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$  ve  $\vec{C}$  vektörlerinin bileşkesinin büyüklüğünü uç uca ekleme yöntemi ile bulunuz.

↓

## 2. Paralel Kenar Yöntemi

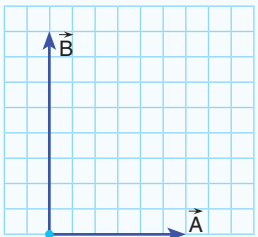


Şekil 1.8: Vektörlerin paralel kenar yöntemi ile toplanması

Paralel kenar yönteminde iki vektörün başlangıç noktaları birleştirilir (Şekil 1.8).  $\vec{A}$  vektörünün ucundan  $\vec{B}$  vektörüne,  $\vec{B}$  vektörünün ucundan da  $\vec{A}$  vektörüne paralel doğrular çizilir. İki doğrunun kesiştiği nokta işaretlenir. Vektörlerin başlangıcından iki doğrunun kesim noktasına çizilen ok, bileşke vektördür.

ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 3

$\vec{A}$  ve  $\vec{B}$  vektörlerinin bileşkesinin büyüklüğünü paralel kenar yöntemi ile bulalım. (Karenin bir kenarı bir birimdir.)

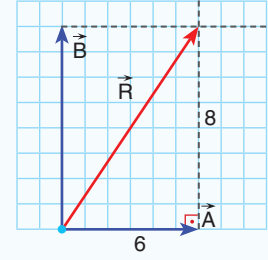


## ÇÖZÜM

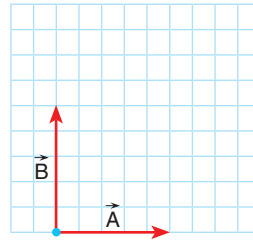
Paralel kenar yöntemine göre vektörlerin bittiği noktadan eksellere paralel doğrular çizilir. Paralel doğruların kesim noktasına vektörlerin başlangıcından çizilen ok, bileşke vektördür. Şekilde  $\vec{R}$  ile gösterilen vektör, bileşke vektördür. Bileşke vektörün büyüklüğü, dik üçgende Pisagor Teoremi ile bulunur.

$$R^2 = A^2 + B^2, R^2 = 6^2 + 8^2, 36 + 64 = R^2, R^2 = 100 \text{ ise}$$

Bileşke vektörün büyüklüğü  $R = 10$  birim bulunur.



## KENDİMİZİ DENEYELİM 6

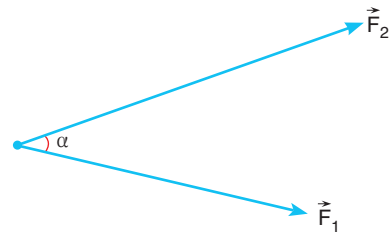


Şekilde verilen  $\vec{A}$  ve  $\vec{B}$  vektörlerinin bileşkesinin büyüklüğünü paralel kenar yöntemi ile bulunuz. (Karenin bir kenarı bir birimdir.)

## Cosinüs Teoremi

Şekil 1.9'da görüldüğü gibi  $\vec{F}_1$  ve  $\vec{F}_2$  kuvvetleri aynı noktaya uygulansın. Bu iki kuvvetin bileşkesi cosinüs teoremi ile bulunur. Bu teoreme göre kuvvetlerin bileşkesi,

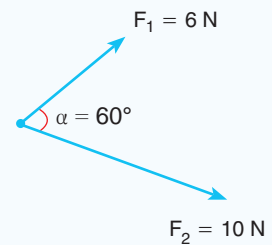
$$R^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha \text{ bağıntısı ile hesaplanır.}$$



Şekil 1.9: Aynı noktaya uygulanan iki kuvvet

## ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 4

Şekildeki noktasal cisme 10 N ve 6 N büyüklüğünde iki kuvvet uygulanıyor. Kuvvetlerin bileşkesini hesaplayınız. ( $\cos 60^\circ = 1/2$ )



**ÇÖZÜM**

Cosinüs teoremi uygulanırsa

$$R^2 = 10^2 + 6^2 + 2 \cdot 10 \cdot 6 \cdot \cos 60$$

$$R^2 = 100 + 36 + 2 \cdot 10 \cdot 6 \cdot \cos 60 \text{ olur.}$$

cosinüs değeri yerine yazılırsa

$$R^2 = 136 + 2 \cdot 10 \cdot 6 \cdot \frac{1}{2}$$

$$R^2 = 196 \text{ bulunur.}$$

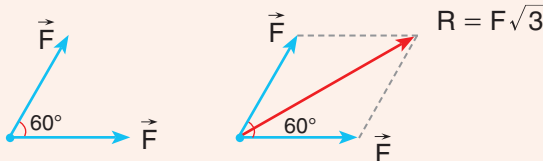
Karekökü alınırsa

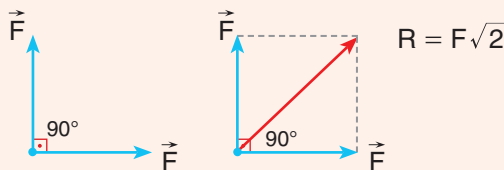
$$R = 14 \text{ N bulunur.}$$

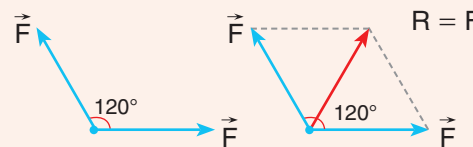
**Kuvvetlerin Toplanmasıdaki Özel Durumlar**

Bir noktaya uygulanan kuvvetler eşit büyüklükte ise kuvvetlerin bileşkesi, açı değerlerine göre belirli değerler alır.

1.  $\alpha = 0^\circ$  ise 

2.  $\alpha = 60^\circ$  ise 

3.  $\alpha = 90^\circ$  ise 

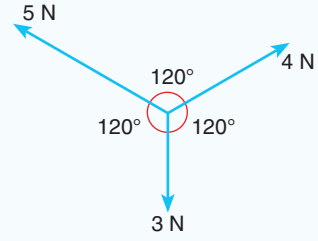
4.  $\alpha = 120^\circ$  ise 

5.  $\alpha = 180^\circ$  ise 



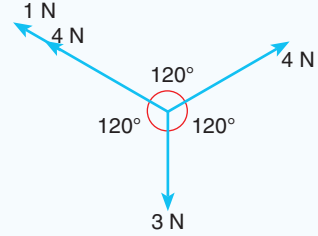
### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 5

Büyüklikleri 3 N, 4 N ve 5 N olan üç vektör şekildeki gibi bir noktaya aynı anda uygulanıyor. Vektörlerin bileşkesi kaç N'dır?



### ÇÖZÜM

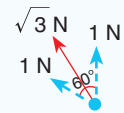
5 N büyüklüğündeki kuvvet 4 N ve 1 N olarak bölünür.



4 N büyüklüğündeki iki vektörün arasındaki açı  $120^\circ$  olduğu için bileşkesi 4 N olur. 4 N ve 3 N büyüklüğündeki iki vektör zıt yönde olduğu için bunların bileşkesinin büyüklüğü 1 N olur.

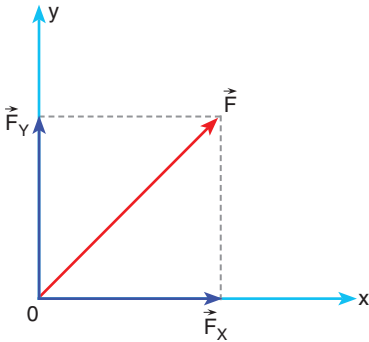


1 N büyüklüğündeki iki vektörün arasındaki açı  $60^\circ$  olduğuna göre bileşkesinin büyüklüğü  $\sqrt{3}$  N bulunur.



### Tartışalım

Vektörel büyüklüklerde işlem yaparken skaler büyüklük gibi işlem yapmanın ne gibi sakıncaları olduğunu sınıfta tartışınız.



Şekil 1.10: İki boyutlu koordinat sisteminde vektörlerin bileşenleri

### 1.1.4. Vektörlerin Kartezyen Koordinat Sistemindeki Bileşenleri

İki boyutlu koordinat sisteminden vektörün x ve y koordinatlarındaki bileşenlerini bulmanın üç yolu vardır:

#### 1. Yol: Kuvvetin Eksenler Üzerindeki Bileşenleri

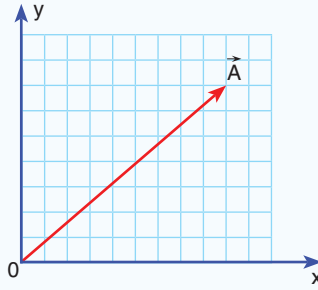
İki boyutlu koordinat sisteminde Şekil 1.10'daki gibi gösterilen  $\vec{F}$  vektörü  $\vec{F}_x$  ve  $\vec{F}_y$  bileşenlerinden oluşur. Kuvvet vektörünün eksen üzerindeki bileşenleri bulunurken  $\vec{F}$  vektörünün ucuna x ve y eksenlerine paralel doğrular çizilir. Paralel doğruların eksenleri kestiği noktalara orijinden çizilen doğrular bileşenleri verir.





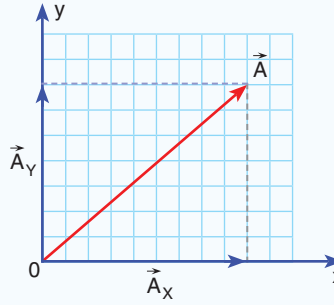
### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 6

Şekilde verilen  $\vec{A}$  vektörünün iki boyutlu koordinat sisteminde bileşenlerinin büyüklüklerini bulunuz. (Karenin bir kenarı bir birimdir.)



### ÇÖZÜM

$\vec{A}$  vektörünün ucundan eksenlere paralel doğrular çizilir. Doğruların eksenleri kestiği noktalar eksenlerdeki bileşenleri verir. x eksenindeki bileşen  $A_x = 9$  birim,  $A_y = 7$  birim bulunur.

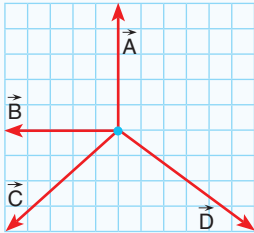


### 2. Yol : Tablo Yöntemi

Kartezyen koordinat sisteminde vektörlerin bileşkesini tablo yöntemi ile bulabiliriz. Tablo yönteminde vektörlerin x ve y eksenlerindeki bileşenleri tek tek tabloya kaydedilir. Bütün vektörlerin x eksenindeki bileşenlerinin toplamı, bileşkenin x eksenindeki bileşenini; y eksenindeki bileşenlerin toplamı ise bileşkenin y eksenindeki bileşenini verir.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 7



Şekilde verilen  $\vec{A}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{C}$  ve  $\vec{D}$  vektörlerinin bileşkesini bulunuz.

### ÇÖZÜM

$\vec{A}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{C}$  ve  $\vec{D}$  vektörlerinin x ve y eksenlerindeki bileşenleri:

	x	y
A	0	5
B	-5	0
C	-5	-4
D	6	-4
+		
R (bileşke)	-4	-3

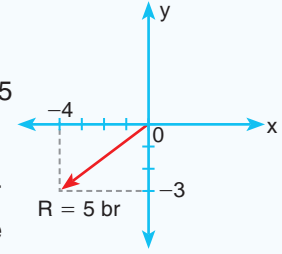
Bileşke vektörün x eksenindeki bileşeni  $-4$  br, y eksenindeki bileşeni ise  $-3$  br'dir.

Bileşkenin büyüklüğü,

$$R^2 = x^2 + y^2 = 4^2 + 3^2 = 16 + 9 = 25$$

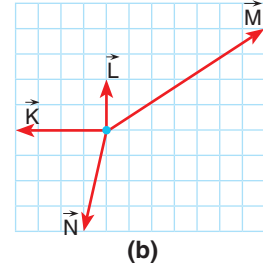
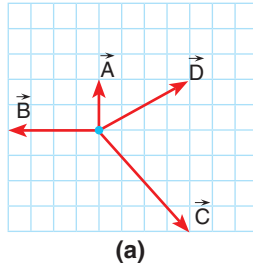
$$R = 5 \text{ br}$$

Bileşkenin büyüklüğü, şekilde gösterildiği yönde 5 birim büyüklüğünde bulunur.



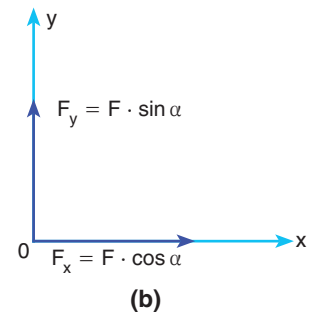
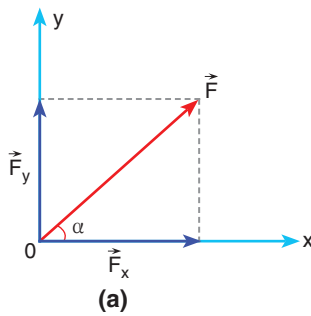
### KENDİMİZİ DENEYELİM 7

Şekil a ve b'de verilen vektörlerin bileşkesinin büyüklüğünü tablo yöntemi ile bulunuz.



### 3. Yol: Bileşenlerin Trigonometrik Yöntemle Bulunması

$\vec{F}$  kuvvetinin dik bileşenleri trigonometrik yöntemle bulunur.



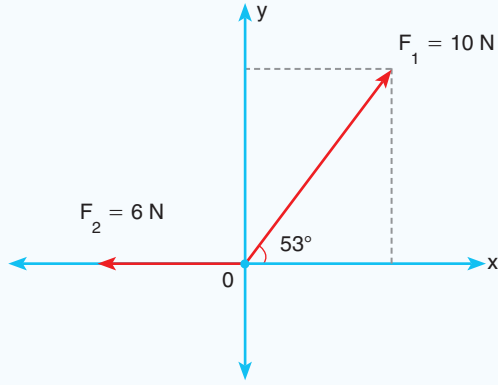
Şekil 1.11: a) Kuvvetin bileşenleri b) Kuvvetin bileşenlerinin bulunması

Şekil 1.11.a'da x eksenine  $\alpha$  açısı yapan  $\vec{F}$  kuvvetinin bileşenleri Şekil 1.11.b'de görüldüğü gibidir.  $\vec{F}$  kuvvetinin x

eksenindeki bileşeni  $F_x = F \cdot \cos \alpha$  y eksenindeki bileşeni ise  $F_y = F \cdot \sin \alpha$  bağıntısı ile bulunur.

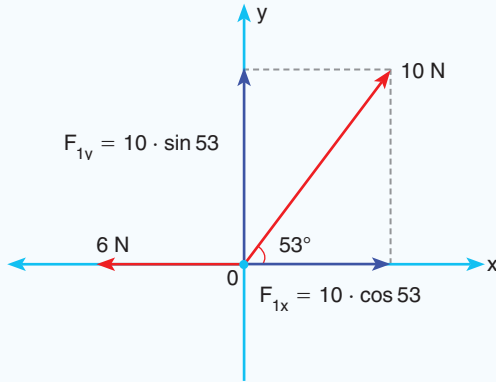


### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 8



Şekilde verilen 6 N ve 10 N büyüklüğündeki iki vektörün bileşkesinin büyüklüğü kaç N'dır? ( $\sin 53^\circ = 0,8$   $\cos 53^\circ = 0,6$ )

### ÇÖZÜM

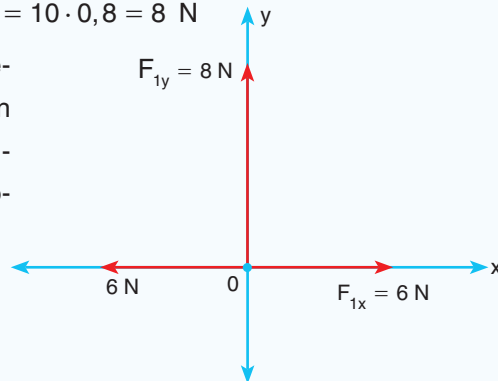


10 N büyüklüğündeki vektör bileşenleri ayrılır.

$$F_{1x} = 10 \cdot \cos 53 = 10 \cdot 0,6 = 6 \text{ N}$$

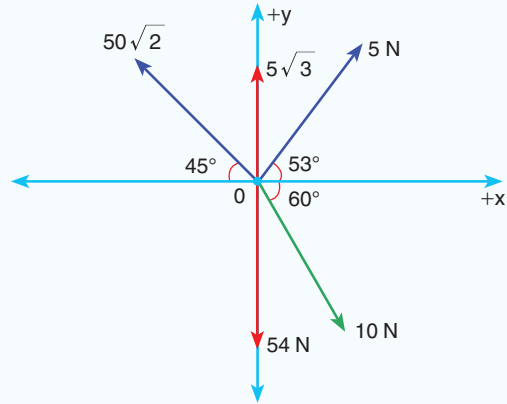
$$F_{1y} = 10 \cdot \sin 53 = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ N}$$

x eksenindeki bileşenlerin toplamı sıfırdır. Bileşke vektör + y yönünde 8 N bulunur.





### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 9



O noktasal cisminde şekildeki kuvvetler aynı anda uygulanıyor. Bileşke kuvvetin büyüklüğünü ve yönünü bulunuz.

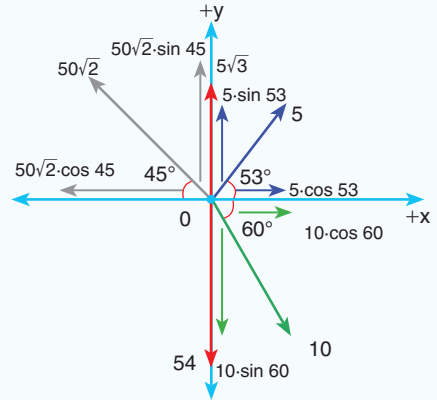
$$(\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 3/5 \quad \sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$$

$$\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2 \quad \sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$$

$$\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2)$$

### ÇÖZÜM

Kuvvetlerin x ve y eksenleri üzerindeki bileşenlerini bulalım.



Açı değerlerini yerine yazarak bileşenleri bulalım.

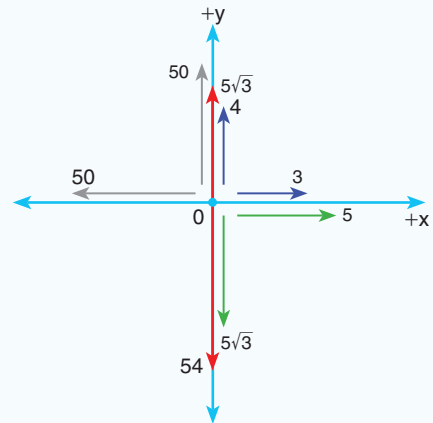
Düşey eksende +y yönündeki kuvvetlerin toplamı, -y yönündeki kuvvetlerin toplamına eşit olduğu için bileşke kuvvetin y ekseninde bileşeni olmaz.

x eksenindeki bileşenlerin toplamı,

$$50 - 8 = 42 \text{ N bulunur.}$$

Kuvvetlerin bileşkesi

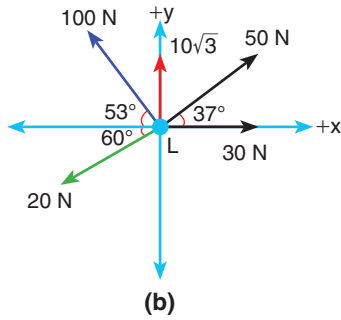
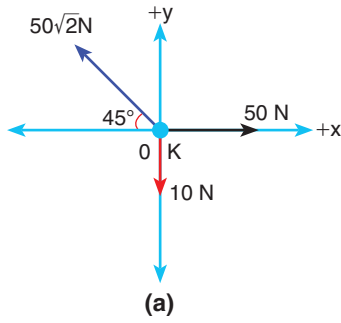
-x yönünde, 42 N büyüklüğündedir.





### KENDİMİZİ DENEYELİM 8

Şekil a ve b'de verilen kuvvetlerin bileşkesinin büyüklüğünü bulunuz. ( $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$   $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$   
 $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 0,5$   $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$   
 $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$ )



### Gezelim Öğrenelim

Fizik biliminde kullanılan vektörel büyüklüklerden birini seçiniz. Seçtiğiniz büyüklükle ilgili çalışma yapan insanlardan biri ile fiziksel büyüklüğü nasıl kullandıkları hakkında röportaj yapınız. Öğrendiğiniz bilgileri sınıf arkadaşlarınıza paylaşınız.







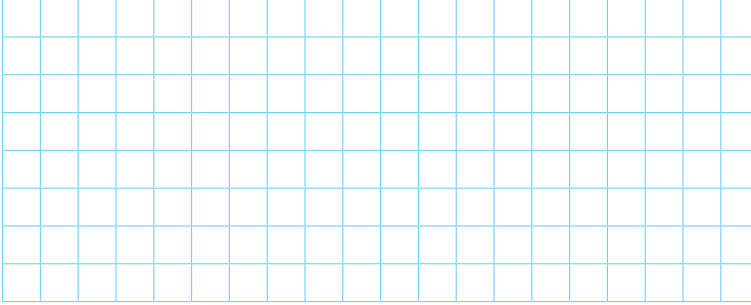


10. Aynı noktaya uygulanan farklı büyüklükteki kuvvetlerin bileşkesi ile ilgili aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

a) Büyüklükleri 5 N ve 6 N olan, bir noktaya uygulanan iki kuvvetin en büyük ve en küçük bileşkesi kaç N'dır?

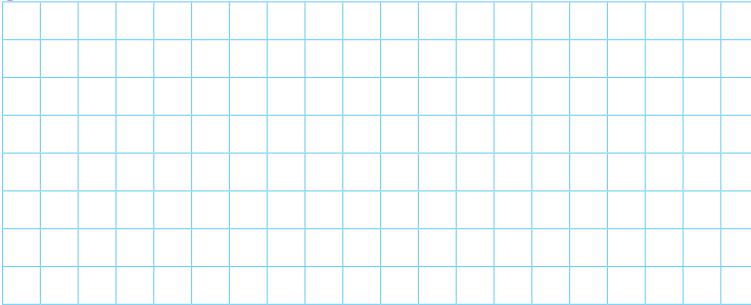
b) Büyüklükleri 3 N, 6 N ve 8 N olan, bir noktaya uygulanan üç kuvvetin en büyük ve en küçük bileşkesinin büyüklüklerini bulunuz.

Çözüm: 



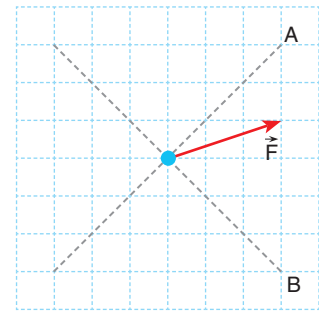
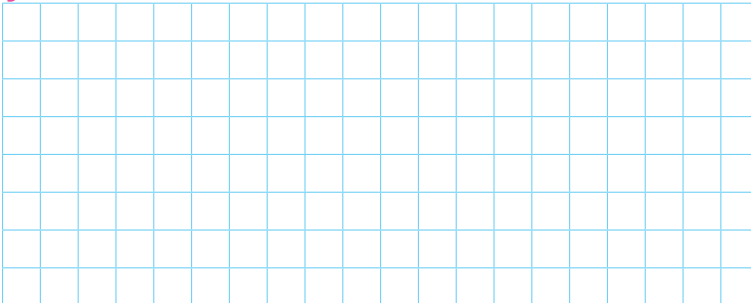
11.  $\vec{A}(-7,0)$  N vektörünü ve  $\vec{B}(2, 2,3)$  m vektörünü çiziniz.

Çözüm: 



12. Şekildeki  $\vec{F}$  vektörünün A ve B eksenlerindeki bileşenlerinin büyüklükleri oranı  $\frac{F_A}{F_B}$  kaçtır?

Çözüm: 



## 1.2. BAĞIL HAREKET

## 1.2.1. Sabit Hızlı İki Cismin Birbirine Göre Hareketi

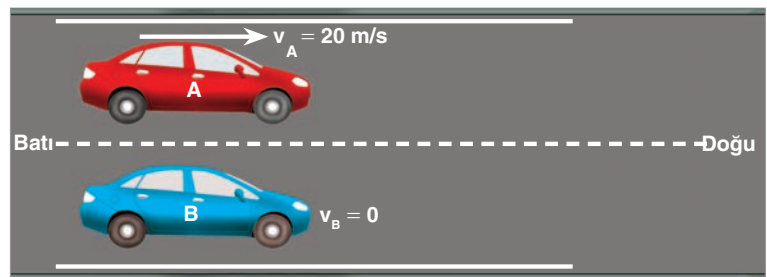


**Resim 1.3:** a) Sabit hızla hareket eden araçlar b) Sabit hızla hareket eden yürüyen merdiven

9. sınıfta hareketi, belirli bir referans noktasına göre bir cismin yer değiştirmesi olarak tanımladınız. Resim 1.3.a'da görüldüğü gibi aynı yönde hareket eden araçlarda bulunan sürücüler, önünde ya da yanında aynı hızla giden araçları duruyor gibi görür. Bunun sebebi, araçların birbirine göre hızları değişmediği için zamanla aralarındaki uzaklığın da değişmemesidir. Sürücüler, zıt yönde gelen araçların ise hareket ettiği hızdan daha büyük hız ile geldiğini görür. Resim 1.3.b'de görülen yürüyen merdivende hareket eden insanlar, aynı yönde yürüyen merdivende bulunan insanları duruyor gibi görür. Oysa insanlar hareket hâindedir. Bunun sebebi gözlemci ve gözlenenin farklı referans sisteminde olmalarıdır.

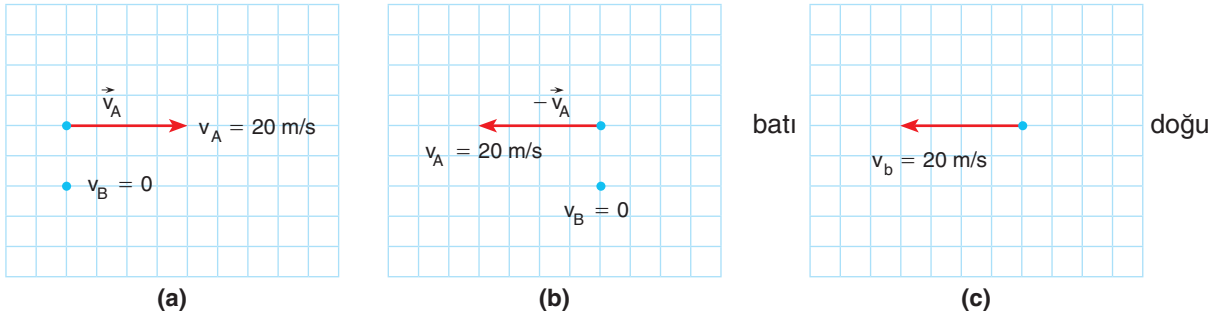
Belli bir gözlemcinin gördüğü hız, cismin o gözlemciye göre hızıdır. **Bağıl hız**, bir hareketlinin başka bir hareketliye göre hızıdır. Bağıl hız hesaplanırken gözlemcinin ve gözlenen hareketlinin hız vektörleri kullanılır. Bağıl hız, gözlemcinin hız vektörlerinin tersi ile gözlenen hareketlinin hız vektörünün toplamı sonucunda bulunur.

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



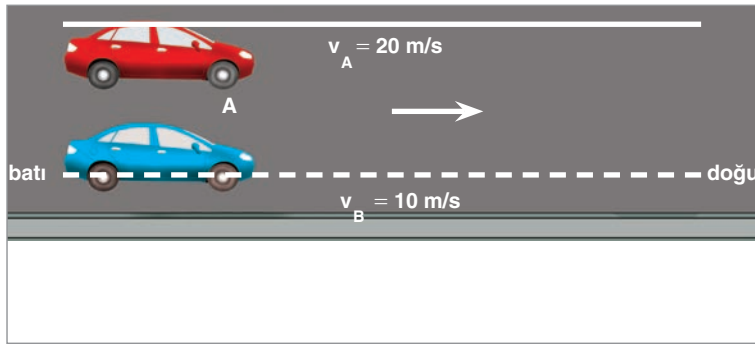
**Şekil 1.12:** Duran bir aracın sürücüsüne göre hareketli araç

Şekil 1.12'deki gibi duran bir B aracının yanından 20 m/s hızla A aracı geçsin. Bağıl hız hesaplanırken gözlemcinin hız vektörünün yönü ters çevrilerek gözlenen hareketlinin hız vektörü ile toplanır.



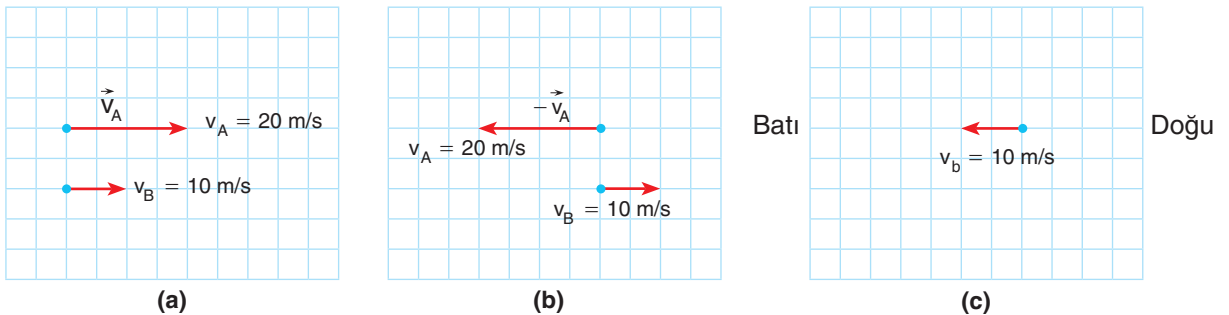
**Şekil 1.13: a)** Hareketlilerin hız vektörlerinin serbest cisim diyagramı **b)** Gözlemcinin hız vektörünün ters çevrilmesi **c)** Bağlı hız

Hareketlilerin serbest cisim diyagramı Şekil 1.13.a'daki gibidir. A hareketlisine göre bağlı hızı bulmak için gözlemcinin hız vektörü Şekil 1.13.b'deki gibi ters çevrilir. A aracının sürücüsü, duran B aracını batı yönünde 20 m/s hızla gidiyor görür ( Şekil 1.13.c). Bu harekette B aracında bulunan sürücü, A aracının 20 m/s hızla doğu yönünde gittiğini gözler.



**Şekil 1.14:** Aynı yönde farklı hızla giden araçlar

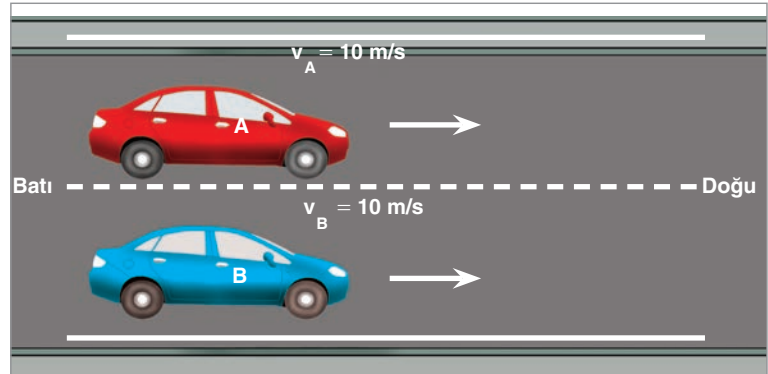
Şekil 1.14'teki gibi A aracı 20 m/s hızla ve B aracı da 10 m/s hızla doğuya doğru gitsin. A aracında bulunan gözlemci, B aracını hangi hızla gidiyor görür?



**Şekil 1.15: a)** Hareketlilerin hız vektörlerinin serbest cisim diyagramı **b)** Gözlemcinin hız vektörünün ters çevrilmesi **c)** Bağlı hız

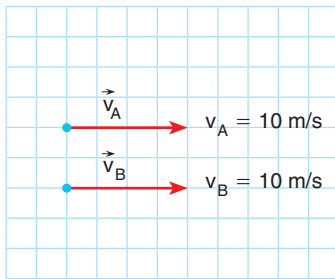
Bağlı hızı bulmak için öncelikle hareketlilerin serbest cisim diyagramı Şekil 1.15.a'daki gibi çizilir. Gözlemcinin hız vektörü Şekil 1.15.b'deki gibi ters çevrilir. Doğuya doğru giden A aracının

sürücüsü, B aracını Şekil 1.15.c'deki gibi batıya doğru 10 m/s hızla gidiyor görür.

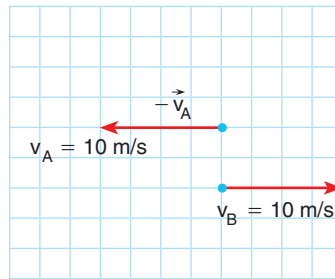


Şekil 1.16: Aynı yönde aynı hızla giden araçlar

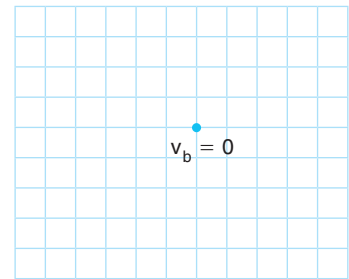
Şekil 1.16'daki gibi A ve B araçları 10 m/s hızla doğu yönünde gitsin. A aracında bulunan gözlemci, B aracını hangi hızla gidiyor görür?



(a)



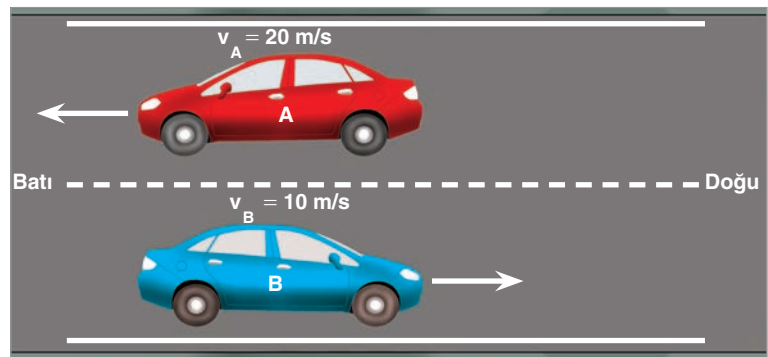
(b)



(c)

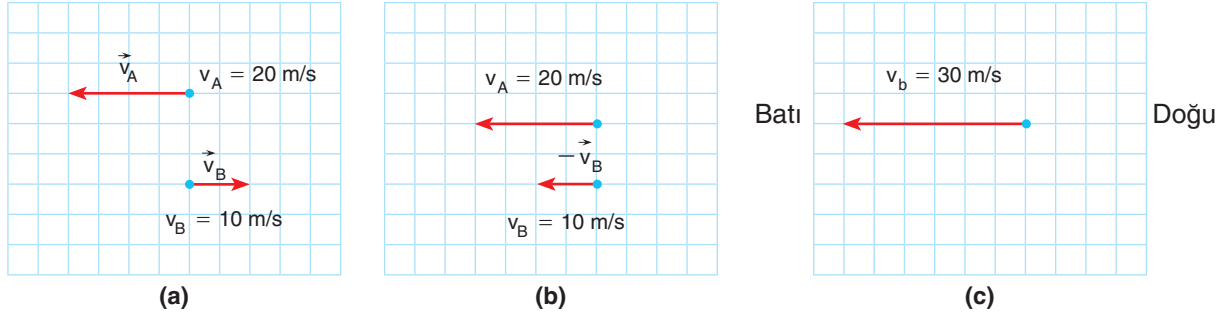
Şekil 1.17: a) Hareketlilerin hız vektörlerinin serbest cisim diyagramı b) Gözlemcinin hız vektörünün ters çevrilmesi c) Bağlı hız

Hareketlilerin serbest cisim diyagramı Şekil 1.17.a'daki gibi çizilir. Gözlemcinin hız vektörü Şekil 1.17.b'deki gibi ters çevrilir. Doğru yönünde aynı hızla giden A ve B araçlarında bulunan sürücüler birbirlerini duruyor görürler (Şekil 1.17.c).



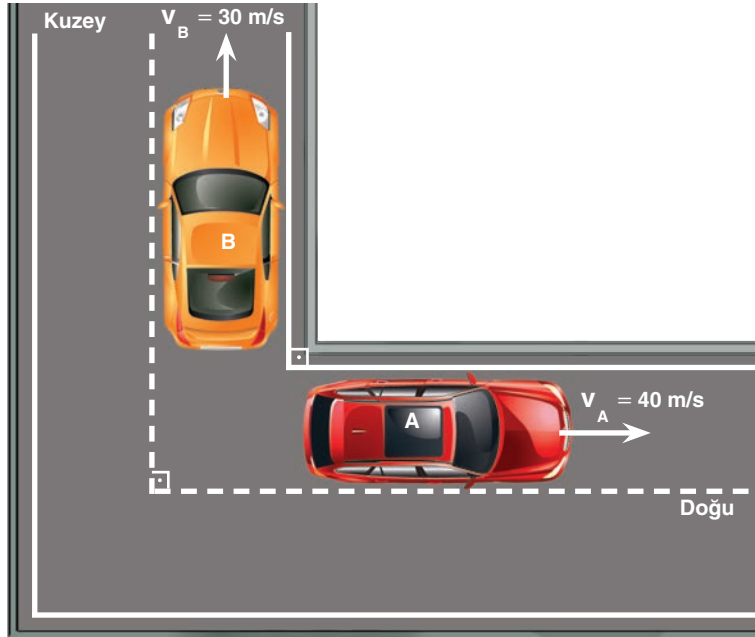
Şekil 1.18: Zıt yönde giden araçlar

Şekil 1.18'deki gibi A aracı batıya doğru 20 m/s hızla ve B aracı da doğu yönünde 10 m/s hızla gitsin. B aracında bulunan gözlemci A aracını hangi hızla gidiyor görür?



**Şekil 1.19:** a) Hareketli araçların hız vektörlerinin serbest cisim diyagramı b) Gözlemcinin hız vektörünün ters çevrilmesi c) Bağıl hız

Hareketli araçların serbest cisim diyagramı Şekil 1.19.a'daki gibi çizilir. Gözlemci B aracında olduğu için gözlemcinin hız vektörü Şekil 1.19.b'deki gibi ters çevrilir. Şekil 1.19.c'de görüldüğü gibi doğu yönünde 10 m/s hızla giden B aracının sürücüsü, batı yönünde 20 m/s hızla giden A aracını 30 m/s hızla batıya doğru gidiyor görür.

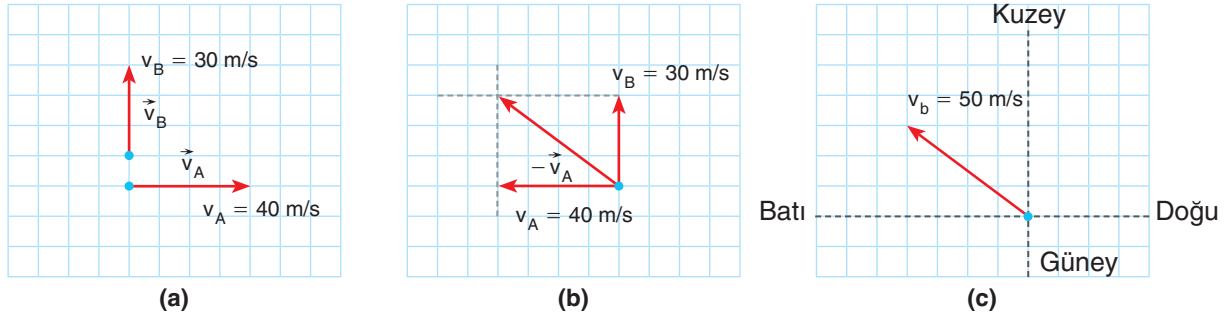


**Şekil 1.20:** Birbirine dik doğrultuda giden araçlar

Şekil 1.20'deki gibi A aracı doğuya doğru 40 m/s hızla ve B aracı da kuzeye doğru 30 m/s hızla gitsin. A aracında bulunan gözlemci, B aracını hangi hızla gidiyor görür?

### Araştırma

Sınıfta gruplar oluşturunuz. Etrafınızda gözlemlediğiniz bağıl hareketlerle ilgili araştırma başlıklarını belirleyiniz. Grup içinde görev dağılımı yapınız. Grup hâlinde elde ettiğiniz sonuçları edebiyattan ve görsel sanatlardan yararlanarak arkadaşlarınıza sununuz.



**Şekil 1.21:** a) Hareketlilerin hız vektörlerinin serbest cisim diyagramı b) Gözlemcinin hız vektörünün ters dönmesi c) Bağlı hız

Hareketlilerin serbest cisim diyagramı Şekil 1.21.a'daki gibi çizilir. Gözlemci A aracında olduğu için gözlemcinin hız vektörü Şekil 1.21.b'deki gibi ters çevrilir. A aracında bulunan gözlemcinin hız vektörünün tersi ile B aracının hız vektörü vektörel toplanır. Vektörel toplamın büyüklüğü,

$$30^2 + 40^2 = v_b^2 \text{ eşittir.}$$

$v_b^2 = 900 + 1600 = 2500$  bulunur. Bağlı hız,  $v_b = 50 \text{ m/s}$  bulunur.

A aracının sürücüsü, B aracını  $50 \text{ m/s}$  hızla Şekil 1.21.c'deki gibi hareket ediyor görür.



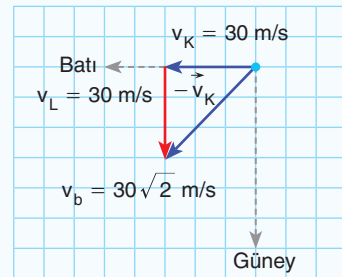
### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 10

Doğuya doğru  $30 \text{ m/s}$  hızla giden K aracındaki bir gözlemci, L arabasını  $30\sqrt{2} \text{ m/s}$  hızla güneybatıya; M arabasını ise  $5 \text{ m/s}$  hızla doğuya doğru gidiyor görüyor. L ve M araçlarının yere göre hızları kaç  $\text{m/s}$ 'dir?

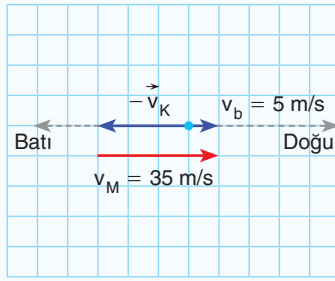
### ÇÖZÜM

Gözlemcinin hız vektörünün tersi ile bağlı hız arasındaki vektör, L hareketlisinin hızını verir. Şekilde görüldüğü gibi L hareketlisinin hızı güneye doğru  $30 \text{ m/s}$ 'dir.

K aracındaki gözlemciye göre M hareketlisinin doğuya doğru  $5 \text{ m/s}$  hızla gidebilmesi için K hareketlisinin hız vektörünün tersi ile M hareketlisinin hız



vektörünün vektörel toplamının büyüklüğü doğuya doğru 5 m/s olmalıdır. Bu yüzden M hareketlisinin hız vektörü, doğuya doğru 35 m/s olmalıdır.



### KENDİMİZİ DENEYELİM 9

1. X aracı doğuya doğru  $2v$  hızıyla gitmektedir. Y aracındaki gözlemciye göre X aracı, batıya  $3v$  hızıyla gitmektedir. Z aracındaki gözlemciye göre X aracı doğuya doğru  $12v$  ile gitmektedir. Z aracındaki gözlemciye göre Y aracı hangi yönde, kaç  $v$  büyüklüğündeki hızla hareket eder?

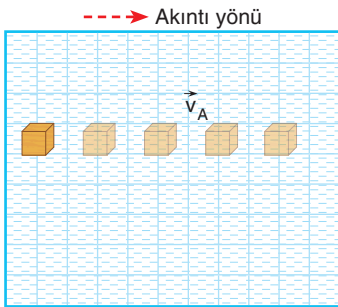
2. Bir yolcu otobüsü doğuya doğru  $30$  m/s sabit hızla gitmektedir. Aynı anda bir bisikletli batıya doğru  $20$  m/s hızla gitmektedir. Otobüsün içinde oturan yolcuya göre bisikletlinin hızı kaç m/s'dir?

3. Bir A aracı doğuya doğru  $40$  m/s hızla ilerlemektedir. A aracının sürücüsü, aşağıdaki durumlarda hareket eden araçları kaç m/s hızla gidiyor görür?

- a) Doğuya doğru  $30$  m/s hızla giden B aracını
- b) Batıya doğru  $30$  m/s hızla giden C aracını
- c) Kuzeye doğru  $30$  m/s hızla giden D aracını
- ç) Güneye doğru  $30$  m/s hızla giden E aracını
- d) Güneyin  $30^\circ$  doğusuna doğru  $80$  m/s hızla giden F aracını



**Resim 1.4:** Nehirde sürüklenen kano



**Şekil 1.22:** Tahta blokun aldığı yol

## 1.2.2. Hareketli Bir Ortamdaki Sabit Hızlı Cisimlerin Hareketi

Resim 1.4'te görülen kanoyu suda sürükleyen nehirde, su üzerindeki cisimleri sürükler. Suda yüzebilen bir cismi sabit hızla akan bir nehre bırakırsak cisim, nehrin hızı ile hareket eder. Kıyıda duran bir gözlemci, cismi nehrin hızı ile nehrin akış yönünde hareket ediyor görür.

Sabit hızla akan bir nehirde Şekil 1.22'deki gibi tahta blokun hareket ettiğini düşünelim. Tahta blok eşit zaman aralıklarında eşit yol alır. Tahta blokun hızı, nehrin hızına eşittir. Cismin suya göre hızı sıfırdır. **Suya göre hız** cismin sudan bağımsız olarak sahip olduğu hızdır. Yerden bakan biri, cismi akıntı hızı ile gidiyor görür. **Yere göre hız**, cismin suya göre hızı ile nehrin hızının bileşkesidir.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 11

Suya göre hızı 1 m/s olan bir yüzücü, akıntı hızı 2 m/s olan bir nehirde önce akıntı ile aynı yönde 20 s, sonra da akıntıya ters yönde 20 s yüzüyor. Yüzücünün 40 s sonunda başladığı noktaya uzaklığı kaç metredir?

### ÇÖZÜM

$$\bullet \text{---} \rightarrow v_A = 2 \text{ m/s}$$

$$\bullet \text{---} \rightarrow v_Y = 1 \text{ m/s}$$

$$\bullet \text{---} \rightarrow v_{YER} = 3 \text{ m/s}$$

Yüzücü akıntı ile aynı yönde yüzdüğünde, yüzücünün yere göre hızı, hız vektörlerinin toplamı ile bulunur. Yüzücünün yere göre hızı 3 m/s'dir.

Bu sırada yüzücünün yer değiştirmesi  $x = v \cdot t$  bağıntısından,  $x_1 = 3 \cdot 20 = 60 \text{ m}$  bulunur. Yüzücü akıntıya ters yönde yüzdüğü zaman yüzücünün yere göre hızı,

$$\bullet \text{---} \rightarrow v_A = 2 \text{ m/s}$$

$$\leftarrow \bullet \text{---} v_Y = 1 \text{ m/s}$$

$$\bullet \text{---} \rightarrow v_{YER} = 1 \text{ m/s}$$



Yüzücünün hızı, akıntının hızından küçük olduğu için yere göre yüzücünün hızı, nehrin akış yönünde 1 m/s büyüklüğünde olur. Bu sırada yüzücünün yer değiştirmesi,

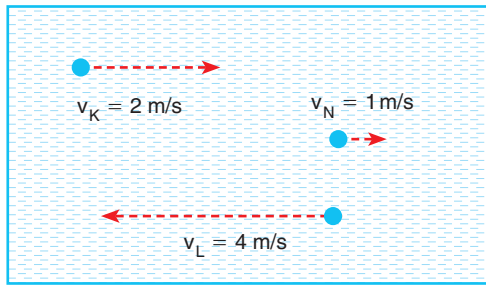
$$x_2 = 1 \cdot 20 = 20 \text{ m bulunur.}$$

Yer değiştirmelerin toplamı  $x_1 + x_2 = 60 + 20 = 80 \text{ m}$  bulunur.

### KENDİMİZİ DENEYELİM 10

a) Bir yüzücü, akıntı hızı  $\vec{v}$  olan bir nehirde akıntı ile aynı yönde 5 s yüzdükten sonra geri dönüp aynı süratle 10 s yüzererek başladığı noktaya dönüyor. Bu yüzücünün suya göre hızının büyüklüğü kaç  $v$ 'dir?

b) Nehrin akış yönü

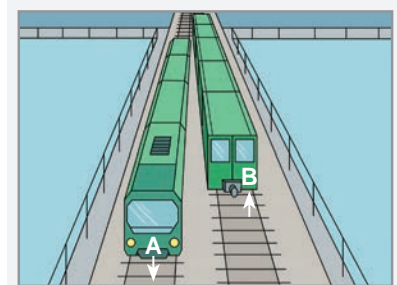


Sabit 1 m/s hızla akan nehirde K ve L motorları şekildeki gibi hareket ediyor. K motorunun suya göre hızı 2 m/s, L motorunun suya göre hızı 4 m/s'dir.

K motorunun içinde oturan bir yolcu, L motorunda oturan yolcuyla kaç m/s hızla gidiyor görür?

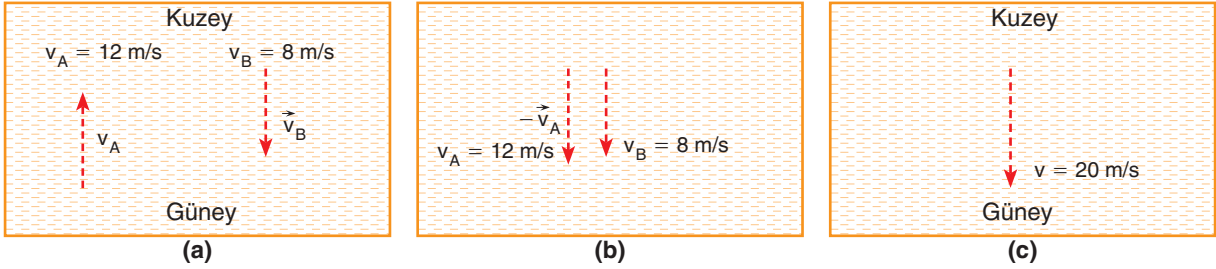
Trenlerle seyahat ederken Resim 1.5'te görüldüğü gibi yanımızdan ters yönde geçen trenin çok hızlı olduğunu düşünürüz. Bir model üzerinde bu durumu inceleyelim.

Aynı doğrultuda, zıt yönde hareket eden trenlerden A treni, yere göre kuzeye doğru 10 m/s hızla; B treni de yere göre güneye doğru 5 m/s hızla hareket etsin. A treninin içinde bulunan yolcu, trene göre kuzeye doğru 2 m/s hızla hareket ederken B treninin içinde bulunan yolcu ise trene göre güneye doğru 3 m/s hızla



Resim 1.5: Zıt yönde hareket eden trenler

hareket etsin. A treninde bulunan yolcunun yere göre hızı  $10 + 2 = 12$  m/s'dir. B trenindeki yolcunun yere göre hızı ise  $5 + 3 = 8$  m/s'dir. A treninde bulunan yolcu, B treninde bulunan yolcuyu hangi hızlı gidiyor görür?



Şekil 1.23: a) Hareketlilerin hız vektörlerinin gösterimi b) Gözlemcinin hızının ters dönmesi c) Bağlı hız

Trenlerin hız vektörleri Şekil 1.23.a'daki gibi çizilir. Gözlemci A treninde olduğu için gözlemcinin hız vektörü Şekil 1.23.b'deki gibi ters çevrilir.

A trenindeki yolcuya göre B trenindeki yolcu, Şekil 1.23.c'deki gibi güneye doğru 20 m/s hızla gider.

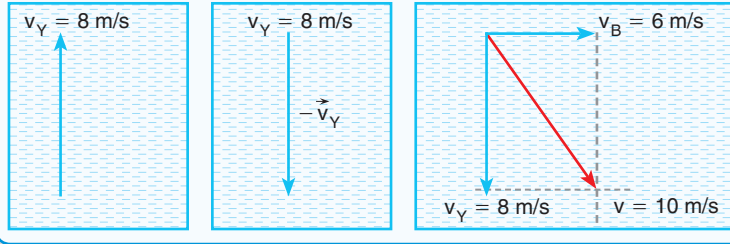
**ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 12**

2 m/s sabit hızla şekilde gösterilen yönde akan nehirde bir feribot, suya göre 4 m/s hızla gitmektedir. Feribotta bulunan bir yolcu, feribota göre 2 m/s hızla feribot ile aynı yönde gitmektedir. Bu sırada kıyıda bulunan bir bisikletli, kıyıya dik doğrultuda 6 m/s hızla gitmektedir. Feribotta bulunan yolcuya göre bisikletlinin hızı kaç m/s'dir?

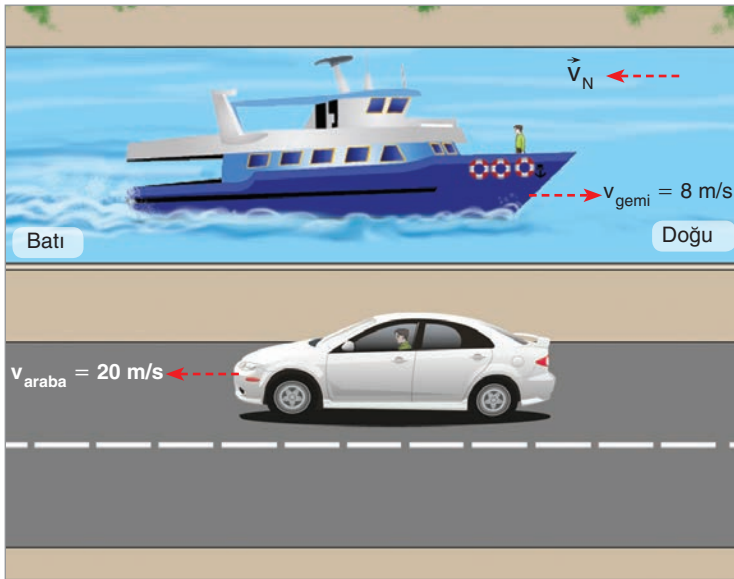
**ÇÖZÜM**

Feribotun üzerindeki yolcunun yere göre hızı nehrin akış yönünde 8 m/s'dir. Bunun sebebi yolcunun yere göre geminin hızına sahip olmasıdır. Yolcu gemi ile aynı yönde 2 m/s hıza sahip olduğu için yolcunun yere göre hızı,  $2 + 2 + 4 = 8$  m/s'dir. Gözlemci yolcu olduğu için hız vektörü ters çevrilir. Yolcunun

hız vektörünün tersi ile bisikletlinin hız vektörünün toplamından bağıl hız bulunur.  $v^2 = 6^2 + 8^2 = 36 + 64 = 100$   $v = 10$  m/s bulunur.



### KENDİMİZİ DENEYELİM 11



Suyun akış hızının 1 m/s olduğu bir nehirde suya göre 8 m/s hızla nehre ters yönde giden geminin güvertesinde bulunan Ahmet, gemiye göre ters yönde 2 m/s hızla hareket etmektedir. Ahmet, gemi ile ters yönde yere göre 20 m/s hızla giden arabada bulunan Mehmet'i kaç m/s hızla ve hangi yöne gidiyor görür?

Uçaklar hareketli bir hava ortamı içinde hareket eder. Havanın hareketleri uçağın uçuşunu etkiler. Hava akımı uçak ile aynı yönde esiyorsa uçağın hızını artırır. Hava akımı uçağın hareket yönünün tersi yönde eserse uçağın hızını azaltır. Hava akımı uçağın hareketinin doğrultusundan farklı bir doğrultuda eserse uçak, kendi hızı ile havanın hız vektörlerinin bileşkesi yönünde hareket eder (Resim 1.6).



**Resim 1.6:** Hava ortamında hareket eden uçak

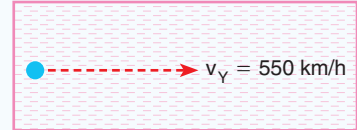
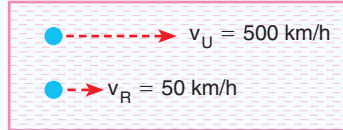


### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 13

Bir uçak doğu-batı doğrultusunda bulunan A kentinden B kentine doğru hareket ediyor. Doğuda bulunan A kentinden batıda bulunan B kentine doğru 50 km/h hızla rüzgâr esmektedir. A kenti üzerinden geçen bir uçak havaya göre 500 km/h sabit hızla B kentine doğru uçuyor. Uçak 4 saatte B kenti üzerinden geçiyor. Aynı uçak aynı hava şartlarında B kentinden A kentine doğru uçsaydı kaç saatte A kenti üzerinden geçerd?

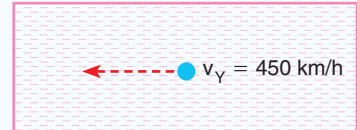
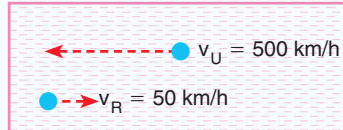
### ÇÖZÜM

Uçak A kentinden B kentine doğru uçarken rüzgârla aynı yönde uçtuğu için hız vektörlerinin toplamı büyüklüğünde hız ile uçar. Uçağın yere göre hızı,



$$v_Y = 500 + 50 = 550 \text{ km/h olur.}$$

Dönüşte rüzgâr ile ters yönde uçtuğu için hız vektörlerinin farkı büyüklüğündeki hız ile uçar. Uçağın yere göre hızı,



$$v_Y = 500 - 50 = 450 \text{ km / h olur.}$$

Uçak gidişte ve dönüşte aynı yolu aldığı için  $x_1 = x_2$ 'dir.

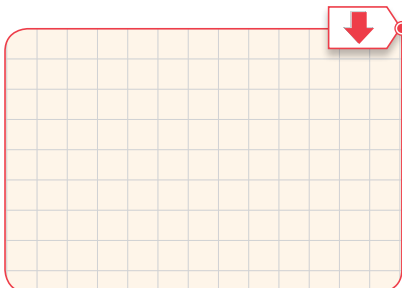
$$550 \cdot 4 = 450 \cdot t \quad \text{dönüş süresi } t = 55 \cdot 4 / 45,$$

$$t = 44 / 9 \text{ saat bulunur.}$$

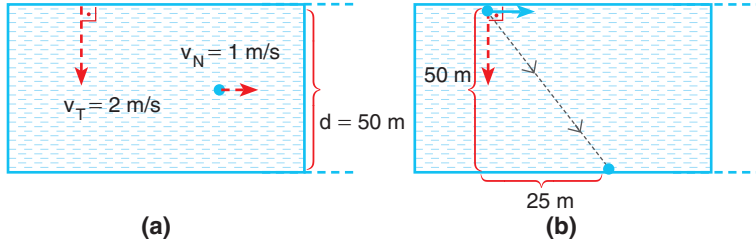


### KENDİMİZİ DENEYELİM 12

Bir pilot, uçağın burnunu kuzeye çevirerek 400 km/h hızla uçmaktadır. Bu sırada rüzgâr batıdan doğuya doğru 10 km/h hızla esmektedir. Uçağın yere göre hızı kaç km/h'tir?



Resim 1.7'deki gibi bir teknenin burnunu nehrin akış yönüne dik doğrultuda tutarak karşı kıyıya hareketini model üzerinde inceleyelim.



**Şekil 1.24:** a) Nehrin akış yönüne dik hareket eden tekne b) Teknenin nehrin yönünde sürüklenmesi

Şekil 1.24.a'da görüldüğü gibi sağa doğru 1 m/s hızla akan bir nehirde nehrin dik doğrultuda 2 m/s hızla hareket eden teknenin karşı kıyıya ulaşması için nehrin dik doğrultuda 50 m yol alması gerekir. Teknenin karşı kıyıya ulaşma süresi,

$$x = v \cdot t$$

$$50 = 2 \cdot t$$

$$t = 25 \text{ s bulunur.}$$

Tekne, nehrin hızı ile sürüklendiği için nehrin paralel doğrultuda sürüklenir. Sürüklenme miktarı Şekil 1.24.b'de görüldüğü gibi,  $x = v \cdot t$

$$x = 1 \cdot 25$$

$$x = 25 \text{ m bulunur.}$$



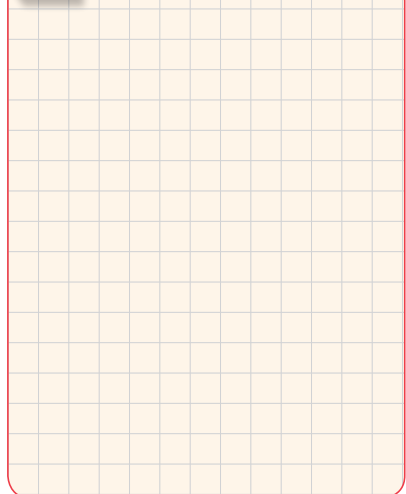
**Resim 1.7:** Nehre dik doğrultuda hareket eden tekne



### KENDİMİZİ DENEYELİM 13

Akıntı hızı 40 cm/s olan, düzgün akan bir nehirde suya göre hızı 30 cm/s olan bir yüzücü, nehrin akış yönüne dik yüzüyor. Nehrin genişliği 12 m olduğuna göre

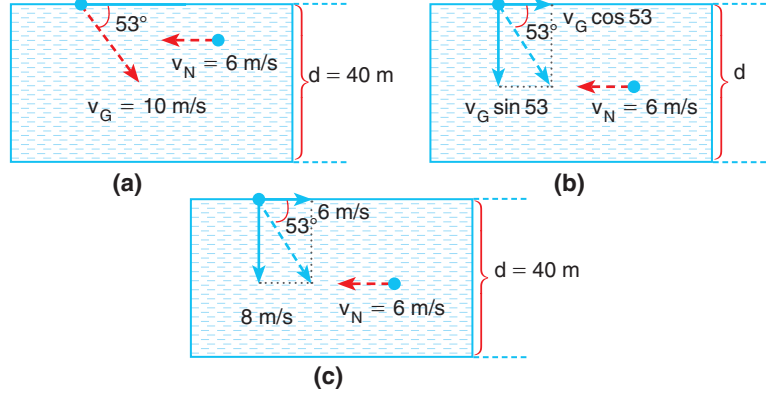
- Yüzücünün karşı kıyıya varma süresi kaç s'dir?
- Yüzücü nehrin girdiğinde karşıdaki noktadan kaç m uzağa çıkar?
- Yüzücünün yere göre hızının büyüklüğü kaç cm/s'dir?





Resim 1.8: Sabit hızla akan nehirde hareket eden motorlu gemi

Resim 1.8'de görülen motorlu geminin sabit hızla akan nehirde kıyı ile belirli bir açı yapacak şekilde hareket ettiğini düşünelim. Motorlu geminin yere göre hızı, motorlu geminin ve nehrin hız vektörlerinin vektörel toplamı ile bulunur.



Şekil 1.25: a) Hareketlilerin hız vektörlerinin serbest cisim diyagramı b) Geminin hız vektörünün dik koordinatlardaki bileşenlerinin bulunması c) Geminin dik koordinatlardaki hız bileşenlerinin hesaplanması

Sabit  $6 \text{ m/s}$  hızla akan bir nehirde bir yolcu gemisi, nehir kıyısıyla akış yönünün tersi yönüne doğru  $53^\circ$  açı yaparak suya göre  $10 \text{ m/s}$  hızla hareket etsin. Geminin serbest cisim diyagramı Şekil 1.25.a'daki gibi çizilir. Gemi kıyıya göre belirli bir açı ile hareket ettiği için geminin hızının dik koordinatlardaki hız bileşenleri Şekil 1.25.b'deki gibi çizilir. Geminin hız bileşenleri hesaplanır (Şekil 1.25.c). Hızın yatay bileşeni ile nehrin hızı toplanarak geminin yataydaki hız bileşeni bulunur. Geminin suya göre yatay hızı ile nehrin hızı eşit olduğu için yolcu gemisi yatayda yer değiştirmez. Yolcu gemisinin düşey hızı ile geminin karşı kıyıya geçme süresi bulunur. Geminin düşey hızı  $8 \text{ m/s}$  olduğu için karşıya geçme süresi,

$$d = v_y \cdot t \quad 40 = 8 \cdot t \quad \text{karşıya geçme süresi } t = 5 \text{ s bulunur.}$$

**KENDİMİZİ DENEYELİM 14**

Sabit hızla akan bir nehirde şekildeki A noktasından suya göre  $5 \text{ m/s}$  hızla A motoru harekete başlıyor. Motor harekete başladığı noktanın tam karşısında bulunan B noktasından karşı kıyıya çıktığına göre

**a) Motorun karşı kıyıya çıkma süresi kaç s'dir?**

**b) Nehrin akış hızı kaç  $\text{m/s}$ 'dir?**

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

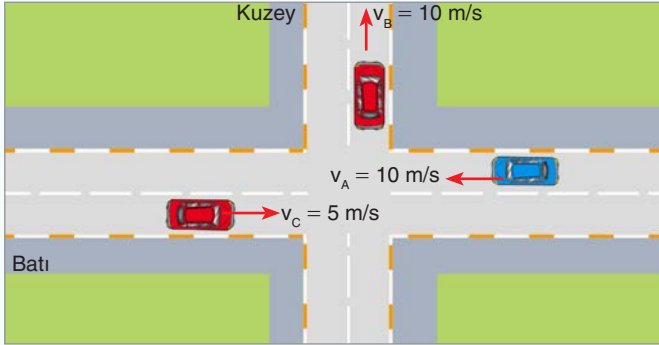
### 1.2.3. Bağıl Hareket ile İlgili Hesaplamalar

Bağıl hareketi daha iyi kavramak için günlük yaşamda karşılaştığımız bazı örnek olaylardan yararlanarak problem çözelim.



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 14

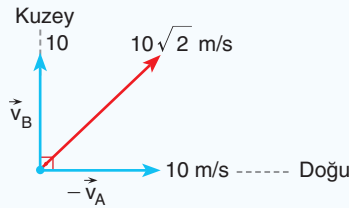
1.



Bir kavşakta şekilde gösterilen yönde, belirtilen süratle hareket eden A, B ve C araçlarından A aracında bulunan gözlemci, B ve C aracını nasıl hareket ediyor görür?

#### ÇÖZÜM

A aracındaki gözlemci B aracını,

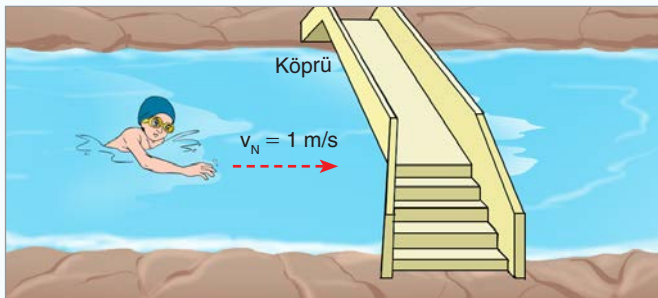


kuzeydoğu yönünde  $10\sqrt{2}$  m/s süratle hareket ediyor görür. A aracındaki gözlemci C aracını,

$$\begin{array}{c} 10 \text{ m/s} \quad 5 \text{ m/s} \\ \vec{-v}_A \quad \vec{v}_C \end{array}$$

doğu yönünde 15 m/s süratle hareket ediyor görür.

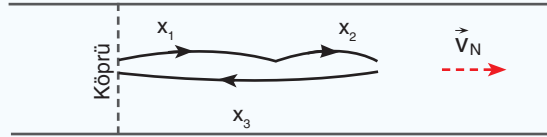
2.



Sabit 1 m/s hızla akan nehirde köprü'nün tam altında suya göre 2 m/s süratle, akıntı ile aynı yönde yüzmeye

başlayan yüzücü 4 dk. yüzdükten sonra 1 dk. dinleniyor. Daha sonra aynı süratle akıntıya karşı yüzmeye başlıyor. Yüzücü, akıntıya karşı yüzmeye başladıktan kaç saniye sonra başlangıç noktasına ulaşır?

### ÇÖZÜM

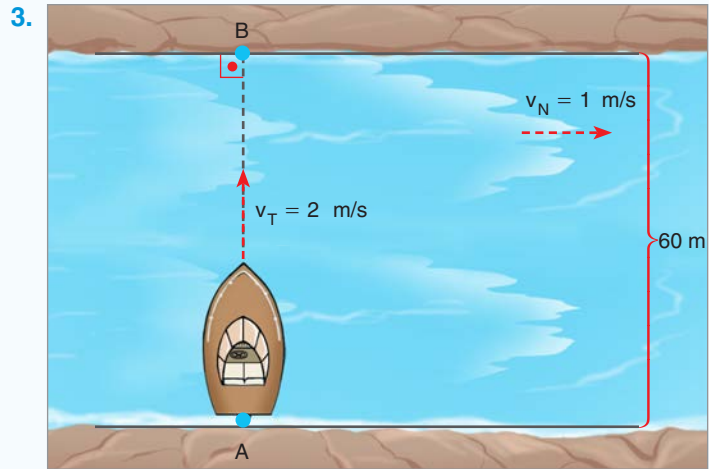


Yüzücünün giderken aldığı yol ile dönüşte aldığı yol birbirine eşittir.

$$x_1 + x_2 = x_3$$

$$240(1 + 2) + 60 \cdot 1 = (2 - 1) \cdot t \text{ eşitliğinde}$$

$$t = 780 \text{ s bulunur.}$$



Genişliği 60 m olan bir nehirde bir motor karşı kıyıya çıkmak için suya göre 2 m/s süratle nehre dik hareket ediyor. Motorun karşı kıyıdaki B noktasına süratini değiştirmeden en kısa yoldan gitmesi için ne yapması gerekir?

### ÇÖZÜM

Motorun karşıya çıkma süresi,

$$t = \frac{60}{2} = 30 \text{ s'dir.}$$

Motorun B'den uzaklığı

$$x = 1 \cdot 30 = 30 \text{ m'dir.}$$

Motorun en kısa yoldan gitmesi için hız vektörünün yatay bileşeninin sola doğru 1 m/s olması gerekir.

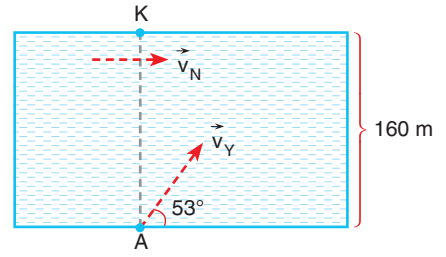
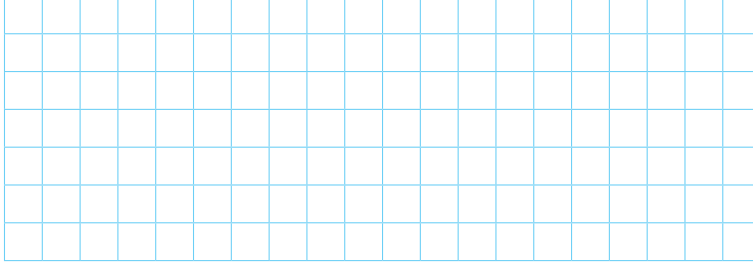






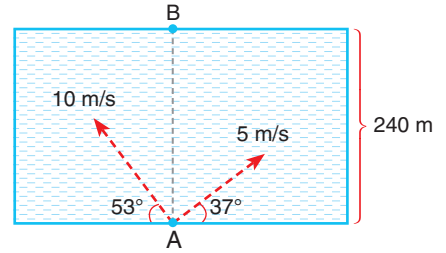
7. Akıntı hızının 1 m/s olduğu bir nehirde suya göre 5 m/s hızla şekildeki gibi A noktasından harekete başlayan yüzücü, kaç saniye sonra karşı kıyıya varır ve K noktasından kaç metre uzakta kıyıya çıkar?

Çözüm:



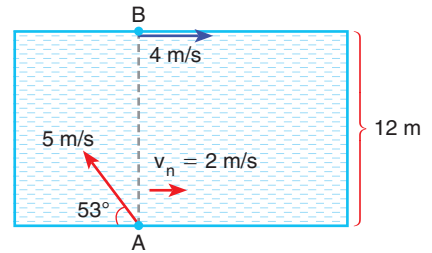
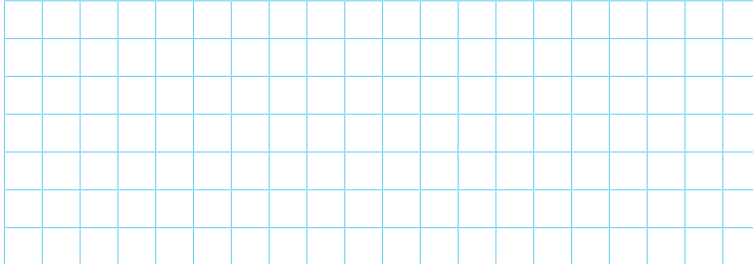
8. 240 m genişliğindeki bir nehirde suya göre 5 m/s hızla şekildeki gibi bir yüzücü A noktasından suya giriyor ve B noktasından karşı kıyıya varıyor. A noktasından suya göre 10 m/s hızla suya giren bu yüzücü, B noktasından kaç metre uzaklıkta karşı kıyıya çıkar?

Çözüm:



9. 12 m genişliğindeki bir nehirde suya göre 5 m/s hızla şekildeki gibi bir yüzücü A noktasından suya giriyor. Aynı anda karşı kıyıda B noktasının önünde bir yüzücü suya göre 4 m/s hızla akıntı ile aynı yönde yüzmeye başlıyor. A noktasından suya giren yüzücü karşı kıyıya çıktığında B noktasına uzaklığı x ise B noktasının önünden suya giren yüzücünün B noktasına uzaklığı kaç x'tir?

Çözüm:





### 1.3. NEWTON'IN HAREKET YASALARI

#### 1.3.1. Net Kuvvet

Daldan kopan elma, yer çekimi kuvveti nedeni ile yere doğru düşer (Resim 1.9). Elma koptuktan sonra yere doğru hızlanan hareket yapar.

Düz bir yolda hareket eden Resim 1.10'daki araba, hareket süresi boyunca tekerlekler ile zemin arasında meydana gelen sürtünme kuvvetinin, yer çekiminin ve hava sürtünmesinin etkisinde kalır.

Duran bir cismi hareket ettiren ya da hareketli bir cismi durduran ve cismin hızını değiştiren etki net kuvvettir. Net kuvvetin etkisinde kalan cisimlerin hızında değişiklik meydana gelir. Net kuvvetin cismin hızında değişiklik meydana getirerek cismin ivmelenmesine sebep olduğunu ilk kez Newton 1678'de ileri sürdü.

Newton, Hareket Kanunları olarak anılan üç yasa ortaya koydu.

**1. Yasa:** Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet sıfır ise, bu cisim duruyorsa durmaya devam eder; hareket hâlinde ise sabit hızla hareketine devam eder. (9. sınıfta "Hareket ve Kuvvet" ünitesinde dengelenmiş kuvvetlerin etkisindeki cismin öteleme hareketini hatırlayınız.)

**2. Yasa:** Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet sıfırdan farklıysa cismin hızı değişir. Hızı değişen cisim ivmeli hareket yapar. Cismin ivmesinin yönü net kuvvet ile aynıdır. Cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımını net kuvveti verir. (9. sınıfta "Hareket ve Kuvvet" ünitesinde net kuvvetin etkisinde kalan cismin ivmesini bulmak için kullandığınız  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısını hatırlayınız.)

**3. Yasa:** Birbiri ile etkileşim hâlinde olan A ve B cisimlerinden A cismi, B cismine bir etki kuvveti uyguladığında B cismi de A cismine bir tepki kuvveti uygular. Bu iki kuvvet aynı büyüklükte fakat zıt yönlüdür. Bu iki kuvvet her zaman farklı cisimlere etki eder. (9. Sınıfta "Hareket ve Kuvvet" ünitesinde etki-tepki kuvvetlerini örneklerini hatırlayınız.)



Resim 1.9: Daldan düşen elma



Resim 1.10: Hareket eden araba

#### KISA YAŞAM ÖYKÜSÜ

##### Newton

25 Aralık 1642'de Woolsthorpe'ta (Wulstrop) doğan Isaac Newton (Ayzeg Nivtın), Grantham'da (Gırenthem) King School'da (King Sıkuul) okula başlamış, eğitimini 1661'den itibaren Cambridge Trinity College'da (Kambric Tiriniti Kalıç) sürdürmüştür. Trinity College'dayken Isaac Barrow (Ayzeg Barov) adında seçkin bir matematik profesöründen ders almış,



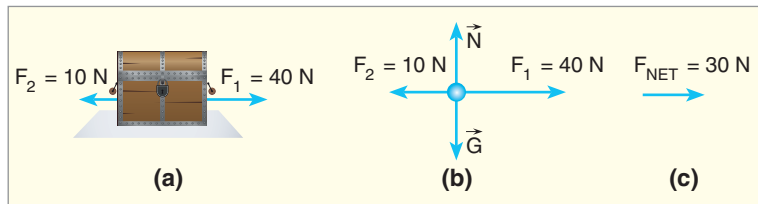
Resim 1.11: Newton (temsili resmi)

öğrencisinin çokyetenekli olduğunu anlayan Barrow, kürsüsünü ona bırakmak için görevinden istifa etmiş ve böylece Newton'un öğretim üyesi olmasına ve henüz yirmi altı yaşındayken Lucasian (Lukasyan) Matematik Kürsüsü'ne seçilmesine olanak tanımıştır. Üniversitenin 1665'teki büyük veba salgını nedeniyle kapanmasından dolayı, annesinin Woolsthorpe'taki evine çekilen Newton burada evrensel çekim yasasını keşfetmiş, ışığın özellikleri ve doğası üzerine çok sayıda deney yapmış, Galileo'nun (Galileyo) yer bilimiyle Kepler'in gök kuramını birleştiren evrensel mekaniğin ilkelerini geliştirmiştir. Newton, temel düşüncelerini ve matematiksel kanıtlarını geliştirdiği deneysel araştırma ürünü bu çalışmalarının sonuçlarını iki temel yapıtında kaleme almıştır. Önce mekaniğin ve kozmolojinin sorunlarını tartıştığı büyük yapıtı Philosophiae Naturalis Principia Mathematica'yı (Filozofiya Naturalis Pirinsipiya Matematika, Doğa Felsefesinin Matematik İlkeleri, 1687), ardından da gün ışığının bize beyaz görünmesine karşın, aslında pek çok rengin karışımından oluştuğunu belirten buluşunun yer aldığı Opticks (Optik, 1704) adlı kitabını yayımlamıştır. Bu iki kitap 17. yüzyıl biliminin gelişimini doğrudan etkileyen temel bilim eserleridir. Öyle ki Newton bu kitaplarında hem fizik bilimine doğrudan katkı getirmiş, hem de bilimin ne tür bir araştırma süreciyle ilerleyebileceği konusunda yetkin örnekler vermiştir. Yaşamının sonlarına doğru teoloji ve simya konularına da ilgi göstermiş olan Newton, hiçbir bilim adamına nasip olmayan bir üne sahip olarak 1727'de ölmüştür.

Newton'ın bilim dünyasına yaptığı katkıların arkasında sabırla çalışması, zorluklara tahammül etmesi yatmaktadır. Newton kendisine ve çevresine karşı sorumluluk duygusu hissederek dinamiğin temellerini ortaya koymuştur (Resim 1.11).

<https://e-dergi.tubitak.gov.tr/edergi/yazi.pdf?dergiKodu=4&cilt=44&sayi=713&sayfa=86&yaziid=30810>

Net kuvvet etkisinde kalan cisimler ivmeli hareket eder. İvmeli hareket eden cisimlerin hızı değişir. Model üzerinde serbest cisim diyagramı kullanarak net kuvvetleri gösterelim.



Şekil 1.26: a) Sandığa etki eden kuvvetler b) Serbest cisim diyagramı c) Net kuvvet

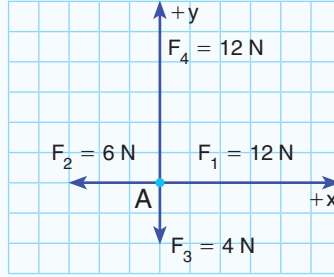
Sürtünmenin ihmal edildiği bir ortamda zıt yönde iki kuvvet sandığa etki etsin (Şekil 1.26.a). Sandığa etki eden kuvvetlerin serbest cisim diyagramı Şekil 1.26.b'de görüldüğü gibi çizilir. Sandığa Şekil 1.26.c'de görüldüğü gibi 30 N büyüklüğünde net kuvvet etki eder.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 15

Şekildeki A noktasal cisminin sürtünmesiz ortamda yatay düzlemde dört kuvvet aynı anda uygulanıyor.

Cisme etki eden net kuvvet kaç N'dir?

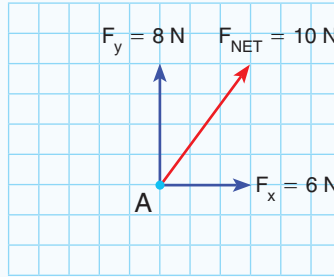


### ÇÖZÜM

Cisme etki eden kuvvetlerin x ve y eksenindeki kuvvetleri vektörel olarak toplanır.

x eksenindeki kuvvetlerin vektörel toplamı  $F_x = 12 - 6 = 6$  N, y eksenindeki kuvvetlerin vektörel toplamı  $F_y = 12 - 4 = 8$  N bulunur.

Kuvvetlerin bileşkesi  $R^2 = 6^2 + 8^2 = 100$  ise  $R = 10$  N bulunur.



### izleyelim Öğrenelim

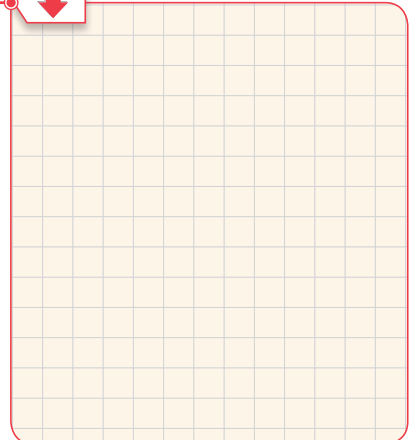
Net kuvvetin cisme etkisini gözlemlemek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

<https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/forces-and-motion-basics>



### KENDİMİZİ DENEYELİM 15

Bir futbol maçında iki rakip futbolcu aynı anda topa vuruyor. Birinci futbolcu topa doğuya doğru 50 N büyüklüğünde kuvvet uygularken ikinci futbolcu da güneybatıya doğru  $50\sqrt{2}$  N büyüklüğünde kuvvet uyguluyor. Serbest cisim diyagramı çizerek net kuvvetin kaç newton olduğunu bulunuz.



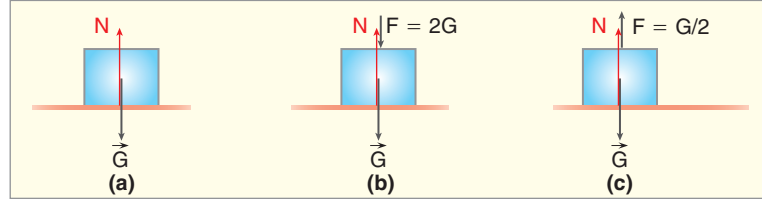


Resim 1.12: Bisiklet sürmek

### Sürtünme Kuvveti

Resim 1.12'deki gibi bisiklet sürerken bisikletin frenini sıkığımızda bisiklet yavaşlayarak durur. Bisikletin hızını azaltan kuvvet, tekerlekler ile zemin arasındaki sürtünme kuvvetidir. Sürtünme kuvveti  $\vec{F}_s$  ile gösterilir. Sürtünme kuvveti,

$F_s = k \cdot N$  bağıntısı ile hesaplanır.  $k$  yüzeyle cisim arasındaki sürtünme katsayısı,  $N$  ise yüzeyin cisme uyguladığı tepki kuvvetidir.

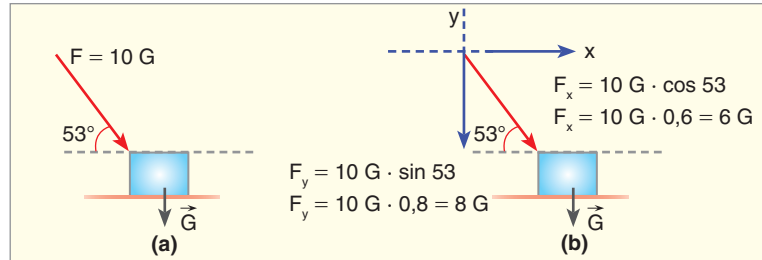


**Şekil 1.27:** a) Yerde duran cisim b) Yerde duran cisme, ağırlığı ile aynı yönde uygulanan kuvvet c) Yerde duran cisme, ağırlığından daha az bir kuvveti ağırlığı ile zıt yönde uygulamak

Düz zeminde duran cisimlere ağırlığı kadar tepki kuvveti etki eder (Şekil 1.27.a). Yerin cisme uyguladığı tepki kuvveti  $N = G$ 'dir.

Cisme ağırlığı ile aynı yönde bir  $F$  kuvveti uygulanırsa cisme etki eden kuvvet  $F$  kadar artar. Şekil 1.27.b'de görüldüğü gibi cisme  $F = 2G$  büyüklüğünde kuvvet uygulanırsa cisme uygulanan tepki kuvvetinin büyüklüğü  $N = G + F$  olur. Tepki kuvveti  $N = 3G$  olur.

Cisme ağırlığı ile zıt yönde ve ağırlığından daha az bir  $F = G/2$  kuvveti Şekil 1.27.c'de görüldüğü gibi uygulanırsa zeminin cisme uyguladığı kuvvet  $F$  kadar azalır. Tepki kuvveti  $N = G - F = G - G/2 = G/2$  olur.



**Şekil 1.28:** a) Zeminde duran  $G$  ağırlıklı cisme, yatayla belirli bir açı yaparak kuvvet uygulanması b) Uygulanan kuvvetin bileşenlerinin bulunması

Zeminde duran ağırlığı  $G$  olan bir cisme Şekil 1.28.a'daki gibi  $10G$  büyüklüğünde bir kuvvet uygulanırsa. Uygulanan kuvvetin dik koordinat sisteminde bileşenleri Şekil 1.28.b'de görüldüğü gibi düşeyde  $8G$ , yatayda ise  $6G$  büyüklüğündedir. Yerin cisme uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü  $G + 8G = 9G$  olur. Yataydaki  $6G$  büyüklüğündeki kuvvete yerin tepkisi yoktur.



Düşey düzlemde Şekil 1.29'da görülen cismi, duvara bir  $\vec{F}$  kuvveti ile bastırırsak duvarın cisme uyguladığı tepki kuvvetinin büyüklüğü  $F$  olur. Cismin ağırlığı düşey duvara etki etmediği için tepki kuvveti cisme etki etmez. Cisim aşağıya doğru kayarken sürtünme kuvveti, hareket yönünün tersi yönde  $F_s = k \cdot N = k \cdot F$  bağıntısı ile hesaplanır.

Kütlesi  $m$  olan bir cismi eğik düzleme yerleştirdiğimizde cisim, Şekil 1.30'da görüldüğü gibi eğik düzleme  $m \cdot g \cdot \cos \alpha$  büyüklüğünde kuvvet uygular. Eğik düzlemde cisme aynı büyüklükte ve zıt yönde kuvvet uygular. Eğik düzlemde tepki kuvveti  $N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$  ile bulunur. Eğik düzlemde cisim hareket ederken sürtünme kuvveti  $F_s = k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$  bağıntısı ile hesaplanır. Eğik düzlemde sürtünme kuvvetinin yönü, genellikle hareket yönünün tersi yöndedir. Cisim, eğik düzlemde aşağıya doğru kayarken sürtünme kuvveti, hareketi engelleyecek yönde yani ters yönde olur. Eğik düzlemde cisim yukarı doğru çıkarken sürtünme kuvveti, hareket yönünün tersi yöndedir.

Cisimle zemin arasındaki sürtünme katsayısı 0,2 olan bir yüzeyde 1 kg kütleli Şekil 1.31'de koli, 20 N büyüklüğündeki kuvvetle çekilsin. Koliye etki eden net kuvveti bulmak için önce cismin serbest cisim diyagramı çizilir.

Cismin serbest cisim diyagramı Şekil 1.32'deki gibi çizilir. Cisme zeminden ağırlığı kadar tepki kuvveti etki eder. Cismin ağırlığı 10 N olduğu için tepki kuvveti  $N = 10$  newton olur. Sürtünme kuvveti,

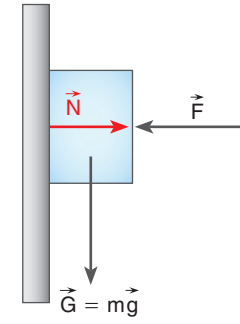
$F_s = k \cdot N = 0,2 \cdot 1 \cdot 10 = 2$  N bulunur. Cisme etki eden net kuvvet  $F_{\text{net}} = 20 - 2 = 18$  N bulunur.

Newton'un İkinci Kanunu'na göre bir cisim net bir kuvvetin etkisinde kalırsa ivmeli hareket yapar. Cismin üzerindeki net kuvvet, cismin kütlesi ile ivmesinin çarpımına eşittir.

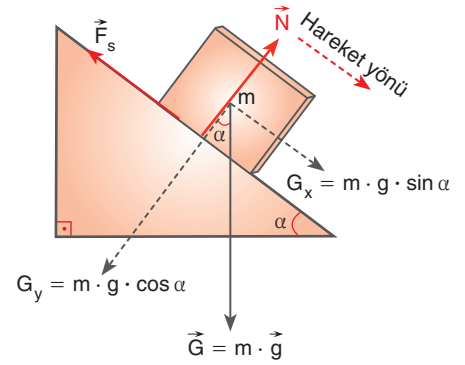
$$\vec{F}_{\text{net}} = m \cdot \vec{a}$$

Kolinin ivmesi  $18 = 1 \cdot a$  eşitliğinden  $18 \text{ m/s}^2$  bulunur.

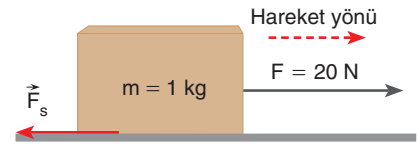
Bir cisme etki eden net kuvvetin birim tablosu Tablo 1.1'deki gibidir.



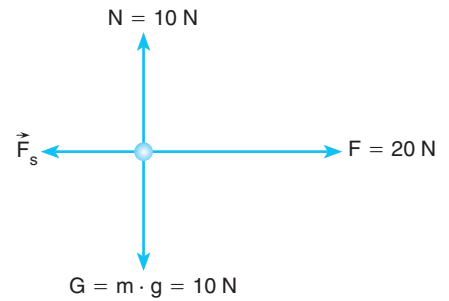
Şekil 1.29: Düşey düzlemde bir kuvvetle duvara bastırılan cisim



Şekil 1.30: Eğik düzlemde bulunan cisme uygulanan tepki kuvveti



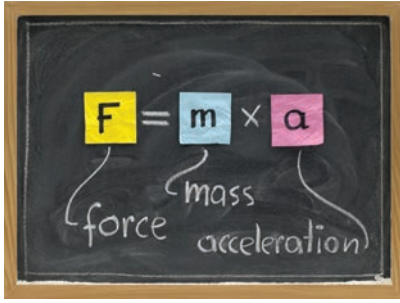
Şekil 1.31: Sürtülmeli düzlemde çekilen koli



Şekil 1.32: Cismin serbest cisim diyagramı

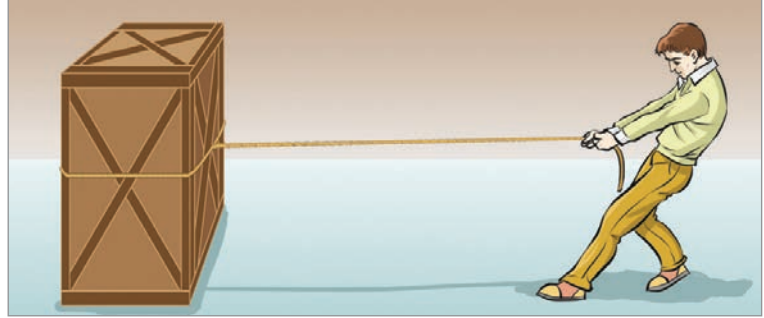
Tablo 1.1: Net kuvvet birim tablosu

F	m	a
N	kg	m/s <sup>2</sup>



Şekil 1.33: Dinamiğin Temel Kanunu

Fizik biliminde kuvvetin harekete etkisi dinamik başlığı altında incelenir. Newton'ın bulduğu  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısı, dinamiğin temel kanunu olarak kabul edilir. Bu bağıntıda F, m ve a sembolleri kavramların İngilizce baş harflerinden gelmektedir (Şekil 1.33).



Şekil 1.34: Net kuvvetin etkisindeki kutu

Sürtünmenin ihmal edildiği düzlemde duran 2 kg kütleli kutuya 10 N büyüklüğünde net kuvvet etki ederse cismin hızı, düzgün artar (Şekil 1.34).

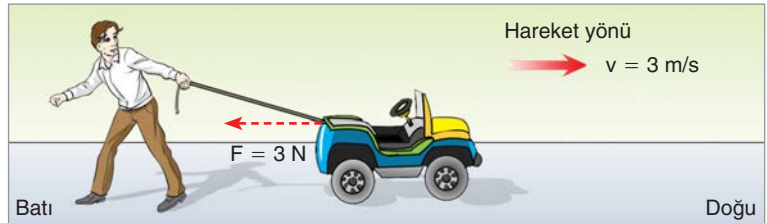
Cismin ivmesi:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ ,  $10 = 2 \cdot a$ ,  $a = 5 \text{ m/s}^2$  bulunur. Kutunun hızı her saniye 5 m/s artar. Net kuvvetin etkisi devam ederse kutunun hızı düzgün artmaya devam eder. Örneğin 4 s sonra kutunun hızı  $4 \cdot 5 = 20 \text{ m/s}$ , 7 s sonra kutunun hızı  $7 \cdot 5 = 35 \text{ m/s}$  bulunur. Eğer cismin ilk hızı varsa cismin hız değişimi ilk hıza eklenir. Örneğin kutunun ilk hızı 10 m/s olsun. Kutunun 4 s sonra hızı  $10 + 20 = 30 \text{ m/s}$ , 7 saniye sonra hızı  $10 + 35 = 45 \text{ m/s}$  olur.



### İzleyelim Öğrenelim

Newton'ın İkinci Yasası'nı gözlemlmek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

<https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/ramp-forces-and-motion>



Şekil 1.35: Akülü arabaya hareket yönüne ters yönde kuvvet uygulanması

Sürtünmenin ihmal edildiği ortamda Şekil 1.35'teki gibi doğru yönünde 3 m/s hızla hareket ettirilen 3 kg kütleli akülü arabaya hareket yönüne tersi yönde kuvvet uygulandığını düşünelim. Uygulanan kuvvetin yatay bileşeni 3 N büyüklüğünde olsun. Akülü arabanın ivmesi,  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısından  $3 = 3 \cdot a$ ,  $a = 1 \text{ m/s}^2$  bulunur. Net kuvvet, hareket yönüne ters yönde olduğu için hareketli yavaşlar. Hareketin ivmesi  $1 \text{ m/s}^2$  olduğundan arabanın hızı her saniyede 1 m/s azalır. Örneğin 2 saniye sonra arabanın hızı  $3 - (2 \cdot 1) = 1 \text{ m/s}$  olur. Araba aynı ivme ile yavaşlamaya devam ederse 3 saniye sonunda hızı sıfır olur.

Net kuvvetin meydana getirdiği ivmeyi gözlemek için 1. Deney'i yapalım.



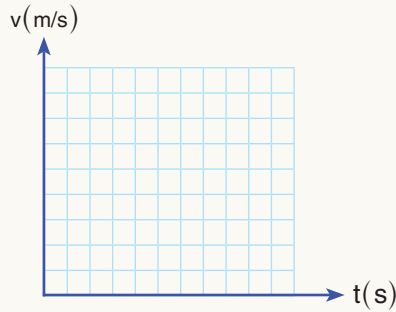
## 1. Deney



### Net Kuvvet İvme Meydana Getirir

#### Nasıl Bir Yol İzleyelim?

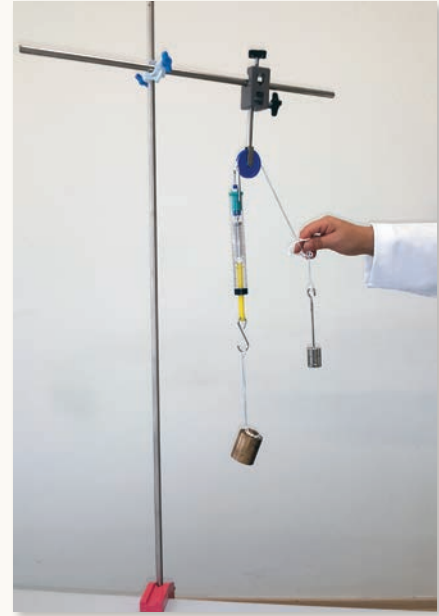
- ▶ Resimdeki düzeneği kurunuz.
- ▶ 500 g kütleli cismi serbest bırakınız.
- ▶ Cismin yere düşerken dinamometrenin gösterdiği değeri (D) tabloya kaydediniz.
- ▶ 500 g kütleli cismin 1 m yükseklikten kaç saniyede düştüğünü kronometre ile ölçünüz. Bulduğunuz süreyi (t) tabloya kaydediniz.
- ▶ 500 g kütleli cisim için hız-zaman grafiğini çiziniz. Sistemin ivmesini bulunuz.



- ▶ Bulduğunuz ivme değerini ( $a_1$ ) tabloya kaydediniz.

#### Araç Gereç

- Dinamometre
- Kütleler ( 200 g, 500 g )
- İp
- Makara
- Destek çubuğu
- İkili bağlantı aparatı
- Metre
- Kronometre



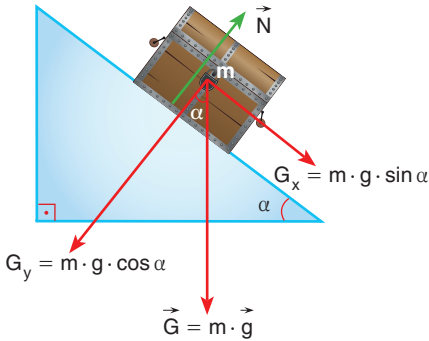
Dinamometrede okunan değer (D)	500 g kütleli cismin yere düşme süresi (t)	Grafikte bulunan ivme değeri ( $a_1$ )	Bağıntıda bulunan ivme değeri ( $a_2$ )	İpteki gerilme (T)

- ▶  $F_{net} = m \cdot a$  bağıntısından yararlanarak sistemin ivmesini ( $a_2$ ) bulunuz. Bulduğunuz değeri tabloya kaydediniz. (İşlemi yaparken dinamometrenin kütleini ihmal ediniz.)

► Dinamometrenin bulunduğu ipteki gerilmeyi (T)  $F = m \cdot a$  bağıntısından yararlanarak hesaplayınız. Bulduğunuz değeri tabloya kaydediniz.

### Sonuca Varalım

1. Deneyde bulduğunuz ( $a_1$ ) ve bağıntı ile hesapladığınız ( $a_2$ ) ivme değerlerini karşılaştırınız.
2. Deney sırasında gözlediğiniz dinamometrenin gösterdiği değer (D) ve bağıntı ile bulduğunuz (T) ip gerilme değerlerini karşılaştırınız.



Şekil 1.36: Sürtünmesiz eğik düzlemde kayan sandık

Deneyde gözlediğiniz gibi net kuvvet, uygulandığı cisimlerde ivme meydana getirir. İvme, hız-zaman grafiğinin eğiminden ya da  $\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısı ile bulunur.

### Eğik Düzlemde Hareket

Sürtünmesiz eğik düzlem üzerine bir sandık yerleştirirsek cisim kaymaya başlar. Eğik düzlem üzerinde kayan sandığı aşağıya çeken kuvvet, Şekil 1.36'da görüldüğü gibi  $mg \sin \alpha$ 'dır. Yüzeyin tepki kuvveti ise  $mg \cos \alpha$ 'dır. Sürtünme kuvveti yüzeyin tepki kuvveti ile orantılıdır. Bu yüzden tepki kuvveti, sürtünmenin ihmal edildiği yüzey uygulamalarında kullanılmaz. Hareket eden cismin ivmesi,

$$F = m \cdot g \cdot \sin \alpha = m \cdot a \Rightarrow a = g \cdot \sin \alpha$$

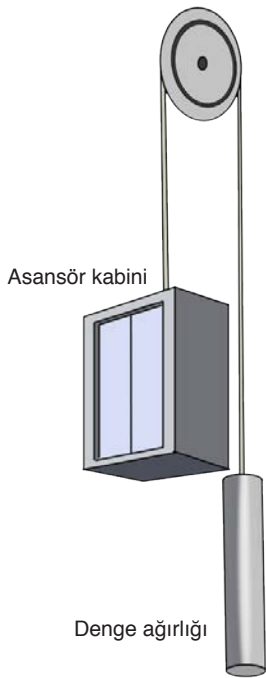
bağıntısı ile bulunur.

Sürtünmenin ihmal edildiği eğik düzlemde aşağıdan yukarıya doğru atılan bir cisim için de net kuvvet  $m \cdot g \cdot \sin \alpha$ 'dır. Bu yüzden sürtünmesiz sistemlerde eğik düzlem üzerindeki bir cismin aşağıya inerken veya yukarıya çıkarken ivmesi  $g \cdot \sin \alpha$ 'dır. Cismin ivmesi kütlesine bağlı değildir.

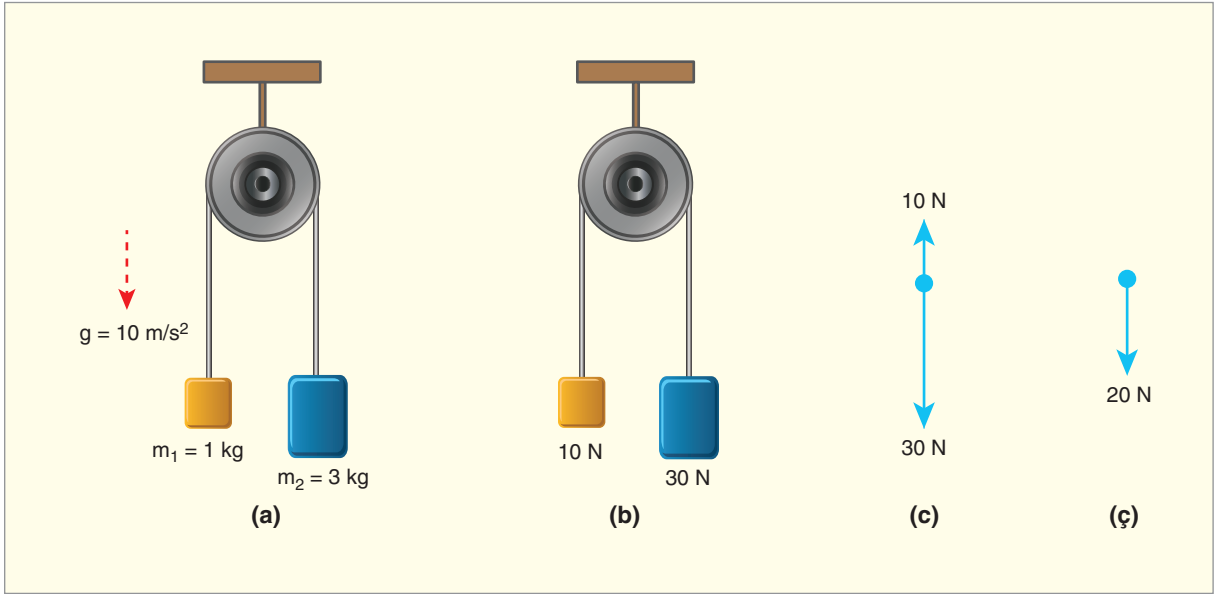
Asansör sistemlerinin bazılarında enerji tasarrufu sağlamak için Şekil 1.37'de görülen denge ağırlığı kullanılır. Asansör ve denge ağırlığının kütleleri eşit yapılarak çok az enerji ile asansörün hareket etmesi sağlanır. Bu sisteme **Atwood makinesi** denir.

Sabit bir makaraya bağlı, kütleleri 3 kg ve 1 kg olan iki cismi Şekil 1.38.a'da görüldüğü gibi bağlayalım.

Cisimlerin ağırlıkları  $G = m \cdot g$  bağıntısından 30 N ve 10 N bulunur (Şekil 1.38.b). Cisimler için serbest cisim diyagramı Şekil 1.38.c'deki gibidir. Cisimlere etki eden net kuvvet, Şekil 1.38.ç'deki gibi 20 N'dır. 3 kg aşağıya doğru, 1 kg ise yukarıya doğru hareket eder.



Şekil 1.37: Asansör sistemi



**Şekil 1.38: a)** Sabit makaraya bağlı kütleleri farklı iki cisim **b)** Kütlelerin ağırlıkları **c)** Serbest cisim diyagramı **ç)** Net kuvvet

Cisimlerin ivmesi,

$\vec{F}_{\text{net}} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısından bulunur.  $20 = (1 + 3) \cdot a$  eşitliğinden  $a = 20 / 4$  cisimlerin ortak ivmesi  $5 \text{ m/s}^2$  bulunur. İki cisim de aynı ipe bağlı olduğu için aynı ivme ile hareket eder. Cisimler arasında bulunan ipteki gerilmeyi hesaplayalım.

1 kg kütleli cisme etki eden net kuvvet, Şekil 1.39'da görüldüğü gibi  $F_{\text{net}} = T - 10$ 'dur.

$T - 10 = m \cdot a$  bağıntısında kütle ivme değerleri yerine yazıldığında

$$T - 10 = 1 \cdot 5 \quad T = 10 + 5 = 15 \text{ N bulunur.}$$

### Net Kuvvetin Etkisindeki Cismin Hareket Grafikleri

Duran 2 kg kütleli cisme etki eden net kuvvetin zamana bağlı değişimi Şekil 1.40'taki gibi olsun.

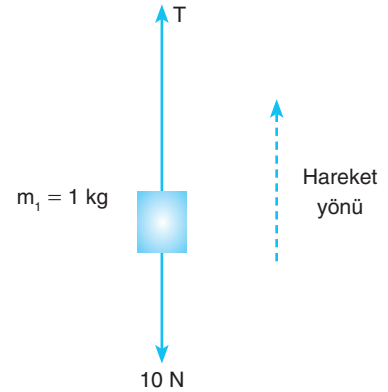
Kuvvetin cismin hareketine nasıl etki ettiğini inceleyelim.

0–1 s zaman aralığında,

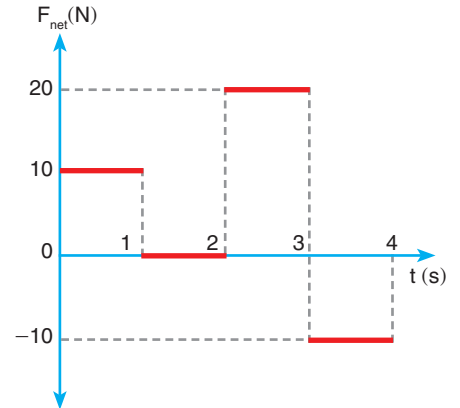
Duran cisim, net kuvvetin etkisinde kaldığı için cismin hızı düzgün artar.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ bağıntısından,}$$

$10 = 2 \cdot a$  eşitliğinden  $a = 5 \text{ m/s}^2$  bulunur. Cismin hızı her saniye  $5 \text{ m/s}$  artar. 1 saniye sonra cismin hızı  $5 \text{ m/s}$  olur.



**Şekil 1.39:** 1 kg kütleli cisme etki eden kuvvetler



**Şekil 1.40:** Sabit net kuvvetlerin etkisinde kalan cismin kuvvet-zaman grafiği

1s-2s zaman aralığında, net kuvvet sıfır olduğu için cismin hızında değişiklik olmaz. 2 s sonunda cismin hızı yine 5 m/s olur.

2s-3s zaman aralığında, net kuvvetin etkisinde kalan cismin hızı artar.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ bağıntısından}$$

$20 = 2 \cdot a$  eşitliğinden  $a = 10 \text{ m/s}^2$  bulunur. Cismin hızı her saniye 10 m/s artar. 3. saniye sonunda cismin hızı 15 m/s olur.

3s-4s zaman aralığında, hareket yönünün tersi yönünde, net kuvvetin etkisinde kalan cismin hızı azalır.

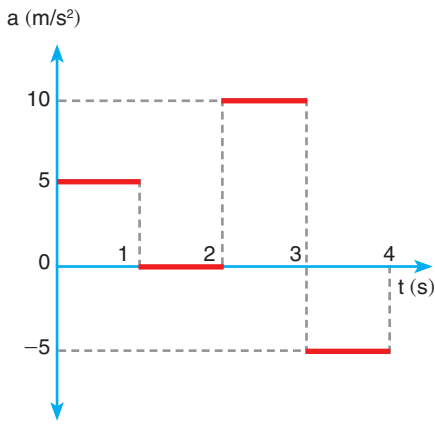
$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ bağıntısından}$$

$-10 = 2 \cdot a$  eşitliğinden  $a = -5 \text{ m/s}^2$  bulunur. Cismin hızı her saniye 5 m/s azalır. 4. saniye sonunda cismin hızı 10 m/s olur.

Hareketin ivme-zaman grafiğini çizelim.

Cismin 0s-1s zaman aralığında ivmesi  $a = 5 \text{ m/s}^2$ , 1s-2s zaman aralığında ivmesi sıfır, 2s-3s zaman aralığında ivmesi  $a = 10 \text{ m/s}^2$ , 3s-4s zaman aralığında ivmesi  $-5 \text{ m/s}^2$  dir.

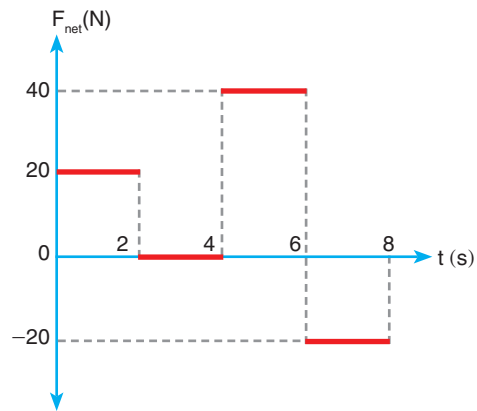
Hareketin ivme-zaman grafiği Şekil 1.41'deki gibidir. İvme-zaman grafikleri, net kuvvet-zaman grafiklerine benzer. Bunun sebebi kuvvetin ivmeye oranının sabit ve cismin kütlesine eşit olmasıdır.



Şekil 1.41: İvme-zaman grafiği



### KENDİMİZİ DENEYELİM 16

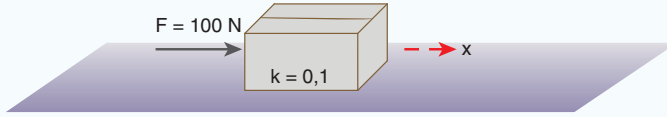


Kütlesi 4 kg olan bir cismin üzerindeki net kuvvetin zamana göre değişimi şekildeki gibidir. Cismin ilk hızı 15 m/s olduğuna göre 8. saniye sonunda cismin hızı kaç m/s olur?



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 16

1.



Bir mermer işçisi sürtünlü yüzeyde 50 kg kütleli mermeri şekildeki gibi itiyor. Mermere etki eden net kuvveti serbest cisim diyagramı çizerek bulunuz. ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınınız.)

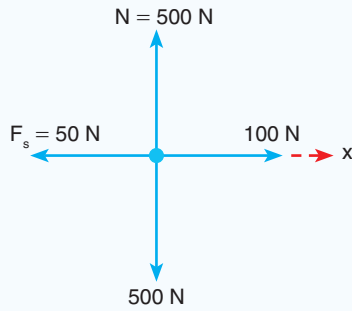
### ÇÖZÜM

Sürtünme kuvveti,

$$F_s = k \cdot N = k \cdot m \cdot g \text{ bağıntısından,}$$

$$F_s = 0,1 \cdot 50 \cdot 10 = 50 \text{ N bulunur.}$$

Serbest cisim diyagramı,

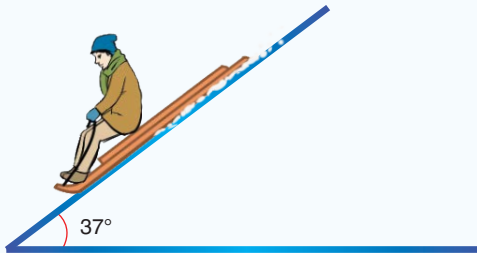


şeklinde çizilir. Mermere etki eden net kuvvet,

$$F_{\text{net}} = 50 \text{ N}$$

x yönünde 50 N'dır.

2.



Sürtünlü yüzeyde kayan ve kızakla birlikte toplam kütlesi 50 kg olan Ömer'in üzerindeki net kuvvet kaç N'dır? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$   $\sin 37 = 0,6$   $\cos 37 = 0,8$   $k = 0,2$  alınınız.)

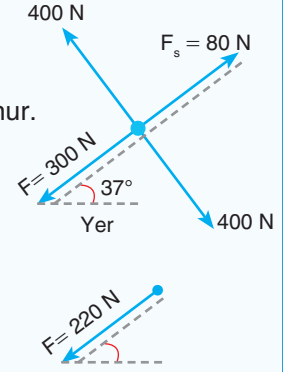
### ÇÖZÜM

Kızağı eğik düzlemde aşağıya doğru hareket ettiren kuvvet,  $F = m \cdot g \cdot \sin \alpha$ 'dır.  $F = 50 \cdot 10 \cdot \sin 37^\circ = 300 \text{ N}$  bulunur.

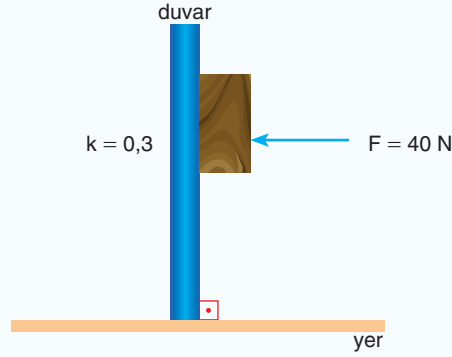
Kızağa etki eden sürtünme kuvveti,  
 $F_s = k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$  bağıntısından,  
 $F_s = 0,2 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 0,8 = 80 \text{ N}$  bulunur.

Kızağın serbest cisim diyagramı  
 yandaki gibi çizilir.

Kızağa etki eden net kuvvet,  
 $F_{\text{net}} = 300 - 80 = 220 \text{ N}$  bulunur.



3.



Zeynep elindeki 10 kg kütleli tahtayı 40 N kuvvet uygulayarak duvara sıkıştırmaktadır. Tahtaya etki eden net kuvvet kaç N'dır? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Tahtayı aşağıya doğru ağırlığı çeker.

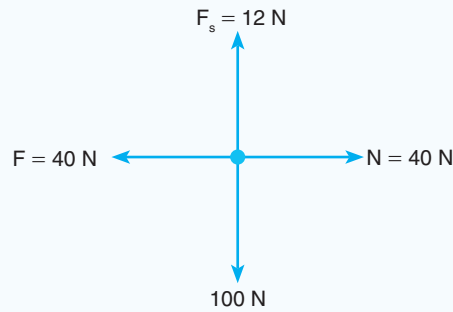
$$\vec{F} = m \cdot \vec{g} \quad F = 10 \cdot 10 = 100 \text{ N}$$

Tahtaya etki eden sürtünme kuvveti,

$$F_s = k \cdot N = k \cdot F \text{ eşitliğinden}$$

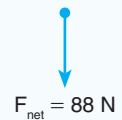
$$F_s = 0,3 \cdot 40 = 12 \text{ N bulunur.}$$

Tahtaya etki eden kuvvetlerin serbest cisim diyagramı,



şeklinde çizilir.

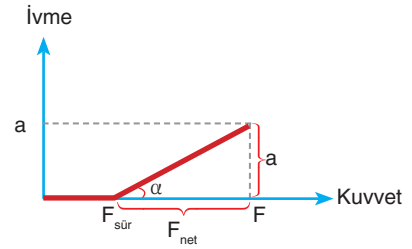
Tahtaya etki eden net kuvvet yanda görüldüğü gibi 88 N bulunur.





### Sürtünmeli Yüzeylerde İvmenin Kuvvetle Değişimi

Sürtünmeli bir yüzeyde duran bir cismi hareket ettirmek için cisim ile zemin arasındaki sürtünme kuvvetinden daha büyük bir kuvvet uygulamamız gerekir. Şekil 1.42'de görüldüğü gibi cismin ivmelenmeye başladığı andaki kuvvet değeri sürtünme kuvvetine eşit olmalıdır. Cisim, ivmeli hareket yaparken kuvvet arttıkça ivme değeri de artar.  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısından kuvvetin ivmeye oranı sabit ve cismin kütlesine eşit olur. Bu yüzden kuvvet-ivme grafiklerinden yararlanarak cismin kütlesi bulunur. Grafiğin eğimi  $\tan \alpha = \frac{a}{F_{\text{net}}} = \frac{1}{m}$  değerini verir.



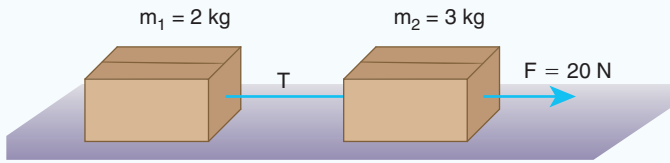
Şekil 1.42: Sürtünmeli bir yüzeyde çekilen cismin kuvvet ivme grafiği

### 1.3.2. Net Kuvvet Etkisindeki Cismin Hareketi ile İlgili Hesaplamalar



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 17

1.



Kütleleri 2 kg ve 3 kg olan iki kutu, sürtünmesiz ortamda şekildeki gibi 20 N büyüklüğündeki kuvvetle çekiliyor. Cisimlerin ivmesini ve cisimler arasındaki ip gerilmesini bulunuz. ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

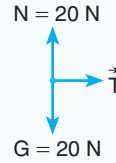
#### ÇÖZÜM

Kutuların ortak ivmesi:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısından

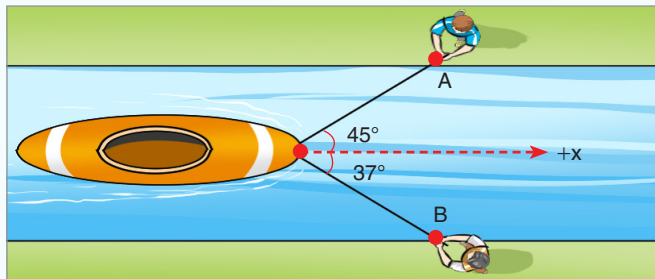
$20 = (2 + 3) \cdot a$  ise  $20 = 5 \cdot a$  bağıntısından

$a = 4 \text{ m/s}^2$  bulunur. 2 kg kütleli cismin serbest cisim diyagramı yandaki gibi çizilir. 2 kg kütleli cismi çeken ip gerilmesi  $T = m_1 \cdot a$  bağıntısından

$T = 2 \cdot 4 \quad T = 8 \text{ N}$  bulunur.



2.



A ve B noktalarında bulunan iki işçi birlikte bir kanalda 20 kg kütleli botu çekmektedir. Bot +x yönünde hareket ediyor.

B işçisi bota 50 N büyüklüğünde kuvvet uyguladığına göre botun ivmesi kaç  $\text{m/s}^2$ 'dir? (sürtünme katsayısı  $k = 0,2$ )  
( $\sin 37^\circ = 0,6$   $\cos 37^\circ = 0,8$   $\sin 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}$   $g \cong 10 \text{ m/s}^2$ )

### ÇÖZÜM

Botun serbest cisim diyagramı şekildeki gibi çizilir.

Botun  $+x$  yönünde gitmesi için A ve B işçilerinin bota uyguladıkları kuvvetin y eksenindeki bileşenlerinin birbirine eşit olması gerekir.

$$F_{BY} = F_B \cdot \sin 37 = 50 \cdot 0,6 = 30 \text{ N}$$

$$F_{BX} = F_B \cdot \cos 37 = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ N}$$

$$F_{AY} = F_A \cdot \sin 45 = F_A \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$F_{BY} = F_{AY} \text{ eşitliğinde}$$

$$F_A \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 30 \quad F_A = \frac{60}{\sqrt{2}} = 30\sqrt{2} \text{ N}$$

$$F_{AX} = F_{AY} = 30 \text{ N}$$

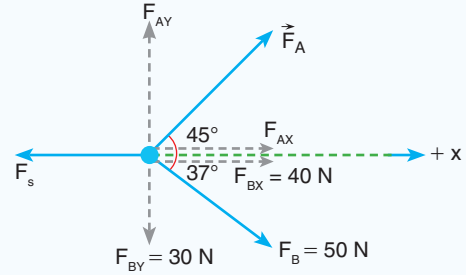
bulunur. Bota etki eden sürtünme kuvveti

$$F_s = k \cdot N \text{ eşitliğinde} \quad F_s = 0,2 \cdot 200 \quad F_s = 40 \text{ N}$$

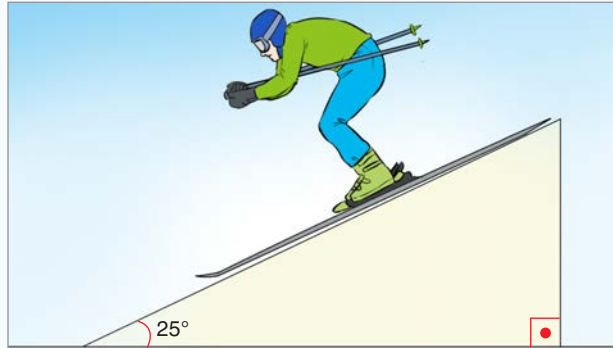
Botun ivmesi

$$\vec{F}_{\text{net}} = m \cdot \vec{a} \quad F_{\text{net}} = (F_{AX} + F_{BX}) - F_s \quad F_{\text{net}} = (40 + 30) - 40$$

$$F_{\text{net}} = 30 \text{ N} \quad a = \frac{F_{\text{net}}}{m} = \frac{30}{20} = 1,5 \text{ m/s}^2 \text{ dir.}$$



3.



Kayak takımları ile birlikte kütlesi 70 kg olan Ersin şekildeki gibi eğik düzlemde kaymaktadır. Buna göre şu soruları yanıtlayınız:

a) Eğik düzlemin sürtünmesi önemsiz ise Ersin'in ivmesi kaç  $\text{m/s}^2$ 'dir?

b) Eğik düzlem sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,4 ise Ersin'in ivmesi kaç  $m/s^2$ 'dir?

$$(g \cong 10 \text{ m/s}^2 \quad \sin 25^\circ = 0,42 \quad \cos 25^\circ = 0,9)$$

### ÇÖZÜM

a) Ersin'in serbest cisim diyagramı yandaki gibi çizilir.

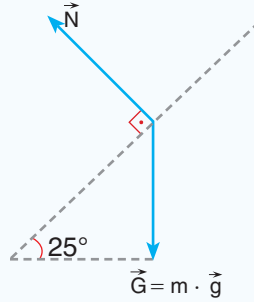
Sürtünme ihmal edilirse Ersin'e etki eden net kuvvet,

$$F_{\text{net}} = m \cdot g \cdot \sin 25^\circ \text{ olur.}$$

$$F_{\text{net}} = 70 \cdot 10 \cdot 0,42 = 294 \text{ N bu-}$$

lunur. Ersin'in ivmesi,

$$a = \frac{F_{\text{net}}}{m} \text{ bağıntısından} \quad a = \frac{294}{70} = 4,2 \text{ m/s}^2 \text{ bulunur.}$$



b) Ersin'in serbest cisim diyagramı yandaki gibi çizilir. Eğik düzlem sürtünmeli ise sürtünme kuvveti

$F_s = k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$  eşitliği ile bulunur.

$$F_s = 0,4 \cdot 70 \cdot 10 \cdot 0,9 = 252 \text{ N}$$

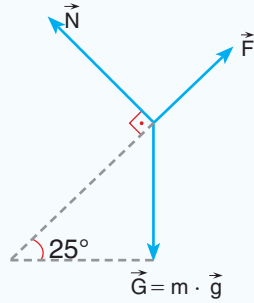
bulunur. Net kuvvet,

$$F_{\text{net}} = m \cdot g \cdot \sin \alpha - k \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

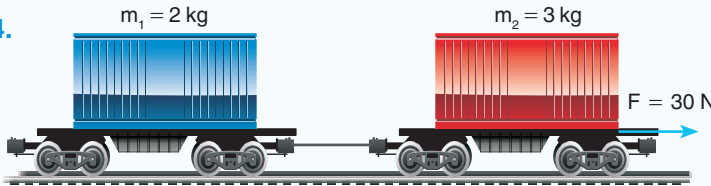
eşitliğinden

$$F_{\text{net}} = 294 - 252 = 42 \text{ N bulunur.}$$

$$\text{Ersin'in ivmesi} \quad a = \frac{F_{\text{net}}}{m} = \frac{42}{70} = 0,6 \text{ m/s}^2 \text{ bulunur.}$$



4.

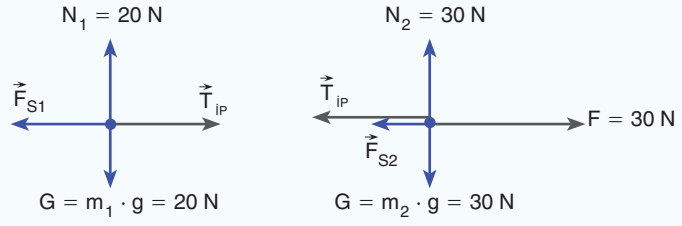


Kütleleri 2 kg ve 3 kg olan iki vagon, şekildeki gibi bağlanarak sürtünme katsayısının iki cisim için de 0,4 olduğu yüzeyde 30 N büyüklüğünde kuvvetle çekiliyor. Vagonlar arasındaki ip gerilmesi kaç N'dır?

$$(g \cong 10 \text{ m/s}^2 \text{ alınız.})$$

## ÇÖZÜM

Vagonlar için serbest cisim diyagramını çizelim.



Cisimler için serbest cisim diyagramı şekildeki gibidir. Cisimlerin ortak ivmesini hesaplamak için öncelikle sürtünme kuvvetlerini bulalım.

$$F_{s1} = k \cdot N = 0,4 \cdot 2 \cdot 10 = 8 \text{ N bulunur.}$$

$$F_{s2} = k \cdot N = 0,4 \cdot 3 \cdot 10 = 12 \text{ N bulunur.}$$

Sistem için net kuvvet,

$$F_{\text{net}} = 30 - (8 + 12) = 30 - 20 = 10 \text{ N bulunur.}$$

Cisimlerin ortak ivmesi,

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \text{ bağıntısından } 10 = (2 + 3) \cdot a$$

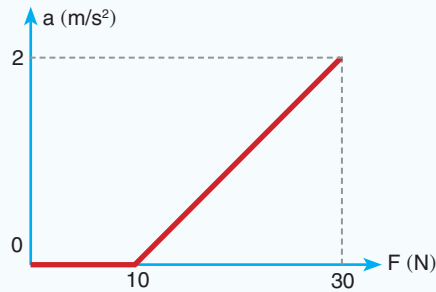
$a = 2 \text{ m/s}^2$  bulunur. İp gerilmesini  $m_1$  cisiminden yararlanarak bulalım.

$\vec{F}_{\text{net}} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısından ip gerilmesi,

$$T - F_{s1} = m \cdot a \quad T - 8 = 2 \cdot 2$$

$$T = 12 \text{ N bulunur.}$$

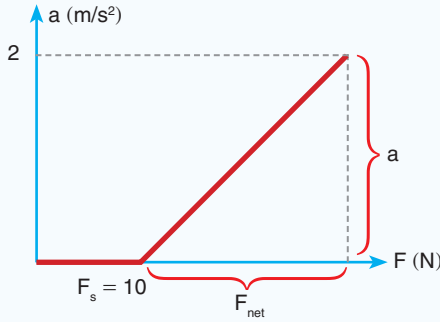
5.



Yatay bir düzlemde duran bir cisme, düzleme paralel uygulanan kuvvetin, cismin kazandığı ivmeye göre değişim grafiği şekildeki gibidir. Cisimle zemin arasındaki sürtünme katsayısını bulunuz. ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

## ÇÖZÜM

İvme-kuvvet grafiğinden



Cisme etki eden sürtünme kuvveti  $F_s = 10$  N'dir.

Cismin üzerindeki net kuvvet,

$F_{\text{net}} = 20$  N, cismin ivmesi ise  $2 \text{ m/s}^2$  dir.

Cismin kütlesi,  $\vec{F}_{\text{net}} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısından

$20 = m \cdot 2$   $m = 10$  kg bulunur. Sürtünme kuvveti,

$F_s = k \cdot N$  bağıntısından bulunur.

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

Sürtünme katsayısı  $k = 0,1$  bulunur.

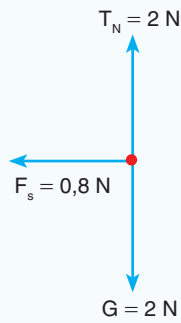
6. Mert elindeki 200 g kütleli mermer parçasını düz bir zeminde yere yakın bir noktadan fırlattığında mermer parçası bir doğru boyunca 3 m yol alarak duruyor. Mermer parçası ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı 0,4 olduğuna göre mermerin yavaşlama ivmesi kaç  $\text{m/s}^2$  dir? ( $g \cong 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$  alınız.)

## ÇÖZÜM

Mermer parçasının kütlesi  $m = 200 \text{ g} = 0,2 \text{ kg}$  ve ağırlığı

$G = m \cdot g = 0,2 \cdot 10 = 2$  N'dir. Mermer parçasına etki eden sürtünme kuvveti

$F_s = k \cdot N = 0,4 \cdot 0,2 \cdot 10 = 0,8$  N bulunur.



Cismin ivmesi,

$a = \frac{F_{\text{net}}}{m} = \frac{-0,8}{0,2} = -4 \text{ m/s}^2$  bulunur.


**KENDİMİZİ DENEYELİM 17**

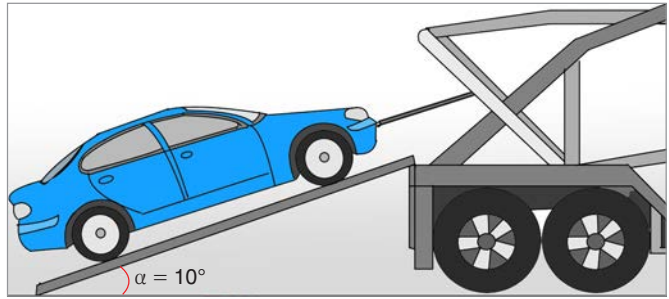
1.



Tüm ekipmanları ile birlikte kütlesi 60 kg olan kayakçı şekilde görüldüğü gibi kaymaktadır. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

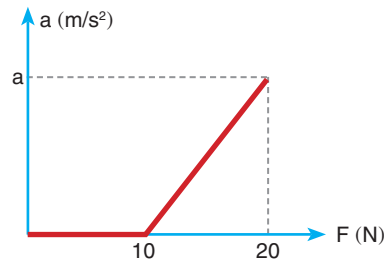
- a) Eğik düzlemin sürtünmesi önemsiz ise kayakçının ivmesi kaç  $m/s^2$ 'dir? ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$ ,  $\sin 30^\circ = 0,5$   $\cos 30^\circ = 0,86$ )
- b) Eğik düzlem sürtümlü ve sürtünme katsayısı 0,3 ise kayakçının ivmesi kaç  $m/s^2$ 'dir?

2.



Bir çekici, bozulan bir arabayı şekildeki gibi çekmektedir. Arabanın kütlesi 1400 kg'dır. Zeminde sürtünme ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Arabanın  $0,5 \text{ m/s}^2$  ivme ile eğik düzlemde hareket edebilmesi için çelik halattaki gerilme kuvveti kaç newton olmalıdır? ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$   $\sin 10^\circ = 0,17$ )

3.



Sürtünme katsayısının 0,2 olduğu yatay düzlemde  $\vec{F}$  kuvveti ile çekilen cismin, ivme-kuvvet grafiği şekildeki gibi olduğuna göre cismin ivmesi kaç  $m/s^2$ 'dir? ( $g \cong 10 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$  alınız.)







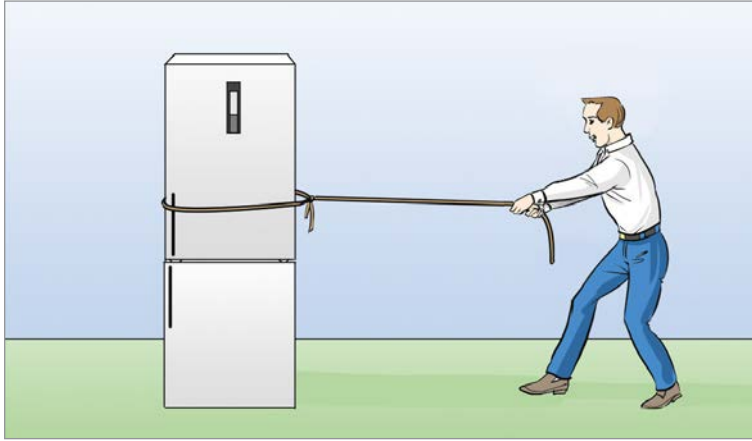




## 1.4. BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Asansöre bindiğimizde asansör hızlanarak harekete başlar. Gitmek istediğimiz kata geldiğimizde asansör yavaşlayan hareket yapar (Resim 1.13). Hareket eden bir cismin hızının artması ya da azalması, o cismin ivmeli hareket yaptığını gösterir. Doğrusal bir yörüngede hızı düzgün artan ya da düzgün azalan bir hareketlinin yaptığı harekete **bir boyutta sabit ivmeli hareket** denir. Hızın düzgün değişmesi demek, sabit ivmeli hareket demektir. Sabit ivmeli hareket için cismin sabit bir kuvvetin etkisinde kalması gerekir.

### 1.4.1. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket Örnekleri



**Şekil 1.43:** Sabit bir net kuvvetin etkisinde çekilen buzdolabı

Şekil 1.43'teki gibi sabit bir net kuvvetin etkisinde bir doğru boyunca çekilen buzdolabı sabit ivmeli hareket yapar. Buzdolabının ivmesi  $\vec{F}_{\text{net}} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısı ile hesaplanır. Buzdolabı bu kuvvetin etkisinde kaldığı sürece hızı düzgün artmaya devam eder.

Şehirler arası yolcu taşımacılığı yapan Resim 1.14'teki gibi hızlı trenler bir doğru boyunca hareket ederken birçok defa hızını azaltıp artırır. Bir doğru boyunca düzgün hızlanan ya da düzgün yavaşlayan hızlı tren, bir boyutta sabit ivmeli hareket yapar.

Havaalanında piste indikten sonra ilerleyen uçaklar düz bir yolda yavaşlayarak durur (Resim 1.15). Piste indikten sonra ilerleyen uçağa etki eden sabit kuvvet, tekerleklerle zemin arasındaki sürtünme kuvvetidir. Sabit sürtünme kuvvetinin etkisinde düzgün yavaşlayan uçak bir boyutta sabit ivmeli hareket yapar.



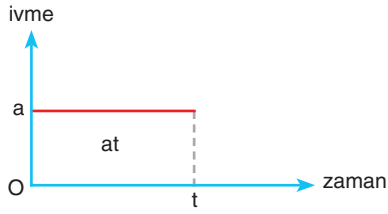
**Resim 1.13:** Asansör



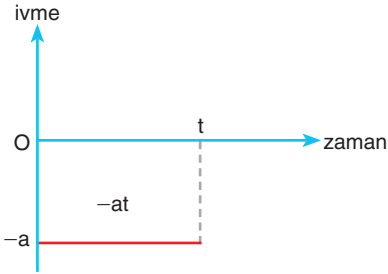
**Resim 1.14:** Bir doğru boyunca hareket eden tren



**Resim 1.15:** Piste indikten sonra ilerleyen uçak



Şekil 1.44: Pozitif yönde düzgün hızlanan hareketin ivme-zaman grafiği



Şekil 1.45: Pozitif yönde düzgün yavaşlayan hareketin ivme-zaman grafiği

## Hareket Denklemleri

İvmeli hareketlerde yapılan hareketin çizilen hareket grafiklerinden yararlanılarak hareket denklemleri elde edilmiştir. Hareket denklemleri hareketlinin herhangi bir andaki hızını, konumunu ve ivmesini bulmamıza yarar.

### Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareketlerde Hız

Pozitif yönde düzgün hızlanan hareketin ivme-zaman grafiği Şekil 1.44'te görüldüğü gibidir. İvme-zaman grafiğinin altında kalan alan, hız değişimini verir. Hareketlinin t anındaki hızını bulmak için harekete başladığı andaki hızı ( $v_0$ ) ile hız değişimi toplanır. Hareketlinin hızının büyüklüğü,

$$v_{\text{son}} = v_0 + at$$

bağıntısı ile bulunur.

Şekil 1.45'te görüldüğü gibi pozitif yönde düzgün yavaşlayan hareketin hız değişimi negatiftir. Hareketlinin t anındaki hızı,

$$v = v_0 - at$$

bağıntısı ile bulunur.

İvmeli hareketlerin t anındaki hızının büyüklüğü,

$$v = v_0 \pm at$$

bağıntısı ile bulunur. Hareketli, hızlanıyorsa hızı  $v = v_0 + at$ ; yavaşlıyorsa  $v = v_0 - at$  bağıntısı ile bulunur.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 18



İlk hızı 5 m/s olan bir araba düzgün olarak  $4 \text{ m/s}^2$  lik ivme ile hızlanıyor. Arabanın 3 s sonraki hızını bulunuz.

## ÇÖZÜM

Hareketin  $t$  anındaki hızı  $v_{\text{son}} = v_0 + a \cdot t$  ifadesi ile bulunur. Verilenleri denkleme yerine yazdığımızda,

$$v = 5 + 4 \cdot 3 = 5 + 12 = 17 \text{ m/s}$$

arabanın 3 saniye sonraki hızı 17 m/s olur.

## KENDİMİZİ DENEYELİM 18

Trafik lambasına 18 m/s süratle yaklaşan bir otomobil sürücüsü trafik lambasının kırmızıya döndüğünü görünce frene basıyor. Araç frene basıldıktan 3 s sonra durduğuna göre aracın yavaşlama ivmesi kaç m/s<sup>2</sup>dir?

## Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareketlerde Yer Değiştirme

İlk hızı  $v_0$  olan bir hareketli, pozitif yönde düzgün hızlanırsa hız-zaman grafiği, Şekil 1.46'daki gibi olur. Hız-zaman grafiğinin altında kalan alan, yer değiştirmeyi verir. Hareketin yer değiştirmesi,

$$x = v_0 \cdot t + \frac{\Delta v \cdot t}{2}$$

bağıntısı ile bulunur. Hız-zaman grafiğinin eğimi ivmeyi verdiği için hareketin ivmesi,

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

$$\Delta \vec{v} = \vec{v}_{\text{son}} - \vec{v}_{\text{ilk}}$$

matematiksel ifadesiyle bulunur,

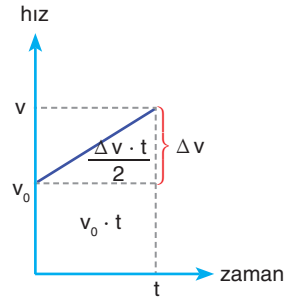
İvme formülünü yer değiştirme denkleminde yerine yazarsak hızlanan hareket için yer değiştirme bağıntısı,

$$x = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

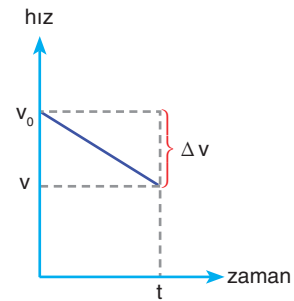
şeklinde elde edilir.

İlk hızı  $v_0$  olan ve pozitif yönde düzgün yavaşlayan bir hareketlinin Şekil 1.47'de görülen hız-zaman grafiğinden yararlanarak yer değiştirme denklemi elde edilebilir.

$$x = v_0 \cdot t - \frac{\Delta v \cdot t}{2}$$



Şekil 1.46: Pozitif yönde düzgün hızlanan hareketin hız-zaman grafiği



Şekil 1.47: Pozitif yönde düzgün yavaşlayan hareketin hız-zaman grafiği

Hız-zaman grafiğinin eğimi negatif olduğu için hareketin ivmesi de negatiftir.

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

İvme denklemi yer değıştirme denkleminde yerine yazılarak düzgün yavaşlayan hareket için yer değıştirme denklemi elde edilir.

$$x = v_0 \cdot t - \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Sabit ivmeli hareket yapan cismin t sürede yaptığı yer değıştirme,

$$x = v_0 \cdot t \pm \frac{a \cdot t^2}{2}$$

denklemi ile bulunur. Yer değıştirme; düzgün hızlanan hareketlerde  $x = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$  bağıntısıyla, düzgün yavaşlayan hareketlerde ise  $x = v_0 \cdot t - \frac{a \cdot t^2}{2}$  bağıntısı ile bulunur.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 19



Hızı 72 km/h olan bir yolcu treni, istasyona gelince düzgün olarak yavaşlıyor. Tren  $5 \text{ m/s}^2$  lik ivme ile yavaşlayarak duruyor. Trenin duruncaya kadar aldığı yolu bulunuz.

### ÇÖZÜM

**1. Çözüm yolu:** Trenin hızını m/s birimine çevirdiğimizde,

$$v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \cdot \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \text{ m/s bulunur.}$$

Trenin yavaşlama ivmesi  $5 \text{ m/s}^2$  olduğu için her saniye hızı 5 m/s azalır. Tren 4 saniye sonra durur. Trenin duruncaya kadar aldığı yol,

$$x = v_0 \cdot t - \frac{a \cdot t^2}{2}$$

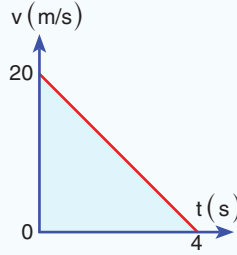
bağıntısı ile bulunur. Verilen değerleri bağıntıda yerine yazdığımızda trenin durma mesafesi,

$$x = 20 \cdot 4 - \frac{5 \cdot 16}{2} = 80 - 40 = 40 \text{ m}$$

bulunur.

**2. Çözüm yolu:** Hareketin hız-zaman grafiğini çizelim. Yolcu treninin ivmesi  $5 \text{ m/s}^2$  olduğu için tren 4s sonra durur. Trenin aldığı yol

$$\frac{20 \cdot 4}{2} = 40 \text{ m bulunur.}$$



### KENDİMİZİ DENEYELİM 19

Düz yolda bir araç  $40 \text{ m/s}$  süratle hareket etmektedir. Araçın şoförü frene basarak 2 s'de arabanın hızını  $20 \text{ m/s}$ 'ye düşürüyor. Bu sırada araba x yolunu alıyor. Arabanın aldığı x yolu kaç m'dir?

#### Zamandan Bağımsız Hız Denklemi

Düzgün hızlanan hareketlerde hızın,

$$v = v_0 + a \cdot t$$

denklemini ile bulunduğunu gördük. Bu denklemde eşitliğin iki tarafının karesini alalım.

$$v^2 = (v_0 + a \cdot t)^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2v_0 \cdot a \cdot t + a^2 \cdot t^2$$

Denklemin sağ tarafındaki " $2v_0 \cdot a \cdot t + a^2 \cdot t^2$ " ifadesini 2a parantezine alalım.

$$v^2 = v_0^2 + 2a \left( v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \right)$$

Parantezin içindeki ifade, düzgün hızlanan harekette yer değiştirme bağıntısıdır. Bu ifade yerine x yazılırsa düzgün hızlanan hareket için zamandan bağımsız hız denklemi elde edilir.

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot x$$

Zamandan bağımsız hız denkleminin genel ifadesi,

$$v^2 = v_0^2 \pm 2 \cdot a \cdot x$$

şeklinde gösterilir.

Hareketlinin herhangi bir andaki hızı; hızlanan hareketlerde  $v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot x$  bağıntısı ile, yavaşlayan hareketlerde ise  $v^2 = v_0^2 - 2 \cdot a \cdot x$  bağıntısı ile bulunur.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 20



Havalanmak üzere piste gelen uçak, düzgün olarak  $15 \text{ m/s}^2$  ivme ile hızlanıyor ve  $500 \text{ m}$  yol aldıktan sonra havalanıyor. Uçağın havalanma hızını bulunuz.

### ÇÖZÜM

Uçağın havalanma hızını zamandan bağımsız hız denkleminde bulalım.

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot x$$

Uçağın ilk hızı olmadığı için  $v_0 = 0$  alınır.

$$v^2 = 2 \cdot a \cdot x = 2 \cdot 15 \cdot 500 = 15000$$

İki tarafın da karekökünü alırsak uçağın kalkış hızı,

$$v = \sqrt{15000} = 122,47 \text{ m/s} \text{ bulunur.}$$



### KENDİMİZİ DENEYELİM 20

Duruştan harekete geçen bir aracın şoförü, aracın hızını düzgün olarak her saniye  $10 \text{ m/s}$  artırarak hızlandırmaktadır. Aracın hızı  $30 \text{ m/s}$  olduğunda aldığı yol kaç m'dir?





### Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket Grafikleri

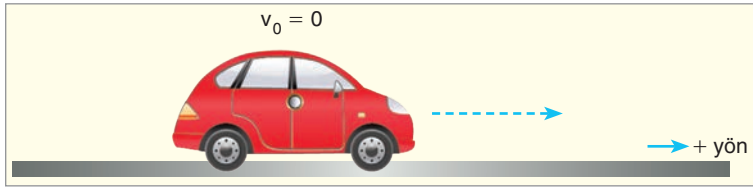
Bir boyutta sabit ivmeli hareket eden bir hareketlinin hareketi, hareket grafikleri ile belirlenir. Hareket grafikleri bir cismin zamana göre konumunu, hızını ve ivmesini gösterir. Bir doğru boyunca hareket eden bir hareketlinin hareket grafiklerini çizmek için öncelikle hareketimiz bir doğru boyunca olduğu için doğrunun iki yönünü birbirinden ayırmalıyız.

Bir doğru boyunca harekette hareketli, doğrunun sağına ya da soluna doğru hareket edebilir. Bu iki yönü birbirinden ayırt etmek için Şekil 1.48'de görüldüğü gibi iki yön tanımlanır. Bu tanımlama sadece yönleri birbirinden ayırt etmek için kullanılır.



Şekil 1.48: Bir doğru boyunca hareket için + ve - yön

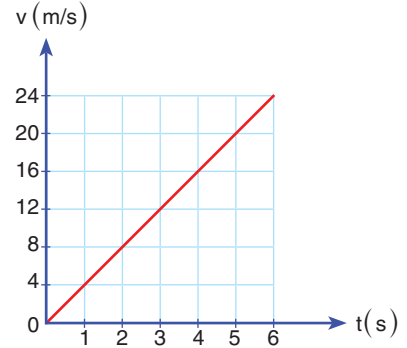
### (+) Yönde Hızlanan Hareketlinin Hareket Grafikleri



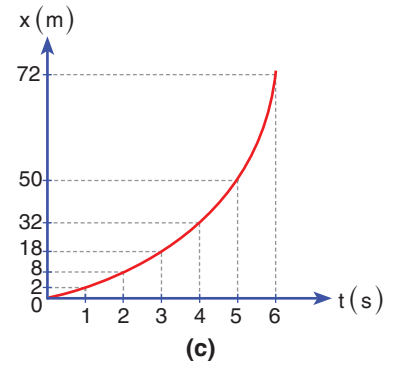
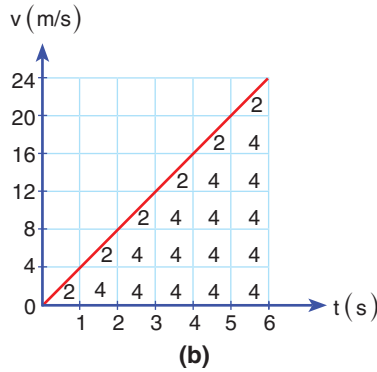
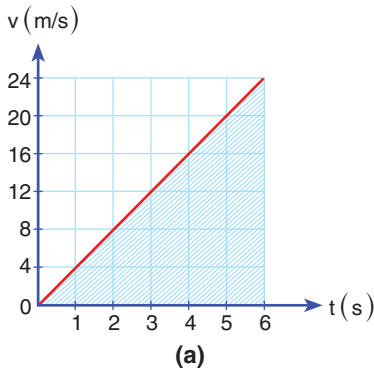
Şekil 1.49: + yönde doğru hızlanan araba

Durmakta olan Şekil 1.49'daki gibi bir araba (+) yönde sabit ivmeyle hızlansın. Arabanın hızı her saniye 4 m/s artsın. Öncelikle bu arabanın hız-zaman grafiğini çizelim.

Arabanın hızı her saniye 4 m/s arttığı için arabanın hız-zaman grafiği Şekil 1.50'deki gibi olur. Hız-zaman grafiğinden, arabanın yer değiştirmesi bulunur.



Şekil 1.50: (+) yönde hızlanan hareketin hız-zaman grafiği



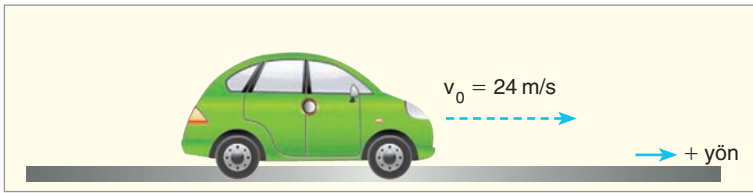
Şekil 1.51: a) Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alanın taranması b) Hız-zaman grafiğinin altındaki alanın bulunması c) Hareketin konum-zaman grafiği

Arabanın hız-zaman grafiğinin altında kalan alan, yer değiştirmeyi verir. Şekil 1.51.a'da görüldüğü gibi hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan taralı alan yer değiştirmeyi verir. Taralı alan hesaplandığında arabanın 6. saniye sonundaki yer



İvme zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan, hız değişimini verir. Şekil 1.53.b'de görüldüğü gibi hız-zaman grafiğinin altındaki alan taranır. Şeklin altında kalan alan, her saniye zaman aralığında sabit ve 4 olduğu için 6. saniye sonunda cismin hızındaki değişim  $6 \cdot 4 = 24 \text{ m/s}$  bulunur (Şekil 1.53.c). Arabanın harekete başladığında bir ilk hızı varsa hız değişimleri ilk hıza eklenerek arabanın son hızı bulunur. Örneğimizde arabanın ilk hızı sıfır olduğu için 6 saniye sonundaki hızı  $24 \text{ m/s}$ 'dir.

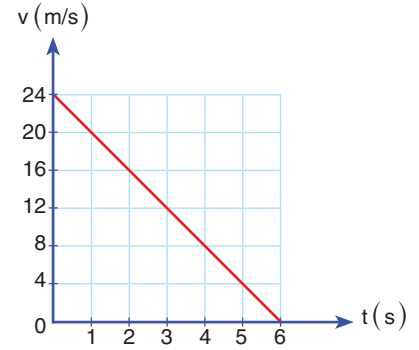
### (+) Yönde Yavaşlayan Hareketlinin Hareket Grafikleri



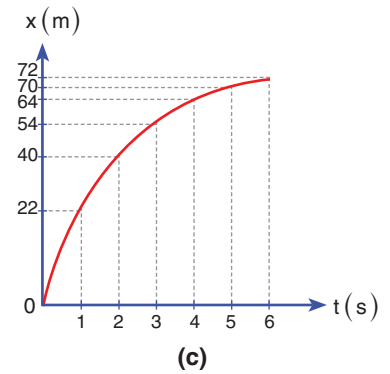
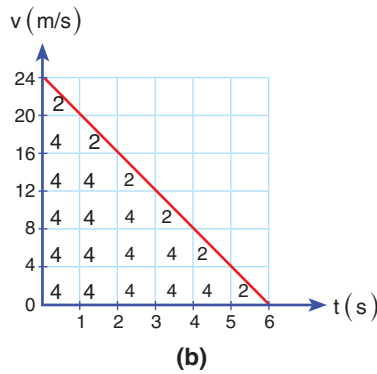
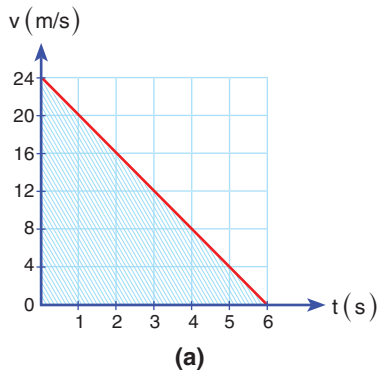
Şekil 1.54: İlk hızı  $24 \text{ m/s}$  olan ve düzgün yavaşlayan bir araba

$24 \text{ m/s}$  ilk hızla harekete başlayan Şekil 1.54'teki arabanın (+) yönde hızı, her saniye  $4 \text{ m/s}$  azalarak yavaşlasın. Arabanın hız-zaman grafiğini çizelim.

İlk hızı  $24 \text{ m/s}$  olan arabanın hızı, her saniye  $4 \text{ m/s}$  azaldığı için 6 saniye sonunda sıfır olur. Arabanın hız-zaman grafiği Şekil 1.55'teki gibi olur. Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan, arabanın yer değiştirmesini verir.



Şekil 1.55: + yönde yavaşlayan hareketin hız-zaman grafiği



Şekil 1.56: a) Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alanın taranması b) Hız-zaman grafiğinin altındaki alanın bulunması c) Hareketin konum-zaman grafiği

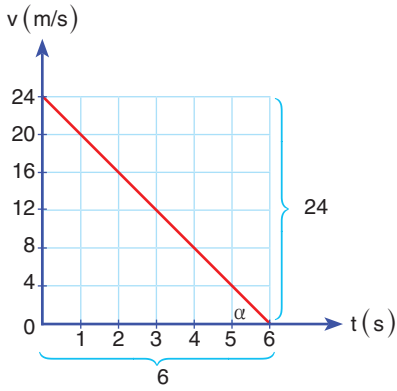
Araabanın yer değiştirmesini bulmak için Şekil 1.56.a'daki gibi hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan taranır. Taranan alan bulunarak hareketlinin yer değiştirmesi hesaplanır. Şekil 1.56.b'de grafiğin altında kalan üçgenin alanından yer

değiştirme,  $x = 24 \cdot 6/2 = 72$  m bulunur. Hareketin konum-zaman grafiği Şekil 1.56.c'deki gibi olur. (+) yönde yavaşlayan hareketli zaman ilerledikçe birim zamanda daha az yol aldığı için hareketin konum-zaman grafiği, zaman ilerledikçe zaman eksenine doğru eğilir.

(+) yönde yavaşlayan arabanın ivmesini hesaplayalım.

Birim zamandaki hız değişimi ivmeyi verdiği için grafiğin eğiminden hareketin ivmesi bulunur.

Hız-zaman grafiğinin eğimi, Şekil 1.57'de görüldüğü gibi ivmeyi verir. Grafiğin eğiminden  $a = -24/6 = -4$  m/s<sup>2</sup> bulunur. Hareketin ivmesini bağıntı ile hesaplayalım.



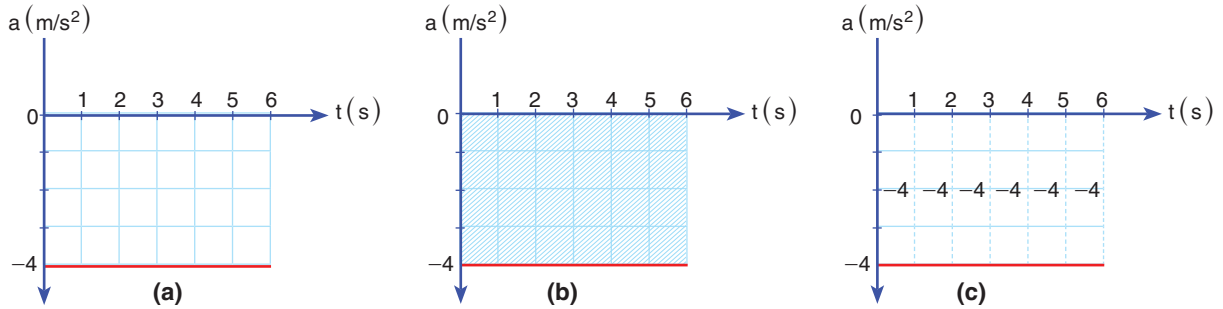
Şekil 1.57: Hız-zaman grafiğinin eğimi

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_{\text{son}} - \vec{v}_{\text{ilk}}}{t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}}$$

Bağıntıda değerleri yerine yazalım.

$$a = \frac{0 - 24}{6 - 0} \quad a = \frac{-24}{6} = -4$$

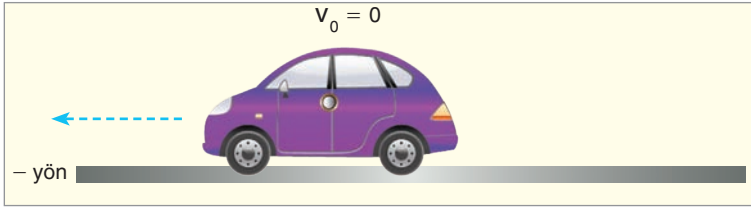
Hareketin ivmesi  $-4$  m/s<sup>2</sup> bulunur. Hareketin ivme-zaman grafiğini çizelim.



Şekil 1.58: a) İvme-zaman grafiği b) İvme-zaman grafiği ile zaman eksenini arasında kalan alanın taranması c) İvme-zaman grafiğinin altındaki alanın bulunması

Hareketin ivmesi sabit ve  $-4$  m/s<sup>2</sup> olduğu için ivme-zaman grafiği Şekil 1.58.a'daki gibi çizilir. İvme-zaman grafiği ile zaman eksenini arasında kalan alan, Şekil 1.58.b'deki gibi hareketlinin hızındaki değişimi verir. Taralı alanlar hesaplanırsa her bir saniyede hız  $-4$  m/s değişir (Şekil 1.58.c). Bu alanların toplamı  $-24$ , 6 saniye sonunda arabanın hızındaki değişimi verir. Arabanın ilk hızı  $24$  m/s olduğu için 6 saniye sonundaki hızı  $24 - 24 = 0$  olur.

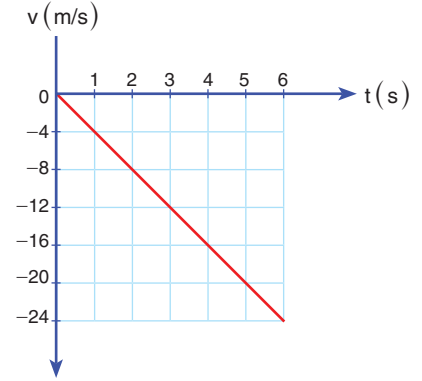
## (-) Yönde Hızlanan Hareketlinin Hareket Grafikleri



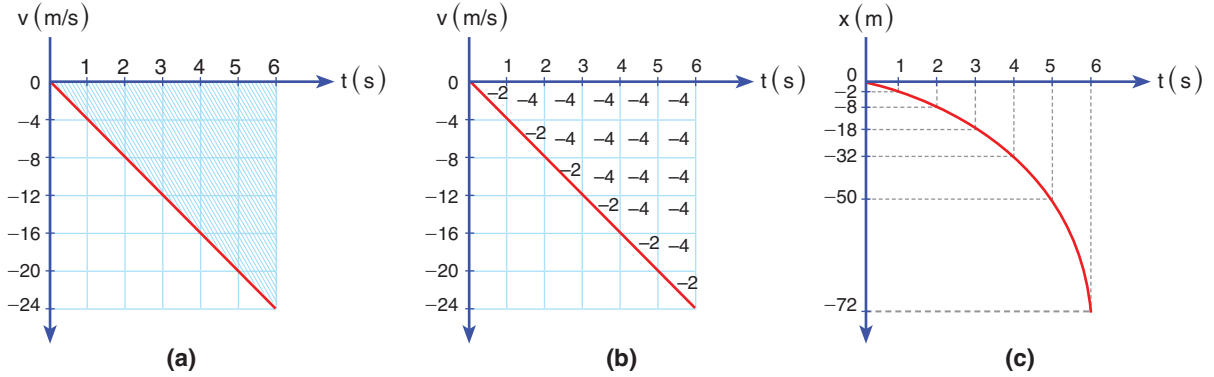
Şekil 1.59: (-) yönde hızlanan araba

İlk hızı sıfır olan bir araba Şekil 1.59'daki gibi saniyede 4 m/s hızlansın. Bu durumda arabanın hızı her saniye 4 m/s artar. Hareketin 6 saniye sürdüğünü düşünelim ve hareketin hız-zaman grafiğini çizelim.

İlk hızı sıfır olan arabanın hızı, her saniye 4 m/s arttığı için, 6 saniye sonunda 24 m/s olur. Hız büyüklüğünün önündeki (-) (eksi) işareti, aracın (-) yönde hareket ettiğini gösterir. Arabanın hız-zaman grafiği, Şekil 1.60'taki gibi olur. Çizilen hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan, arabanın yer değiştirmesini verir.



Şekil 1.60: - yönde hızlanan hareketin hız-zaman grafiği



Şekil 1.61: a) Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alanın taranması b) Hız-zaman grafiğinin altındaki alanın bulunması c) Hareketin konum-zaman grafiği

Duruştan harekete başlayarak (-) yönde hızlanan arabanın yer değiştirmesini bulmak için Şekil 1.61.a'daki gibi hız-zaman grafiğinin altında kalan alan taranır. Taranan alan bulunarak hareketlinin yer değiştirmesi hesaplanır. Grafiğin altında kalan alanın (-) olması, yer değiştirmenin de (-) yönde olduğunu gösterir. Şekil 1.61.b'deki grafiğin altında kalan üçgenin alanından yer değiştirme,  $x = (-24) \cdot 6/2 = -72$  m bulunur. Hareketin konum-zaman grafiği, Şekil 1.61.c'deki gibi olur. (-) yönde hızlanan hareketli zaman ilerledikçe birim zamanda daha çok yol aldığı için hareketin hız-zaman grafiği, konum eksenine doğru eğilir.

(-) yönde hızlanan arabanın ivmesini hesaplayalım.

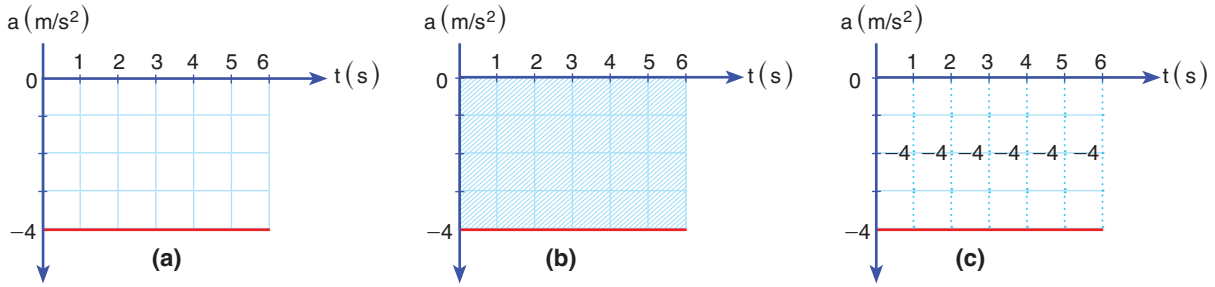
Birim zamandaki hız değişimi ivmeyi verdiği için grafiğin eğiminden hareketin ivmesi bulunur.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_{\text{son}} - \vec{v}_{\text{ilk}}}{t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}}$$

bağıntısından ivme bulunur. Değerleri yerine yazılırsa

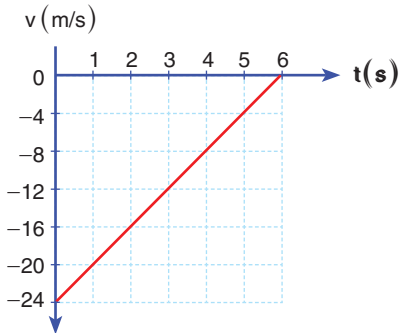
$$a = \frac{-24 - 0}{6 - 0} \quad a = \frac{-24}{6}$$

ivme  $-4 \text{ m/s}^2$  bulunur. Hareketin ivme-zaman grafiğini çizelim.



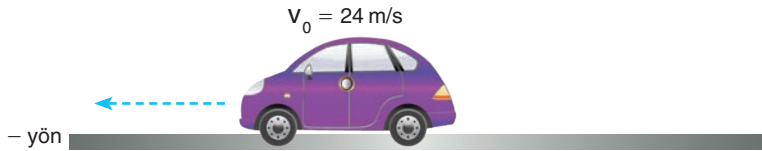
**Şekil 1.62:** a) İvme-zaman grafiği b) İvme-zaman grafiği ile zaman eksenini arasında kalan alanın taranması c) İvme-zaman grafiğinin altındaki alanın bulunması

Araba (-) yönde hızlanan hareket yapmaktayken hareketin ivmesi sabit ve  $-4 \text{ m/s}^2$  oldu. Arabanın ivme-zaman grafiği, Şekil 1.62.a'daki gibi çizilir. Arabanın hız değişiminin bulunması için ivme-zaman grafiği ile zaman eksenini arasında kalan alanın taranması gerekir. İvme-zaman grafiği, Şekil 1.62.b'deki gibi taranır. Taralı alanlar hesaplanırsa her bir saniyede hız  $-4 \text{ m/s}$  değişir (Şekil 1.62.c). Bu alanların toplamı  $-24$  bulunur. Duran araba harekete geçtiği için 6 saniye sonunda hızı  $-24 \text{ m/s}$  olur. Hızın önündeki (-) işareti, arabanın (-) yön olarak belirlediğimiz yöne doğru gittiğini gösterir.



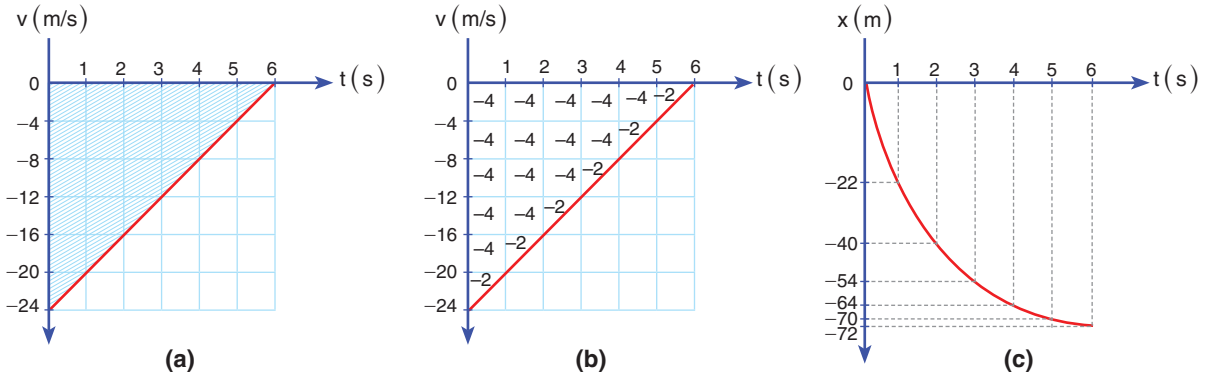
**Şekil 1.64:** (-) yönde yavaşlayan hareketin hız-zaman grafiği

### (-) Yönde Yavaşlayan Hareketlinin Hareket Grafikleri



**Şekil 1.63:** - yönde yavaşlayan araba

24 m/s'lik ilk hızla harekete başlayan Şekil 1.63'teki arabanın (-) yöndeki hızı, her saniye 4 m/s azalarak yavaşlasın. Arabanın hız-zaman grafiği, Şekil 1.64'teki gibi çizilir.



**Şekil 1.65:** a) Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alanın taranması b) Hız-zaman grafiğinin altındaki alanın bulunması c) Hareketin konum-zaman grafiği

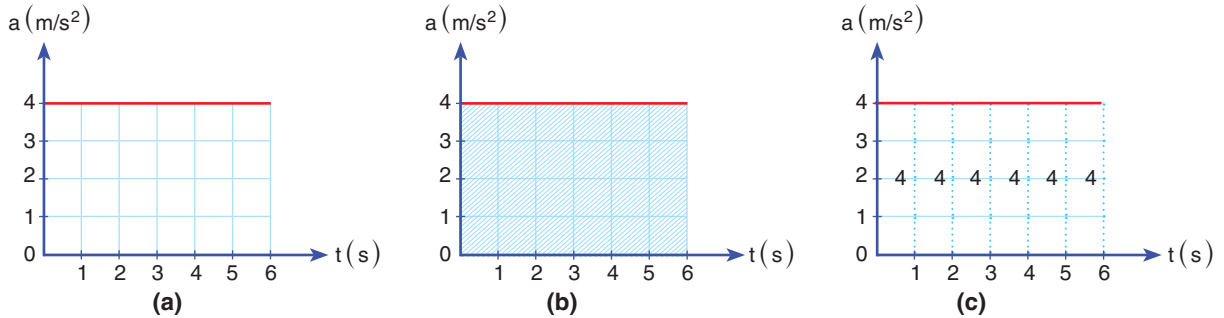
Arabanın yer değiştirmesini bulmak için hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan taranır (Şekil 1.65.a). Şekil 1.65.b'deki taralı üçgen alanı yer değiştirmeyi verir. Üçgen alanının hesaplanmasıyla yer değiştirme,  $x = -24 \cdot 6/2 = -72$  m bulunur. Hareketin konum-zaman grafiği Şekil 1.65.c'deki gibi olur. (-) yönde yavaşlayan hareketli zaman ilerledikçe birim zamanda daha az yol aldığı için hareketin konum-zaman grafiği, zaman eksenine doğru eğilir.

(-) yönde yavaşlayan arabanın ivmesini hesaplayalım.

$$\text{İvme denklemi: } \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_{\text{son}} - \vec{v}_{\text{ilk}}}{t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}}$$

$$\text{Değerleri yerine yazdığımızda } a = \frac{0 - (-24)}{6 - 0} \quad a = \frac{24}{6}$$

hareketin ivmesi  $a = 4 \text{ m/s}^2$  bulunur. (-) yönde yavaşlayan hareketin ivme-zaman grafiğini çizelim.



**Şekil 1.66:** a) (-) yönde yavaşlayan arabanın ivme-zaman grafiği b) İvme-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alanın taranması c) İvme-zaman grafiğinin altında kalan alanın bulunması

Arabanın ivmesi sabit ve ivmenin büyüklüğü  $4 \text{ m/s}^2$  olduğu için ivme-zaman grafiği, Şekil 1.66.a'daki gibi olur. İvme-zaman grafiğinin altında kalan alandan yararlanılarak hız değişimi

hesaplanır. Şekil 1.66.b'de görüldüğü gibi ivme-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan taranır. Grafiğin altında kalan alan her saniye zaman aralığında sabit ve 4 olduğu için 6. saniye sonunda cismin hızı,  $v = v_0 + a \cdot t$  bağıntısından,  $v = -24 + 24 = 0$  bulunur (Şekil 1.66.c).

**Hareket grafiklerinin genel özellikleri şöyle genellenebilir:**

1. Hız-zaman grafiğinde, çizilen grafik zaman ekseninin üst bölgesinde ise hareket (+) yönde, alt bölgesinde ise hareket (-) yöndedir.
2. Hız-zaman grafiğinde zaman ekseninin üst bölgesinden alt bölgesine geçiş noktaları hareketlinin yön değiştirdiği zaman değerlerini gösterir.
3. Hız-zaman grafiğinin eğimi ivmeyi verir.
4. Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan yer değiştirmeyi verir.
5. İvme-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan hız değişimini verir.
6. Hızlanan hareketlerde hız ile ivme her zaman aynı yönlüdür.
7. Yavaşlayan hareketlerde hız ile ivme her zaman ters yönlüdür.
8. Hızlanan hareketlerde konum-zaman grafiği konum eksenine doğru eğilir.
9. Yavaşlayan hareketlerde konum-zaman grafiği zaman eksenine doğru eğilir.

### 1.4.2. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket ile İlgili Hesaplamalar



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 21

1. Ahmet düz bir pistte kumandalı arabasını bir doğru boyunca hareket ettirmektedir. Bu sırada Zeynep, hız sensörleri ile arabanın hız değerlerini eşit zaman aralıklarında kaydetmektedir. Duran araba harekete başlıyor ve ilk üç saniye harekete başladığı yönde gittikten sonra 3. saniye sonunda yön değiştirerek kalan sürede ters yönde hareket ediyor. Hareketin hız değerleri aşağıdaki tabloda veriliyor. Buna göre hareketin hız-zaman grafiğini çiziniz. Arabanın zaman

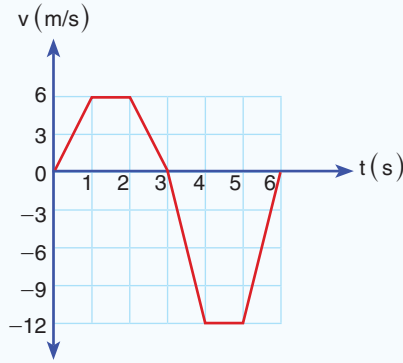


aralıklarındaki hareketini yorumlayınız. Hız-zaman grafiğinden yararlanarak konum-zaman ve ivme-zaman grafiklerini çiziniz.

Zaman (s)	0	1	2	3	4	5	6
Hız (m/s)	0	6	6	0	-12	-12	0

### ÇÖZÜM

Tabloda verilen değerleri hız-zaman grafiğinde işaretleyerek hız-zaman grafiğini çizelim.



Hız-zaman grafiğini yorumlayalım.

Araba 0s-3s zaman aralığında (+) yönde hareket etmiştir. 3. s'de yön değiştirmiş ve 3s-6s zaman aralığında (-) yönde gitmiştir.

Araba 1s-2s ve 4s-5s zaman aralığında sabit hızla gitmiştir. Araba 0s-1s zaman aralığında + yönde düzgün hızlanan doğrusal hareket yapmıştır. 3s-4s zaman aralığında ise (-) yönde düzgün hızlanan doğrusal hareket yapmıştır.

Araba 2s-3s zaman aralığında + yönde düzgün yavaşlayan doğrusal hareket, 5s-6s zaman aralığında ise (-) yönde düzgün yavaşlayan doğrusal hareket yapmıştır.

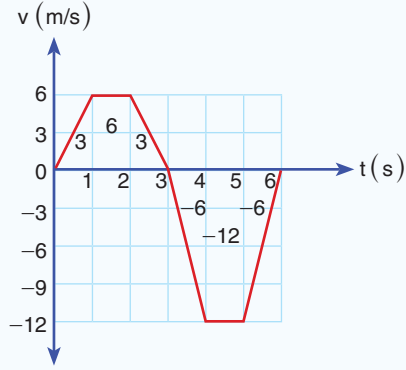
Hız-zaman grafiğinden yararlanarak konum-zaman ve ivme-zaman grafiklerini çizelim.

Konum-zaman grafiğini çizmek için hız-zaman grafiğinin altındaki alanlar bulunur.



## Kavram Yanılgıları

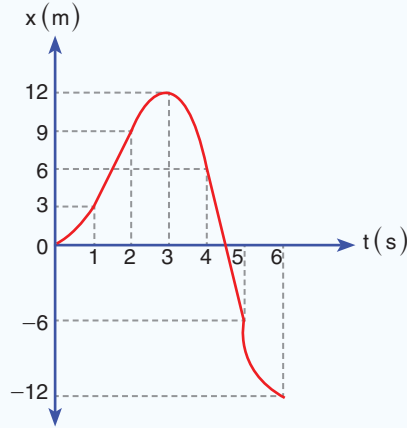
- Yan yana duran iki cisim aynı hıza sahiptir.
- İvme ve hız daima aynı doğrultudadır.
- Hız bir kuvvettir.
- Eğer hız sıfır ise ivme de sıfır olmalıdır.



Hız-zaman grafiğinin altındaki alanlar şekildeki gibidir. Bu alanlardan yararlanarak konum-zaman grafiği çizilir. Arabanın başlangıça göre konumları aşağıda verilen tablodaki gibidir.

Zaman (s)	0	1	2	3	4	5	6
Hız (m/s)	0	3	9	12	6	-6	-12

Hareketlinin konum-zaman grafiği



şeklinde çizilir.

Konum-zaman grafiğinde hızlanan hareketler konum eksenine doğru eğrilir. Grafikte 0s-1s ve 3s-4s zaman aralığındaki hareket, düzgün hızlanan doğrusal hareket olduğu için grafik, konum eksenine doğru eğrilmiştir. Konum-zaman grafiğinde doğrusal olarak artan ya da azalan çizgiler, hareketin sabit hızla devam ettiğini gösterir. Grafikte 1s-2s ve 4s-5s zaman aralıklarında hareketli, sabit hızla hareketine devam eder. Konum-zaman grafiğinde yavaşlayan hareketler zaman eksenine doğru eğrilir. Hareketli 2s-3s ve 5s-6s zaman aralığında yavaşlayan hareket yapmıştır.

Hareketin ivme-zaman grafiğini çizelim.

Hız-zaman grafiğinden yararlanılarak zaman aralıklarında ivmeler hesaplanır.

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_{\text{son}} - \vec{v}_{\text{ilk}}}{t_{\text{son}} - t_{\text{ilk}}}$$

bağıntısından yararlanılarak ivmeler bulunur.

0s-1s zaman aralığında ivme,

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

bulunur.

1s-2s zaman aralığında hız değişmediği için ivme sıfırdır.

2s-3s zaman aralığında ivme,

$$a = \frac{0-6}{3-2} = -\frac{6}{1} \quad a = -6 \text{ m/s}^2$$

bulunur.

3s-4s zaman aralığında,

$$a = \frac{-12-0}{4-3} \quad a = \frac{-12}{1} \quad a = -12 \text{ m/s}^2$$

bulunur.

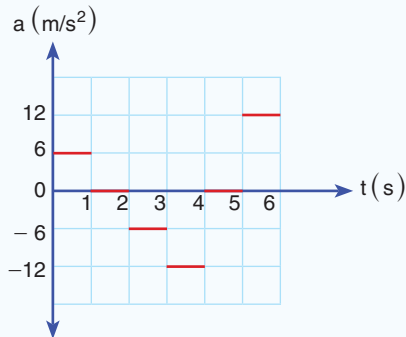
4s-5s zaman aralığında hareketin hızı değişmediği için ivme sıfırdır.

5s-6s zaman aralığında,

$$a = \frac{0-(-12)}{6-5} \quad a = \frac{12}{1} \quad a = 12 \text{ m/s}^2$$

bulunur.

İvme-zaman grafiğini çizelim.

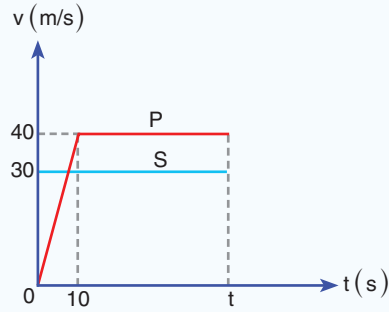


Hareketlinin sabit hızla yer değiştirdiği 1s-2s ve 4s-5s zaman aralığında ivme sıfırdır.

2. Trafik lambasında bekleyen trafik polisi, kırmızı ışıkta bir doğru boyunca hareket eden ve 30 m/s sabit süratle geçen sürücünün peşine takılıyor. Trafik polisi motosikleti ile 10 s boyunca  $4 \text{ m/s}^2$  ivme ile hızlandıktan sonra sabit hızla yoluna devam ediyor. Trafik polisi kaç saniye sonra sürücüyü yakalar?

### ÇÖZÜM

Hareketin hız-zaman grafiği,



şeklinde çizilir. Polisin sürücüyü yakalaması için lambadan sonra alınan yolların eşit olması gerekir. Sürücü  $30 t$  yol aldığıında, polis  $200 + 40(t - 10)$  yolunu alması gerekir.

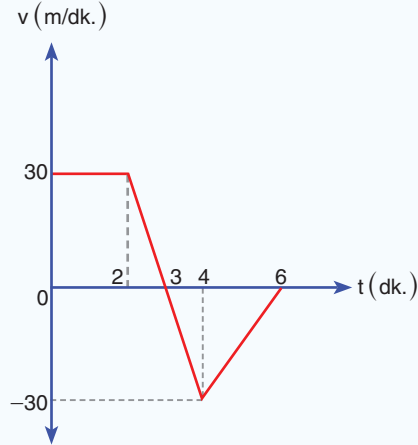
$$30 t = 200 + 40(t - 10)$$

$$30 t = 200 + 40 t - 400$$

$$200 = 10 t$$

$$t = 20 \text{ s bulunur.}$$

3.



Bir kar motosikletinin yaptığı hareketin hız-zaman grafiği şekildeki gibi veriliyor. Buna göre soruları yanıtlayınız.

- a) Kar motosikletinin yer değıştirmesi kaç metredir?  
 b) Kar motosikletinin ortalama hızı kaç m/dk.dır?  
 c) Kar motosikleti hareketinin konum-zaman ve ivme-zaman grafiğini çiziniz.

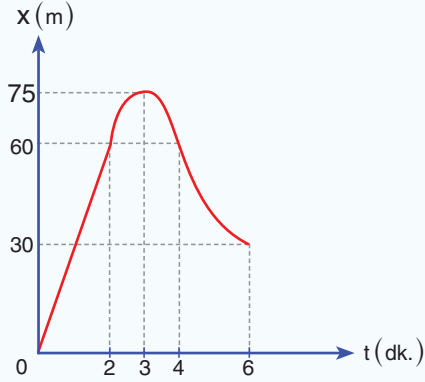
### ÇÖZÜM

- a) Hız-zaman grafiğı ile zaman ekseninde arasında kalan alanların toplamı yer değıştirmeyi verir.

$$\Delta x = 60 + 15 - 15 - 30 = 30 \text{ m bulunur.}$$

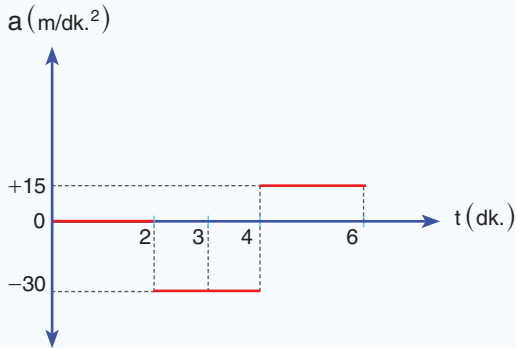
b)  $\vec{v}_{\text{ort}} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t} = \frac{30}{6} = 5 \frac{\text{m}}{\text{dk.}}$  elde edilir.

- c) Kar motosikletinin konum-zaman grafiğı,



şeklinde çizilir.

Kar motosikletinin ivme zaman grafiğı,

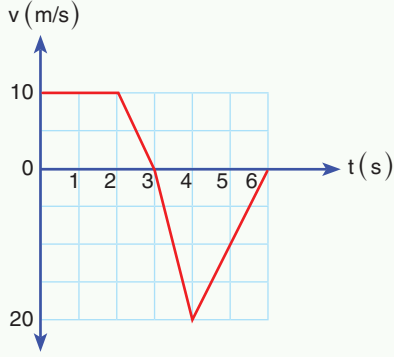


şeklinde çizilir.



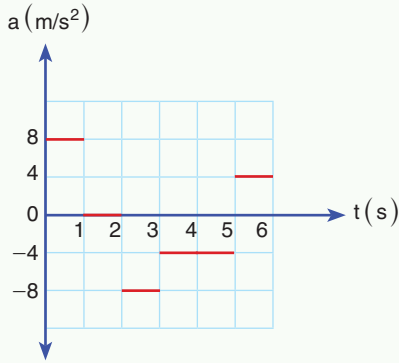
## 1. Etkinlik: Hareket Grafiklerini Yorumluyorum

Doğrusal bir yolda hareket eden bir bisikletliye ait hız-zaman, konum-zaman ve ivme-zaman grafikleri veriliyor. Zaman aralıklarında, yapılan hareketi yorumlayınız.



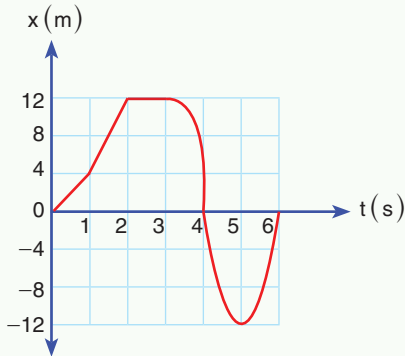
Hız-zaman grafiği verilen bisikletli için yapılan hareket:

- 0-1:
- 1-2:
- 2-3:
- 3-4:
- 4-5:
- 5-6:



Duruştan harekete geçen bisikletli için yapılan hareket:

- 0-1:
- 1-2:
- 2-3:
- 3-4:
- 4-5:
- 5-6:



Yapılan hareket:

- 0-1:
- 1-2:
- 2-3:
- 3-4:
- 4-5:
- 5-6:

Bisiklet sürerken ya da hareket eden bir aracın içindeyken çevremizdeki canlılara karşı saygılı olmalıyız. Davranışlarımızı kontrol ederek kurallara uymalıyız. Trafik kuralları hem bizi hem de çevremizdeki canlıları korumak için düzenlenmiştir.

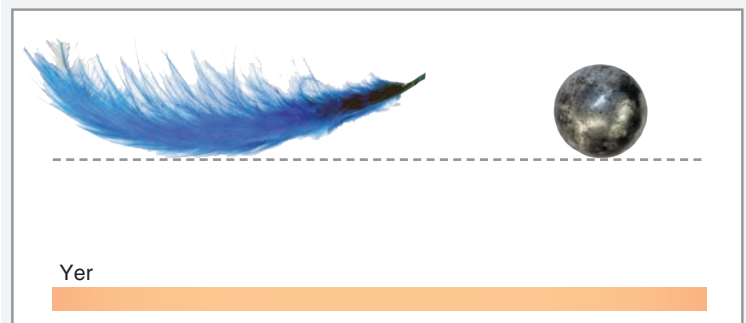
### 1.4.3. Havanın Olmadığı Ortamda Serbest Düşen Cisimler

Tahta kalemi ve silgisini elinize alıp aynı yükseklikten bıraksanız bu cisimlerin yere çarpma hızları farklı olur mu (Resim 1.16)?

Elimizde belirli bir yükseklikte tuttuğumuz tahta kalemi ve tahta silgisini serbest bıraktığımızda cisimler, yer çekimi kuvvetinin etkisinde yere doğru hızlanır.  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısına göre iki cismi de çeken kuvvet ağırlıkları olduğu için  $m \cdot \vec{g} = m \cdot \vec{a}$  olur ve cisimlerin ivmesi  $\vec{a} = \vec{g}$  bulunur. Havasız ortamda belirli bir yükseklikten düşen cisimlerin ivmesi, kütlelerinden bağımsızdır. Serbest düşen cisimlerin ivmesi, havasız ortamda yer çekim ivmesidir.

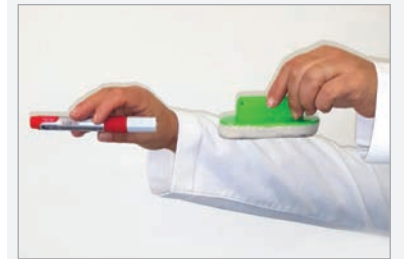
Hava direncinin ihmal edildiği ideal ortamlarda ilk hızı sıfır olan cisimlerin yaptığı düşme hareketine **serbest düşme** denir. Serbest düşen cisim bir doğru boyunca hareket eder. Bu yüzden hareket için (+) ve (-) yönü tanımlamamız gerekir. Serbest düşen cisim için yere doğru yapılan hareketin hareket yönünü (-) yön olarak kabul edeceğiz. Ayrıca serbest düşen cismin yer çekim ivmesi ile hareket ettiğini öğrendik. Yer çekim ivmesini hareket boyunca sabit ve  $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alacağız.

Serbest düşme ile ilgili İtalyan fizikçisi Galileo serbest düşen nesnelere ilişkin yasayı formüle etmeyi başarmıştır. Galileo yaptığı deneylerde, düşen cisimlerin kütleleri ne olursa olsun aynı hız değişimine sahip olduğunu buldu. Ayrıca durgun hâlienden harekete başlayan cismin katettiği mesafeler arasındaki oranın, bu mesafelerin katedilmesi için harcanan sürelerin karesi ile orantılı olduğunu buldu.



**Resim 1.17:** Aynı yükseklikten bırakılan tüy ve demir bilye

Sürtünmenin ihmal edildiği ortamda Resim1.17'de görülen tüy ve demir bilyeyi aynı yükseklikten bırakırsak tüy ve demir bilye

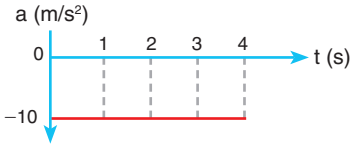


**Resim 1.16:** Tahta kalemi ve tahta silgisi



#### Kavram Yanılgıları

- Aynı yükseklikten bırakılan ağır cisimler, hafif cisimlere göre daha önce yere düşer.
- İvme, hız ile aynı anlamdadır.
- Düşen bir cismin ivmesi kütlelerine bağlıdır.
- Boşlukta yer çekimi ivmesi yoktur.
- Yer çekimi kuvveti cisimlere sadece düşerken etki eder.



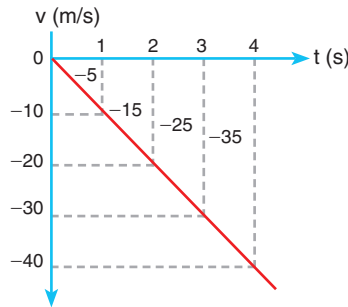
Şekil 1.67: Serbest düşen cisimlerin ivme-zaman grafiği

aynı hız değişimi ile hızlanır. Tüy ve demir bilye aynı zamanda aynı yolu alır. İki cismin de yere çarpma hızı birbirine eşittir.

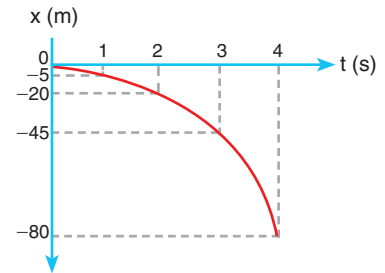
### Serbest Düşen Cisimlerin Hareket Grafikleri

Serbest düşen cisimlerin hareket yönü (-) kabul edildiği için ivme değeri negatif çıkar (Şekil 1.67). Yer çekim ivmesi  $g = 10 \text{ m/s}^2$  kabul edildiğinden serbest düşen cisimlerin hızı her saniye  $10 \text{ m/s}$  artar. 3 saniye sonra cismin hızı  $30 \text{ m/s}$  olur.

Serbest düşen cisimlerin hızı her saniye  $10 \text{ m/s}$  arttığı için hareketin hız-zaman grafiği, Şekil 1.68'deki gibi olur. Hız-zaman grafiğinin altındaki alan, yer değiştirmeyi verir. Cisim ivmeli hareket yaptığı için zaman aralıklarında aldığı yol gittikçe artar.



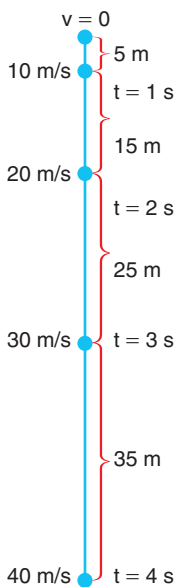
Şekil 1.68: Serbest düşen cismin hız-zaman grafiği



Şekil 1.69: Serbest düşen cismin konum-zaman grafiği

Serbest düşen cismin konum-zaman grafiği, Şekil 1.69'daki gibi olur. Cisim (-) yönde hızlanan hareket yaptığı için konum-zaman grafiği konum eksenine yaklaşır.

Serbest düşen cisimlerin ilk dört saniyedeki yer değiştirmesi ve hız değerleri Şekil 1.70'teki gibidir. Cismin hızı her saniye  $10 \text{ m/s}$  arttığı için cismin 4 saniye sonra hızı  $40 \text{ m/s}$  olur. Cisim 4 saniye sonunda  $5 + 15 + 25 + 35 = 80$  metre yer değiştirir.



Şekil 1.70: Serbest düşen cisimlerin ilk dört saniye içinde yer değiştirme ve hız değerleri

1. saniye içinde 5 m
2. saniye içinde 15 m
3. saniye içinde 25 m
4. saniye içinde 35 m yer değiştirir.

### Serbest Düşen Cismin Hareket Denklemleri

Serbest düşen cisimlerin ivmesi, yer çekim ivmesi ( $\vec{g}$ ) olduğu için hareket denklemlerinde ivme  $\vec{g}$  alınır. Hareketin ilk hızı, sıfır olduğu için  $v_0$  değeri de sıfır alınır.

İvmeli hareketlerde yer değiştirme  $x = v_0 t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$  bağıntısı ile bulunur. Serbest düşen cisimlerin ilk hızı sıfır olduğu için bağıntı,



$x = \frac{1}{2} a \cdot t^2$  şeklinde yazılır. Yer çekimi ivmesi  $10 \text{ m/s}^2$  alındığında serbest düşen cisim için yer değiştirme,  $x = \frac{1}{2} g \cdot t^2 = 5t^2$  bağıntısı ile hesaplanabilir.

Serbest düşen cismin herhangi bir andaki hız değeri,

$$v = v_0 + a \cdot t = g \cdot t$$

bağıntısı ile hesaplanır. Yer çekim ivmesi  $10 \text{ m/s}^2$  olduğundan cismin  $t$  anındaki hızı,  $v = 10t$  bağıntısı kullanılarak hesaplanır.

Serbest düşen cisimler için zamandan bağımsız hız denklemi,

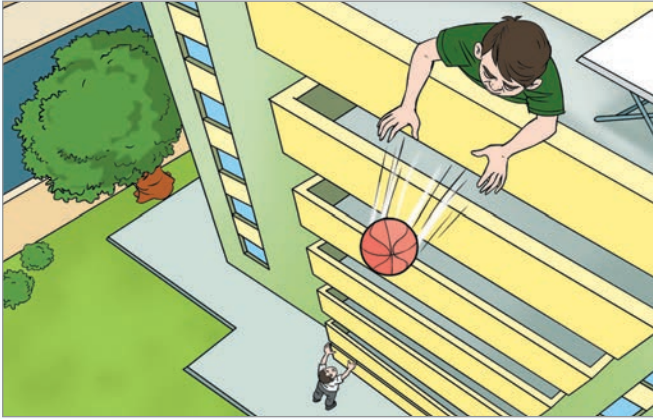
$$v^2 = v_0^2 + 2a \cdot x = 2g \cdot h$$

şeklindedir.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 22

1.



Ali, evinin balkonunda elinde basket topu ile durmaktadır. Dışarıda ise Ahmet, Ali'nin topu bırakmasını beklemektedir. Bir süre sonra Ali, topu serbest düşmeye bırakır. Ahmet, topu 45 m düştükten sonra yere çarpmadan yakalar. Ahmet topu tuttuğunda topun hızının büyüklüğünü ve düşmeye başladıktan kaç saniye sonra topu yakaladığını bulunuz. (Hava sürtünmesini ihmal ediniz  $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

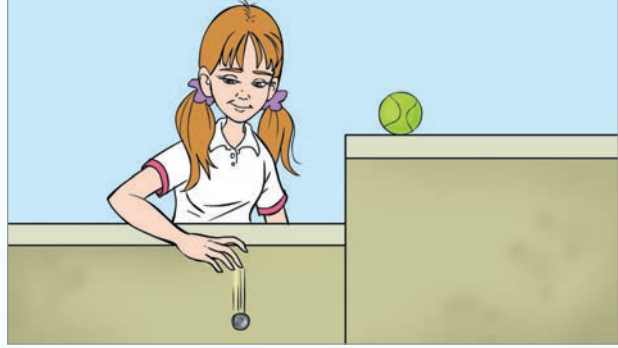
### ÇÖZÜM

Top 45 m düştüğü için serbest düşmede yer değiştirme bağıntısından yararlanarak topun yere düşme süresi bulunur.

$h = 5t^2$  bağıntısından  $45 = 5t^2$ ;  $9 = t^2$ ;  $t = 3 \text{ s}$  bulunur.

Serbest düşen cisimlerin hızı her saniyede  $10 \text{ m/s}$  arttığı için cismin 3 saniye sonra hızının büyüklüğü  $30 \text{ m/s}$  olur.

2.



Fatma elinde bulunan demir bilye ve tenis topunu farklı yüksekliklerden serbest düşmeye bırakıyor. Bilye yere  $v$  hızı ile, tenis topu ise  $2v$  hızı ile çarpıyor. Cisimlerin bırakıldığı yüksekliklerin oranı ( $h_{\text{bilye}}/h_{\text{top}}$ ) oranı kaçtır? (Sürtünmeleri ihmal ediniz.) ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Zamandan bağımsız hız denklemi ile çözüme ulaşalım.

Zamandan bağımsız hız denklemi:  $v^2 = v_0^2 + 2g \cdot h$

Serbest düşen cisimlerin ilk hızı sıfır olduğu için zamandan bağımsız hız denklemi  $v^2 = 2g \cdot h$  şeklinde yazılır.

Bilye için:  $v^2 = 2g \cdot h_1$

Tenis topu için:  $(2v)^2 = 2g \cdot h_2$ ,  $4v^2 = 2g \cdot h_2$

İki bağıntıyı oranladığımızda,

$$\frac{v^2 = 2g \cdot h_1}{4v^2 = 2g \cdot h_2} \quad h_1 / h_2 = 1/4 \text{ bulunur.}$$

3.



Sürtünmenin ihmal edildiği bir ortamda balonla Kapadokya'da seyahat eden Cem, balonun asılı kaldığı bir anda elindeki futbol topunu serbest düşmeye bırakıyor. Futbol topu, yere çarpmadan önceki son saniye içinde  $45 \text{ m}$  yol alıyor. Topun havada kalma süresini, yere çarpma hızını, düşme yüksekliğini bulunuz. ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

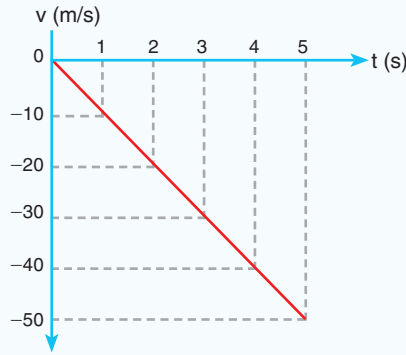
## ÇÖZÜM

Cisim  $t$  sürede düşsün. Cismin  $t$  sürede aldığı yol,  $h = 5t^2$  bağıntısı ile bulunur. Cismin  $t$  süre ile  $t-1$  saniye sürede aldığı yolların farkı 45 m'dir.

$45 = 5t^2 - 5(t-1)^2$ ;  $5t^2 - 5(t^2 - 2t + 1) = 45$ ;  $10t - 5 = 45$  ve düşme süresi,  $t = 5$  s bulunur. Cismin hızı her saniye 10 m/s arttığı için 5 s sonra 50 m/s olur. Cismin serbest düşme yüksekliği,  $h = 5t^2$  bağıntısından bulunur.

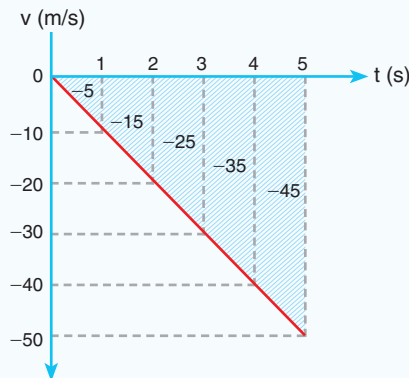
$h = 5 \cdot 5^2 = 125$  m'dir.

4. Sürtünmenin ihmal edildiği ortamda uçurumun kenarından serbest bırakılan taşın yere çarpana kadar hızının zamana göre değişimi şekildeki gibi oluyor. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.



- a) Taş kaç saniyede yere çarpmıştır?  
 b) Taşın hareketi boyunca ivmesi hangi yöne doğru ve kaç  $m/s^2$ 'dir?  
 c) Taşın yer değiştirmesi kaç m'dir?

## ÇÖZÜM



- a) Taş 5 s'de yere çarpar.



**Resim 1.18: a)** Felix Baumgartner'ın 39 bin metre yükseklikten atlayışı  
**b)** Felix'in güvenli şekilde yeryüzüne inişi

b) Taşın ivmesi hız-zaman grafiğinin eğiminden  $g = \frac{-50}{5} = -10 \text{ m/s}^2$  bulunur. İvmenin yönü yerin merkezine doğrudur.

c) Hız-zaman grafiği ile zaman eksenini arasındaki alan yer değiştirmeyi verir.

Taşın yer değiştirmesi 125 m'dir.

Araç kullanırken yerleşim yerlerinden geçtiğimizde şehir içindeki hız sınırına uymalıyız. Çünkü hız sınırları hem bizi hem de araç dışında bulunan yaya ve diğer canlıların kaza anında zarar görmesi ihtimalini azaltır. Araç kazaları hem can hem de mal kaybına sebep olmaktadır. Hız sınırlarına uyararak seyahat ettiğimizde bir tehlike anında fren yapılması durumunda güvenli bir şekilde durma mesafemiz azalmış olur.



### KENDİMİZİ DENEYELİM 21

1. Havada 80 m yükseklikte asılı duran bir helikopterden yardım kolisi serbest bırakılıyor. Yardım kolisi kaç saniyede ve hangi hızla yere düşer? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)
2. Uçurumun kenarında bir taş serbest düşmeye bırakılıyor. Taş yere 10 s'de düşüyor. Uçurumun yüksekliğini ve taşın yere çarpma hızını bulunuz. ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

#### 1.4.4. Serbest Düşen Cisimlere Etki Eden Sürtünme Kuvvetinin Bağlı Olduğu Değişkenler

14 Ekim 2012 tarihinde Resim 1.18.a'daki Avusturyalı paraşütçü Felix Baumgartner (Feliks Baugardner), 39 bin metre yükseklikten atladı. Dünyaya yaklaşan Felix, belirli bir yükseklikte paraşütünü açarak 9 dakika süren atlayışını başarıyla tamamladı (Resim 1.18.b). Baumgartner'in yeryüzüne güvenli şekilde inmesini sağlayan sebep neydi?

Hava ortamında hareket eden cisimlerin hava ile temas eden yüzeylerine hava sürtünme kuvveti etki eder. Kendini serbest düşmeye bırakan Felix, havanın sürtünme kuvveti sayesinde yeryüzüne güvenli bir şekilde inmiştir. Hava sürtünme kuvveti, hava ortamında hareket eden cisimlere hareketin zıt yönünde etki eden direnç kuvvetidir. Bu kuvvete hava direnci denir. Bu kuvvetin nelere bağlı olduğunu gözlemlemek için 2. Deney'i yapalım.



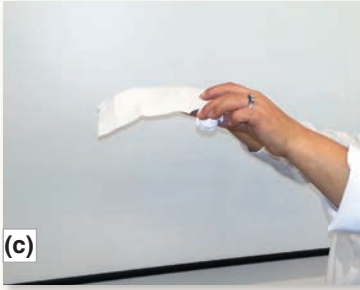
## 2. Deney

**Hava Direnci Nelere Bağlıdır?****Nasıl Bir Yol İzleyelim?**

(a)



(b)



(c)

**Araç Gereç**

- Plastik su bardağı
- Şeffaf poşet
- Lastik
- Kâğıt peçete

► Aynı yükseklikten 2 adet boş plastik su bardağının birini ağzı yukarı, diğerini ağzı aşağıya bakacak şekilde aşağıya bırakınız. Bardakların yere düşmesini gözlemleyiniz.

► Plastik su bardaklarından birinin içine oyun hamuru koyarak iki bardağı, ağızları yukarı bakacak şekilde tutunuz. Aynı anda bırakarak bardakların düşmesini gözlemleyiniz (Resim a).

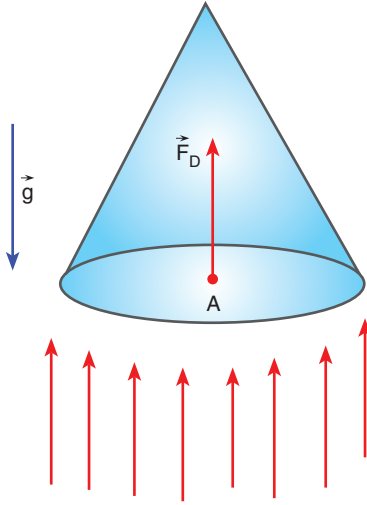
► Plastik bardaklardan birinin ağzını resimdeki gibi şeffaf poşet kullanarak kapatınız. Bardakları ağızları aşağı bakacak şekilde aynı yükseklikte tutunuz. Bardakları serbest bırakarak düşmeyi gözlemleyiniz (Resim b).

► İki tane peçete alın. Birini buruşturup top hâline getiriniz. Aynı yükseklikten aynı anda peçeteleri serbest bırakınız. Peçetelerin düşmesini gözlemleyiniz (Resim c).

**Sonuca Varalım**

1. İçinde oyun hamuru olan plastik bardak neden daha önce düştü?
2. Ağız şeffaf poşet ile kaplı bardağın daha geç düşmesinin sebebi ne olabilir?

Yaptığınız 2. Deney'de gözlemlediğiniz gibi maddelerinin yüzeylerin farklı olması hava direncini değiştirmektedir. Hava molekülleri maddenin yüzeyine çarptığı için moleküllerin bu temasında yüzeyin cinsi önem taşır. Hava direnci yüzeyin cinsine bağlıdır. Deneyden elde ettiğimiz bir diğer sonuç da sürtünen yüzeyin büyüklüğünün hava direnç kuvvetine etkisidir. Hava direnci, yüzey büyüdükçe artmaktadır. Felix'in paraşüt açmasının sebebi, yüzey alanını büyüterek hava direncini artırmaktır. Hava direnci yüzeyin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Yapılan deneyler hava direnç kuvvetinin düşen cismin hızına bağlı olarak değiştiğini ortaya koymuştur. Cismin hızı arttıkça cisme çarpan molekül



Şekil 1.71: Serbest düşen cisimlere etki eden hava direnç kuvveti

sayısı artmaktadır. Deney sonuçlarına göre hava direnci, cismin hızının karesi ile doğru orantılıdır. Hava direnç kuvvetini modelle gösterelim.

Taban alanı  $A$  olan koni şeklindeki cisim, serbest düşerken hareket yönünün tersi yönünde hava direnç kuvveti etki eder (Şekil 1.71).

$\vec{F}_D$  : Hava direnci kuvveti

$k$  : Cismin biçimine ve havanın özkütlesine bağlı katsayı

$A$  : Hareket doğrultusuna dik en büyük kesit alan

$\vec{v}$  : Cismin hızı

olmak üzere hava direnci kuvvetinin büyüklüğü,

$$F_D = k \cdot A \cdot v^2$$

şeklindedir.

Bu bağıntıya göre hava direnci; yüzeyin cinsi, düşen cismin harekete dik doğrultudaki en geniş yüzey alanına ve düşen cismin hızının karesine bağlıdır. Hava ortamında serbest düşen cisimlere etki eden hava direnci hızının karesi kadar arttığı için cisme etki eden hava direnç kuvveti, cisim hızlandıkça artar. Hava direnç kuvveti arttığı zaman cisme etki eden net kuvvet azalır. Hız arttıkça artan hava direnç kuvveti, cismin azalan ivme ile hızlanmasına sebep olur.



Resim 1.19: Yağmur damlaları

#### 1.4.5. Limit Hız

Yağmur damlaları neden sabit hızla başımıza düşer (Resim 1.19)? Yağmur damlaları buluttan ayrıldıktan sonra yer çekiminin etkisinde yerin merkezine doğru çekilir. Hava ortamında hareket eden damlalara hava direnç kuvveti etki eder. Yağmur damlaları hızlandıkça damlalara etki eden havanın direnç kuvveti artar.

Uçaktan atlayan paraşütçüler yer çekim kuvvetinin etkisinde hızlanırken hareket yönlerinin tersi yönünde hava direnç kuvvetine maruz kalırlar. Hızları arttıkça hava direnç kuvveti artar. Paraşütçüler yaklaşık 198 km/h hız değerinde limit hıza ulaşırlar. Bu hız değerinde paraşütlerini açarak yeryüzüne güvenli iniş gerçekleştirirler (Resim 1.20).



Resim 1.20: Uçaktan atlayan paraşütçüler

Limit hızın bağlı olduğu değişkenleri analiz etmek için 3. Deney'i yapalım.



## 3. Deney

**Limit Hız****Nasıl Bir Yol İzleyelim?****Araç Gereç**

- Plastik bardak
- Oyun hamuru
- İp
- Şeffaf poşet
- Metre
- Makas

► Resimdeki paraşüt modelini hazırlayınız. Paraşüt için şeffaf poşeti 10 cm x 10 cm ölçülerinde kesiniz, dört köşesinden ip geçirerek plastik bardağa sabitleyiniz. Paraşütü 1 m yükseklikten bırakınız. Paraşütün düşme süresini ölçerek tabloya ( $t_1$ ) kaydediniz.

► Paraşütün içine oyun hamuru koyarak düşme süresini ( $t_2$ ) tabloya kaydediniz.

► Paraşütü 15 cm x 15 cm ölçüsünde hazırlayarak 1 ve 2. adımı tekrarlayınız. Ölçtüğünüz süreleri ( $t_3$  ve  $t_4$ ) tabloya kaydediniz.

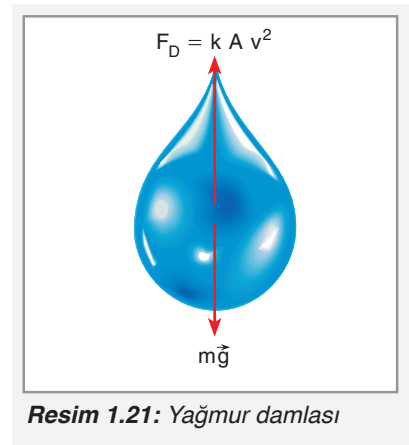
	( $t_1$ )	( $t_2$ )	( $t_3$ )	( $t_4$ )
Düşme süresi				

**Sonuca Varalım**

- Paraşütün alanının büyümesi düşme süresini nasıl değiştirdi?

3. Deney'de gözlemlediğiniz gibi paraşütün yüzey alanının artması düşme süresinin artmasına sebep oldu. Paraşütün taşıdığı ağırlığın artması, düşme süresinin azalmasına sebep oldu.

Yağmur damlasının limit hıza ulaşmasını inceleyelim: Buluttan düşen yağmur damlası, azalan net kuvvetin etkisinde hızlanır. Net kuvvetin azalmasının sebebi hava direnç kuvvetinin artmasıdır. Hava direnç kuvveti yağmur damlasının ağırlığına eşit oluncaya kadar artar (Resim 1.21). İki kuvvet eşitlenince yağmur damlası üzerindeki net kuvvet sıfır olur. Net kuvvet sıfır olduktan sonra yağmur damlasının hızı değişmez. Bu hız değerine **limit**



**Resim 1.21:** Yağmur damlası

**hız** denir. Yağmur damlasının ağırlığını havanın direnç kuvvetine eşitleyelim.

$$G = F_D$$

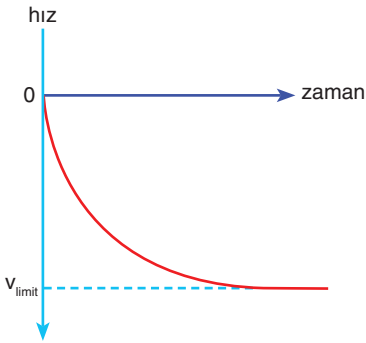
$$m \cdot g = k \cdot A \cdot v_{\text{limit}}^2$$

Eşitlikteki hız değerini yalnız bırakılırsa

$$v_{\text{limit}}^2 = \frac{m \cdot g}{k \cdot A} \quad v_{\text{limit}} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{k \cdot A}}$$

elde edilir.

Limit hız, yağmur damlasının ağırlığının karekökü ile doğru orantılıdır. Düşen yağmur damlasının limit hızı, düşme doğrultusuna dik en geniş kesit alanı ve sürtünme katsayısının karekökü ile ters orantılıdır. Yağmur damlasının hız-zaman grafiğini çizelim.



**Şekil 1.72:** Yağmur damlasının hız-zaman grafiği

Buluttan düşen yağmur damlası azalan ivme ile hareket ettiği için hız-zaman grafiği, Şekil 1.72'deki gibi zaman eksenine doğru eğrilir.

#### 1.4.6. Düşey Doğrultuda İlk Hızı Olan Sabit İvmeli Hareket

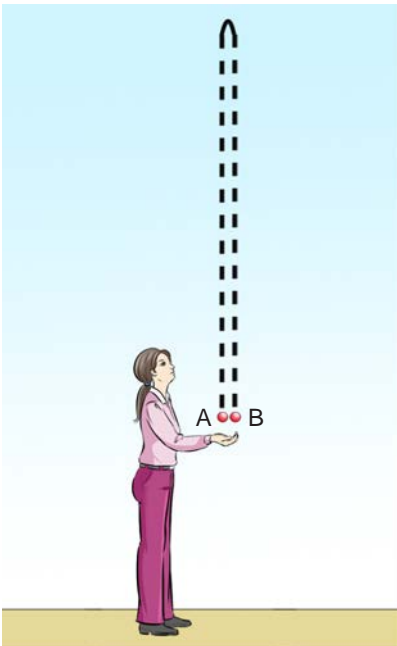
Elimizdeki topu Şekil 1.73'te görüldüğü gibi düşey yukarıya doğru fırlattığımızı düşünelim. Top, yer çekimi ivmesi ile önce yavaşlayan sonra da hızlanan hareket yapar. Topun çıkabileceği en yüksek noktada sürati anlık olarak sıfırdır. Hareket boyunca top yer çekimi ivmesi ile hareket eder. Topun, hareketin herhangi bir anındaki hızı,

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

matematiksel modeli ile bulunur. Örneğin yukarıya doğru 20 m/s hız ile atılan cismin üç saniye sonra hızı,  $v = 20 - (10 \cdot 3) = -10$  m/s' dir. Üç saniye sonra top, attığımız yönün tersi yönde 10 m/s hıza sahiptir. Yukarıya doğru atılan topun herhangi bir andaki yer değiştirmesi,

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

matematiksel modeli ile bulunur. Örneğin yukarıya doğru 20 m/s hız ile atılan cismin üç saniye sonra yer değiştirmesi,  $x = 20 \cdot 3 - (5 \cdot 9) = 15$  m bulunur. Yukarıya düşey atılan topun herhangi bir yükseklikteki hızı,

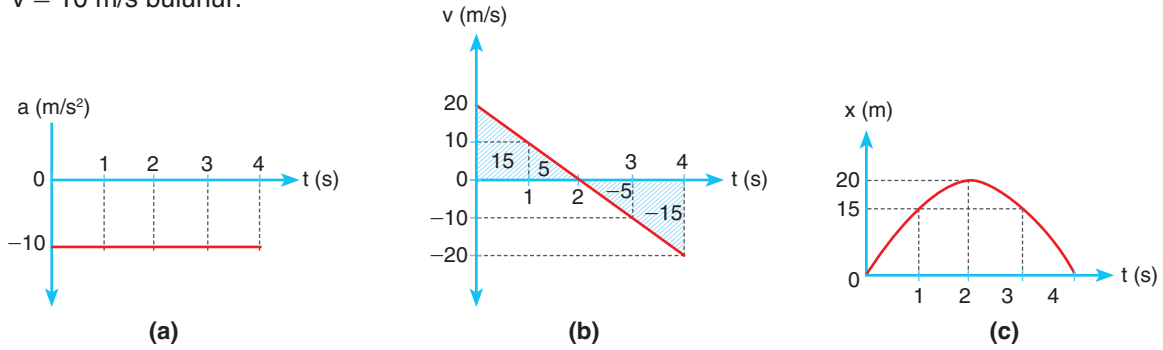


**Şekil 1.73:** Topun düşey yukarıya doğru atılması



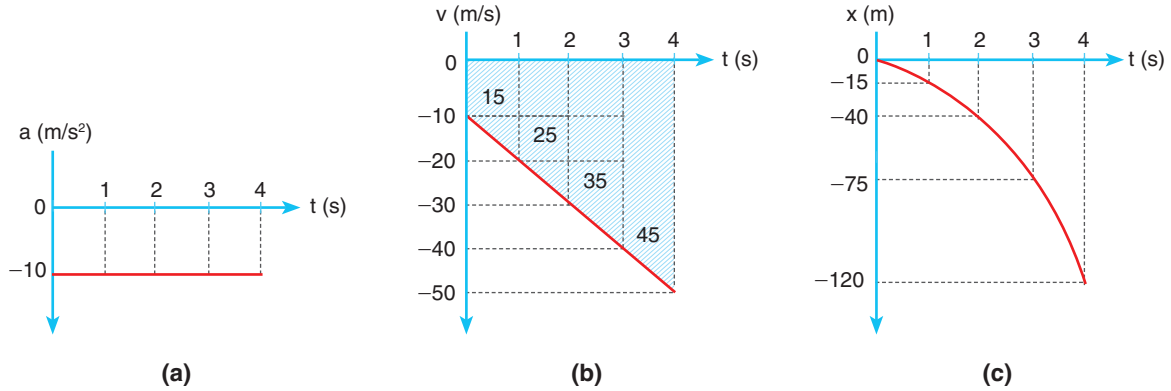
$$v^2 = v_0^2 - 2g \cdot x$$

matematiksel modeli ile bulunur. Örneğin yukarıya doğru 20 m/s hız ile atılan cismin 15 m yükseklikteki hızı  $v^2 = 20^2 - (2 \cdot 10 \cdot 15) = 400 - 300$  eşitliğinden  $v = 10$  m/s bulunur.



**Şekil 1.74:** a) Düşey yukarı atılan cismin ivme-zaman grafiği b) Düşey yukarı atılan cismin hız-zaman grafiği c) Düşey yukarı atılan cismin konum-zaman grafiği

Bir topu 20 m/s hızla düşey olarak yukarı doğru atarsak topun hareketinin ivme-zaman grafiği Şekil 1.74.a'daki gibi çizilir. Topun hızı her saniye 10 m/s azalır. Bu yüzden topun hareketinin hız-zaman grafiği Şekil 1.74.b'de görüldüğü gibi çizilir. Topun hareketinin konum-zaman grafiği ise Şekil 1.74.c'de görüldüğü gibi çizilir. Top 4. saniye sonunda başladığı yere gelir.



**Şekil 1.75:** a) Düşey aşağıya atılan cismin ivme-zaman grafiği b) Düşey aşağıya atılan cismin hız-zaman grafiği c) Düşey aşağıya atılan cismin konum-zaman grafiği

Bir topu 10 m/s hızla düşey olarak aşağı doğru atalım. Top 4 s sonra yere düşsün. Topun hareketinin ivme-zaman grafiği Şekil 1.75.a'daki gibi çizilir. Topun hızı her saniye 10 m/s artar. Bu yüzden topun hareketinin hız-zaman grafiği, Şekil 1.75.b'de görüldüğü gibi çizilir. Topun hareketinin konum-zaman grafiği ise Şekil 1.75.c'de görüldüğü gibi çizilir. Top 4. saniye sonunda 120 m yer değiştirir.



## ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 23

1. Yerden 40 m yükseklikte evinin balkonunda bulunan Cemre, elindeki tenis topunu düşey doğrultuda yere doğru 10 m/s hızla fırlatıyor. Tenis topu yere kaç m/s hızla çarpıyor? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

## ÇÖZÜM

Zamandan bağımsız hız denkleminde yararlanılarak yere çarpma hızı bulunabilir.

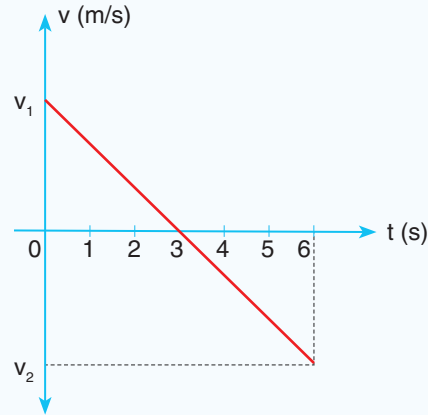
$$\begin{aligned} \text{Zamandan bağımsız hız denklemi, } v^2 &= v_0^2 + 2g \cdot h \\ v^2 &= 10^2 + 2 \cdot 10 \cdot 40 = 100 + 800 \\ v^2 &= 900 \quad , \quad v = 30 \text{ m/s bulunur.} \end{aligned}$$

2. Nevzat elindeki futbol topunu düşey doğrultuda yukarı doğru 20 m/s hızla fırlatıyor. Topun 1 s sonra yerden kaç metre yüksekte olduğunu bulunuz. ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

## ÇÖZÜM

Topun aldığı yol  $h = v_0 \cdot t - 5t^2$  bağıntısından bulunabilir.  
 $h = 20 \cdot 1 - 5 \cdot 1 = 15 \text{ m}$  bulunur.

3.



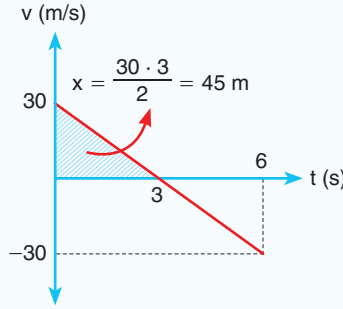
Düşey yukarıya doğru hortumdan fırlayan su damlasının hareketinin hız-zaman grafiği şekildeki gibi veriliyor. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız. (Sürtünmeleri ihmal ediniz.  $g \cong 10 \text{ N/kg}$ .)

- Su damlasının çıkış hızı kaç m/s'dir?
- Su damlasının çıkabileceği maksimum yükseklik kaç metredir? Su damlası bu yüksekliğe kaç saniyede ulaşır?
- Su damlasının yere çarpma hızı kaç m/s'dir?

### ÇÖZÜM

a) Yer çekimi ivmesinin büyüklüğü  $10 \text{ N/kg}$  olduğu için su damlasının hızı her saniye  $10 \text{ m/s}$  azalır. Su damlasının hızı 3. saniyede sıfır olduğu için çıkış hızı  $30 \text{ m/s}$ 'dir.

b) Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan, yer değiştirmey verir. 3. saniye sonundaki yer değiştirme, maksimum yüksekliği verir. Maksimum yükseklik  $45 \text{ m}$  bulunur. Su damlası bu yüksekliğe 3 saniyede ulaşır.



c) Su damlası harekete başladığı hız büyüklüğü ile yere çarpar. Yere çarpma hızının büyüklüğü  $30 \text{ m/s}$  olur.

4. Düşey olarak  $v_0$  hızı ile aşağıya doğru atılan bir taşın konum-zaman grafiği şekildeki gibi veriliyor. Buna göre taşın atıldığı andaki hızı kaç  $\text{m/s}$ 'dir?



### ÇÖZÜM

Taşın 1 ve 2. saniye aralığında yer değiştirmesi  $35$ 'tir. Hareket bağıntılarından yararlanarak

$$35 = \left( v_0 \cdot 2 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 2^2 \right) - \left( v_0 \cdot 1 + \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot 1^2 \right)$$

yazılır. Taşın atıldığı andaki hızı,

$$35 = 2v_0 + 20 - v_0 - 5$$

$$35 = v_0 + 15$$

$$v_0 = 20 \text{ m/s}$$

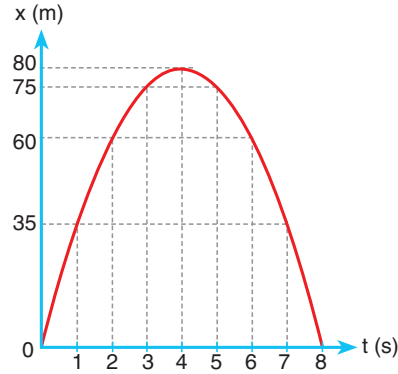
bulunur.



## KENDİMİZİ DENEYELİM 22

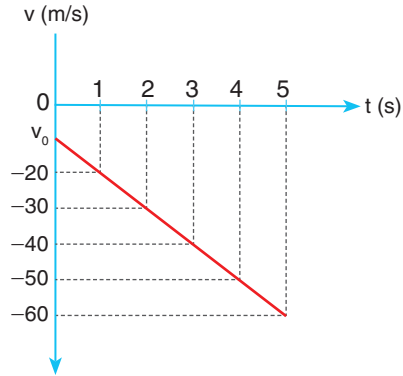


1.



Düşey yukarıya doğru atılan bir su roketinin konum-zaman grafiği şekildeki gibi veriliyor. Buna göre su roketinin atıldığı andaki hızı kaç m/s'dir? (Sürtünme kuvvetini ihmal ediniz.  $g = 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

2.



Cem evin balkonundan basketbol topunu düşey aşağıya doğru  $v_0$  hızı ile atıyor. Topun yere çarpana kadar geçen zamanki hareketinin hız-zaman grafiği şekildeki gibidir. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız. (Sürtünme kuvvetini ihmal ediniz.  $g = 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

- Topun atıldığı andaki hızı kaç m/s'dir?
- Topun yer değiştirmesi kaç metredir?
- Top, yere çarpmadan önceki son bir saniyede kaç metre yer değiştirmiştir?











## 1.5. İKİ BOYUTTA HAREKET

Basketbolcu Resim 1.22'deki gibi topu potaya doğru elinden çıkardıktan sonra basket topu düşey doğrultuda yukarı doğru, yatay doğrultuda ise ileriye doğru yol alır. Top çıkabileceği en yüksek noktaya ulaştıktan sonra düşeyde aşağıya inerken yatayda ilerlemeye devam eder. Basket topunun yaptığı bu harekete **iki boyutta hareket** denir. İki boyutta harekette hem düşeyde hem de yatayda yol alma söz konusudur.

### 1.5.1. Atış Hareketlerinin Yatay ve Düşey Boyutta Analizi

Tankların üzerinde bulunan toplardan ateş edildiğinde hedefe doğru giden top mermileri iki boyutta hareket eder (Resim 1.23). Top mermisi hem düşey doğrultuda hem de yatay doğrultuda yer değiştirir.

Dart oyununda atılan ok hedefe doğru giderken iki boyutta hareket eder. Ok, Resim 1.24'te görüldüğü gibi hem düşeyde hem de yatayda yol alır. Dart okunun düşeydeki hareketi yer çekimi kuvvetinin etkisinde meydana gelir.

İki boyutta harekette atılan cisim, düşeyde yer çekimi kuvvetinin etkisinde kalır. Yer çekimi kuvvetinin etkisinde kalan cisimler sürtünmenin ihmal edildiği ortamlarda  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısından dolayı  $m \cdot \vec{g} = m \cdot \vec{a}$  ise  $\vec{a} = \vec{g}$  ivmesi ile hareket eder. İki boyutta harekette düşey doğrultuda yapılan hareket, tek boyutta sabit ivmeli harekettir.

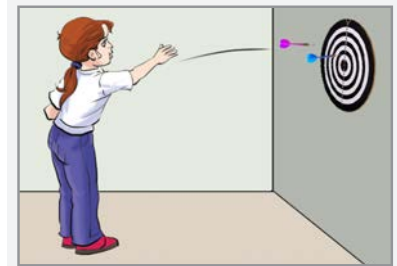
Resim 1.25'te görüldüğü gibi sürtünmenin ihmal edildiği ortamda sporcu, beyzbol topuna vursun. Top, düşey düzlemde yukarıya doğru düşey atış hareketi yapar. Düşeyde yer çekim ivmesi ile önce yavaşlar. Top, çıkabileceği en yüksek noktaya



**Resim 1.22:** Potaya şut atan basketbolcu



**Resim 1.23:** Tanklardan yapılan top atışı



**Resim 1.24:** Atılan dart oku iki boyutta hareket eder.



**Resim 1.25:** Beyzbol topuna vuran sporcu

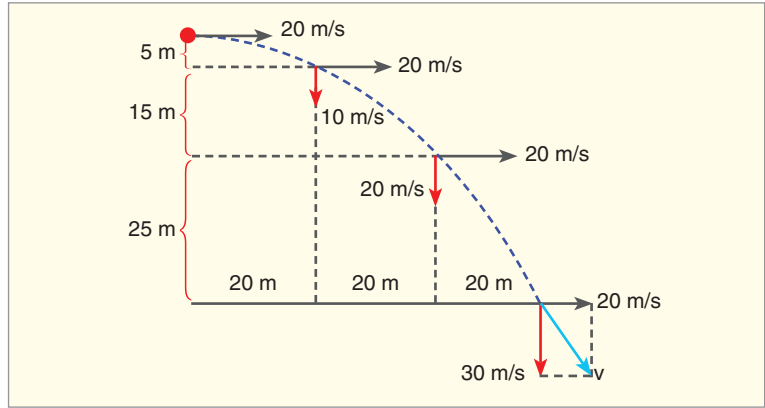


Resim 1.26: Atış yapan okçu

ulaştığında düşeydeki hız bileşeni sıfır olur. Bundan sonra topun düşeydeki hareketi serbest düşmedir. Yatayda ise sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda topa etki eden kuvvet olmadığından sabit hızlı hareket yapar.

### Yatay Atış

Hedefe nişan alan okçu Resim 1.26'da görüldüğü gibi yere paralel doğrultuda oku atarken ok iki boyutta hareket eder. Okun yaptığı hareketi bir model üzerinde inceleyelim.



Şekil 1.76: Yatay atış hareketi

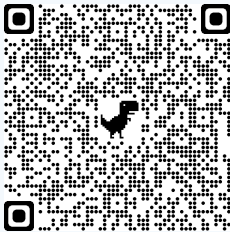
Ok, Şekil 1.76'da görüldüğü gibi 20 m/s hızla yere paralel olarak harekete başlasın. Atıldıktan 3 s sonra yere düşen ok, hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda hareket etsin. Yatayda oka kuvvet etki etmediği için okun hızı değişmez. Ok yatayda sabit hızlı hareket ettiği için yatayda her saniyede 20 m yer değiştirir. 3 s sonra ok yatayda atıldığı noktanın 60 metre uzağına düşer. İki boyutlu atış hareketinde atılan cismin yatayda aldığı yola **menzil** denir. Düşey düzlemde ise okun yaptığı hareket, serbest düşme hareketidir. Okun yaydan çıktığı anda düşey doğrultuda hızı sıfırdır. Ok düşeyde yer çekim kuvvetinin etkisinde sabit ivmeli hareket eder. Yer çekim ivmesi  $g = 10 \text{ m/s}^2$  alınırsa okun hızı, düşeyde her saniye 10 m/s artar. 3 s sonra okun hızı 30 m/s olur. Ok, düşeyde serbest düşme hareketi yaptığı için 1 s sonra düşeyde 5 m, 2 s sonunda düşeyde toplam  $5 + 15 = 20 \text{ m}$ , 3 s sonunda ise düşeyde toplam  $5 + 15 + 25 = 45 \text{ m}$  yol alır. Ok yere çarptığında hız vektörünün düşey bileşeninin büyüklüğü 30 m/s, yatay bileşeninin büyüklüğü ise 20 m/s'dir. Okun yere çarpma hızı, iki hız bileşeninin vektörel toplamıdır.



### İzleyelim Öğrenelim

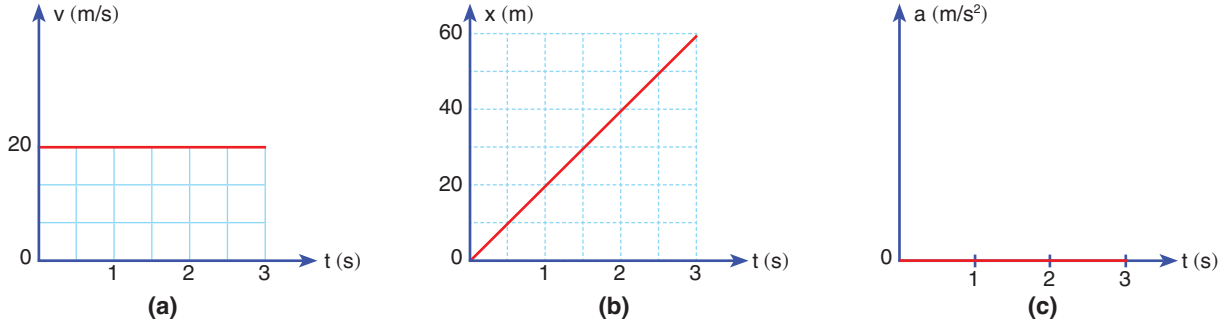
İki boyutta atış hareketini gözlemek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

<https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Vectors-and-Projectiles/Projectile-Simulator/Projectile-Simulator-Interactive>



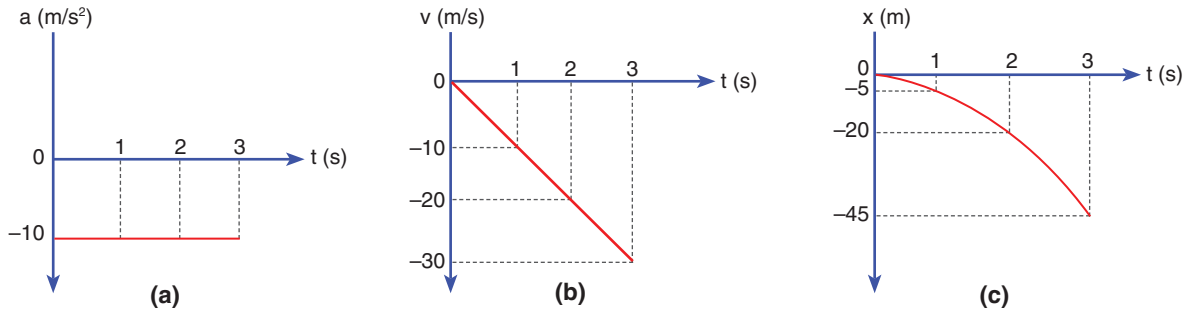
$$v^2 = 20^2 + 30^2 = 400 + 900 = 1300; v = 10\sqrt{13} \text{ m/s olur.}$$

Yapılan hareketin hareket grafiklerini çizelim.



**Şekil 1.77: a) Hız-zaman grafiği b) Konum-zaman grafiği c) İvme-zaman grafiği**

Yatay atış hareketinde, yatay düzlemde cisim sabit hızlı hareket ettiği için hareketin hız-zaman grafiği, Şekil 1.77.a'da görüldüğü gibi olur. Atılan cismin hızı yatayda değişmez. Sabit hızlı harekette eşit zaman aralıklarında eşit yol alındığı için atılan cismin konum zaman grafiği Şekil 1.77.b'deki gibi doğrusal olur. Yatay atış hareketinde ivme-zaman grafiği Şekil 1.77.c'deki gibi çizilir.



**Şekil 1.78: a) İvme-zaman grafiği b) Hız-zaman grafiği c) Konum-zaman grafiği**

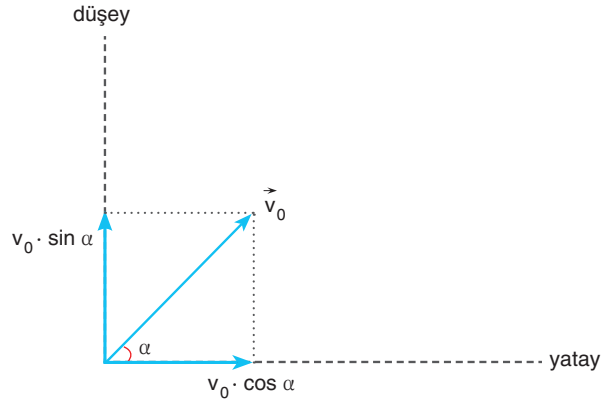
Yatay atış hareketi yapan cisimler düşeyde serbest düşme hareketi yapar. Serbest düşen cisimlerin ivmesi, yer çekim ivmesidir. Hareketin düşeyde ivme-zaman grafiği Şekil 1.78.a'daki gibidir. Serbest düşen cisimlerin hızı sıfırdan başlayarak her saniye 10 m/s arttığı için düşeyde yapılan hareketin hız-zaman grafiği Şekil 1.78.b'deki gibi olur. Yatay atılan cismin düşeyde aldığı yol  $h = 5t^2$  bağıntısı ile bulunduğu için hareketin konum-zaman grafiği Şekil 1.78.c'deki gibi çizilir.

### Eğik Atış

Resim 1.27'deki golf oyuncusu topa vurduktan sonra top, düşey ve yatay doğrultularda olmak üzere iki boyutta hareket eder. Topun hareketini sürtünmenin ihmal edildiği ortamda inceleyelim.

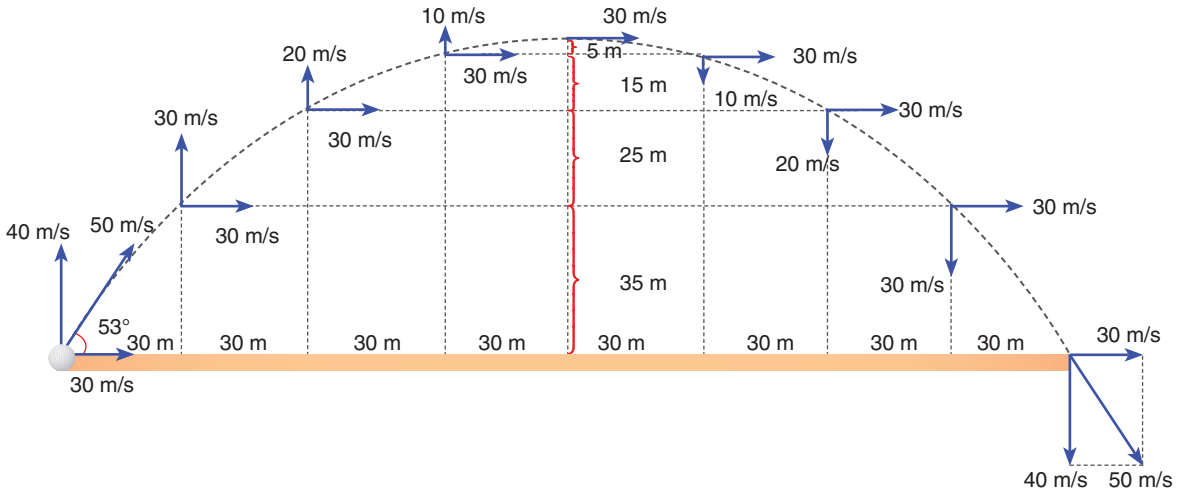


**Resim 1.27:** Golf topu iki boyutta hareket eder.



Şekil 1.79:  $v_0$  hızı ile fırlatılan golf topunun hız bileşenleri

Golf topunun Şekil 1.79'daki gibi  $v_0$  hızı ile yatayla  $\alpha$  açısı yapacak şekilde atıldığını düşünelim. Top, yatayda  $v_0 \cdot \cos \alpha$  hızı ile hareket eder. Hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda golf topu, yatay düzlemde net kuvvetin etkisinde kalmadığı için yatayda sabit hızlı hareket eder. Golf topu düşeyde  $v_0 \sin \alpha$  hızı ile harekete başlar. Düşeyde hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda sadece yer çekim kuvvetinin etkisinde kalır. Yer çekim ivmesinin etkisinde düşeyde önce yavaşlar, sonra durur, sonra da serbest düşme hareketi yapar.



Şekil 1.80: Yerden 50 m/s hızla fırlayan bir golf topunun yaptığı hareket

Golf topunun Şekil 1.80'deki gibi yatayda 53°lik açı ile 50 m/s hızla fırlatıldığını düşünelim.

Golf topu düşeyde  $v_y = 50 \sin 53^\circ = 50 \cdot 0,8 = 40$  m/s, yatayda ise  $v_x = 50 \cos 53^\circ = 50 \cdot 0,6 = 30$  m/s hız bileşenleri ile harekete başlar. Yatayda hız 30 m/s olduğu için golf topu ya-

ayda her saniye 30 m yer değiştirir. Düşeyde ise ivmeli hareket yaptığı için yer değiştirmeler, hareket bağıntıları ile hesaplanabilir. Örneğin “Golf topu atıldığı andan 1 s sonra kaç metre yükselir?” sorusunun cevabı için zamandan bağımsız hız denklemini kullanabiliriz.

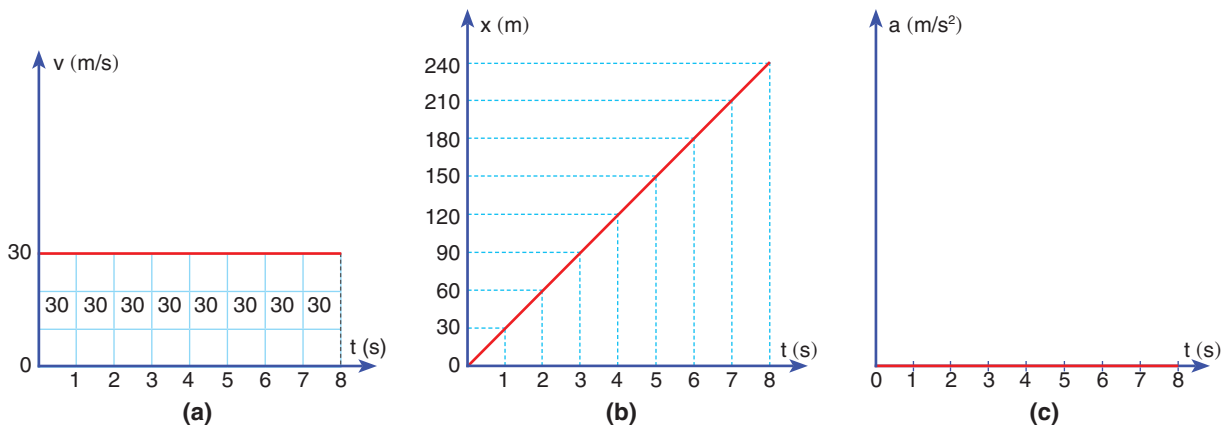
$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$  bağıntısında hız değerini ve ivme değerini yerine yazalım. Düşeyde 40 m/s hızla atılan cismin 1 s sonra hızı 10 m/s azalarak (yer çekim ivmesinden dolayı) 30 m/s olur.

$$30^2 = 40^2 - 2 \cdot 10 \cdot h$$

$900 = 1600 - 20h$ ,  $20h = 1600 - 900 = 700$  ve  $h = 35$  m bulunur.

Golf topunun düşeyde en yüksek noktaya gelirken yaptığı hareket ile bu noktadan düşerken yaptığı hareket, tepe noktasından geçen düşey eksene göre simetriktir. Örneğin golf topunun çıkabileceği en yüksek noktaya gelmeden 2 s önceki ve bu noktaya geldikten 2 s sonra yüksekliği ve hız değeri birbirine eşittir. Bu noktada sadece hareket yönleri farklıdır. Cismin çıkabileceği en yüksek noktada düşey hız sıfır olduğu için sadece yatay hız bileşeni vardır. Bu yüzden yukarı doğru eğik atılan cisimlerin yükseklebileceği en yüksek noktada kinetik enerjileri en az olur.

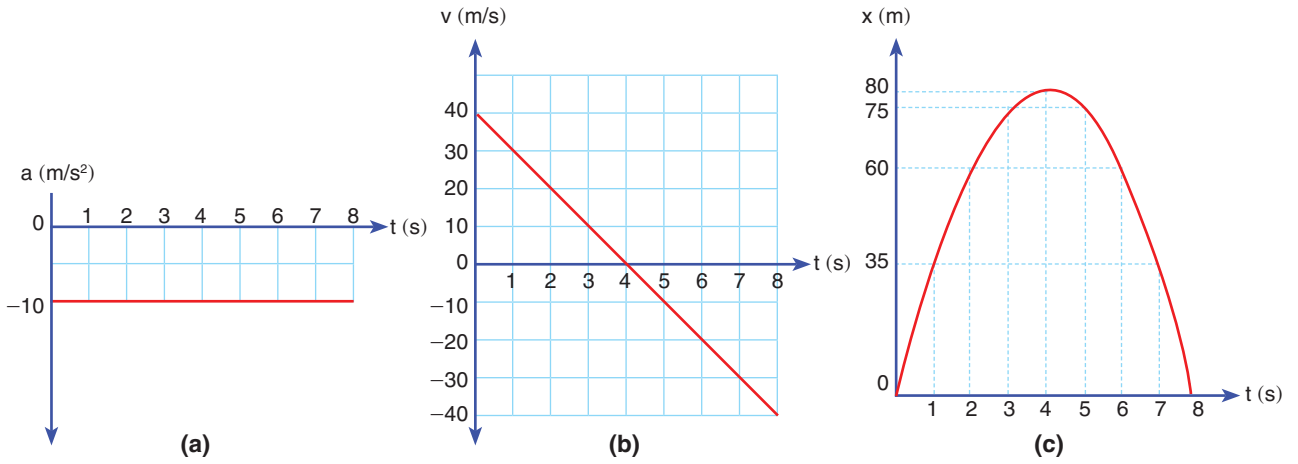
Golf topu atıldığı hızla yere çarpar. Örneğimizde topun yere çarpma hızı yine 50 m/s olur. Topun yatayda aldığı toplam yola **menzil** denir. Golf topunun düşeyde çıkabileceği en büyük yükseklik ise maksimum yükseklik ( $h_{\max}$ ) ile ifade edilir. Yapılan hareketin hareket grafiklerini çizelim.



**Şekil 1.81:** a) Eğik atış hareketinin yatay doğrultudaki hız-zaman grafiği b) Konum-zaman grafiği c) İvme-zaman grafiği

Eğik olarak 50 m/s hızla atılan golf topunun yatayda yaptığı hareketin hız-zaman grafiği Şekil 1.81.a'daki gibi olur. Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan yer değiştirmeyi

verdiği için golf topu, yatayda her saniye 30 m yol alır. Golf topu yatayda net bir kuvvetin etkisinde kalmadığı için sabit hızlı hareket eder. Golf topunun konum-zaman grafiği Şekil 1.81.b'deki gibi doğrusal olur. Golf topu 8 s sonra atıldığı noktadan 240 m uzakta bulunur. Golf topunun ivme-zaman grafiği Şekil 1.81.c'deki gibi çizilir. Eğik atılan golf topunun düşeydeki hareketinin hareket grafikleri şöyledir:



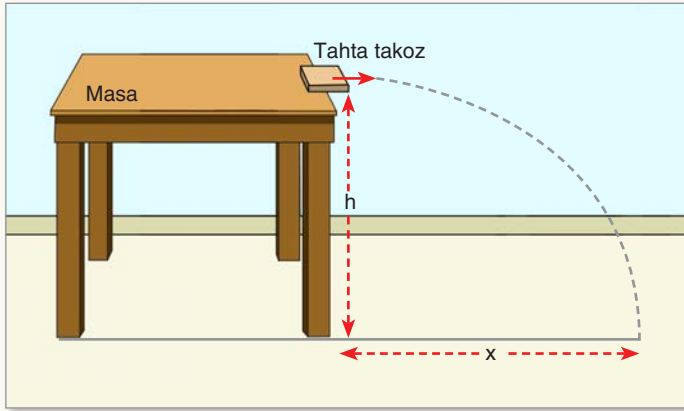
**Şekil 1.82:** a) İvme-zaman grafiği b) Hız-zaman grafiği c) Konum-zaman grafiği

Eğik atılan golf topunun yaptığı hareket, düşeyde yukarı doğru düşey atıştır. Yer çekim kuvvetinin etkisinde kalan golf topunun ivmesi yer çekim ivmesidir. Hareketin ivme-zaman grafiği Şekil 1.82.a'daki gibi çizilir. İvme-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan, hız değişimini verir. Golf topunun düşeydeki ilk hızı 40  $m/s$ 'dir. Golf topunun düşeydeki hızı her saniye 10  $m/s$  azalarak Şekil 1.82.b'de görüldüğü gibi 4 s sonra sıfır olur. 4. s'nin sonunda golf topu yön değiştirir. Golf topu 8 s sonra düşeyde 40  $m/s$  hıza ulaştığında yere çarpar. Önce + yönde yavaşlayan sonra da - yönde hızlanan hareket yapar. Golf topunun konum zaman grafiği Şekil 1.82.c'deki gibi çizilir.

İki boyutta atış hareketini incelemek için 4. Deney'i yapalım.



## 4. Deney

**İki Boyutta Atış Hareketi****Nasıl Bir Yol İzleyelim?****Araç Gereç**

- Kronometre
- Metre
- Tahta takoz

- ▶ Masanın yüksekliğini ölçerek ( $h$ ) tabloya kaydediniz.
- ▶ Masadan şekilde gösterildiği gibi tahta takozu elinizle fırlatınız. Takozun yere düşme süresini ( $t$ ) tabloya kaydediniz. Takozun düştüğü noktanın masadan ayrıldığı noktanın düşeyine uzaklığını ( $x$ ) tabloya kaydediniz.
- ▶ Düşme süresinden yararlanarak takozun düştüğü mesafeyi hareket bağıntıları kullanarak hesaplayınız ( $y$ ) ve tabloya yazınız.
- ▶ Takozun yatayda aldığı yol ve düşme süresinden yararlanarak takozun masadan ayrıldığındaki yatay hızı ( $v_0$ ) hesaplayarak tabloya kaydediniz.
- ▶ Takozun yere çarpma hızını hesaplayarak ( $v$ ) tabloya kaydediniz.

Masanın yüksekliği ( $h$ )	Takozun düşme süresi( $t$ )	Takozun yatayda aldığı yol ( $x$ )	Takozun düştüğü yükseklik ( $y$ )	Takozun çıkış hızı ( $v_0$ )	Takozun yere çarpma hızı ( $v$ )

**Sonuca Varalım**

1. Ölçtüğünüz yükseklik ile hesapladığınız yükseklik arasında fark var mı? Varsa sebebi ne olabilir?
2. Takozun yatayda yaptığı hareket ile düşeyde yaptığı hareket arasındaki fark nedir?
3. Hava sürtünmesi takozun hareketini nasıl etkiler?

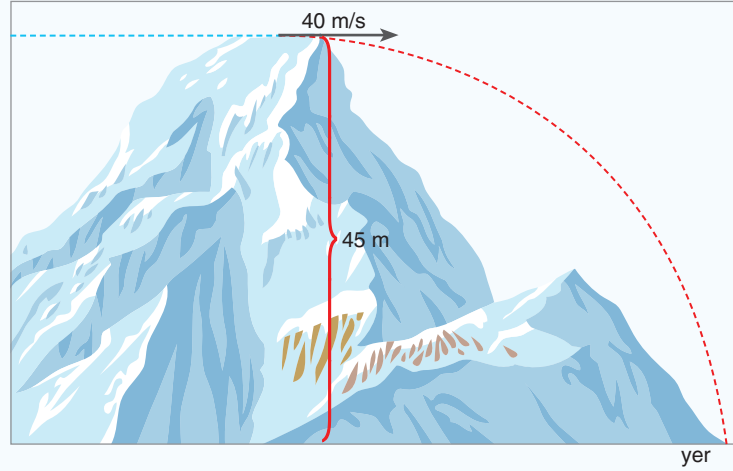
4. Deney'de gözlediğiniz gibi takoz iki hareket yapmaktadır. Yatayda sabit hızlı hareket, düşeyde ise serbest düşme hareketi. Yataydaki harekette atıldığı andaki hızı ile yer değiştirirken düşeyde yer çekimi ivmesi ile hızlanan hareket yapar.

### 1.5.2. İki Boyutta Sabit İvmeli Hareket ile İlgili Günlük Hayattan Problemler

İki boyutta sabit ivmeli hareketi kavramak için günlük hayatta karşılaştığımız bazı örnek olayların problem durumlarını çözelim.



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 24



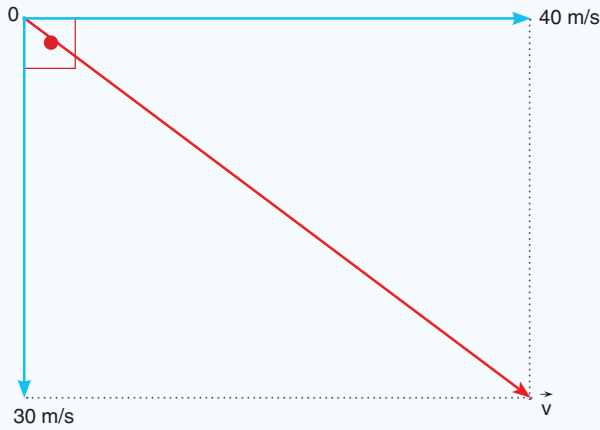
1. Bir kayalığın üzerinde bulunan Hakan, yere paralel olacak şekilde elindeki taşı atıyor. Hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamlarda taş, şekildeki gibi 40 m/s hızla harekete başlıyor. Buna göre
  - a) Taş kaç saniyede yere düşer?
  - b) Taş yatayda kaç metre uzağa düşer?
  - c) Yere düştüğü anda taşın hızı kaç m/s'dir?
 ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

#### ÇÖZÜM

- a) Taş düşeyde 45 m düştüğü için taşın yere düşme süresi,  $h = 5t^2$  bağıntısı ile hesaplanır.  
 $45 = 5t^2$ ,  $9 = t^2$ ,  $t = 3 \text{ s}$  bulunur.
- b) Taş yatayda sabit hızlı hareket yaptığı için  $x = v \cdot t$  bağıntısından yararlanır.  $x = 40 \cdot 3 = 120 \text{ m}$  bulunur.
- c) Taş yere düştüğünde hızı, yatay ve düşey hız bileşenlerinin vektörel toplamı ile bulunur.

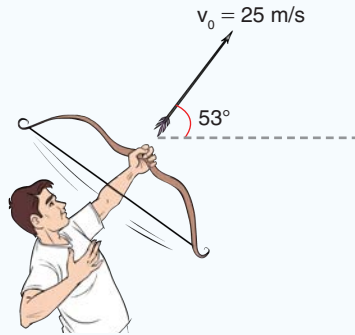
Yatay hız 40 m/s'dir. Düşey hız ise her saniye 10 m/s arttığı için taş yere çarptığında 30 m/s olur. Hızların bileşkesinden,





$30^2 + 40^2 = v^2$ ,  $2500 = v^2$ , yere çarpma hızı,  $v = 50$  m/s bulunur.

2.



Hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda bir okçu, okun yayını gererek oku şekildeki gibi atıyor.

- Okun uçuş süresi kaç saniyedir?
- Okun çıkabileceği maksimum yükseklik kaç m'dir?
- Okun menzili kaç m'dir?
- Okun maksimum yükseklikteki hızı kaç m/s'dir?
- Okun 3 s sonra yerden yüksekliği kaç m'dir?
- Okun yere çarpma hızı kaç m/s'dir?

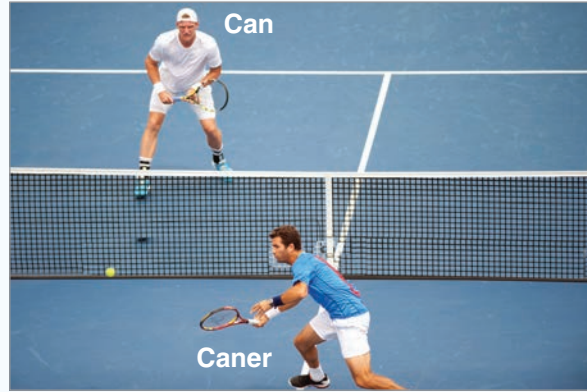
( $\sin 53^\circ = 0,8$   $\cos 53^\circ = 0,6$   $g \cong 10$  m/s<sup>2</sup> alınız.  
Okun yaydan ayrıldığı andaki yerden yüksekliğini ihmal ediniz.)

### ÇÖZÜM

- Okun düşey hız bileşeni,  $v_y = 25 \cdot \sin 53^\circ = 25 \cdot 0,8 = 20$  m/s, yatay hız bileşeni ise  $v_x = 25 \cdot \cos 53^\circ = 25 \cdot 0,6 = 15$  m/s'dir. Düşey hız bileşeni 20 m/s ve yer çekim ivmesi 10 m/s<sup>2</sup> alındığı için okun düşey hızı 2 s sonra sıfır olur. Toplamda ok  $2 + 2 = 4$  saniye havada kalır.
- Ok 2 s serbest düştüğü için maksimum yüksekliği,  $h = 5 t^2$  bağıntısından  $h = 5 \cdot 2^2 = 5 \cdot 4 = 20$  m bulunur.

- c) Menzil, yatay hız bileşeni ve uçuş süresinin çarpımı ile bulunur. Menzil,  $x = v_x \cdot t_{\text{uçuş}}$  bağıntısından,  $x = 15 \cdot 4 = 60$  m olur.
- ç) Maksimum yükseklikte sadece yatay hız bileşeni olduğu için bu yükseklikteki hız 15 m/s'dir.
- d) Herhangi bir anda okun yerden yüksekliği,  $h = v_0 \cdot t - 5 \cdot t^2$  bağıntısı ile hesaplanır. Bağıntıda kullanılan hız, düşeydeki hız bileşenidir. Eksi işareti ok yavaşladığı için kullanılır.  
 $h = 20 \cdot 3 - 5 \cdot 9 \quad h = 60 - 45 = 15$  m
- e) Ok atıldığı hızla yere çarptığı için yere çarpma hızı 25 m/s'dir.

3.



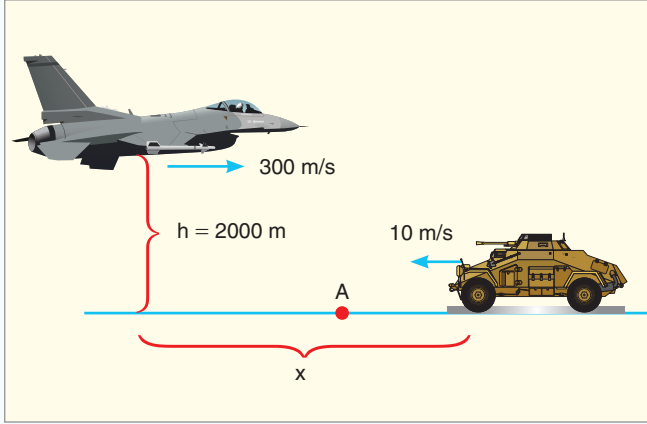
Can ve Caner tenis oynamak için tenis kortunda buluşurlar. Oyunun herhangi bir anında Caner topa doğru hareket ederek yere yakın bir noktadan tenis raketi ile topa vurur. Tenis topu, Caner'in tam karşısında bulunan Can'a 2 s'de ulaşır. Top Can'ın önüne düşer. Can ile Caner arasındaki mesafe 20 m olduğuna göre topun Caner'in raketinden çıkma hızı kaç m/s'dir? (Hava sürtünmesini ihmal ediniz.  $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Tenis topu, düşeyde ve yatayda 2 s hareket etmiştir. Tenis topunun maksimum yüksekliğe çıkması için 1 s süre geçmiştir. Topun 1 s çıkması için düşeydeki hız bileşeninin 10 m/s olması gerekir. Yatayda ise top sabit hızlı hareket yaptığı için  $x = v \cdot t$  bağıntısı kullanılır.  $20 = v \cdot 2$ , yatay hız bileşeni  $v = 10$  m/s bulunur. Topun raketten çıkma hızı, iki bileşenin

vektörel toplamı olduğu için  $v^2 = 10^2 + 10^2 = 100 + 100 = 200$ , çıkış hızı:  $v = 10\sqrt{2}$  m/s'dir.

4.



Bir tatbikat sırasında senaryo gereği savaş uçağı 300 m/s hızla giderken yatayda tam karşısından 10 m/s sabit hızla gelen tankı vurması planlanıyor. Savaş uçağı pilotu 2000 m yükseklikteyken bombayı serbest bırakıyor. Bomba A noktasında tanka çarpıyor. Bombanın bırakıldığı anda, yatayda savaş uçağı ve tank arasındaki mesafeyi bulunuz. (Hava sürtünmesini ihmal ediniz.  $g \cong 10$  N/kg alınız.)

### ÇÖZÜM

Hareket süresini uçağın yerden yüksekliği belirler. Bomba 2000 m yükseklikten yatay atış hareketi yapar. Bombanın yere çarpma süresi  $h = 5 t^2$  bağıntısı ile hesaplanır.

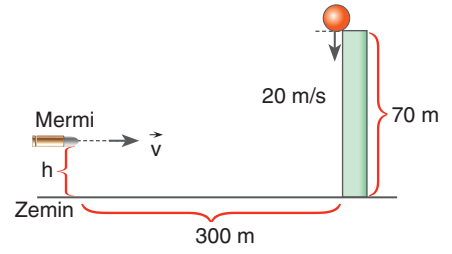
$2000 = 5 t^2$ ,  $400 = t^2$  ve  $t = 20$  s bulunur. Bomba ve tank yatayda 20 s birbirlerine doğru hareket ettiği için bomba bırakıldığı anda uçak ile tank arasındaki yatay uzaklık  $x = v \cdot t$  bağıntısı ile hesaplanır. Bombanın yatay hızı, uçak ile aynıdır. Bu yüzden bağıntıdaki hız değerinin yerine bombanın yatay hızı ve tankın hızı toplanarak yazılır.

$$x = (300 + 10) \cdot 20, x = 310 \cdot 20 = 6200 \text{ m'dir.}$$

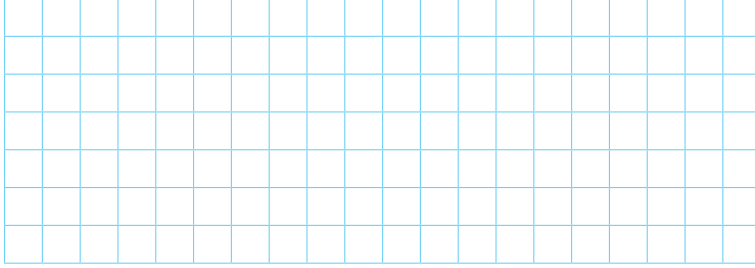


4. 70 m yükseklikten 2 kg kütleli bir top, aşağı doğru 20 m/s hızla atıldığı anda yatayda 300 m uzaktaki bir tabancadan mermi şekildeki gibi zemine paralel olarak atılıyor. Atılan mermi, topun yere düşmesine 10 m kala topu vuruyor.

- a) Merminin çıkış hızı kaç m/s'dir?  
b) Mermi çıktığı anda tabancanın yerden yüksekliği kaç metredir?

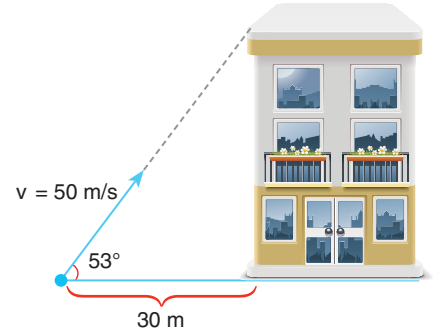
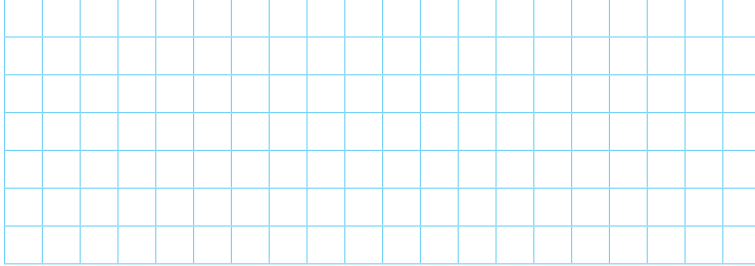


**Çözüm:**



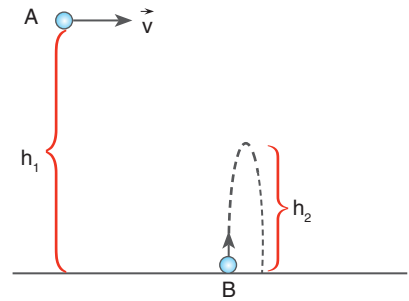
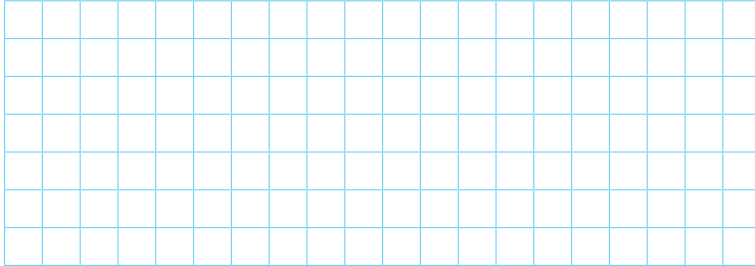
5. Elif elindeki tenis topunu binanın tepesinde bulunan Furkan'a atıyor. Tenis topu Elif'in elinden şekildeki gibi 50 m/s hızla çıkıyor. Top binanın tepesinden kaç metre aşağıda duvara çarpar?

**Çözüm:**



6. Aynı anda harekete başlayan, yatay  $\vec{v}$  hızı ile atılan A cismi ile yukarı doğru düşey atılan B cismi aynı anda yere düştüğüne göre  $(h_1/h_2)$  oranını bulunuz.

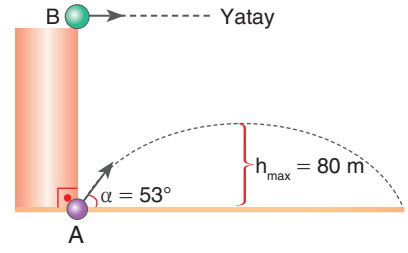
**Çözüm:**



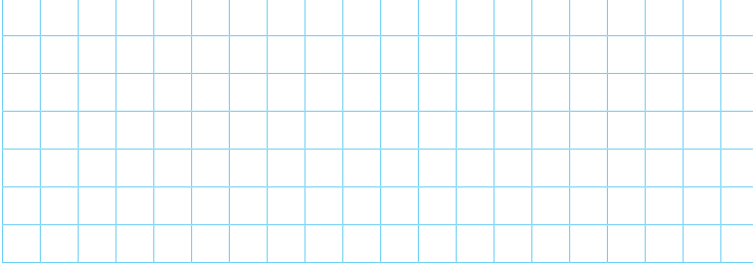


10. Şekildeki A ve B cisimleri aynı düşey doğrultu üzerinden aynı anda şekildeki gibi atılıyor.

- a) A cisminin atıldığı andaki hızı kaç m/s'dir?  
b) Cisimler 6. saniyede çarpıştığına göre B cisminin ilk hızı kaç m/s'dir? Atıldığı yükseklik kaç m'dir?

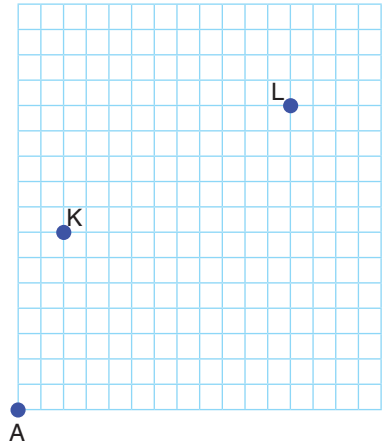
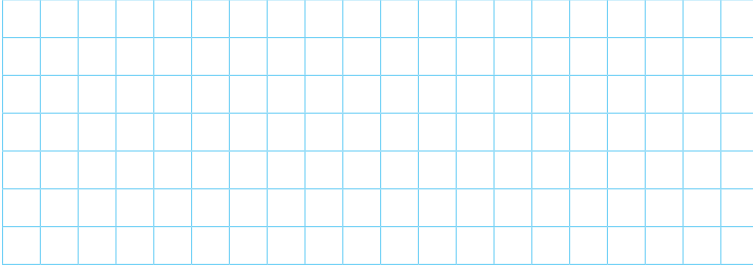


Çözüm: 



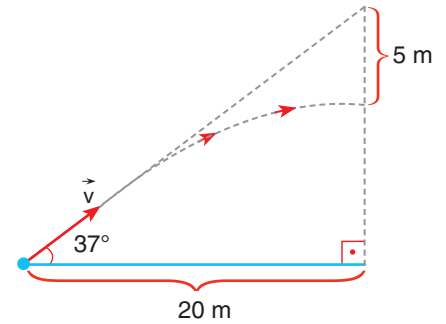
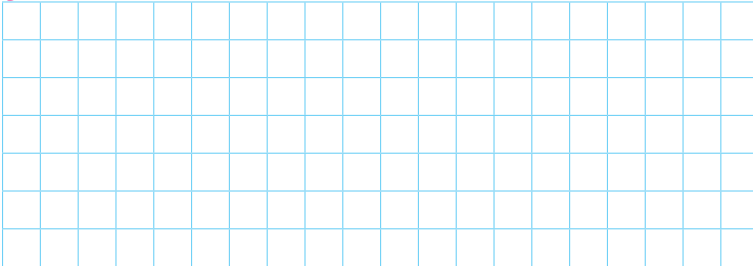
11. Şekildeki gibi A noktasından eğik atılan cisim, atıldıktan 1 s sonra K noktasından; 6 s sonra da L noktasından geçiyor. Buna göre cismin atıldığı andaki hızı kaç m/s'dir? (Çizim ölçeklidir, her bir aralık 5 m'dir.)

Çözüm: 



12. Şekildeki doğrultuda atılan cisim yatayda 20 m yol aldığı anda atıldığı doğrultunun 5 m altından geçiyor. Cismin atıldığı hız kaç m/s'dir?

Çözüm: 



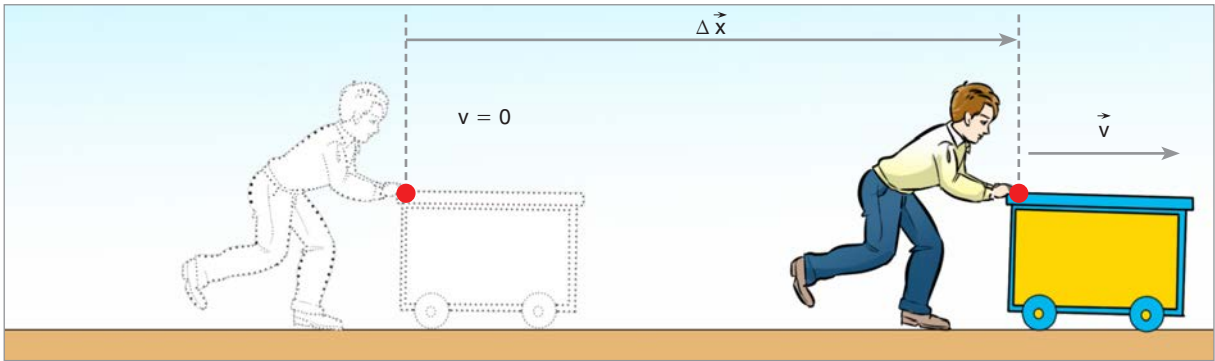


Resim 1.28: Enerji kaynakları

## 1.6. ENERJİ VE HAREKET

Hayatımızın her anında ihtiyacımız olan enerjiyi birçok kaynaktan elde ederiz. Petrol gibi fosil yakıtların tükenmeye başladığı günümüzde Resim 1.28'deki gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına dönüş artmaktadır. Enerji kaynaklarını kullanma konusunda kendimize ve çevremize karşı sorumluyuz. Çünkü enerji kaynakları azalırken enerjiye ihtiyaç artmaktadır. 9. sınıfta enerjinin birçok farklı türde bulunabileceğini gördük. Hareket eden cisimler için kinetik enerji, yerden yüksekte bulunan cisimler için çekim potansiyel enerjisi, yediğimiz yiyeceklerde bulunan ATP enerjisi bunlardan bazılarıdır.

### 1.6.1. Yapılan İş ile Enerji Arasındaki İlişki



Şekil 1.83: Sabit bir kuvvet ile tekerlekli arabanın itilmesi

Bir tekerlekli arabaya Şekil 1.83'te görüldüğü gibi yola paralel bir kuvvet uygularsak kuvvet uyguladığımız nokta yer değiştirir. Kuvvet, arabanın yer değiştirmesine sebep olur. Kuvvet, araba üzerinde iş yapar. Kuvvetin araba üzerinde yaptığı iş,

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

matematiksel modeli ile hesaplanır. İş skaler bir niceliktir. Birimi Joule'dür (J). İş pozitif ya da negatif olabilir. Belirli bir hıza sahip bir tekerlekli arabayı gittiği yönün tersi yönde bir kuvvetle çekersek yapılan iş negatif olur.



Şekil 1.84: Sürtünmeli düzlemde çekilen koli

Sürtünmeli düzlemde Şekil 1.84'te görüldüğü gibi bir F kuvveti ile çekilen koli üzerinde F kuvveti ve sürtünme kuvveti iş



yapar. Koli  $\Delta \vec{x}$  kadar yer değiştirdiğinde  $F$  kuvvetinin yaptığı iş,  $W = \vec{F} \cdot \Delta \vec{x}$  bağıntısı ile hesaplanır. Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş ise  $W = -\vec{F}_s \cdot \Delta \vec{x}$  bağıntısı ile hesaplanır. Sürtünme kuvveti yer değiştirmenin tersi yönde olduğu için sürtünme kuvvetinin yaptığı iş negatif olur. Koli üzerindeki net kuvvetin yaptığı iş ise

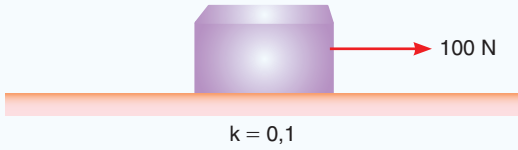
$$W = (\vec{F} - \vec{F}_s) \cdot \Delta \vec{x}$$

matematiksel modeli ile hesaplanır. Doğrultusu yer değiştirmeye dik bir kuvvetin yaptığı iş sıfırdır. Kolinin ağırlığı ya da yerin koliye uyguladığı tepki kuvveti yer değiştirmeye diktir. Bu yüzden kolinin ağırlığı ve yerin tepki kuvveti cisim üzerinde iş yapmaz.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 25

Kütlesi 5 kg olan kutuya sürtünme katsayısı 0,1 olan yüzeyde yere paralel şekilde 100 N büyüklüğünde kuvvet uygulanıyor. Kutu 20 m yer değiştirdiğinde 10 s süre geçiyor. Buna göre net kuvvetin yaptığı iş kaç J'dür? ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınınız.)



### ÇÖZÜM

Net kuvvetin yaptığı işi bulmak için önce sürtünme kuvvetini bulalım. Sürtünme kuvveti,  $F_s = k \cdot m \cdot g$  eşitliğinden,

$$F_s = 0,1 \cdot 5 \cdot 10 = 5 \text{ N bulunur.}$$

Net kuvvet,

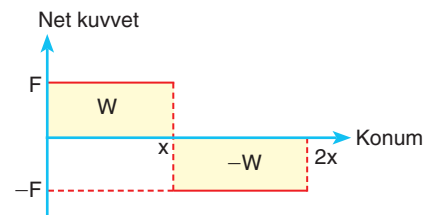
$$F_{\text{net}} = 100 - 5 = 95 \text{ N bulunur.}$$

Net kuvvetin yaptığı iş,

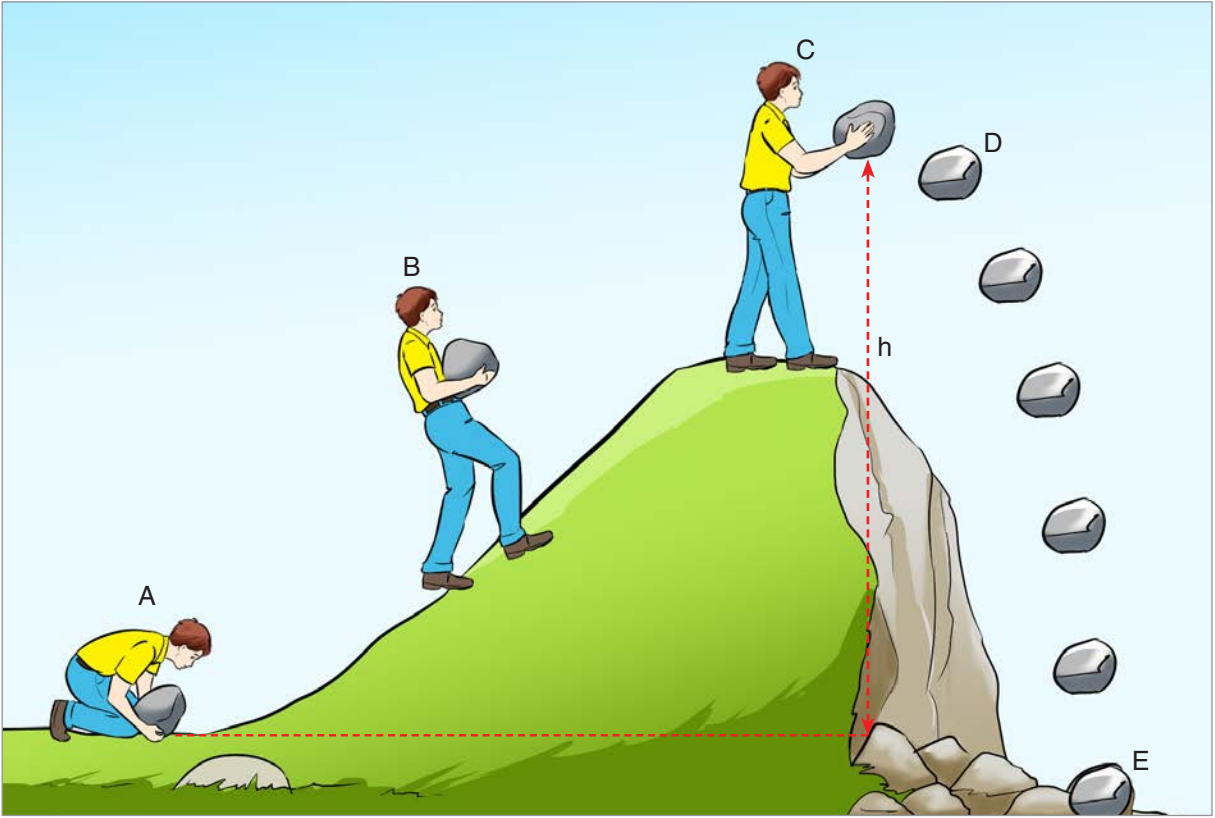
$$W = F_{\text{net}} \cdot x \text{ bağıntısından,}$$

$$W = 95 \cdot 20 = 1900 \text{ J bulunur.}$$

Net kuvvet-konum grafikleri, yapılan işi bulmamıza yardımcı olur. Net kuvvet-konum grafiği ile konum arasında kalan alan, Şekil 1.85'te görüldüğü gibi işi verir. Alanın pozitif olduğu yerlerde kuvvet hareket yönünde etki eder. Alanın negatif olduğu bölgede ise kuvvet, hareket yönünün tersi yönde etki eder. Kuvvet-konum grafiği ile konum arasındaki alanların toplamı toplam işi verir.



Şekil 1.85: Net kuvvet-konum grafiği



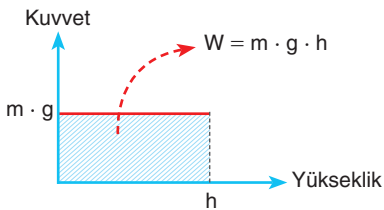
Şekil 1.86: Yerde duran taşı kucağımıza alıp tepeye taşıdığımızda yer çekimine karşı iş yaparız.

Yerde duran bir taşı Şekil 1.86'da görüldüğü gibi yerden alıp bir tepenin üzerine çıkardığımızda yer çekimi kuvvetine karşı bir iş yaparız. Yapılan iş, taşın yüksekliğinden dolayı sahip olduğu potansiyel enerjinin artışına sebep olur. Yer çekim kuvvetinin büyüklüğü  $\vec{G} = m \vec{g}$  olduğu için taşı yerden  $h$  kadar yukarıya kaldırdığımızda yerçekimine karşı yapılan iş,

$$W = m \cdot g \cdot h$$

matematiksel modeli ile bulunur. Kuvvetin yaptığı iş, cismin potansiyel enerjisindeki değişmeye eşittir.

Yerde duran  $m$  kütleli bir cismi, sabit hızla yerden  $h$  kadar yukarıya kaldırmak için cisme ağırlığı kadar kuvvet uygulamamız gerekir. Şekil 1.87'de görüldüğü gibi çizilen kuvvet-yükseklik grafiği ile yükseklik arasında kalan alan, yer çekimi kuvvetine karşı yapılan işi ve cismin potansiyel enerjisindeki değişmeyi verir.



Şekil 1.87: Kuvvet-yükseklik grafiği

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



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 26

Kütlesi 60 kg olan paraşütçü 1000 m yükseklikten uçaktan atlıyor. Paraşütçünün atladığı anda yere göre sahip olduğu çekim potansiyel enerji  $E_{P_1}$ , paraşütçünün yere 200 m kala sahip olduğu çekim potansiyel enerjisi  $E_{P_2}$  dir.  $E_{P_1} / E_{P_2}$  oranı kaçtır? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınınız.)

### ÇÖZÜM

Paraşütçünün atladığı anda çekim potansiyel enerjisi,

$$E_{P_1} = m \cdot g \cdot h \text{ bağıntısından,}$$

$$E_{P_1} = 60 \cdot 10 \cdot 1000 = 6 \times 10^5 \text{ J'dür.}$$

Paraşütçünün 200 m yükseklikteki çekim potansiyel enerjisi

$$E_{P_2} = 60 \cdot 10 \cdot 200 = 1,2 \times 10^5 \text{ J'dür.}$$

$$\frac{E_{P_1}}{E_{P_2}} = \frac{6 \times 10^5}{1,2 \times 10^5} = 5 \text{ bulunur.}$$



### KENDİMİZİ DENEYELİM 23

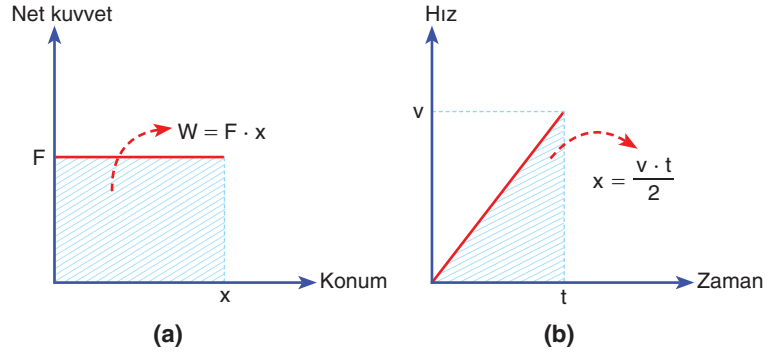
1. Uzun atlamak için koşan 60 kg kütleli Furkan, yatayla  $37^\circ$  açı yapacak şekilde 10 m/s hızla atlıyor. Furkan'ın maksimum yüksekliğindeki potansiyel enerjisi kaç J'dür?

$$(\sin 37^\circ = 0,6 \quad g \cong 10 \text{ N/kg alınınız.})$$

2. Yerden 100 m yükseklikte uçan 1 kg kütleli ördeğin yere göre potansiyel enerjisi kaç J'dür? ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınınız.)

3. Ahmet, elindeki tenis topunu 1 m yükseklikten serbest bırakıyor. Top yere değdikten sonra her seferinde bir önceki yüksekliğinin yarı yüksekliğine kadar çıkabiliyor. Topun kütlesi 57,7 g olduğuna göre topun 3. sıçrayışta sahip olacağı en büyük potansiyel enerji kaç J'dür? ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınınız.)





Şekil 1.88: a) Net kuvvet-konum grafiği b) Hız-zaman grafiği

Önümüzde düz bir yolda duran bir arabanın sabit bir kuvvetle hızlandığını düşünelim. Arabaya etki eden net kuvvetin konuma göre değişimi Şekil 1.88.a'da görüldüğü gibi çizilir. Bu alan yapılan işi verir. Araba sabit net kuvvetin etkisinde kaldığı için hızı, Şekil 1.88.b'de görüldüğü gibi düzgün artar. Hız-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan, arabanın yer değiştirmesini verir. Net kuvvetin yaptığı iş,

$$W = \vec{F}_{\text{net}} \cdot \Delta \vec{x}$$

matematiksel modeli ile bulunur.

Newton'ın İkinci Yasası'ndan yararlanılarak

$W = m \cdot a \cdot x$  elde edilir. Hız-zaman grafiğinden yararlanılarak

$W = m \cdot a \cdot v \cdot t/2$  bulunur. Denklemden zaman yerine  $t = v / a$  yazılırsa

$$W = \frac{m \cdot a \cdot v}{2} \cdot \frac{v}{a}$$

elde edilir. Net kuvvetin yaptığı iş, arabanın kinetik enerjisindeki değişime eşit olur.

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

Bir beyzbol maçında Resim 1.29'da görülen beyzbolcu, topu elinden bir hızla fırlatabilmek için topa birkaç metre boyunca kuvvet uygular. Beyzbolcu, top üzerinde bir iş yapar. Beyzbolcunun uyguladığı kuvvet, yer değiştiren beyzbol topunun hız kazanmasına sebep olur. Beyzbolcunun top üzerinde yaptığı iş, topun kinetik enerjisinin değişmesine sebep olur.

Beyzbolcunun topa uyguladığı kuvvetin yaptığı iş ile topun kinetik enerji değişimi birbirine eşittir.

$$W = F_{\text{net}} \cdot x = \Delta E_k = E_{\text{son}} - E_{\text{ilk}}$$

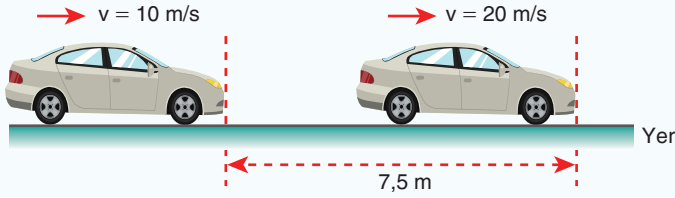


Resim 1.29: Beyzbolcunun topu fırlatması



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 27

1.



Düz bir yolda hareket eden 5 kg kütleli bir arabanın sürati 10 m/s'den 20 m/s'ye çıkıyor. Araba bu sırada 7,5 m yol aldığına göre arabaya etki eden net kuvveti bulunuz.

### ÇÖZÜM

Arabanın kinetik enerjisindeki değişme, net kuvvetin yaptığı işi verir.

$$F_{\text{net}} \cdot \Delta x = \Delta E_K$$

Arabanın ilk kinetik enerjisi,

$$E_{K(i)} = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 10^2 = 250 \text{ J bulunur.}$$

Arabanın son kinetik enerjisi,

$$E_{K(s)} = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot 20^2 = 1000 \text{ J bulunur.}$$

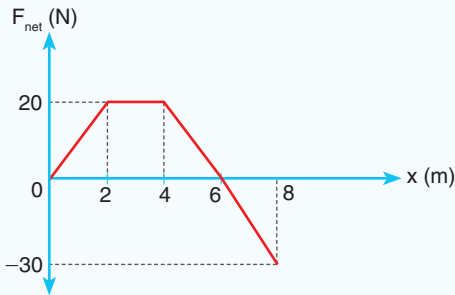
Kinetik enerji değişimi,

$$\Delta E_K = E_{K(s)} - E_{K(i)} = 1000 - 250 = 750 \text{ J bulunur.}$$

Net kuvvet,

$$F \cdot 7,5 = 750 \Rightarrow F = 100 \text{ N bulunur.}$$

2.



Kütlesi 10 kg olan oyuncak arabaya etki eden net kuvvetin konuma göre değişimi şekildeki gibi veriliyor. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

- Duran arabanın harekete başladıktan 8 m sonundaki hızı kaç m/s'dir?
- Arabanın ilk hızı net kuvvet yönünde 10 m/s ise 8 m sonundaki hızı kaç m/s'dir?



## İzleyelim Öğrenelim

Mekanik enerjinin korunumunu gözlemlemek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

<https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/energy-skate-park>



## ÇÖZÜM

a) Net kuvvetin yaptığı iş,

$$W = 20 + 40 + 20 - 30 = 50 \text{ J bulunur.}$$

Arabanın 8 m sonundaki hızı

$$W = \Delta E_k \text{ eşitliğinden}$$

$$50 = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - 0 \quad 100 = 10 \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{10} \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$

b) Arabanın ilk hızı 10 m/s ise

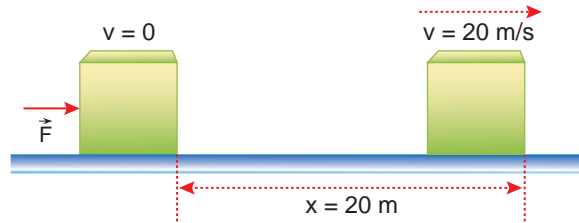
$$W = \Delta E_k \text{ eşitliğinden}$$

$$50 = \frac{1}{2} m \cdot v^2 - \frac{1}{2} m \cdot 10^2$$

$$100 = 10 \cdot (v^2 - 100) \quad v^2 = 110 \quad v = \sqrt{110} \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$

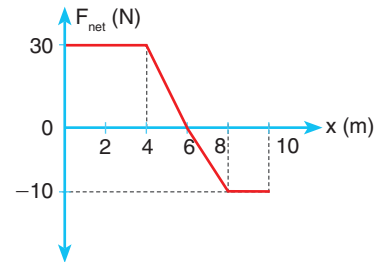
## KENDİMİZİ DENEYELİM 24

1.



Durmakta olan 4 kg kütleli kutuya şekildeki gibi  $\vec{F}$  kuvveti uygulandığında sürtünmenin ihmal edildiği yüzeyde kutunun 20 metre sonra hızı 20 m/s oluyor. Kutuya uygulanan  $\vec{F}$  kuvvetinin büyüklüğü kaç N'dır? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınınız.)

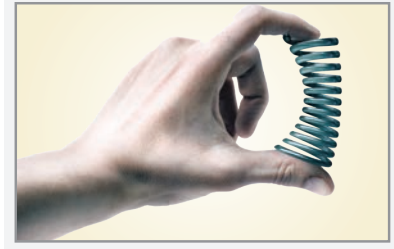
2. Yerde duran 50 kg kütleli buz kalıbına etki eden net kuvvetin konuma göre değişimi şekildeki gibi veriliyor. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız. (Buz kalıbı hareket süresi boyunca erimektedir.)



- Buz kalıbının hızının büyüklüğü, kaç metre sonra en büyük olur?
- Buz kalıbı üzerinde yapılan toplam iş kaç J'dür?
- Buz kalıbının 10 metre sonraki hızı kaç m/s'dir?

### Yayın Esneklik Potansiyel Enerjisi

Bir yaya Resim 1.30'daki gibi kuvvet uyguladığımızda yay sıkışır. Serbest bıraktığımız yay, sıkışmadan önceki durumuna döner. Yaya uyguladığımız kuvvet, yayda enerji depolanmasına sebep olur. Yayda depolanan enerjiyi bulmak için öncelikle yaya uyguladığımız kuvvetin yaydaki uzama ya da sıkışma ile ilişkisini inceleyelim. Boyu sabit olan bir yaya farklı kütleler asarak uzamanın nasıl değiştiğini gözlemek için 5. Deney'i yapalım.



Resim 1.30: Sıkıştırılan yay



### 5. Deney



### Yaylarda Uzamanın Kuvvetle Değişimi

#### Nasıl Bir Yol İzleyelim?



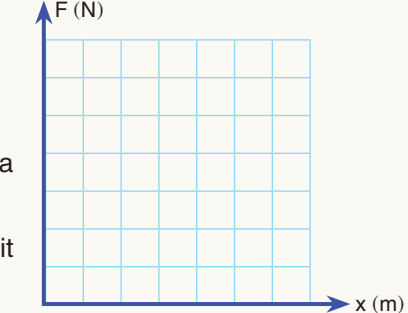
#### Araç Gereç

- Dinamometre
- Farklı kütleler (100 g, 200 g, 300 g, 400 g, 500 g)
- İp
- Üçayak
- 2'li bağlantı aparatı
- Demir çubuk

- ▶ Dinamometreyi elinizde tutunuz.
- ▶ Dinamometreye 100 g kütleli ağırlığı ip ile asınız. Yaydaki uzamayı aşağıdaki verilen tabloya kaydediniz.
- ▶ Dinamometreye sırayla 200 g, 300 g, 400 g ve 500 g kütleli ağırlıkları asarak ikinci basamağı tekrarlayınız.
- ▶ Yaydaki uzamanın uygulanan kuvvete göre değişim grafiğini çiziniz.

	100 g	200 g	300 g	400 g	500 g
Yaydaki uzama					

#### Sonuca Varalım



1. Yaya astığınız ağırlıkların kütleleri arttıkça yayda meydana gelen uzama nasıl değişti?
2. Çizdiğiniz kuvvet-uzama grafiğinin eğimi neden sabit çıktı?



Resim 1.31: Araba amortisörlerinde kullanılan yay

Yaptığınız deneyde gözlediğiniz gibi yaydaki uzama, kuvvetle doğru orantılı değişmektedir. Bir yaya Şekil 1.89.a'da görüldüğü gibi  $\vec{F}$  kuvveti uygularsak yay  $x$  kadar uzar. Yaydaki uzamanın kuvvetle nasıl değiştiği gözlemini ilk olarak 1678 yılında Robert Hooke (Rabirt Huk) yapmıştır. Yayların kuvvetle uzanım bağıntısı  $\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$  olarak ifade edilir. Bu ifadede  $F$  kuvveti,  $x$  uzama miktarını ve  $k$  de yay sabitini ifade eder. Bu ifade Hooke Kanunu olarak adlandırılır.

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

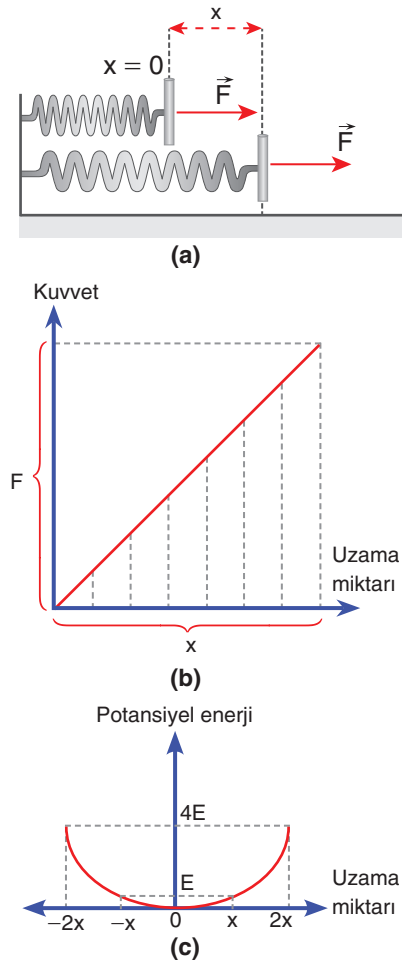
Yay sabiti ( $k$ ) yayın cinsine ve kalınlığına göre değişir. Birimi N/m'dir. Araba amortisörlerinde kullanılan yayların yay sabiti  $10^5$  mertebesinde (Resim 1.31). Yayın sıkışması ya da çekilmesi ile yayda depolanan enerjiyi bulalım.

Yaya uyguladığımız kuvvet arttıkça yaydaki uzamanın değişimi Şekil 1.89.b'deki gibi olur. Bu grafiğin uzama eksenine ile arasında kalan alan, yayda depolanan enerjiyi verir.

$E = F \cdot x / 2$ 'ye eşittir.  $F = k \cdot x$  bağıntısını yerine yazarsak bu alanı  $E = k \cdot x \cdot x / 2 = k x^2 / 2$  olarak buluruz.

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

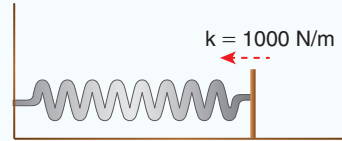
Yay  $x$  kadar sıkıştığında depolanan enerji  $E$  ise  $2x$  sıkıştığında depolanan enerji  $4E$  olur. Yaylarda depolanan bu enerjiye **yayın esneklik potansiyel enerjisi** denir. Yayda depolanan esneklik potansiyel enerjinin uzama miktarı ile değişimi Şekil 1.89.c'deki gibidir.



Şekil 1.89: a) Kuvvet uygulayarak yayın  $x$  kadar uzaması b) Yaydaki uzamanın kuvvetle değişimi c) Potansiyel enerji-uzama miktarı grafiği



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 28



Sürtünmenin ihmal edildiği ortamda şekildeki yayı 10 cm ve 20 cm sıkıştırdığımızda yayda depolanan enerji kaç joule olur?

#### ÇÖZÜM

Yayda depolanan enerji,

$E = \frac{1}{2} k \cdot x^2$  ile bulunur. Yay 10 cm sıkıştığında

$E = \frac{1}{2} 1000 \cdot \left(\frac{1}{10}\right)^2 = 5 \text{ J}$  bulunur.

Yay 20 cm sıkıştığında  $E = \frac{1}{2} 1000 \left(\frac{2}{10}\right)^2 = 20 \text{ J}$  bulunur.





### KENDİMİZİ DENEYELİM 25

Cemre yay sabiti 2000 N/m olan bir yaya kuvvet uyguluyor. Yayı önce 10 cm sıkıştırıyor ( $E_1$ ). Daha sonra denge durumundaki yayı çekerek 20 cm uzatıyor ( $E_2$ ). Yayda depolanan enerji iki durum için kaç J'dür?



### 1.6.2. Mekanik Enerji Korunumu

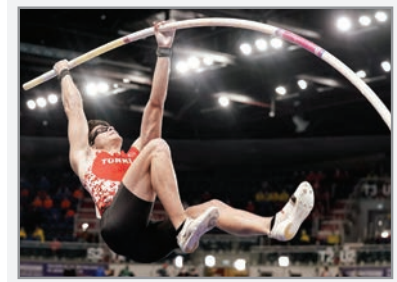
Basketbol bir takım oyunudur. Takım üyeleri birbirlerine karşı saygı ve sevgi çerçevesinde davranır. Basketbol oyununda smaç atmak için zıplayan basketbolcunun zıplarken potansiyel enerjisi artar ve yukarı çıktıkça hızı azalır. Smaç attıktan sonra basketbolcu yere düşerken potansiyel enerjisi azalır, kinetik enerjisi artar (Resim 1.32).

Sırıkla yüksek atlayan Resim 1.33'deki sporcu, sırtığı deliğe soktukten sonra sırtığın esneklik potansiyel enerji kazanmasını sağlar. Sporcu yükseldikçe sırtığın esneklik potansiyel enerjisi, çekim potansiyel enerjiye dönüşür. En yüksek noktaya gelen sporcu önce sırtığı, sonra kendini düşmeye bırakır. Düşerken sporcunun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüşür (Hava sürtünmesi önemsiz).

Enerji, evrende korunan bir büyüklüktür. Bir cismin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjilerin toplamına **mekanik enerji** denir. Hareket eden bir cismin sürtünmesiz ortamda sahip olduğu mekanik enerji zamanla değişmez. Bazı örnek olayları inceleyerek mekanik enerjinin korunumunu kavrayalım.



Resim 1.32: Smaç atan basketbolcu



Resim 1.33: Sırıkla yüksek atlayan sporcu



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 29

1. Kapadokya'da balonla seyahat eden Deniz, bir anlık dalgınlıkla elindeki 1 kg kütleli fotoğraf makinesini düşürür. Fotoğraf makinesi 125 m'den serbest düşme hareketi yapmaya başlar. Fotoğraf makinesinin yere 45 m kala hızı kaç m/s'dir? (Hava sürtünmesini ihmal ediniz.  $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Fotoğraf makinesinin serbest düşmeye başladığı andan itibaren, hava sürtünmesinin ihmal edildiği ortamda, mekanik

enerjisi korunur. Bu yüzden öncelikle fotoğraf makinesinin harekete başladığı andaki mekanik enerjisini bulalım.

Mekanik enerji, potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamı ile bulunur.

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 1 \cdot 10 \cdot 125 = 1250 \text{ J}$$

$$E_k = 0$$

Mekanik enerji = 1250 J

Fotoğraf makinesi yerden 45 m yükseğe geldiğinde mekanik enerjisi yine 1250 J olur.

$$1250 = E_p + E_k = m \cdot g \cdot h + m \cdot v^2 / 2$$

$1250 = 1 \cdot 10 \cdot 45 + 1 \cdot v^2 / 2$ , denklemin iki tarafını 2 ile çarpılırsa

$$2500 = 900 + v^2,$$

$$2500 = 900 + v^2 \quad v^2 = 1600 \text{ ve } v = 40 \text{ m/s bulunur.}$$

2.



Bir golfçü yerde duran golf topuna yatayla belirli bir açı ile fırlayacak şekilde vuruyor. 46 g kütleli golf topu 25 m/s hızla harekete başlıyor. Golf topunun 25 m yükseklikteki hızı kaç m/s'dir? (Hava sürtünmesini ihmal ediniz.

$g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Golf topu atıldığı anda kinetik enerjiye sahiptir. Topun kinetik enerjisi:

$$E_k = m \cdot v^2 / 2 \text{ bağıntısından bulunur.}$$

$$E_k = m \cdot 25^2 / 2 = m \cdot 625 / 2 = 312,5 \cdot m$$

$312,5 \cdot \frac{46}{1000} = 14,375 \text{ J}$  bulunur. Golf topu, 25 m yükseklikte hem potansiyel enerjiye hem de kinetik enerjiye sahiptir.

Golf topunun atıldığı andaki kinetik enerjisi, 25 m yükseklikte sahip olduğu potansiyel ve kinetik enerjinin toplamına eşittir.

$m \cdot v_1^2/2 = m \cdot g \cdot h + m \cdot v_2^2/2$  enerji korunum denkleminde eşitliğin iki tarafındaki m'ler sadeleşir.

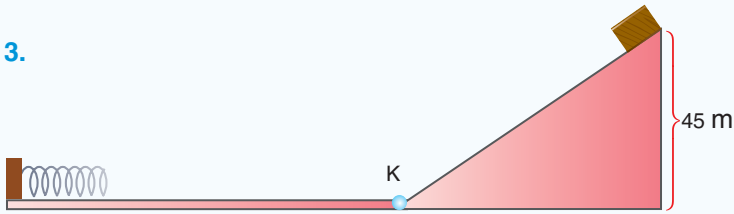
$v_1^2/2 = g \cdot h + v_2^2/2$  değerler yerine yazıldığında

$$25^2/2 = 10 \cdot 25 + v_2^2/2$$

$$312,5 = 250 + v_2^2/2 \quad 62,5 = v_2^2/2 \quad v_2^2 = 125 \text{ ve}$$

$$v = \sqrt{125} = 5\sqrt{5} \text{ m/s bulunur.}$$

3.



45 m yükseklikte eğik düzlemin tepesinden kütlesi 2 kg olan tahta takoz ilk hızsız olarak bırakılıyor. Sürtünmenin ihmal edildiği düzlemde hareket eden takozun K noktasından geçerken hızı kaç m/s olur? Takozun çarpması sonucu yay sabiti 20.000 N/m olan yay en çok kaç metre sıkışır? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Eğik düzlemin tepesinden ilk hızsız bırakılan takoz yere göre potansiyel enerjiye sahiptir. Takozun sahip olduğu potansiyel enerji,

$m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 10 \cdot 45 = 900 \text{ J'dür.}$  Sürtünmenin ihmal edildiği ortamda K noktasına gelen takozun potansiyel enerjisinin tamamı kinetik enerjiye dönüşür. K noktasındaki hız,

$$900 = m \cdot v^2 / 2 \text{ eşitliğinden,}$$

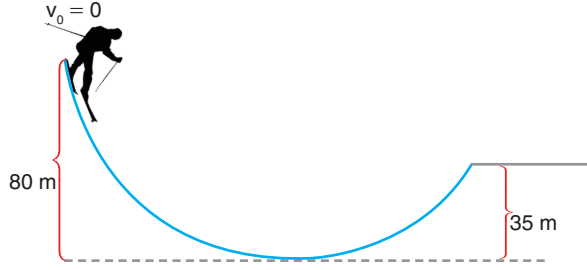
$900 = 2 \cdot v^2 / 2 \quad v^2 = 900 \text{ ve } v = 30 \text{ m/s}$  bulunur. K noktasında takozun sahip olduğu kinetik enerji yaya potansiyel enerji olarak aktarılarak yayı sıkıştırır.  $E_p = k \cdot x^2/2$  matematiksel ifadesi yardımıyla yaydaki sıkışma miktarı,

$$900 = 20.000 \cdot x^2 / 2 \quad x^2 = 9 / 100 \quad x = 0,3 \text{ m bulunur.}$$



## KENDİMİZİ DENEYELİM 26

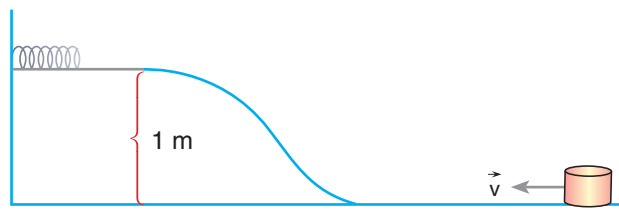
1.



80 m yükseklikten ilk hızsız kaymaya başlayan kayakçı, sürtünmelerin ihmal edildiği zeminde şekildeki yolu izliyor. Kayakçının 35 m yükseklikteki hızı kaç m/s'dir?

( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

2.



2 kg kütleli bir cisim, sürtünmenin ihmal edildiği yüzeyde  $\vec{v}$  hızıyla şekildeki gibi atılarak yay sabiti 4000 N/m olan yayı 20 cm sıkıştırıyor. Cismin atıldığı andaki hızı kaç m/s'dir? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$ )

3. Bir futbol maçında futbolcu topa yer ile  $37^\circ$  açı yapacak şekilde vuruyor. Kütleli 450 g olan top 50 m/s süratle hareket ediyor. Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda topun sahip olacağı minimum kinetik enerji kaç J'dür?

( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

## KISA YAŞAM ÖYKÜSÜ

## Canan DAĞDEVİREN

Canan Dağdeviren, ülkemizi uluslararası bilim dünyasında tanıtan başarılı bir bilim insanıdır. Giyilebilir kalp pilinin mucidi Canan Dağdeviren, ABD’de yayımlanan dünyanın en prestijli dergilerinden Forbes’in “30 Yaşından Küçük 30 Bilim İnsanı” listesine girmiştir. Adını Massachusetts (Messaçuses) Teknoloji Enstitüsündeki (MIT) bilimsel araştırmalarla duyuran Dağdeviren, Harvard (Harvırt) Üniversitesinin Genç Akademi Üyeliğine seçilen ilk Türk olarak tanınmaktadır. Hâlen MIT’te çalışan Dağdeviren, listede 7’nci sırada yer bulmuştur (Resim 1.34).

Canan Dağdeviren 4 Mayıs 1985’te İstanbul’da doğmuştur. 1999 Körfez depremi sonrası okulu hasar gördüğü için Adana Seyhan ÇEAŞ Anadolu Lisesine misafir öğrenci olarak gönderilmiştir. Haziran 2007’de Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliğinden mezun olmuştur. 2009’da ilk defa verilmeye başlanan Fulbright (Fulbrayt) Doktora Bursu’nu kazanmıştır. Doktora süresince fizik, elektronik, kimya, malzeme, mekanik ve tıp alanlarının kapsamına giren esnek ve katlanabilir, vücut içine ve deri üstüne yapıştırılabilir/giyilebilir elektronik aletler üzerinde çalışmalar yapmıştır. Hâlen, MIT’te ve Harvard Üniversitesinde doktora sonrası araştırmacı olarak çalışmaktadır.

Canan Dağdeviren röportajında “Annem benim ilk öğretmenim. Anneden ziyade arkadaşım gibidir. Deneyerek tecrübe etmeyi, plan yapmayı, kitap okumayı, araştırmanın gücünü, takım çalışmasının faydalarını annemden öğrendim. Annem, nazik ve sabırlı bir insan olduğundan fikirlerimi hep ilk dinleyen olmuştur. İyi bir dinleyicidir, keskin eleştiri uzmanıdır, zaman ve malzeme tasarrufunu çok iyi bilir. Projelerimin gizli kahramanıdır annem. Nüktedan bir yapısı da vardır, konuşunca keyif alırsınız. Annem DNA gibi sarıp sarmalar, en negatif olduğum anlarda proton gibi çeker, yardımımıza ışık hızıyla uçar, ulvi sözleriyle antibiyotik gibi tedavi eder. İnsanları elektron yörüngeleri gibi ayırmaz, ismi gibi şeffaftır, elmas kadar güçlü, güneş kadar sıcak. Hayatımı şekillendiren sözleri vardır. Kalbimde taşıdığım altın bir öğüdü şudur: ‘Kızım, çalıştıkça yeni ufuklar belirleyecek ve ilerleyeceksin. İlerler-



**Resim 1.34:** Canan DAĞDEVİREN

ken seninle birlikte yürüyenlerin üzerine asla basma, birlikte yürü. Birlikten kuvvet doğar. Annemi dinliyorum ve benden genç, yolun başındaki öğrencilere rehberlik ediyorum, birlikte yürüyoruz. Daha gidecek çok yolumuz var. Genç arkadaşlara en başta pes etmemelerini öneriyorum, tutku/aşk ile hayal ettikleri/yapmak istedikleri şeye sarılmalarını istiyorum. Soru sormalarını, hayal kurmalarını, plan yapmalarını, literatürü taramalarını, mümkün olduğunca kendilerinden farklı insanlarla iletişim içinde olmalarını tavsiye ederim. En çok bilgiyi farklı insanlardan öğrenir, olaylara farklı açılardan bakabilme kabiliyeti kazanırsınız. Kendimizi bizden daha iyi tanıyacak biri yok, o nedenle kendilerine de soru sorup hayattan ne istediklerini sorgulamalarını isterim. Arada sırada kendimizle baş başa kalmalıyız. Aldıkları cevaba göre şartlar el verdiği kadar alanlarında iyi hocalarla temasa geçmeleri iyi bir strateji olur. Eğer sevdiğiniz işi yaparsanız başarısız olma ihtimaliniz çok düşük. Onlara asla kendilerini başkalarıyla kıyaslamamalarını öneririm. Model alabilirsiniz, şevk duyabilirsiniz ama ileri gidip karşılaştırma yaparsanız mutlu olamazsınız ki farklı olan iki insanı karşılaştırmak bence mantıklı değil. Risk almak da önemli. Hayat başkalarının fikirlerini takip etmek için çok kısa, risk alsınlar ve istedikleri şeyi yapsınlar.” demiştir.

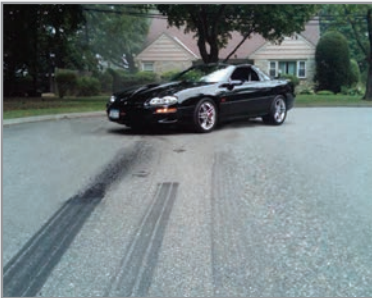
<https://iosb.org.tr/wp-content/uploads/2021/01/dergi28.pdf>

### 1.6.3. Sürtünmeli Yüzeylerde Enerji Korunumu ve Dönüşümü

Belirli bir hızla hareket eden otomobil, kinetik enerjiye sahiptir. Otomobil, fren yapıp durduğunda kinetik enerjisini kaybeder. Otomobilin kinetik enerjisi, tekerleklerle yol arasındaki sürtünme kuvvetinden dolayı ısı enerjisine dönüşür sürtünme kuvvetinden dolayı tekerlekler iz bırakır (Resim 1.35). Sürtünmeli yüzeylerde sürtünme kuvveti bir iş yapar. Yapılan iş, cismin sahip olduğu enerjiyi azaltır. Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş,

$$W = -F_s \cdot \Delta x$$

bağıntısı ile hesaplanır.  $F_s$  sürtünme kuvveti  $\Delta x$  ise sürtünme kuvvetinin etki ettiği mesafeyi gösterir. Örnek olaylar ile sürtünmeli yüzeylerde enerji dönüşümünü inceleyelim.

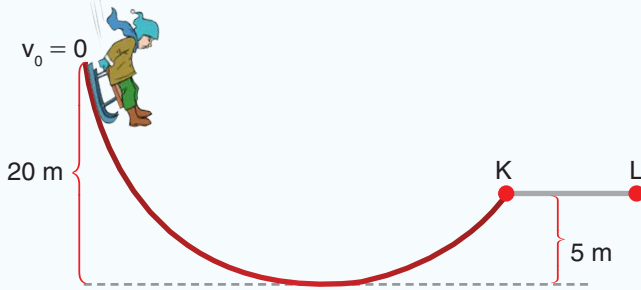


Resim 1.35: Fren izleri



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 30

1.



Kütlesi 35 kg olan Mert kütlesi 5 kg olan kızıağı ile şekildeki gibi 20 m yükseklikten ilk hızsız kaymaya başlayıp L noktasında duruyor. Sadece KL arası sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,5 olduğuna göre KL yolunun uzunluğu kaç m'dir? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Kızakla kayan Mert ilk hızsız harekete başladığı için yüksekliğinden dolayı potansiyel enerjiye sahiptir. Başlangıçta potansiyel enerjisi,

$$E_{P_1} = m \cdot g \cdot h = 40 \cdot 10 \cdot 20 = 8000 \text{ J'dür.}$$

Kızak L noktasına geldiğinde durduğu için sadece yüksekliğinden dolayı bir potansiyel enerjiye sahiptir. L noktasında potansiyel enerjisi,

$$E_{P_2} = 40 \cdot g \cdot h = 40 \cdot 10 \cdot 5 = 2000 \text{ J olur.}$$

Kızak başlangıç ve bitiş yüksekliklerinden kaynaklanan potansiyel enerji farkını kaybetmiştir. İki potansiyel enerji arasındaki fark, sürtünmeden dolayı ısıya dönüşmüştür. Isıya dönüşen enerji,

$$E_{P_1} - E_{P_2} = 8000 - 2000 = 6000 \text{ J'dür.}$$

Isıya dönüşen enerji, sürtünme kuvvetinin yaptığı işe eşittir.

$$W = F_s \cdot x = k \cdot m \cdot g \cdot x$$

$$6000 = 0,5 \cdot 40 \cdot 10 \cdot x$$

Buradan KL yolunun uzunluğu,

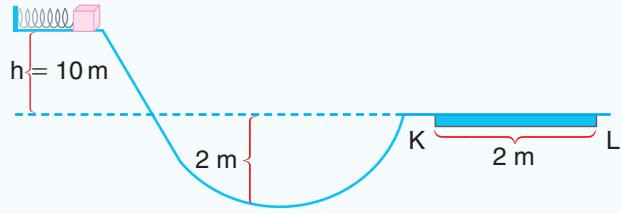
$$x = 30 \text{ m bulunur.}$$



## Kavram Yanılgıları

- Hareket etmeyen hiçbir şey enerjiye sahip değildir.
- Bir cisme etki eden kuvvet, cisim hareket etmese de iş yapar.
- Enerji, bir türden diğer türe dönüşürken kaybolur.
- Enerji tekrar kullanılabilir.
- Yer çekimi, potansiyel enerjinin tek türüdür.
- Bir cisim düşmeye bırakıldığında, yer çekimi potansiyel enerjinin tamamı aynı anda kinetik enerjiye dönüşür.
- Enerjinin Newton'un kanunları ile bir ilgisi yoktur.
- Enerji bir kuvvettir.

2.



Yay sabiti 4000 N/m olan yayı 10 cm sıkıştırarak yayın önüne kütlesi 2 kg olan cisim konuluyor. Cisim, KL yoluna kadar sürtünmenin ihmal edildiği yolda hareket ediyor. Daha sonra cisim sabit sürtünmeli ve sürtünme katsayısı 0,1 olan KL yolunu geçiyor. KL yolunun sonunda cismin L noktasındaki hızı kaç m/s'dir? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınınız.)

## ÇÖZÜM

Cismin, yatay zemine göre yüksekliğinden dolayı sahip olduğu potansiyel enerji,

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 10 \cdot 10 = 200 \text{ J'dür.}$$

Yaydaki esneklik potansiyel enerji,

$$E_p = \frac{1}{2} k \cdot x^2 = \frac{1}{2} 4000 \left( \frac{1}{10} \right)^2 = 20 \text{ J'dür.}$$

Bu iki enerjinin toplamı  $E = 200 + 20 = 220 \text{ J}$  bulunur.

Cismin indiği 2 m'lik yüksekliği enerji denkleminde yazmamıza gerek yoktur. Çünkü cisim, 2 m aşağıya inip tekrar yukarıya çıkmaktadır.

KL yolu boyunca ısıya giden enerji,

$$W = F_s \cdot x = k \cdot m \cdot g \cdot x = 0,1 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 2 = 4 \text{ J bulunur.}$$

KL yolu sonunda cismin sahip olduğu kinetik enerji,

$E_k = 220 - 4 = 216 \text{ J}$  olur. Cismin hızını bulmak için kinetik enerji denkleminde değerler yerine yazılırsa

$$E_k = m \cdot v^2 / 2 = 216 = 2 \cdot v^2 / 2; v^2 = 216 \text{ ve cismin hızı, } v = 6\sqrt{6} \text{ m/s bulunur.}$$

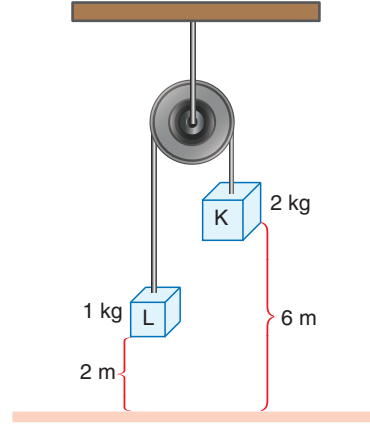




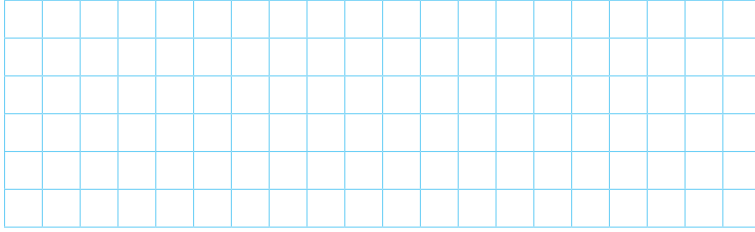
## BÖLÜM SONU DEĞERLENDİRME SORULARI 6

(Bu bölümde verilen sorulardaki açı değerleri için  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 3/5$   $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$   $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2$   $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$   $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$   $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  ve hava sürtünmesini ihmal ediniz.)

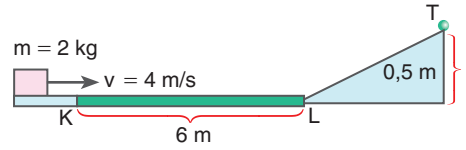
1. Ağırlığı önemsiz makara, şekildeki gibi bağlanan 1 kg ve 2 kg kütleli cisimlerle dengede tutuluyor. Sistem serbest bırakılırsa 2 kg kütleli K cisminin yere çarpma hızı kaç m/s'dir?



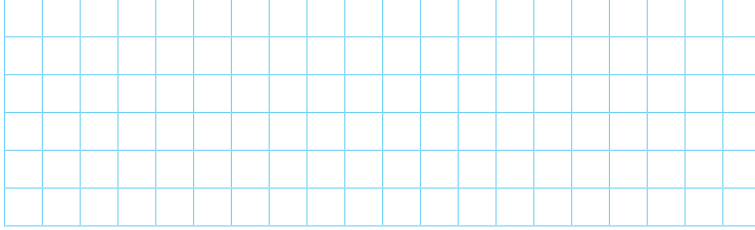
Çözüm:



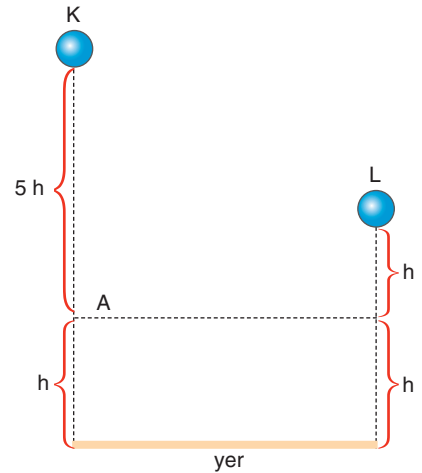
2. 2 kg kütleli cisim 4 m/s hızla şekildeki gibi fırlatılıyor. Cisim 6 m uzunluğundaki sürtülmeli KL yolunu geçtikten sonra sürtünmesiz eğik düzlemde T noktasına kadar çıkıyor ve geri dönüyor. Geri dönen cismin K noktasındaki hızı kaç m/s'dir?



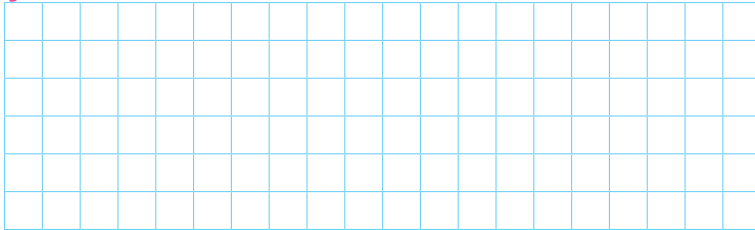
Çözüm:



3. Şekildeki yüksekliklerden aynı anda bırakılan K ve L cisimleri A seviyesinden aynı kinetik enerji ile geçiyor. Cisimlerin yere çarptığı andaki kinetik enerjilerinin oranı,  $E_K / E_L$  kaçtır?



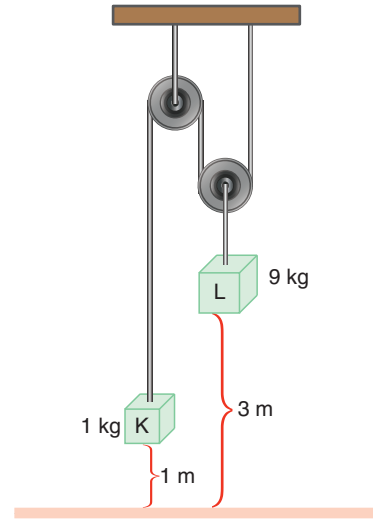
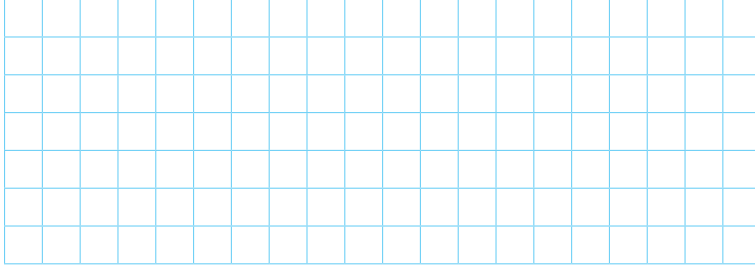
Çözüm:





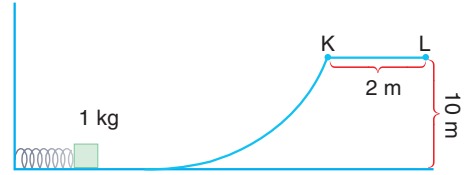
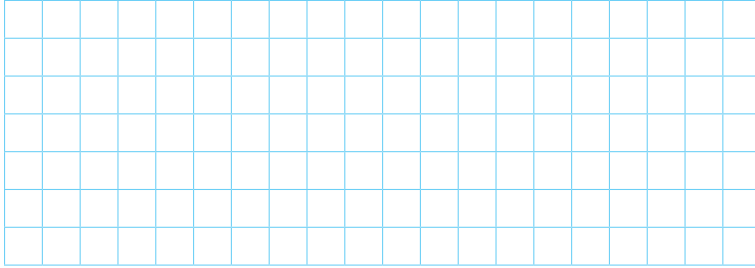
7. Ağırlığı önemsiz makaralarla ile kurulan şekildeki sistem serbest bırakılıyor.
- a) 9 kg kütleli cisim yere kaç m/s hızla çarpar?
- b) 1 kg kütleli cisim yerden en fazla kaç m yükselir?

Çözüm:



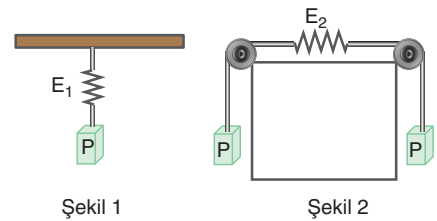
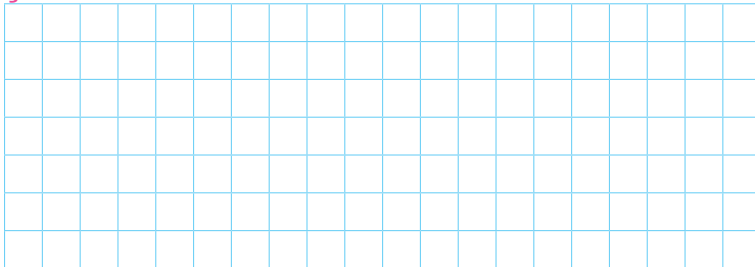
8. Kütleli 1 kg olan bir kutu, şekildeki gibi 10 cm sıkıştırılmış yayın önüne konuluyor. Yay serbest bırakıldıktan sonra sürtünmesi önemsiz yolu izleyen kutu, sürtünmeli KL yoluna gelerek L noktasında duruyor. Sürtünme katsayısı  $k = 0,1$  olduğuna göre yayın yay sabiti kaç N/m'dir?

Çözüm:



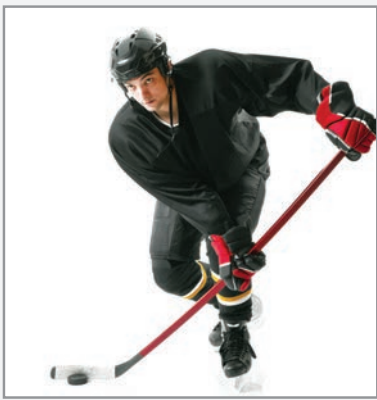
9. Özdeş yaylarla kurulu sistemlerde Şekil 1'deki yayda depolanan enerji  $E_1$ 'dir. Şekil 2'deki sistemde yayda depolanan enerji  $E_2$ 'dir. ( $E_1/E_2$ ) oranı kaçtır?

Çözüm:





Resim 1.36: Newton beşiği



Resim 1.37: Buz hokeyi topunu iten hokeyci



Resim 1.38: Topa vole vuran futbolcu



Resim 1.39: Bowling topunun atılması

## 1.7. İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM

Asılı beş metal küreden birini çekip bıraktığımızda en sondaki metal bilye diğerlerinden ayrılarak havalanır (Resim 1.36). Bu olayın sebebi ne olabilir?

Serbest bırakılan bilye, yer çekimi kuvvetinin etkisinde hareket eder. Bilyenin kaybettiği potansiyel enerji, kinetik enerjiye dönüşür. Hareket eden bilyenin hızı artar. Hızlanan bilye, duran bilyeye çarpar. En sondaki bilye diğer bilyelerden ayrılır. Bilyelerin bu davranışı fizikte itme ve momentum kavramları ile açıklanır.

Buz hokeyi sporcusu Resim 1.37'de görüldüğü gibi hokey topuna kısa bir süre kuvvet uygular. Kuvvetin belli bir süre uygulanması ile hokey topunun hızını değiştirir. Hokey topunun kuvvet etkisinde kalıp hızının değişmesi ile ilgili itme ve momentum kavramlarını inceleyelim:

### 1.7.1. İtme ve Çizgisel Momentum Kavramları

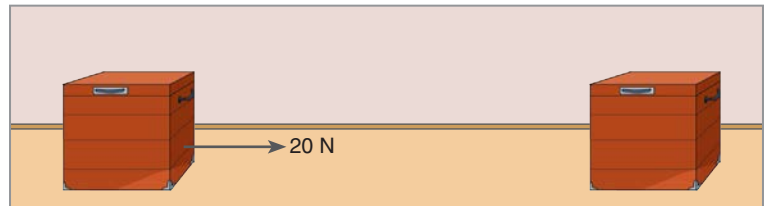
Futbolcu, kendine doğru gelen m kütleli topa vole vurarak bir kuvvet uygular. Top futbolcunun ayağı ile kısa bir süre temas eder. Futbolcunun ayağından ayrılan futbol topunun hareket yönü ve hızı değişir (Resim 1.38).

Bowling topunu atarken topa bir süre kuvvet uygularız. Resim 1.39'da görüldüğü gibi bowling topu atıldığında elimizden bir ilk hız ile çıkar.

Futbol topuna ya da bowling topuna  $\Delta t$  süre boyunca kuvvet uygulandığını düşünelim. Uygulanan kuvvetle  $\Delta t$  zaman aralığının çarpımına **itme** denir. İtme,  $\vec{I}$  ile gösterilir. Buna göre, itme

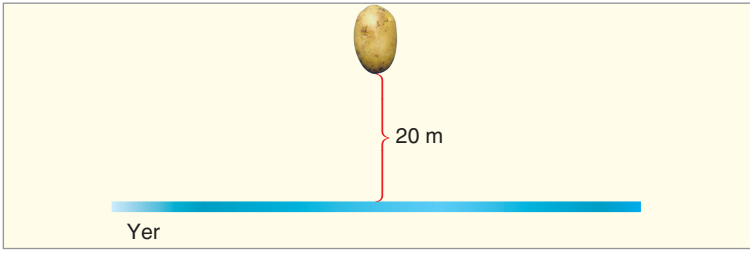
$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

matematiksel modeliyle verilir. İtmenin birimi newton. saniyedir (N.s). İtme, vektörel büyüklüktür.



Şekil 1.90: Sabit kuvvet ile çekilen sandık

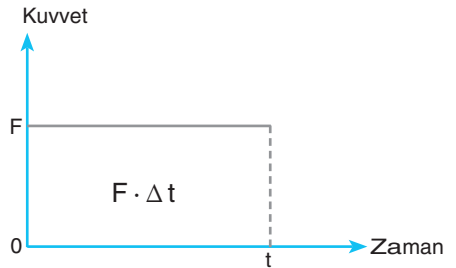
$F = 20 \text{ N}$  büyüklüğündeki kuvvetle 10 s süreyle Şekil 1.90'daki gibi çekilen sandığa verilen itme  $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$  bağıntısından,  $I = 20 \cdot 10 = 200 \text{ N} \cdot \text{s}$  olur.



Şekil 1.91: Serbest düşen 300 g kütleli patates

20 m yükseklikten 300 g kütleli patatesi Şekil 1.91'deki gibi serbest düşmeye bırakalım. Patatesi yere doğru çeken kuvvet, yer çekim kuvvetidir. Yer çekimi ivmesini yaklaşık olarak  $10 \text{ m/s}^2$  aldığımızda yer çekimi kuvveti  $F = m \cdot g = 0,3 \cdot 10 = 3 \text{ N}$ 'dir. Patatesin yere düşme süresi,  $h = 5 t^2$  bağıntısından,  $20 = 5 \cdot t^2$ ,  $t = 2 \text{ s}$  bulunur. Cisme verilen itme,  $I = F \cdot \Delta t = 3 \cdot 2 = 6 \text{ N} \cdot \text{s}$  olur.

İtme, cisme etki eden net kuvvet ile kuvvetin uygulanma süresinin çarpımına eşit olduğu için kuvvet-zaman grafiğinin altında kalan alan, itmeyi verir (Şekil 1.92).

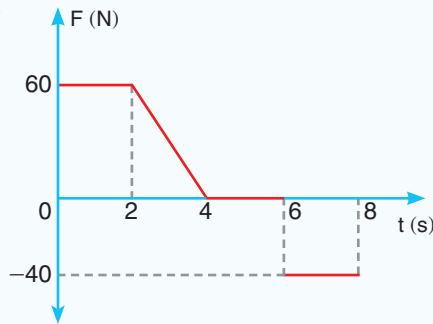


Şekil 1.92: Kuvvet-zaman grafiği



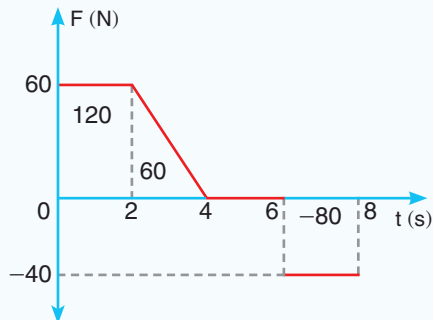
### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 31

Yatay düzlemde duran bir cisme uygulanan kuvvetin zamana bağlı grafiği şekildeki gibidir. 8 s sonra cisme verilen itmeyi bulunuz.



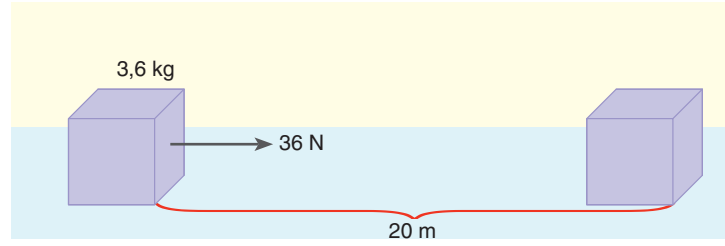
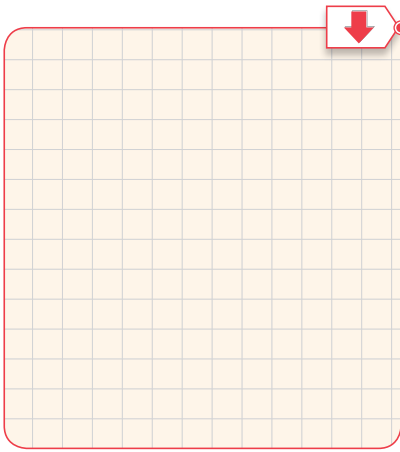
### ÇÖZÜM

Grafiğin altında kalan alan, itmeyi verir. 8 s sonundaki itme,  
 $I = 120 + 60 + (-80)$   
 $= 100 \text{ N} \cdot \text{s}$  olur.





## KENDİMİZİ DENEYELİM 27



Sürtünmenin ihmal edildiği düzlemde duran şekildeki 3,6 kg kütleli kutuya 20 m boyunca 36 N büyüklüğünde net kuvvet etki ediyor. Cisme verilen itme kaç  $N \cdot s$ 'dir?

Kütlesi  $m$ , hızı  $v$  olan bir topun kütlesi ile hızının çarpımına topun **çizgisel momentumu** denir. Çizgisel momentum  $\vec{P}$  ile gösterilir ve

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

ifadesi ile bulunur. Çizgisel momentum, vektörel bir büyüklüktür. Çizgisel momentumun birimi kilogram · metre / saniyedir (kgm/s).

Smaç için sıçrayan basketbolcu (Resim 1.40) bir çizgisel momentuma sahiptir. Basketbolcunun çizgisel momentumu, kütlesi ve hızının çarpımı ile bulunur. Toplam kütlesi 7200 kg olan Resim 1.41'deki kamyonun 50 km/h hızla hareket ederken sahip olduğu çizgisel momentumu bulalım. Kamyonun çizgisel momentumu, kütlesi ve hızının çarpımı ile bulunur.  $\vec{P} = m \cdot \vec{v} = 7200 \cdot 50 \cdot 1000/3600 = 1 \times 10^5$  kgm/s 'dir.



Resim 1.40: Smaç yapan basketbolcu



Resim 1.41: Kara yolunda seyahat eden kamyon

### 1.7.2. İtme ve Çizgisel Momentum Değişimi Arasındaki İlişki

Net kuvvetin etkisinde kalan cismin bir ivme kazandığını öğrendik. Cisme etki eden net kuvvet ile kazandığı ivme arasında, Newton'ın İkinci Kanunu  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  bağıntısı ile problemler çözdük. İvme, birim zamandaki hız değişimi olduğu için ivme yerine  $\Delta v/\Delta t$  ifadesini yazalım.  $\vec{F} = m \cdot \Delta \vec{v}/\Delta t$  buradan  $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$  ifadesini elde ederiz. Bu eşitliğin sol tarafı itmeyi, sağ tarafı da momentum değişimini verir.

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

bağıntısı elde edilir. Bu eşitliğe göre bir cisim net kuvvetin etkisinde  $\Delta t$  süre kalırsa cismin momentumu değişir.

5 m yükseklikten bırakılan 0,5 kg kütleli basketbol topunun yere çarptığı andaki hızını bulalım. Top serbest düşme hareketi yaptığı için ilk momentumu sıfırdır. Şekil 1.93'teki topa verilen itme,  $\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$  topun düşme süresi,  $h = 5t^2$  bağıntısından bulunur.  $5 = 5t^2$ ,  $t = 1$  s'dir. İtme,  $I = 0,5 \cdot 10 \cdot 1 = 5 \text{ N} \cdot \text{s}$  olur. İtme, cismin momentumundaki değişme olduğu için

$$I = \Delta P, 5 = m \cdot v_{\text{son}} - m \cdot v_{\text{ilk}},$$

$$5 = 0,5 \cdot v_{\text{son}} - 0, v_{\text{son}} = 10 \text{ m/s} \text{ bulunur.}$$



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 32

Ahmet 0,5 kg kütleli topu düşey olarak yere atıyor. Top yere 20 m/s hızla çarpıp yerden 10 m/s hızla yukarı doğru fırlıyor. Topun yer ile etkileşme süresi 0,05 s olduğuna göre yerin topa uyguladığı ortalama kuvveti bulunuz.

### ÇÖZÜM

Topun çizgisel momentumunun serbest cisim diyagramını çizelim.

Topun kütlesi ile hızının çarpımı momentumu verir. Top yere çarparken momentumu,  $P_{\text{ilk}} = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ kgm/s}$ ; yerden geri yansırken momentumu,

$$P_{\text{son}} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ kgm/s} \text{ bulunur.}$$

Momentum değişimi  $\Delta P = P_{\text{son}} - P_{\text{ilk}}$  bağıntısı ile bulunduğu için ilk momentum vektörünün yönü ters çevrilerek son momentum vektörü ile toplanır.

Momentum değişimi  $10 + 5 = 15 \text{ kg m/s}$  olur.

Momentum değişimi itmeye eşit olduğu için

$I = F \cdot \Delta t = \Delta P$ ,  $F \cdot 0,05 = 15$ , topa etki eden ortalama kuvvet,  $F = 15/0,05 = 300 \text{ N}$  bulunur.

$$P_{\text{son}} = 0,5 \cdot 10 = 5$$

$$P_{\text{ilk}} = 0,5 \cdot 20 = 10$$

$$P_{\text{ilk}} = 10$$

$$P_{\text{son}} = 5$$



Yer

Şekil 1.93: 5 metre yükseklikten bırakılan basketbol topu

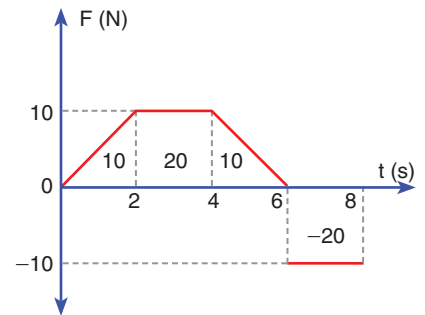


### Tartışalım



Kayığın içinde kürek çeken kürekçilerin hareket yönünün tersi yönünde uyguladığı itme, kayığın hızını neden artırır? Tartışınız.

Kütlesi 20 kg olan ve duran market arabasına zamanla Şekil 1.94'te görüldüğü gibi kuvvetlerin etki ettiğini düşünelim. Kuvvet-zaman grafiği ile zaman ekseninde kalan alan, itmeyi verir. Bu alanların toplamı 20 N.s'dir. İtme, momentum değişimine eşittir. Bu yüzden market arabasının momentum değişimi de 20 N.s'dir. Momentum değişiminden yararlanarak ilk hızı belli olan cisimlerin son hızını bulabiliriz. Market arabası başlangıçta



Şekil 1.94: Market arabasına etki eden kuvvetin zamana göre değişimi

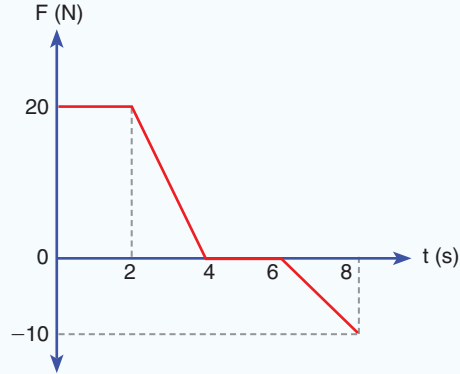
durduğu için 8. saniyedeki momentumu, momentum değişimine eşittir. Bu yüzden market arabasının 8. saniye sonundaki hızı,

$$20 = m \cdot v \text{ eşitliğinden } 20 = 20 \cdot v$$

$$v = 1 \text{ m/s bulunur.}$$



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 33

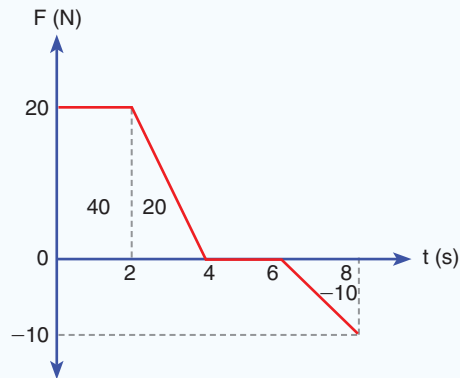


Nevzat kütlesi 4 kg olan kumandalı arabası ile oynamaktadır. Arabaya etki eden kuvvetin zamana göre değişimi şekildeki gibidir. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

- Arabaya etki eden toplam itme kaç N.s'dir?
- Arabanın momentum değişimi kaç kg.m/s'dir?
- Araba başlangıçta 4 m/s hıza sahipse 8. saniye sonundaki hızı kaç m/s'dir?

### ÇÖZÜM

a) Kuvvet-zaman grafiği ile zaman eksenini arasındaki alan itmeyi verir.



alanların toplamı 50 N.s'dir. İtme 50 N.s'dir.

b) Momentum değişimi de 50 kg m/s'dir.

c)  $I = \Delta P$  eşitliğinden,

$$50 = 4 \cdot v - 4 \cdot 4 \text{ elde edilir. Arabanın son hızı,}$$

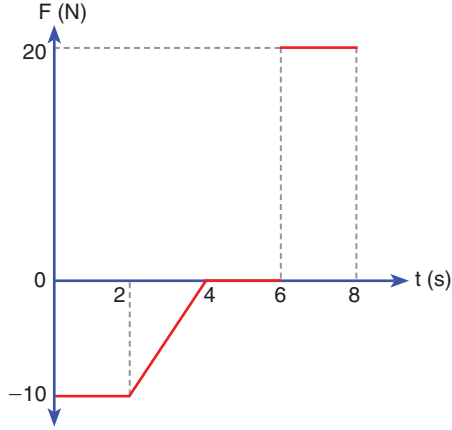
$$v = \frac{66}{4} \text{ eşitliğinden } v = 16,5 \text{ m/s bulunur.}$$



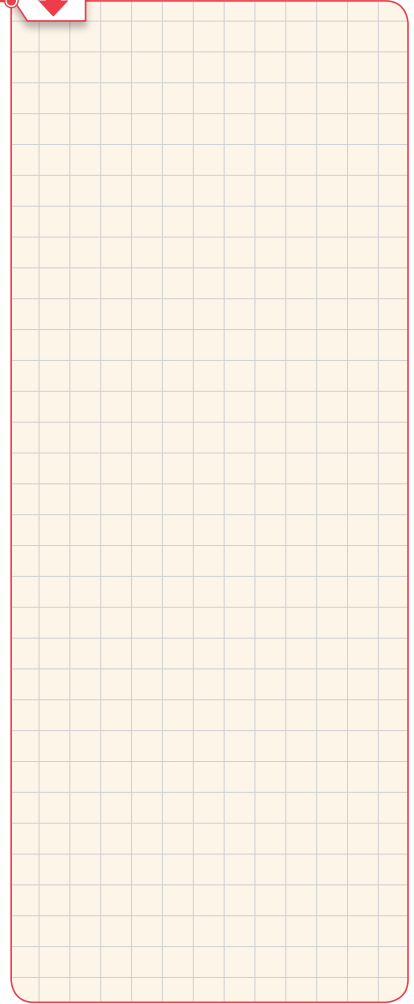


### KENDİMİZİ DENEYELİM 28

Cemre'nin yerde duran ve kütlesi 2 kg olan mermer parçasına uyguladığı kuvvetin zamanla değişimi şekildeki gibidir. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.



- Cemre'nin uyguladığı toplam itme kaç  $\text{N} \cdot \text{s}$ 'dir?
- Mermer parçasının momentum değişimi kaç  $\text{kg} \cdot \text{m/s}$ 'dir?
- Mermer parçasının 8 s sonunda hızı kaç  $\text{m/s}$ 'dir?



### 1.7.3. Çizgisel Momentum Korunumu

Duran bir bombanın patlamasında Resim 1.42'de görüldüğü gibi parçacıklar neden her yöne savrulur?

Yeryüzünden fırlatılan uzay mekiğinin, yer çekimini yenerek gökyüzüne doğru hareket edebilmesinin sebebi nedir? (Resim 1.43)



**Resim 1.42:** Bombanın patlama anı



**Resim 1.43:** Uzay mekiğinin yol alması



## Tartışalım



Amerikan futbolu oynayan resimdeki futbolculardan 8 numaralı futbolcunun 5 numaralı futbolcuya uyguladığı itmenin 5 numaralı futbolcunun momentumunu nasıl değiştirebileceğini tartışınız.

Bir bomba patladığında bombanın kopan her bir parçasına bir kuvvet etki eder. Uzay mekiğinin yakıtı yandığında aşağıya doğru büyük bir hızla yanan yakıt atılır. Bu sırada uzay mekiği yukarı doğru fırlar. Hem yakıtı hem de mekiğe kuvvet etki eder. Kapalı bir sistemde sistemin parçalarına etki eden kuvvete **iç kuvvet** denir. İç kuvvetlerin etkisinde kalan sistemlerin momentumu korunur. Sistemin olaydan önceki momentumu (patlama, roketin fırlaması vb.) olaydan sonraki momentumuna eşittir. Sistem dışarıdan bir kuvvetin etkisinde kalırsa bu kuvvete **dış kuvvet** denir. Futbolcunun topa vurması ve sürtünme kuvvetinin cisimleri yavaşlatıp durdurması, dış kuvvetlerin etkisine örnek olarak verilebilir. Dış kuvvetlerin etkisinde kalan sistemlerin momentumları değişir. Çünkü bu kuvvetler Newton'ın İkinci Kanunu olan  $F = m \cdot a$  bağıntısına göre hareket eden cisimlerin hızında değişiklik yapar.

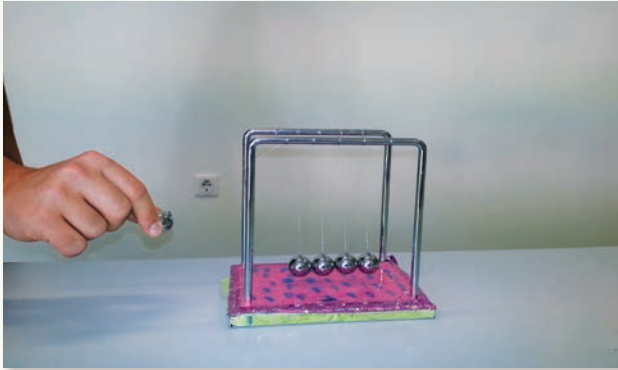
Momentumun korunumunu gözlemek için 6. Deney'i ve 7. Deney'i yapalım.



## 6. Deney

## Newton Beşiğinde Momentum Korunumu

## Nasıl Bir Yol İzleyelim?



## Araç Gereç

- Newton beşiği

► Newton beşiğinde bir bilyeyi yana çekerek serbest bırakınız. Duran bilyelerden ayrılan bilyeyi izleyiniz.

► Newton beşiğinde sırası ile iki bilyeyi, üç bilyeyi, dört bilyeyi yana çekerek serbest bırakınız. Duran bilyelerden yerinden ayrılanları izleyiniz.

## Sonuca Varalım

1. Yana çekilip bırakılan bilye sayısı ile duran bilyelerden harekete başlayan bilyelerin sayısı arasındaki ilişki nedir?

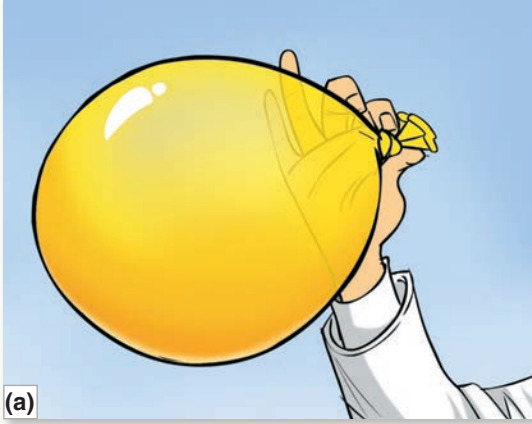
2. Hareketli bilyenin momentumu diğer bilyelere nasıl aktarıldı?



## 7. Deney

**Momentumun Korunumu**

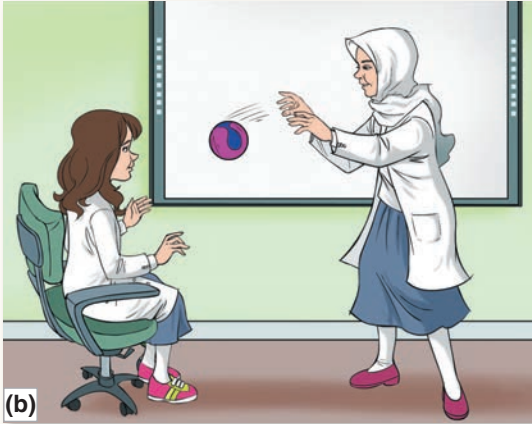
Nasıl Bir Yol İzleyelim?



(a)

**Araç Gereç**

- Ağırılık topu
- Kaykay
- Balon
- Çalışma sandalyesi



(b)



(c)

► Bir balonu şişirerek ağızını elinizle sıkıca kapatın. Balonu yere paralel gelecek şekilde Resim a'daki gibi tutunuz. Balonu serbest bırakarak hareketini gözlemleyiniz. Gözleminizi defterinize yazınız.

► Bir arkadaşınız çalışma sandalyesine otursun. Diğer arkadaşınız, Resim b'deki gibi ağırılık topunu sandalyeye oturan arkadaşınıza atsın. Arkadaşınızın topu tuttuktan sonra sandalye ile birlikte yaptığı hareketi defterinize yazınız.

► Bir arkadaşınız Resim c'deki gibi kaykayın üzerine çıksın. Kaykayın üzerindeki arkadaşınız kaykaydan öne doğru atlasın. Bu sırada kaykayın hareketini gözlemleyerek defterinize yazınız.

**Sonuca Varalım**

1. Balonu serbest bırakınca balon nasıl hareket etti?
2. Çalışma sandalyesine oturan arkadaşınızın topu tuttuktan sonra geriye doğru gitmesinin sebebi nedir?

3. Kaykayın üzerinde bulunan arkadaşınızın kütlesi daha büyük olsaydı kaykayın, arkadaşınızın atladığı andaki hızı nasıl değiştirdi?

Yaptığınız 6. Deney’de gözlediğiniz gibi bir bilyeyi yana çekip bıraktığınızda duran bilyelerden bir tane açıldı. İki bilyeyi yana çekip serbest bıraktığımızda ise duran bilyelerden iki tanesi açıldı.

7. Deney’de gözlemlediğiniz gibi şişirilmiş balonu serbest bıraktığımızda balonun içindeki hava dışarıya çıkarken momentumun korunumu ilkesinden dolayı balon, havanın hareket yönünün tersi yönde hareket eder. Uzay mekiği ve jet uçakları, yanan yakıtın tersi yönünde hareket eder.

Ağırlık topu, sandalyeye oturan arkadaşınızın eline değdiği an bir momentuma sahiptir. Sandalyede oturan arkadaşınızın ise momentumu sıfırdır. Momentum korunumu ilkesine göre ağırlık topunun momentumu, topu tuttuktan sonra arkadaşınızın momentumuna eşittir. Bu yüzden arkadaşınız geriye doğru hareket eder.

Kaykayın üzerinde duran arkadaşınızın momentumu sıfırdır. Arkadaşınız öne doğru atladığında momentumun korunumuna göre kaykay da geri doğru hareket eder. Kütlesi küçük olan kaykay, atlayan arkadaşımızdan daha büyük hızla hareket eder.



### Araştırılmalı

Uzay boşluğunda durmakta iken herhangi bir yöne doğru hareket etmek isteseydiniz ne yapardınız?

### Çarpışmalar

Günlük hayatımızda gözlediğimiz ya da televizyonda izlediğimiz trafik kazalarında, bilardo oyununda topların Resim 1.44’deki gibi çarpışması sırasında momentum korunur. Çarpışan cisimler birbirine iç kuvvet uyguladığı için momentum korunur. Çarpışan cisimler çarpışmadan önce ve sonra tek bir doğru üzerinde hareket ediyorsa çarpışma, **tek boyutlu çarpışma** olarak adlandırılır. Çarpışan cisimlerin çarpışmadan önceki hareket doğrultuları farklı boyutta ise çarpışma, **iki boyutta çarpışma** olarak adlandırılır. Bütün çarpışmalarda momentum korunur.

Çarpışmalar, enerji korunumu olarak iki grupta toplanır. Enerjinin korunduğu çarpışmalar **esnek çarpışma** olarak adlandırılırken enerji kaybının olduğu çarpışmalar ise **esnek olmayan çarpışmalar** olarak adlandırılır.

Esnek çarpışma sırasında mekanik enerji korunur. Çarpışma sırasında enerjinin bir kısmı geçici olarak esneklik potansiyel



Resim 1.44: Bilardo oyunu

enerjisine dönüşür. Daha sonra cisimler ayrılırken bu enerji tekrar kinetik enerjiye dönüşür. Esnek çarpışmalarda momentum ve enerji korunur. Esnek çarpışan ve kütleleri  $m_A$ ,  $m_B$  olan iki cismin çarpışmadan önceki hızları  $\vec{v}_{A1}$ ,  $\vec{v}_{B1}$  olsun, çarpışmadan sonraki hızları ise  $\vec{v}_{A2}$ ,  $\vec{v}_{B2}$  olsun. Çarpışma için

Momentumun korunumu ile

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} = m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2}$$

enerji korunumu

$$E_{KA1} + E_{KB1} = E_{KA2} + E_{KB2}$$

denklemleri yazılarak cisimlerin çarpışmadan sonraki hızları bulunur.

Kütleleri  $m_A = 100$  g ve  $m_B = 600$  g olan iki topun Şekil 1.95'teki gibi esnek çarpışmasını inceleyelim.

Esnek çarpışmada hem momentum hem de enerji korunur. Çarpışmadan önceki momentum, çarpışmadan sonraki momentuma eşit olduğu için momentum korunumu ifadesini şu şekilde yazabiliriz.

$$m_A \vec{v}_{A1} + m_B \vec{v}_{B1} = m_A \vec{v}_{A2} + m_B \vec{v}_{B2}$$

Bu ifadede, değerleri yerine yazarken hız vektörel büyüklük olduğu için yön belirtmemiz gerekir. Hareket yönü sağa doğru olan topu (+) yön, sola doğru olan topu ise (-) yönde hareket ediyor kabul edelim.

$$0,1 \cdot 6 - 0,6 \cdot 1 = 0,1 v_{A2} + 0,6 v_{B2}$$

Bu denklemde A topunun çarpışmadan sonraki hızı  $\vec{v}_{A2}$ , B topunun çarpışmadan sonraki hızı  $\vec{v}_{B2}$  dir. Esnek çarpışmalarda enerji de korunduğu için cisimlerin çarpışmadan önceki kinetik enerjilerinin toplamı, çarpışmadan sonraki kinetik enerjilerinin toplamına eşittir. Enerji korunum denklemi:

$$E_{KA1} + E_{KB1} = E_{KA2} + E_{KB2}$$

$$\frac{1}{2} m_A \cdot v_{A1}^2 + \frac{1}{2} m_B \cdot v_{B1}^2 = \frac{1}{2} m_A \cdot v_{A2}^2 + \frac{1}{2} m_B \cdot v_{B2}^2$$

$$\frac{1}{2} (m_A v_{A1}^2 + m_B v_{B1}^2) = \frac{1}{2} (m_A v_{A2}^2 + m_B v_{B2}^2)$$

$$m_A \cdot v_{A1}^2 - m_A \cdot v_{A2}^2 = m_B \cdot v_{B2}^2 - m_B \cdot v_{B1}^2$$

$$m_A \cdot (v_{A1}^2 - v_{A2}^2) = m_B \cdot (v_{B2}^2 - v_{B1}^2) \text{ elde edilir.}$$



Şekil 1.95: Esnek çarpışan iki top



### İzleyelim Öğrenelim

Çarpışmalarda momentumun korunumunu gözlemlemek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/collision-lab>





## Kavram Yanılgıları

- Momentum, vektörel bir büyüklük değildir.
- Momentumun korunumu sadece çarpışmalara uygulanır.
- Momentum, kuvvet ile aynıdır.
- Yer çekimi olmaksızın hareket eden kütleler momentumu ma sahip değildir.
- Hareket edemeyen cisimlerle çarpışmalarda momentum korunmaz.
- Momentum ile kinetik enerji aynıdır.

Kare fark açılımı yapılırsa,

$$m_A \cdot (v_{A1} + v_{A2}) \cdot (v_{A1} - v_{A2}) = m_B \cdot (v_{B2} + v_{B1}) \cdot (v_{B2} - v_{B1})$$

denklemden,

$$(v_{A1} + v_{A2}) \cdot (m_A \cdot v_{A1} - m_A \cdot v_{A2}) = (v_{B2} + v_{B1}) \cdot (m_B \cdot v_{B2} - m_B \cdot v_{B1})$$

momentum korunumundan,

$$\begin{aligned} m_A \cdot v_{A1} + m_B \cdot v_{B1} &= m_A \cdot v_{A2} + m_B \cdot v_{B2} \\ m_A \cdot v_{A1} - m_A \cdot v_{A2} &= m_B \cdot v_{B2} - m_B \cdot v_{B1} \end{aligned} \text{ elde edilir.}$$

Sonuç olarak

$$\vec{v}_{A1} + \vec{v}_{A2} = \vec{v}_{B1} + \vec{v}_{B2} \text{ elde edilir.}$$

Değerler yerine yazıldığında  $6 + \vec{v}_{A2} = -1 + \vec{v}_{B2}$  elde edilir.

İki denklem kullanılarak son hızlar bulunur.

$$0,1 \cdot 6 - 0,6 \cdot 1 = 0,1 \cdot \vec{v}_{A2} + 0,6 \cdot \vec{v}_{B2}$$

Denklemden  $0 = 0,1 \vec{v}_{A2} + 0,6 \vec{v}_{B2}$  elde edilir.

$$0,1 \vec{v}_{A2} = -0,6 \vec{v}_{B2} \quad ; \quad \vec{v}_{A2} = -6 \vec{v}_{B2}$$

Enerji korunum denkleminde değerler yerine yazıldığında,

$$0,1 \vec{v}_{A2} = -0,6 \vec{v}_{B2} \quad ; \quad \vec{v}_{A2} = -6 \vec{v}_{B2}$$

olur.

B topunun son hızı  $7 \cdot \vec{v}_{B2} = 7$  eşitliğinden + yönde 1 m/s bulunur. A topunun çarpışmadan sonraki hızı ise  $\vec{v}_{A2} = -6 \vec{v}_{B2}$  eşitliğinden -6 m/s bulunur.

### Esnek çarpışmalarda iki özel durum vardır:

1. Esnek çarpışan iki cismin kütleleri eşit ise cisimler, çarpıştıkları cisimlerin hızlarıyla hareket eder.
2. Cisimlerin başlangıçtaki momentum vektörlerinin toplamı sıfır ise cisimler çarpışmadan sonra geldikleri hız büyüklükleri ile geri döner.

Esnek olmayan çarpışmalarda ise çarpışmadan önceki kinetik enerji, çarpışmadan sonraki kinetik enerjiden daha büyüktür. Çarpışma sırasında kinetik enerjinin bir kısmı, ısı ve ses gibi diğer enerji türlerine dönüşür. Esnek olmayan çarpışmalarda sadece momentum korunur. Momentum denklemi, cisimler çarpıştıktan sonra birlikte hareket ettiği için

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}_{ort}$$

şeklinde yazılır.

Kütlesi 10 g olan bir merminin Şekil 1.96'daki gibi sürtünmesiz bir düzlemde duran 490 g kütleli kalın tahta bir bloka saplanmasını inceleyelim. Mermi 250 m/s hızla gelirken bir momentuma sahiptir. Tahta blok ise hareketsiz olduğu için momentumu sıfırdır. Mermi, tahta bloka saplanıp kaldığı için çarpışma esnek olmayan çarpışmadır. İki cisim çarpışmadan sonra birlikte hareket eder. Bu yüzden iki cisim için son hız değeri ortak hızdır. Momentumun korunumu denklemi,

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}_{\text{ort}}$$

olduğundan değerler yerine yazıldığında

$$0,01 \cdot 250 + 0 = (0,01 + 0,49) v_{\text{ort}} = 0,5 v_{\text{ort}}$$

$v_{\text{ort}} = 5 \text{ m/s}$  bulunur.

İki boyutta Şekil 1.97'deki gibi çarpışan topların çarpışmasını analiz edelim.

Çarpışmadan sonra toplar birlikte hareket ettiği için çarpışma esnek olmayan çarpışmadır. Bu yüzden sadece momentum korunur. Momentum vektörel büyüklük olduğu için çarpışmadan önceki momentum vektörlerinin toplamının, çarpışmadan sonraki momentum vektörüne eşit olması gerekir.

Çarpışmadan önce topların momentumlarının serbest cisim diyagramı Şekil 1.98'deki gibidir. Momentum vektörlerinin toplamı  $6^2 + 8^2 = P^2$  eşitliğinden  $P = 10 \text{ kg m/s}$  bulunur. Ortak hızı bulmak için

$$\vec{P} = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}_{\text{ort}}$$

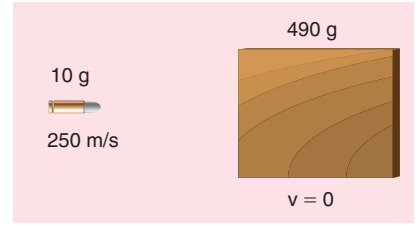
$10 = 5 \cdot v_{\text{ort}}$  eşitliği kullanılır. Bu eşitlikten ortak hız

$v_{\text{ort}} = 2 \text{ m/s}$  bulunur.

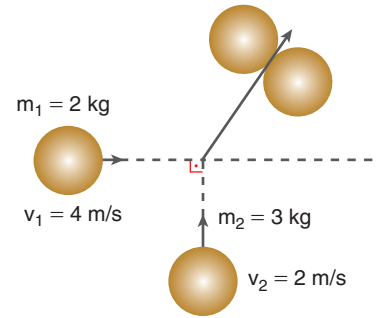
Sürtünmesiz yatay bir düzlemde Şekil 1.99'daki gibi patlayarak iki parçaya ayrılan cismin patlamadan önceki momentumu  $\vec{P}$ , patlamadan sonraki parçaların momentumu  $\vec{P}_1$  ve  $\vec{P}_2$ 'nin vektörel toplamına eşittir.

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

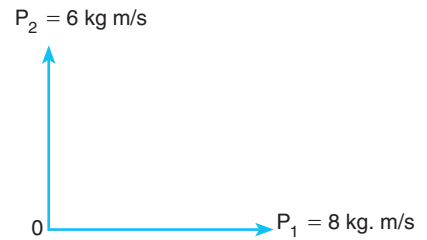
Duran 6 kg kütleli cisim, sürtünmesi önemsiz yatay düzlemde iç patlama sonucu üç parçaya ayrılınsın. Parçalardan iki tanesi



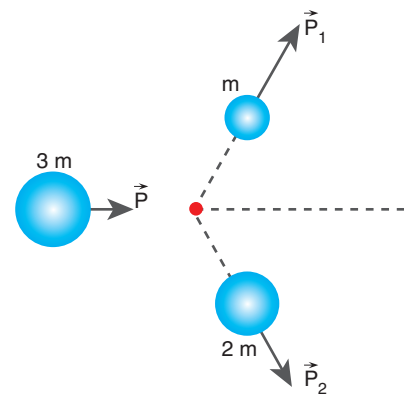
Şekil 1.96: Tahta bloka merminin saplanması



Şekil 1.97: İki boyutta çarpışan toplar

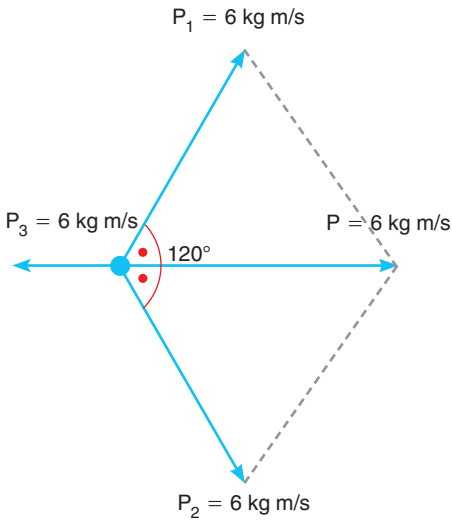


Şekil 1.98: Momentum vektörlerinin serbest cisim diyagramı

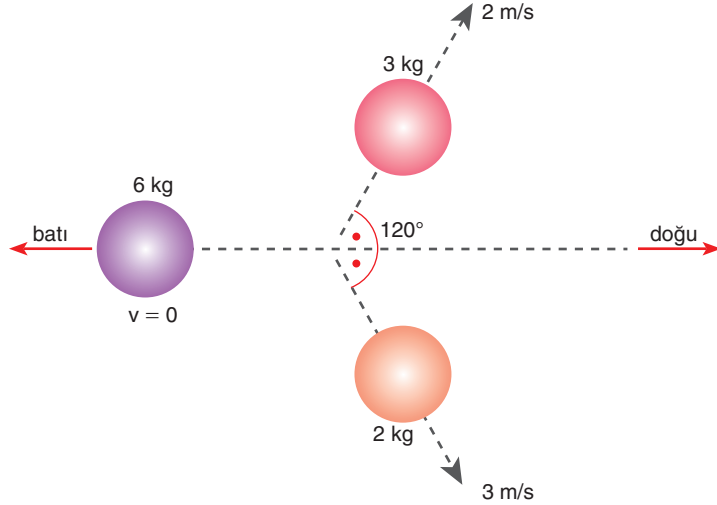


Şekil 1.99: 3 m kütleli cismin patlayarak parçalara ayrılması

Şekil 1.100'deki gibi fırladığına göre kalan parçanın hızını ve yönünü bulalım.



Şekil 1.101: Momentum vektörlerinin vektör diyagramı



Şekil 1.100: Duran 6 kg kütleli cismin patlayarak parçalara ayrılması

6 kg kütleli cisim, patlama başlamadan önce durduğu için momentumu sıfırdır. Patlamadan sonra üç parçanın momentumlarının vektörel toplamı sıfır olur.

Hızları verilen kütlelerin momentum vektörleri arasındaki açı 120° olduğu için bileşke momentumun büyüklüğü Şekil 1.101'deki gibi 6'dır. Üçüncü parçanın momentum vektörü, bileşke vektörün tam tersi yönünde ve aynı büyüklükte olmalıdır. Çünkü bileşke momentum sıfır olmalıdır. Üçüncü parçanın hızı  $\vec{P} = m \cdot \vec{v}$  bağıntısından batı yönünde  $6 = 1 \cdot v$ ,  $v = 6$  m/s bulunur.

### Geri Tepme Hızı

Avcılar silahı ateşlerken neden sıkaca tutarlar?

Avcılar Resim 1.45'teki gibi silahı ateşlemeden önce omuzlarına dayayarak sıkaca tutarlar. Bu olayın sebebi momentumun korunumudur. Silah ateşlendiğinde mermi büyük bir hızla çıkar; bu sırada silah, momentumun korunumundan geriye gider. Avcı, silahı omzuna dayayarak geriye giden kütleliyi artırır. Geriye giden kütle arttığı için hız azalır. Avcı, küçük bir hızla geriye gider.

### 1.7.4. Çizgisel Momentum Korunumu ile İlgili Hesaplamalar

Bir hentbol maçında oyuncunun Resim 1.46'daki gibi kaleye şut atma anını inceleyelim. Hentbol takımı oyuncuları, kazanmak



Resim 1.45: Avcının silahı sıkaca tutması



Resim 1.46: Hentbolcunun kaleye şut atması



için sorumluluğu paylaşırlar. Takım hâlinde savunma yaparak iş birliği yaparlar. Hentbolcu, kolunu geriden öne doğru getirerek topa bir kuvvet uygular. Hentbolcu topu bırakana kadar kuvvet uygular. Hentbolcu bırakana kadar topun aldığı yol  $\Delta x$ , topu bırakma süresi ise  $\Delta t$  olsun. İtme-momentum teoremine göre hentbolcunun uyguladığı itme, topun momentumundaki değişmeye eşittir.

$\vec{I} = \Delta \vec{P} = \vec{F} \cdot \Delta t$ , ilk momentum sıfır olduğu için  $\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \vec{v}$  eşitliği elde edilir.

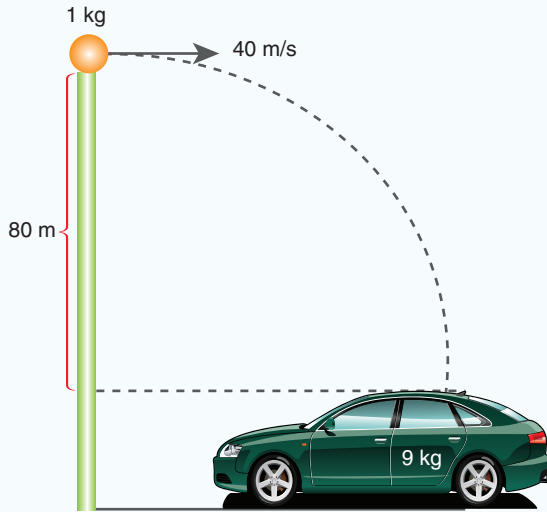
Kinetik enerji teoremine göre net kuvvetin yaptığı iş, cismin kinetik enerjisindeki değişmeye eşittir.  $\vec{F} \cdot \Delta \vec{x} = \Delta E_k$

Topun ilk hızı sıfır olduğu için  $\vec{F} \cdot \Delta \vec{x} = m \cdot v^2 / 2$  eşitliği elde edilir. Sonuç olarak topun momentumundaki değişme,  $\vec{F} \cdot \Delta t$ ; topun kinetik enerjisindeki değişme,  $\vec{F} \cdot \Delta \vec{x}$  bağıntısı ile hesaplanır.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 34

1.



Sürtünmenin ihmal edildiği ortamda durmakta olan oyuncak arabanın yukarisından şekildeki gibi 1 kg kütleli cam macunu atılıyor. Macun arabanın üzerine çarpıp yapışıyor.

- Arabanın çarpışmadan sonraki hızı kaç m/s'dir?
- Çarpışma sırasında ısı ve ses enerjisine dönüşen enerji kaç J'dür? ( $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  alınız.)



### ÇÖZÜM

- Macun, arabaya çarpmadan önce hem düşeyde hem de yatayda hıza sahiptir. Macunun yatay hızı sabittir. Macunun düşeydeki hızı için önce düşme süresini bulalım.

$h = 5 t^2$  bağıntısından  $80 = 5 t^2$ ,  $16 = t^2$  düşme süresi,  $t = 4$  s bulunur.

Düşeydeki hız 4 s sonra 40 m/s olur. Çarpışma sırasında yataydaki momentum korunur.

Çarpışmadan önce yataydaki momentum,

$P_{\text{macun}} + P_{\text{araba}} = 1 \cdot 40 + 0 = 40 \text{ kg m/s}$ 'dir. Çarpışmadan sonraki momentumun büyüklüğü de 40 kgm/s olduğundan  $40 = (m_{\text{macun}} + m_{\text{araba}}) \cdot v_{\text{ort}}$   $40 = 10 \cdot v_{\text{ort}}$ ;  $v_{\text{ort}} = 4$  m/s bulunur.

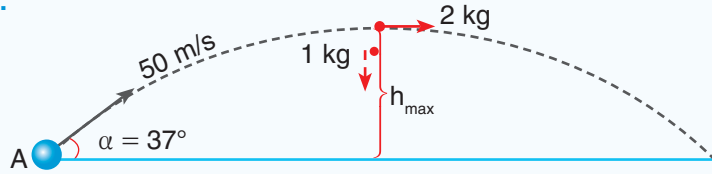
**b) Çarpışmada ısı ve ses enerjisine dönüşen enerji,**

$m_{\text{macun}} \cdot g \cdot h + m_{\text{macun}} \cdot v_{\text{macun}}^2 / 2 = w_{\text{ısı}} + m_{\text{araba}} \cdot v_{\text{ort}}^2 / 2$  eşitliğinden bulunur.

$1 \cdot 10 \cdot 80 + 1 \cdot 1600 / 2 = w_{\text{ısı}} + 10 \cdot 16 / 2$ ,

$w_{\text{ısı}} = 800 + 800 - 80 = 1520 \text{ J}$  bulunur.

2.



3 kg kütleli bir A cismi şekildeki gibi 50 m/s hızla eğik atılıyor. Cisim, çıkabileceği maksimum yükseklikte bir iç patlamaya uğruyor. Cismin 1 kg'lık parçası serbest düştüğüne göre 2 kg'lık parça, yerden atıldığı noktadan kaç metre uzağa düşer? ( $\sin 37^\circ = 0,6$   $\cos 37^\circ = 0,8$   $g \cong 10 \text{ N/kg}$ )

### ÇÖZÜM

Atılan cismin hızının yatay bileşeni  $50 \cdot \cos 37^\circ = 50 \cdot 0,8$  40 m/s bulunur. Cismin düşey hız bileşeni  $50 \cdot \sin 37^\circ$   $50 \cdot 0,6 = 30$  m/s olur. Cismin düşey hızı 30 m/s olduğuna göre cisim, 3 s maksimum yüksekliğe çıkar.

$h = 5t^2$  bağıntısından,  $h = 5 \cdot 3^2 = 5 \cdot 9 = 45$  m bulunur. Cisim 45 m yükseklikte patlar.

Patlamadan önce cismin momentumu,  $P = 3 \cdot 40$  eşitliğinden 120 kg m/s bulunur. 1 kg'lık parça serbest düştüğü için momentumu sıfırdır. Momentumun korunumundan,  $120 = 2 \cdot v_2$ ,  $v_2 = 60$  m/s bulunur. 2 kg'lık parça yine 3 s'de düşer. 2 kg'lık parçanın yatayda aldığı toplam yol,  $x_2 = 40 \cdot 3 + 60 \cdot 3 = 300$  m olarak bulunur.

3. Kütlesi 10 ton olan vagon, bir doğru boyunca 20 m/s süratle giderken aynı kütleye sahip ve duran başka bir vagona çarpıp onunla kenetleniyor. Vagonların ortak hızı kaç m/s olur?

### ÇÖZÜM

$$10 \text{ ton} = 10000 \text{ kg}$$

Vagonlar esnek olmayan çarpışma yapar. Başlangıçtaki çizgisel momentum,

$$P = m \cdot v = 10000 \cdot 20 = 200000 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$

Momentum korunumundan,

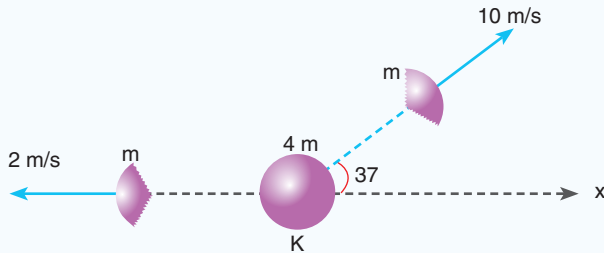
$$\vec{P}_{\text{ilk}} = \vec{P}_{\text{son}}$$

$$200000 = (m_1 + m_2) \cdot v_{\text{ort}}$$

$$200000 = (10000 + 10000) \cdot v_{\text{ort}}$$

$$v_{\text{ort}} = \frac{200000}{20000} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \text{ bulunur.}$$

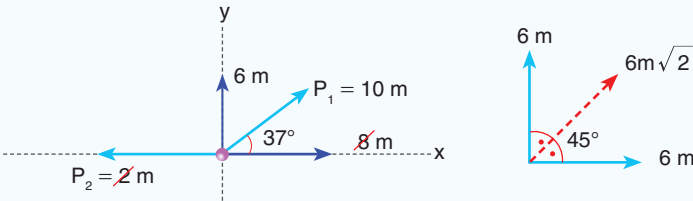
4.



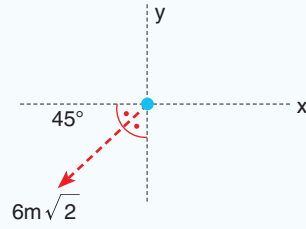
Kütlesi 4 m olan bir K küresi durmakta iken birden iç patlama ile üç parçaya ayrılıyor. Parçalardan ikisi şekilde gösterildiği yönde hareket ettiğine göre 3. parçanın hareket yönünü ve hızının büyüklüğü bulunuz.

### ÇÖZÜM

Başlangıçta çizgisel momentum sıfır olduğu için son durumda da sıfır olur. Şekilde verilen parçacıkların momentum vektörlerinin bileşkesinin büyüklüğü aşağıdaki gibidir.



3. parça, iki parçanın çizgisel momentumlarının bileşkesinin tersi yönünde ve eşit büyüklükte çizgisel momentuma sahip olur.

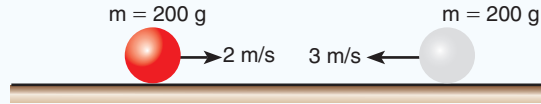


$$P = m \cdot v \text{ eşitliğinden}$$

$$6m\sqrt{2} = 2m \cdot v$$

$$v = 3\sqrt{2} \text{ m/s bulunur.}$$

5.



Bir bilardo maçı sırasında kütleleri eşit ve 200 g olan kırmızı ve beyaz top, şekilde verilen süratlerle birbirlerine doğru gelmektedir. Toplar sürtünmenin ihmal edildiği ortamda merkezî ve esnek çarpıştığına göre çarpışmadan sonra topların hızları kaç m/s'dir?

### ÇÖZÜM

Çarpışma esnek olduğu için hem çizgisel momentum hem de enerji korunur.

Çizgisel momentum korunumundan,

$$0,2 \cdot 2 - 0,2 \cdot 3 = 0,2 \cdot v'_1 + 0,2 \cdot v'_2$$

$$-0,2 = 0,2 v'_1 + 0,2 v'_2$$

$$v'_1 + v'_2 = -1 \text{ bulunur.}$$

Enerji korunumundan,

$$2 + v'_1 = -3 + v'_2$$

bu denklemde  $v'_1 = -1 - v'_2$  nü yerine yazalım

$$2 + (-1 - v'_2) = -3 + v'_2$$

$$4 = 2 v'_2 \quad v'_2 = 2 \text{ m/s bulunur.}$$

$$v'_1 + v'_2 = -1$$

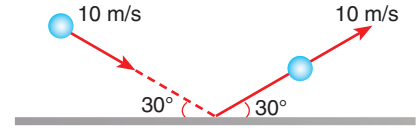
$$v'_1 + v'_2 = -1 \quad v'_1 = -3 \text{ m/s bulunur.}$$



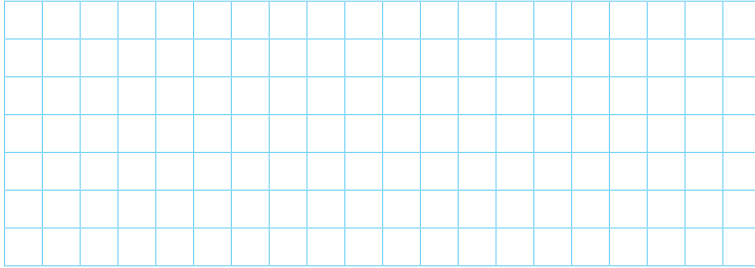
## BÖLÜM SONU DEĞERLENDİRME SORULARI 7

(Bu bölümde verilen sorulardaki açı değerleri için  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 3/5$   $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$   
 $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2$   $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$   $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$   $g \cong 10 \text{ m/s}^2$ )

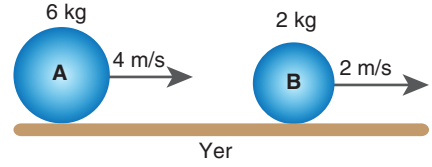
1. Kütleli 0,5 kg olan bir top şekildeki gibi atılıyor. Topun yerle etkileşim süresi 0,05 s olduğuna göre yerin topa uyguladığı ortalama kuvvet kaç N'dir?



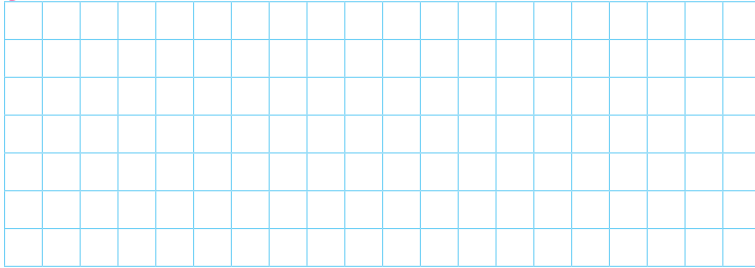
**Çözüm:**



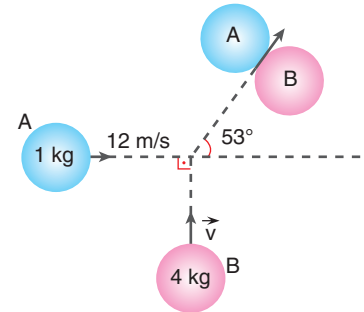
2. Şekildeki cisimler merkezî ve tam esnek çarpışma yaptıklarına göre çarpışmadan sonraki hızları kaç m/s'dir?



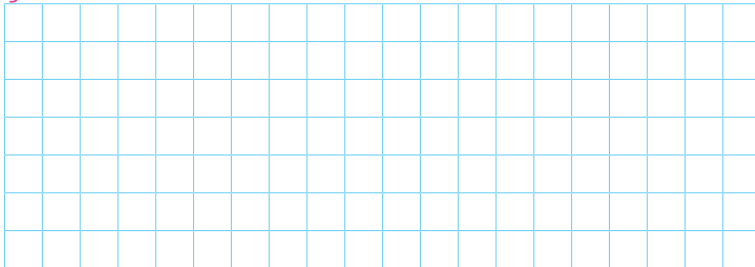
**Çözüm:**



3. Sürtünmenin ihmal edildiği yatay bir düzlemde şekildeki gibi atılan toplar, merkezî ve esnek olmayan çarpışma yaptıklarına göre ortak kütleli hız kaç m/s'dir?



**Çözüm:**











## 1.8. TORK

### 1.8.1. Kuvvetin Etkisi ile Oluşan Tork

Kapı kollarının Resim 1.47'deki gibi kapının döndüğü menteşelerden uzak bir noktaya takıldığını biliyorsunuz. Peki, bu olayın sebebi nedir?

Kapıyı açmak için bir kuvvet uygularız. Bu kuvvet, kapının dönmesine sebep olur. Uyguladığımız kuvvetin büyüklüğünün yanında kuvveti uyguladığımız noktanın da kapının dönmeye etkisi vardır. Kapıya uyguladığımız kuvveti menteşelere daha yakın bir yere uygularsak kapıyı döndürmekte daha çok zorlanırız. Bu da bize kapı kollarının neden menteşelerden uzak bir noktaya yerleştirildiğini açıklamaktadır. Kuvvetin döndürme etkisine **tork** (moment) denir.

Tork kavramı dönme hareketinin olduğu birçok durumda kullanılmaktadır. Örnek olarak araba tekerleklerinin dönmesi, İngiliz anahtarının vidayı döndürmesi verilebilir.

Tork, vektörel bir büyüklüktür.  $\vec{\tau}$  sembolü ile gösterilir. Birimi  $N \cdot m$ 'dir. Yönü sağ el kuralı ile bulunur. Su şişesinin kapağını çevirdiğimizde, çevirme yönümüz kuvvetin yönünü gösterdiğinde, kapağın hareket yönü torkun yönünü gösterir (Resim 1.48).

### 1.8.2. Torkun Bağlı Olduğu Değişkenler

Torkun bağlı olduğu değişkenleri analiz etmek için 8. Deney'i yapalım.



**Resim 1.47:** Kapı kolları menteşelerden en uzağa takılır.



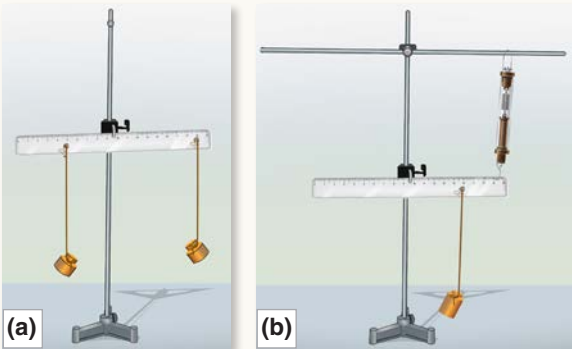
**Resim 1.48:** Su şişesi



## 8. Deney

### Torkun Bağlı Olduğu Değişkenler

Nasıl Bir Yol İzleyelim?



- ▶ 30 cm'lik cetvelle tam ortasından bir delik açınız. Cetvelin sağ ve soluna 3 cm ara ile delikler açınız. Cetveli ortasından asarak dengeye getiririz.

### Araç Gereç

- 1 adet dinamometre
- 500, 20 ve 50 gramlık kütle
- Cetvel
- 2 adet destek çubuğu
- 2 adet bağlantı kısıncı
- 1 adet üçayak

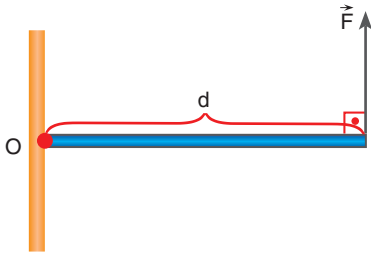
► 50 g'lık kütleyi denge noktasından sola doğru 2. bölmeye, 20 g kütleli cismi ise sağ tarafta 5. bölmeye getirerek aynı anda cetvele asarak serbest bırakınız (Resim a).

► 500 g kütleli cismi sağ tarafta ikinci bölmeye astıktan sonra dinamometreyi Resim b'deki gibi 5. bölmeye bağlayınız. Dinamometrenin gösterdiği değeri defterinize kaydediniz.

► 500 g kütleli cismi sağ tarafa 4. bölmeye getirerek dinamometrenin gösterdiği değeri defterinize yazınız.

### Sonuca Varalım

500 g kütleli cisim, dönme ekseninden uzaklaştıkça dinamometrenin gösterdiği değer nasıl değişti?



Şekil 1.102: Kuvvetin döndürme etkisi

8. Deney'de gözlediğiniz gibi 500 g kütleli cisim dönme ekseninden uzaklaştıkça dinamometrenin gösterdiği değer büyüdü. Kuvvetin büyüklüğü arttıkça aynı noktada oluşturduğu döndürme etkisi daha fazla oldu. Dönme ekseninin sağındaki birinci bölmede bulunan 500 g kütleli cismin oluşturduğu tork, sol taraftaki 2. bölmede bulunan 250 g kütleli cismin oluşturduğu torka eşit oldu.

Uzunluğu  $d$  olan çubuğu sayfa düzleminde bir ucundan yere, O noktasından çivileyelim. Çubuk, çivi ekseninde rahatlıkla dönebilsin. Çubuğun diğer ucundan Şekil 1.102'de gösterildiği gibi bir  $F$  kuvvetini çubuğa dik olarak uygulayalım. Çubuk, kuvvetin etkisi ile dönmeye başlar. Uygulanan kuvvetin döndürme etkisi **tork** (moment) kavramı ile ifade edilir. Tork, uygulanan kuvvete ve dönme noktasına olan dik uzaklığa bağlıdır.

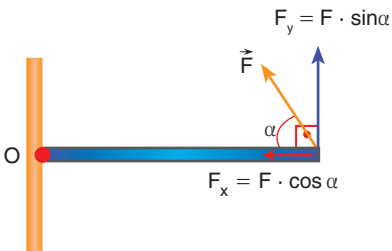
$$\vec{\tau} = \vec{F} \times \vec{d}$$

Uygulanan kuvvet çubuğa Şekil 1.103'teki gibi dik değilse önce kuvvetin bileşenleri bulunur.  $\vec{F}_x$  bileşeninin torku sıfırdır. Bunun sebebi, kuvvetin dönme eksenine uygulanması durumunda cismin dönmemesidir. Buna en iyi örnek kapıyı menteşelerden döndürmeye çalışmaktır. Kuvveti menteşelere uygularsak kapı dönmeyecektir.  $\vec{F}_y$  bileşeni uzaklık ile çarpılarak tork bulunur. Torkun büyüklüğü

$$\tau = F_y \cdot d$$

$$\tau = F \cdot \sin \alpha \cdot d$$

matematiksel modelleriyle bulunur.



Şekil 1.103: Çubuğa belirli bir açı ile uygulanan kuvvet

Kuvvetin meydana getirdiği torku bulmanın bir diğer yolu da kuvvetin doğrultusunu uzatarak dik uzaklığı bulmaktır.

Kuvvetin doğrultusunu Şekil 1.104'teki gibi uzatalım. Uzattıran doğrultunun dönme noktasının dik uzaklığı  $L$  olsun. Kuvvetin döndürme momenti  $\tau = F \cdot L$  bağıntısı ile hesaplanır.

Kuvvet, çubuğu dönme noktası etrafında çevirirken dönme yönünün saat yönünde mi yoksa saat yönünün tersi yönünde mi olduğunu belirtmemiz gerekir. Bu yüzden iki yönü ayırt etmek için saat yönünün tersi yönü (+) , saat yönünü ise (-) olarak kabul edeceğiz.

### Bileşke Tork

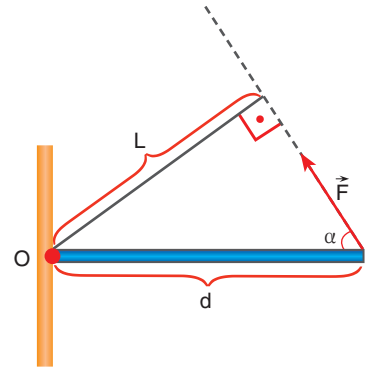
Birden çok kuvvetin bir nokta tarafındaki torklarının toplamına bileşke **tork** denir. Bileşke tork bulunurken önce dönme noktası belirlenir. Şekil 1.105.a'da görüldüğü gibi dönme noktası  $O$  noktasıdır. Daha sonra kuvvetlerin bu noktaya göre dönme yönleri belirlenir. Kuvvetlerin torkları ayrı ayrı hesaplanır. Bileşke torkun yönü, torku büyük olan cismin yönündedir. Bileşke tork, sıfır ise toplam tork sıfırdır. Tork sıfır ise cisim dönmüyor demektir. Sayfa düzleminde bulunan kuvvetlerin toplam torkunu hesaplayalım.

$2F$  kuvvetinin döndürme etkisi: (+) yönde,  $\tau_1 = 2F \cdot 2d = 4F \cdot d$  bulunur.

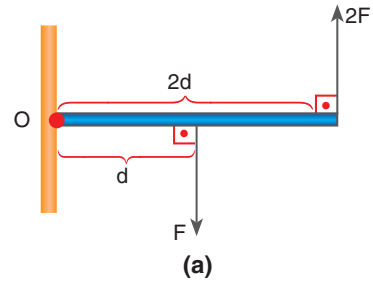
$\vec{F}$  kuvvetinin döndürme etkisi: (-) yönde,  $\tau_2 = F \cdot d$  bulunur.

Bileşke döndürme (+) yönde  $3F \cdot d$  olur. Çubuk, saat yönünün tersi yönünde döner.

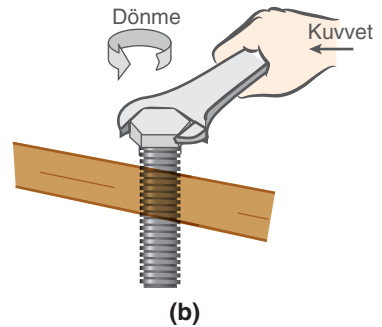
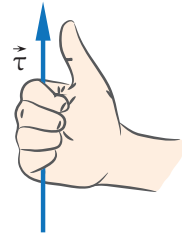
Torkun yönü ise sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elin dört parmağı, bileşke döndürme etkisi yönünde tutulursa başparmak torkun yönünü gösterir. Şekil 1.105.b'deki gibi bir anahtarla civatayı döndürelim. Civatanın dönme yönünde sağ elin dört parmağını tutarsak başparmak torkun yönünü gösterir. Dönen civatalar tork yönünde hareket eder. Aynı prensip vanalar için de geçerlidir. Vanalar döndürüldüğünde tork yönünde hareket eder.



Şekil 1.104: Kuvvetin doğrultusunun uzatılması



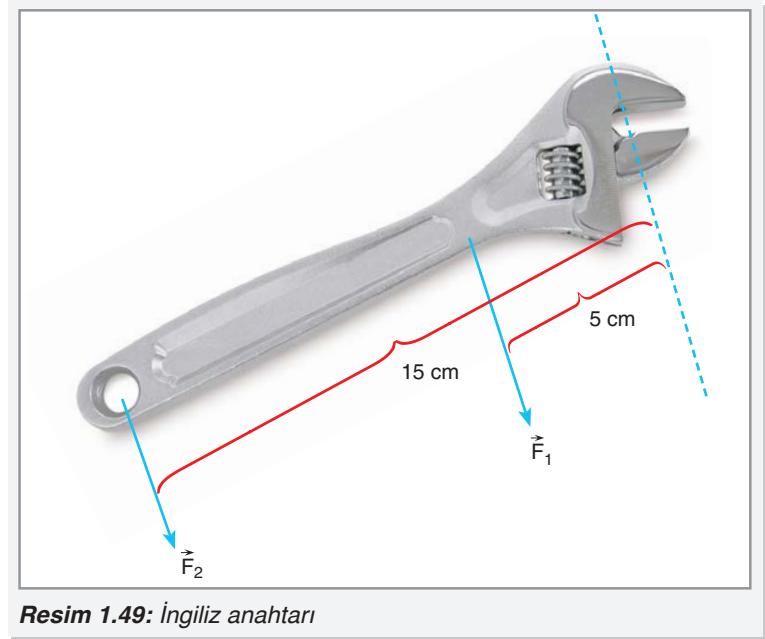
(a)



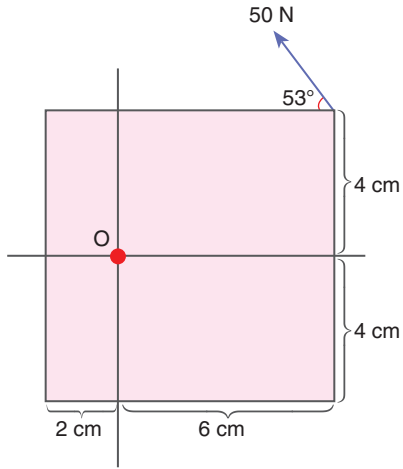
(b)

Şekil 1.105: a) İki kuvvetin bir çubuğu döndürmesi b) Sağ el ile torkun yönünün gösterimi

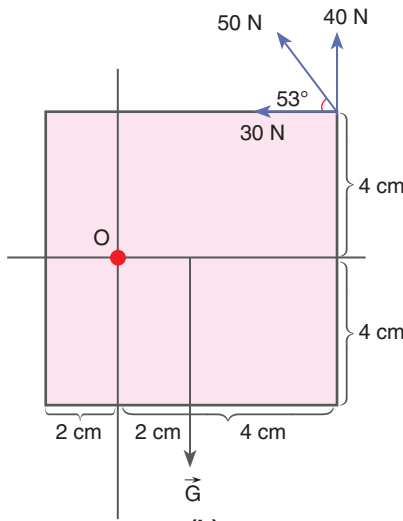
Tork kavramı ile ilgili problem durumları ortaya koyarak bunların çözüm yollarını arayalım.



Resim 1.49: İngiliz anahtarı



(a)



(b)

Şekil 1.106: a) O noktasından bir mile bağlı levha b) Levha üzerindeki kuvvetin bileşenlerinin gösterimi

İngiliz anahtarı ile vida çeviren biri, İngiliz anahtarına Resim 1.49'da gösterildiği gibi iki ayrı noktadan kuvvet uygulasın. Uygulanan kuvvetlerin torklarının eşit olması için kuvvetlerin oranını bulalım.

İki kuvvetin torklarının eşit olması için  $F_1 \cdot 5 = F_2 \cdot 15$  olması gerekir. Buradan  $F_1 / F_2$  oranı 3 bulunur. Kuvvet kolu 3 kat daha uzakta olursa aynı tork için kuvvetin üçte birini uygulamak yeterlidir.

Düşey düzlemde O noktasından bir mile bağlı homojen bir metal levha düşünelim. Sürtünmelerin önemsiz olduğu ortamda Şekil 1.106.a'daki gibi 50 N büyüklüğünde kuvvet uygulayarak levhanın dönmelerini engellediğimize göre levhanın ağırlığını bulalım.

Levha dönmediğine göre ağırlığın ve kuvvetin torklarının birbirine eşit olması gerekir. Kuvvetin dönme noktasına dik uzaklığını bulmak yerine kuvvetin bileşenlerini ve bileşenlerin dik uzaklığını bulmak daha kolaydır. Kuvvetin bileşenleri, levhaya etki eden kuvvetin bileşenleri Şekil 1.106.b'deki gibi düşeyde  $50 \cdot \sin 53^\circ = 50 \cdot 0,8 = 40$  N, yatayda ise

$$50 \cdot \cos 53^\circ = 50 \cdot 0,6 = 30$$
 N bulunur.

Kuvvetin bileşenleri, levhayı O noktasına göre saat yönünün tersi yönde çevirirken levhanın ağırlığı, saat yönünde döndürmeye çalışır. Kuvvetlerin döndürmelerini eşitlediğimizde,

$G \cdot 2 = 40 \cdot 6 + 30 \cdot 4$  eşitliğinden  $2G = 240 + 120 = 360$ ,  
 $G = 180$  N bulunur.

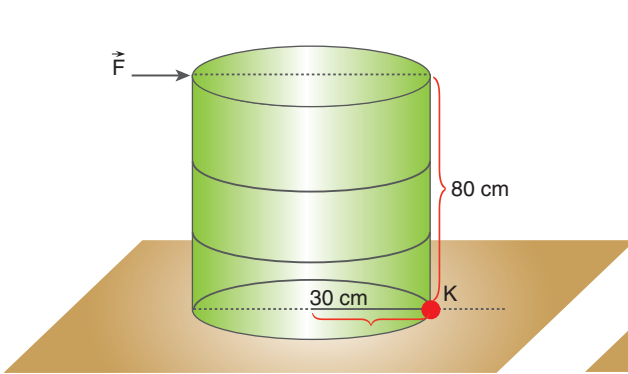
Taban yarıçapı 30 cm, yüksekliği 80 cm olan homojen ve içi dolu varilin ağırlığı 200 N olsun. Varili devirmek isteyen bir adam Şekil 1.107'deki gibi yere paralel  $F$  kuvveti uygulasin.  $F$  kuvvetinin büyüklüğünü bulalım.

Varil sağ tarafta en alt noktadan devrilir (  $K$  noktasından). Bu noktaya göre kuvvetlerin döndürmelerini eşitleyelim.

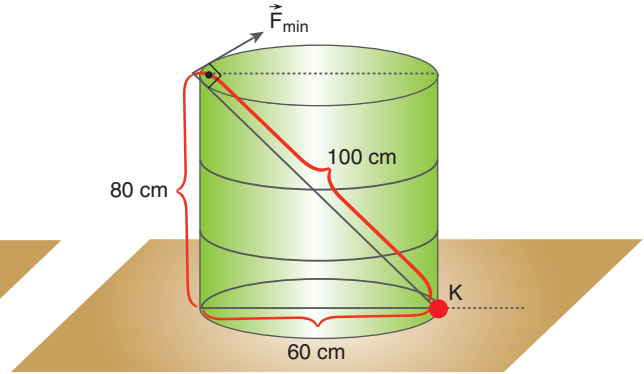
$F \cdot 80 = 200 \cdot 30$  eşitliğinden  $F$  kuvveti 75 N bulunur.

Aynı varili daha küçük kuvvetle de devirebiliriz. Bu kuvvet, Şekil 1.108'de görüldüğü gibi dönme noktasına en uzakta ve dik olmalıdır. Kuvvetin dönme noktasına uzaklığı,  $80^2 + 60^2 = x^2$  eşitliğinden  $x = 100$  cm bulunur. Dönme noktasına göre kuvvetlerin döndürmelerini eşitlediğimizde,

$F_{\min} \cdot 100 = 200 \cdot 30$  eşitliğinden, minimum kuvvet 60 N bulunur.



Şekil 1.107: Yerde duran varil



Şekil 1.108: Varili deviren minimum kuvvet



### Proje Hazırlayalım

Tork ile ilgili günlük hayatta karşılaştığınız problem durumlarını belirleyiniz. Bunlardan birini seçerek çözüm yolları üretiniz. Ürettiğiniz çözüm yollarını sınıfta arkadaşlarınıza sununuz.

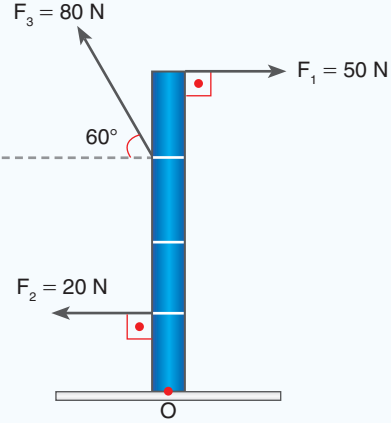
## 1.8.3. Tork ile İlgili Hesaplamalar

Tork ile ilgili hesaplamalar yaparak konuyu daha iyi kavrayalım.



## ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 35

1.



Boyu 4 m olan bir çubuk, şekildeki kuvvetlerin etkisinde kalıyor. Çubuk O noktası etrafında dönebilmektedir. Çubuğa etki eden bileşke tork kaç N.m'dir? (Çubuk eşit bölmelidir  $\cos 60^\circ = 1/2$ )

## ÇÖZÜM

O noktasına göre farkları yazalım.

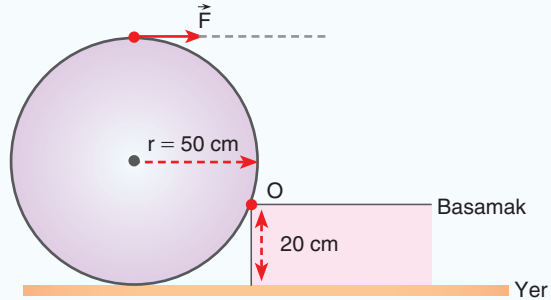
$$\tau_1 = 50 \cdot 4 = 200 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau_2 = 20 \cdot 1 = 20 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau_3 = 80 \cdot \cos 60^\circ \cdot 3 = 40 \cdot 3 = 120 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Bileşke tork } \tau = 200 - (120 + 20) = 60 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ bulunur.}$$

2. Yarıçapı 50 cm olan kalınlığı önemsiz daire şeklindeki levha, basamaktan çıkarılmak isteniyor. Ağırlığı G olan levhayı çıkarmak için uygulanması gereken F kuvveti kaç G'dir? Levhayı basamaktan çıkaracak en küçük kuvvet kaç G'dir?



### ÇÖZÜM

O noktasına göre tork alırsak

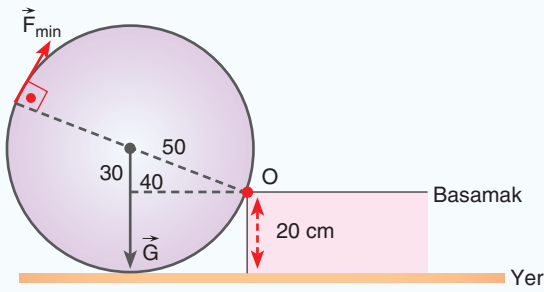
$$G \cdot 40 = F \cdot 80$$

$$F = \frac{G}{2} \text{ bulunur.}$$

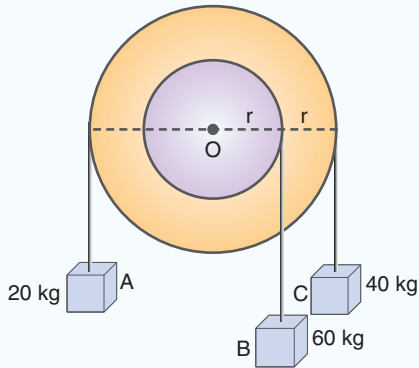
Minimum kuvvet, dönme noktasına en uzakta ve dik olmalı,

$$F_{\min} \cdot 10\emptyset = G \cdot 4\emptyset$$

$$F_{\min} = \frac{4G}{10} = 0,4 G \text{ bulunur.}$$



3.



Eş merkezli çarklara şekildeki gibi kütleler bağlanıyor. Sistem O noktası etrafında dönebilmektedir. Çark sistemine etki eden toplam tork kaç N.m'dir? ( $r = 0,1 \text{ m}$ ,  $g = 10 \text{ N/kg}$ )

### ÇÖZÜM

O noktasına göre kuvvetlerin torklarını bulalım.

$$\tau_A = 200 \cdot 0,2 = 40 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \curvearrowright$$

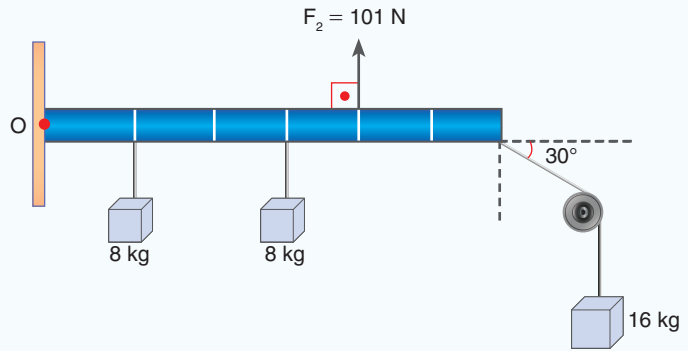
$$\tau_B = 600 \cdot 0,1 = 60 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \curvearrowright$$

$$\tau_C = 400 \cdot 0,2 = 80 \text{ N} \cdot \text{m} \quad \curvearrowright$$

Çark sistemine etki eden toplam döndürme,

$$\tau = 80 + 60 - 40 = 100 \text{ N} \cdot \text{m}$$

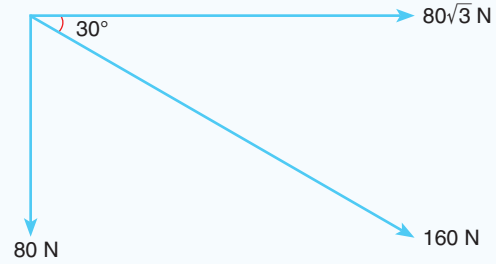
4.



Her bir bölmesi 1 m olan ve ağırlığı ihmal edilen çubuk, O noktası etrafında dönebilmektedir. Çubuğa şekildeki kütleler asıldığında F kuvveti de uygulanıyor. Çubuk üzerindeki kuvvetlerin meydana getirdiği torkun büyüklüğünü ve yönünü bulunuz. ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

### ÇÖZÜM

16 kg kütleli cismin ağırlığının bileşenleri,



bulunur.

Saat yönünde döndüren kuvvetlerin torku,

$$\tau_1 = 80 \cdot 1 + 80 \cdot 3 + 80 \cdot 6 = 800 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ bulunur.}$$

Saat yönünün tersi yönde döndüren kuvvetin torku,

$$\tau_2 = 101 \cdot 4 = 404 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Bileşke tork  $800 - 404 = 396 \text{ N} \cdot \text{m}$  bulunur.

Bileşke torkun yönü, sağ el kuralına göre sayfa düzleminde içeriye doğrudur.



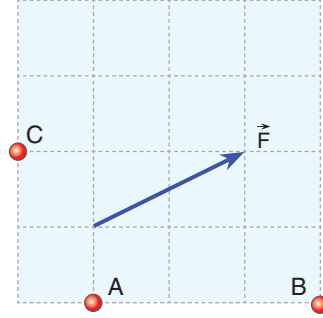
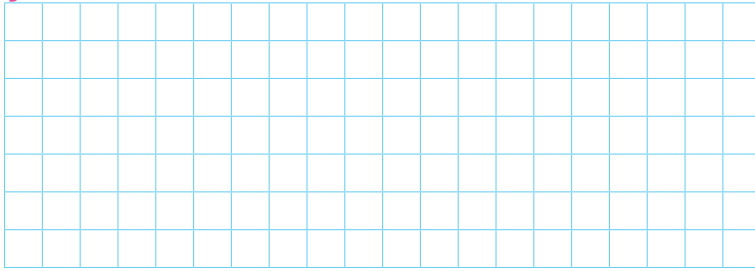


## BÖLÜM SONU DEĞERLENDİRME SORULARI 8

(Bu bölümde verilen sorulardaki açı değerleri için  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 3/5$   $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$   $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2$   $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$   $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$   $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  ve hava sürtünmesini ihmal ediniz.)

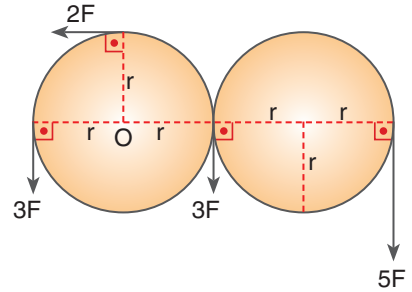
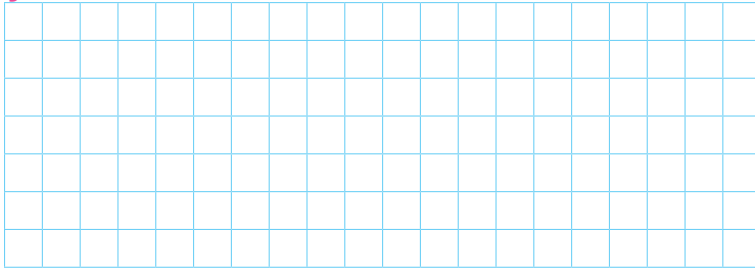
1. Şekildeki  $\vec{F}$  kuvvetinin A, B ve C noktalarına göre torklarının büyüklüklerini bularak karşılaştırınız. (Çizim ölçeklidir.)

Çözüm: 



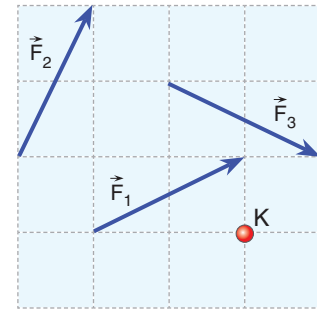
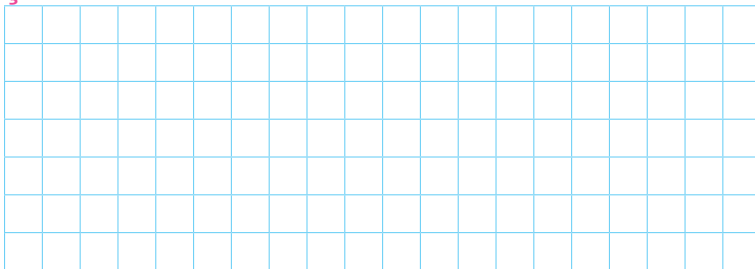
2. O noktası etrafında dönebilen r yarıçaplı dairesel levhalara şekildeki kuvvetler etki ediyor. Kuvvetlerin toplam torku kaç  $F \cdot r$ 'dir?

Çözüm: 

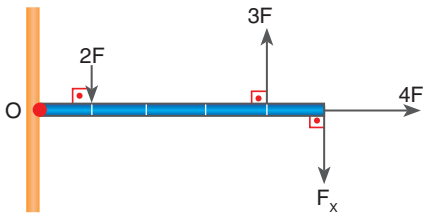


3. Şekildeki kuvvetlerin K noktasına göre torklarının büyüklüklerini karşılaştırınız. (Çizim ölçeklidir.)

Çözüm: 

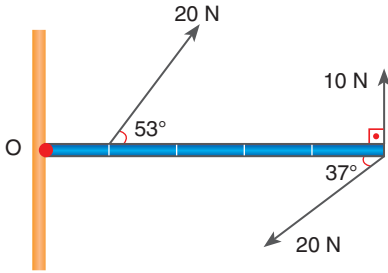


## 1. ÜNİTE: KUVVET VE HAREKET



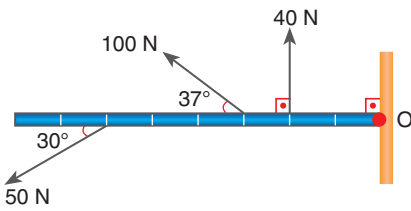
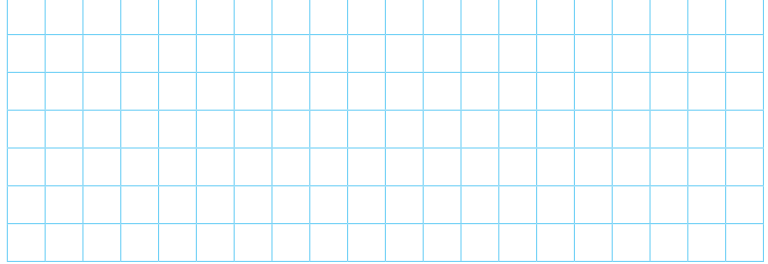
4. Şekildeki eşit bölmelendirilmiş ve her bir bölümünün uzunluğu  $d$  olan  $2F$  ağırlığındaki homojen ve türdeş çubuk,  $O$  noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir. Bileşke tork sıfır olduğuna göre  $F_x$ 'in büyüklüğü kaç  $F$ 'dir?

Çözüm:



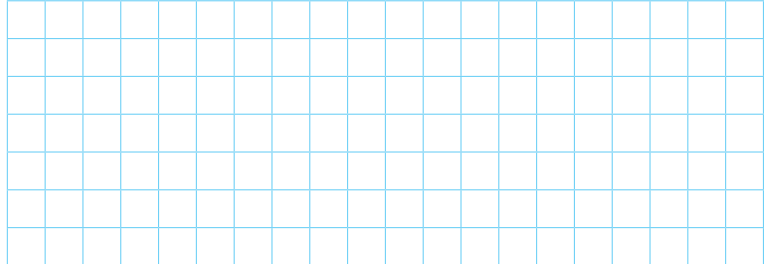
5. Şekildeki kuvvetlerin etkisinde kalan eşit bölmelendirilmiş, her bir bölümünün uzunluğu  $10\text{ cm}$  olan ağırlığı önemsiz çubuk,  $O$  noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir. Bileşke torkun büyüklüğünü hesaplayınız.

Çözüm:



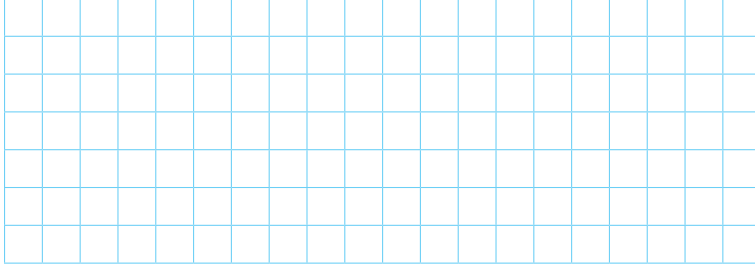
6.  $O$  noktası etrafında serbestçe dönebilen eşit bölmeli ve türdeş çubuk, şekildeki gibi dengededir. Çubuğun ağırlığı kaç  $N$ 'dir?

Çözüm:



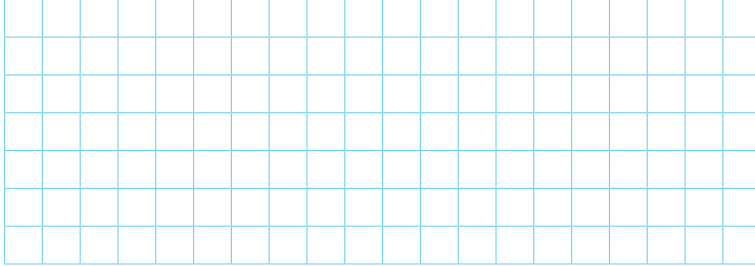
7. Şekildeki cisme etki eden kuvvetlerin, dairelerin merkezine göre toplam torku sıfır olduğuna göre  $\vec{F}$  kuvveti kaç N'dır?

Çözüm: 



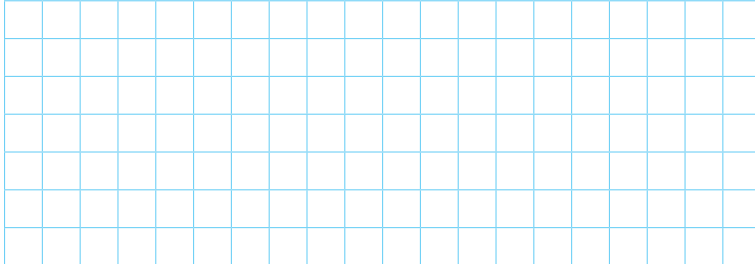
8. Şekildeki kürenin yarıçapı 1 m ve ağırlığı 80 N'dır. Bu küreyi 20 cm yüksekliğindeki basamaktan çıkarmak için uygulanan  $\vec{F}$  kuvvetinin büyüklüğü kaç N'dır? ( $\vec{F}$  kuvveti bu noktadan uygulanabilecek en küçük kuvettir.)

Çözüm: 



9. O noktası etrafında dönebilen şekildeki ağırlığı önemsiz levhaya etki eden bileşke torkun büyüklüğü kaç  $F \cdot a$ 'dır?

Çözüm: 





## 1.9. DENGE VE DENGE ŞARTLARI

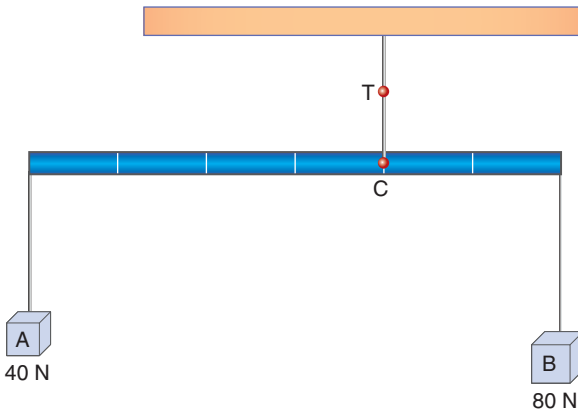
### 1.9.1. Cisimlerin Denge Durumu

Sahilde taşları üst üste koyduğumuzda taşların devrilmeden dengede kalmasını ya da gökdelenlerin çok büyük kütlelerine rağmen devrilmeden dengede kalmasını sağlayan sebep nedir (Resim 1.50.a, b)?

Cisimlerin fizik açısından dengede kalması iki şarta bağlıdır. Birincisi, kuvvetlerin birbirini dengeleme şartı olan toplam kuvvetin sıfır olma şartıdır. Cismin üzerindeki kuvvetlerin x ve y eksenleri üzerindeki bileşenlerinin toplamı sıfır olmalıdır.

Direksiyon, ortasındaki eksen etrafında döner. Direksiyonu tutan bir sürücü, direksiyona Şekil 1.109'daki gibi eksen etrafında eşit büyüklükte ve zıt yönde kuvvet uygular. Kuvvetlerin vektörel toplamı sıfırdır. Fakat direksiyon dengede değildir. Cismin dengede olması için gerekli ikinci şart ise cismin dönmemesidir. Cismin üzerindeki toplam torkun sıfır olması, dengenin sağlanması için gerekli ikinci şarttır.

Ağırlığı ihmal edilen, her bir bölümü 1 m olan eşit bölmeli bir çubuğa 4 kg kütleli A cismi ile 8 kg kütleli B cismini Şekil 1.110'daki gibi asalım. Cisimlerin ağırlıklarının C noktasına göre torklarını bulalım. A cisminin torku,  $40 \cdot 4 = 160 \text{ N} \cdot \text{m}$ , B cisminin torku ise  $80 \cdot 2 = 160 \text{ N} \cdot \text{m}$ 'dir. İki cismin C noktasına göre torkları eşit olduğu için çubuk dönmez fakat bu, denge için yeterli şart değildir. Dengenin diğer şartı da kuvvetlerin dengesidir. Kuvvetlerin dengesi için T ipindeki gerilme kuvvetinin büyüklüğü, çubuğu aşağıya doğru çeken kuvvetlerin toplamına eşit olmalıdır. Çubuğu aşağıya doğru çeken kuvvetlerin toplamı  $40 + 80 = 120 \text{ N}$  büyüklüğündedir. Çubuğun dengede kalabilmesi için ipteki T gerilmesinin de  $120 \text{ N}$  olması gerekir.



Şekil 1.110: Dengelenmiş çubuk



(a)



(b)

Resim 1.50: a) Taşların dengede durması, b) Gökdelenlerin dengede durması



Şekil 1.109: Direksiyona uygulanan kuvvetler



Resim 1.51: Barfiks çeken sporcu

Barfiks çekerken kendini dengeleyen sporcunun kollarındaki kuvveti bulalım. Resim 1.51'deki gibi kendi ağırlığını kolları ile dengeleyen sporcu, yer çekimi kuvvetinden kaynaklanan ağırlığı dengelemektedir. İki kolunu yana eşit uzaklıkta açtığı için ağırlığını iki kolu ile dengeler. Örneğin 80 kg kütleyle sahip sporcunun ağırlığı  $G = m \cdot g$  eşitliğinden  $G = 80 \cdot 10 = 800$  N'dır. Sporcunun tek bir kolunun taşıdığı ağırlık, 400 N olur.

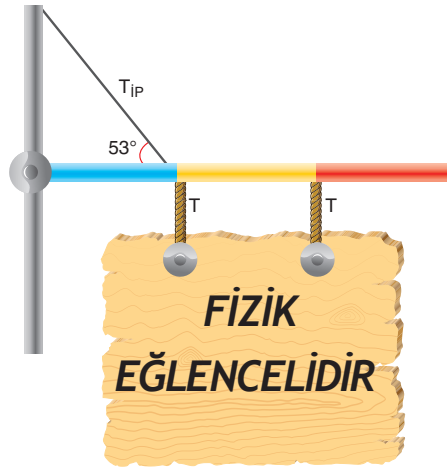
El arabasında meyveleri dengede tutan Resim 1.52'deki çocuğun kollarındaki toplam kuvveti bulalım. El arabasının kütlesi 15 kg, içindeki meyvelerin kütlesi ise 20 kg olsun. Çocuk, el arabasını saplarından tutarak kaldırdığı zaman dengede tekerleğin yere değdiği noktaya göre arabanın toplam ağırlığının torkunun, çocuğun arabaya uyguladığı torka eşit olması gerekir.

Meyve ve arabanın ağırlık merkezi aynı yerde ve tekerleklerle uzaklığı 40 cm olsun. Çocuğun kollarının tekerleğin yere değdiği noktanın düzeyine uzaklığı ise 50 cm olsun. Tekerleğin yere değdiği noktaya göre torklarını eşitlediğimizde,

$(15 + 20) \cdot 10 \cdot 40 = T \cdot 50$  olur (T çocuğun kollarındaki toplam gerilme kuvvetidir.).  $T = 35 \cdot 8 = 280$  N bulunur. Tek bir kola düşen gerilme kuvveti ise 140 N olur.



Resim 1.52 : El arabası ile meyve taşıyan çocuk



Şekil 1.111: "Fizik Eğlencelidir" tabelası

Fizik öğretmeni Serap, öğrencilerin fizik dersine ilgisini artırmak için eğlenceli fizik deneylerinin satıldığı bir dükkân açıyor. Dükkâna Şekil 1.111'deki gibi "FİZİK EĞLENCELİDİR" tabelasını, tabelayı tutan iplerdeki gerilmeler eşit olacak şekilde asıyor. Tabelayı asmak için 150 cm uzunluğunda ve 5 kg

kütlesinde bir direk kullanıyor. Direği eşit uzunlukta, üç farklı renge boyuyor. Dükkâna astığı tabelanın kütlesi 10 kg olduğuna göre direği dengede tutan halattaki gerilmeyi hesaplayalım.

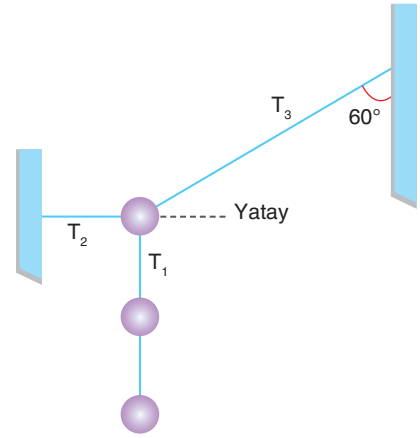
Yapılan reklam direğinin dengede kalması için direk üzerindeki kuvvetlerin menteşeye göre torklarının toplamının sıfır olması gerekir. Direği saat yönünde çeviren kuvvetlerin torku,  $50 \cdot 0,75 + 50 \cdot 0,5 + 50 \cdot 1 = 37,5 + 25 + 50 = 112,5 \text{ N} \cdot \text{m}$  bulunur. Direğin saat yönünde dönmesini engelleyen kuvvet, halattaki kuvvetin düşey bileşeni olduğu için saat yönünün tersi yöndeki tork,  $T \sin 53^\circ \cdot 0,5 = 0,4 \cdot T$ 'dir. Torkları eşitlediğimizde,  $112,5 = 0,4 T$ , halattaki gerilme kuvveti 281,25 N bulunur.

Dar bir sokakta oturan Zeynep ve Aslı Hanım, sokağı süslemeye karar veriyorlar. Süsleme için özdeş 1 kg kütleli 3 adet renkli plastik küre alıyorlar. Bu küreleri sokağın iki yanına Şekil 1.112'deki gibi halatlarla asıyorlar. Süsleme nesnelерinin bağlı olduğu halatlardaki  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_3$  gerilmelerini hesaplayalım.  $T_1$  halat gerilmesi, iki nesneyi dengelediği için 20 N büyüklüğündedir.  $T_2$  ve  $T_3$  ip gerilmeleri üç nesneyi dengeler. Üç nesnenin ağırlığı 30 N büyüklüğündedir. Bir noktaya toplanan üç kuvvet için kuvvetleri vektörel olarak gösterip uç uca ekleyelim.

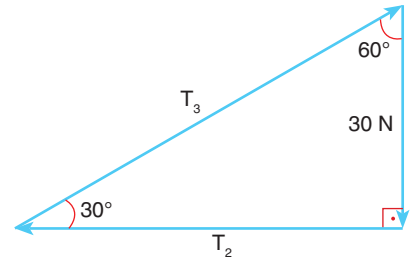
Denge durumunda bir noktaya uygulanan üç kuvvetin vektörel toplamı Şekil 1.113'teki gibi sıfırdır. Bu yüzden açı kenar özelliğinden yararlanarak diğer kuvvetler bulunur.

$30^\circ$  karşısı  $k$ ,  $60^\circ$  karşısı  $k\sqrt{3}$ ,  $90^\circ$  karşısı  $2k$  ile orantılıdır.  $30^\circ$  karşısında 30 N varsa,  $60^\circ$  karşısında  $30\sqrt{3}$  N,  $90^\circ$  karşısı 60 N bulunur. Bu yüzden  $T_3 = 60 \text{ N}$ ,  $T_2 = 30\sqrt{3} \text{ N}$  bulunur.

Fizik bilimindeki denge kavramı, bize günlük yaşantımızda dengeli yaşamı çağırıştırır. Kendilerine karşı sorumlu olduğumuz aile, arkadaş, komşu ve akrabalarımıza dengeli davranışlar sergilemeliyiz. Sorumluluklarımızı yerine getirirken, birilerine yardım ederken adaletli davranmalı ve başkalarının haklarını ihmal etmemeliyiz.

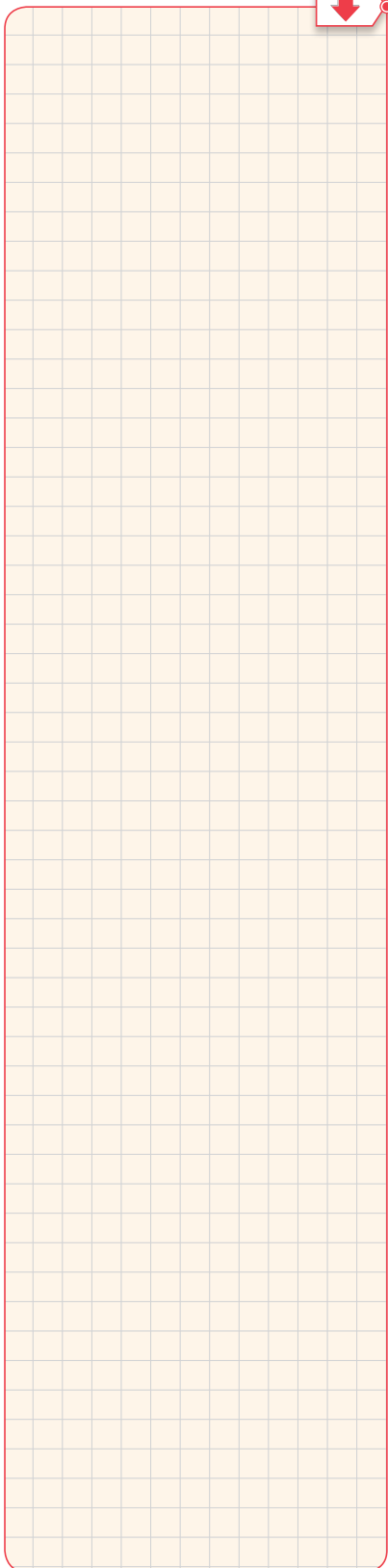


Şekil 1.112: İki duvar arasında asılı süslemeler

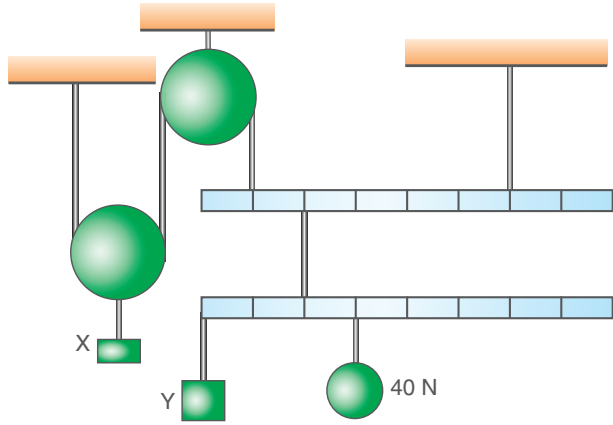


Şekil 1.113: Bir noktaya toplanmış kuvvetlerin uç uca eklenmesi

**KENDİMİZİ DENEYELİM 29**

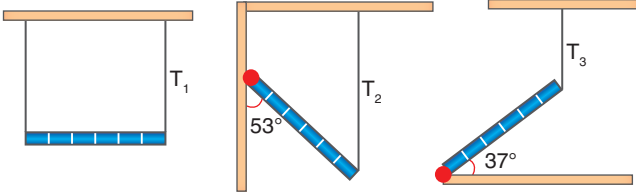


1.



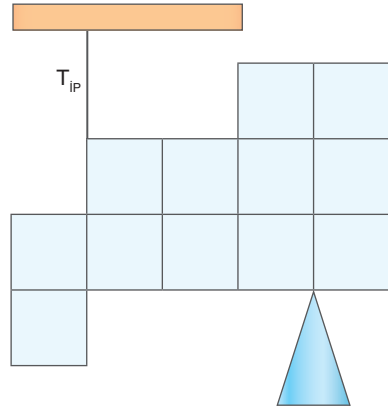
Ağırlığı önemsiz makara ve çubuklarla kurulmuş sistem şekildeki gibi dengededir. Y ve X cisimlerinin ağırlıkları kaç N'dır? (Çubuklar eşit bölmelidir.)

2.



40 N ağırlığındaki düzgün, türdeş çubuk şekillerdeki gibi dengededir. İplerdeki gerilme kuvvetleri kaç N'dır?

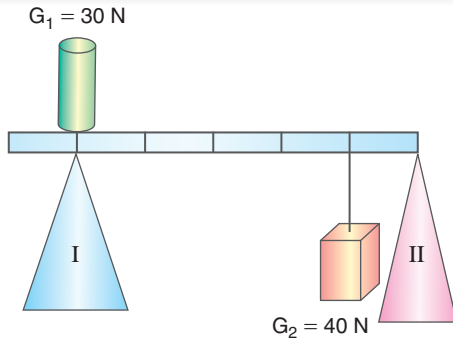
3.



Özdeş ve her birinin ağırlığı 10 N olan küpler şekildeki gibi yapıştirılarak dengeleniyor. İpteki gerilme kuvveti ve desteğin tepki kuvveti kaç N'dır?

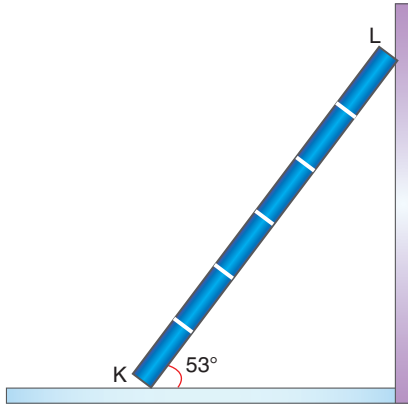


4.



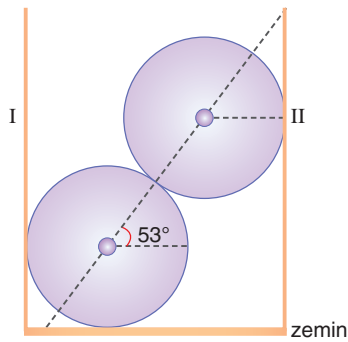
Ağırlığı 10 N olan şekildeki eşit bölmeli, homojen ve türdeş çubuk;  $G_1$  ve  $G_2$  yükleri ile şekildeki gibi dengededir. Buna göre desteklerin tepki kuvvetlerinin oranını ( $N_1 / N_2$ ) bulunuz.

5.

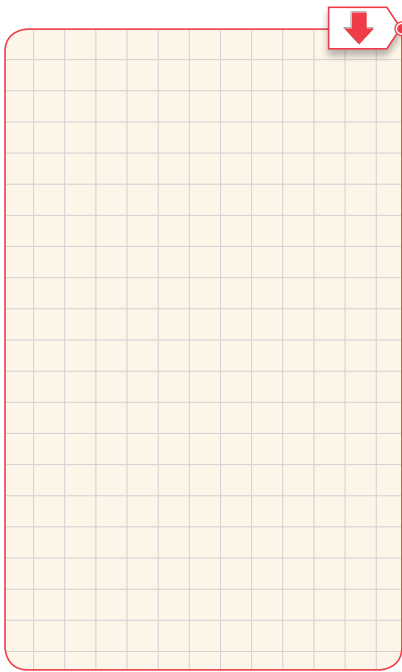


Ağırlığı 100 N olan homojen KL merdiveni, şekildeki gibi dengededir. Ağırlığı 500 N olan bir çocuk, merdivenin ortasına geldiğinde merdiven dengede olduğuna göre yer ile merdiven arasındaki sürtünme kuvveti kaç N'dır? (Sadece yatay zemin sürtünmelidir.  $\sin 53^\circ = 0,8$   $\cos 53^\circ = 0,6$ )

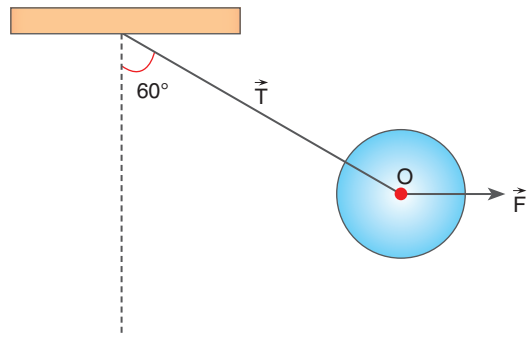
6.



Her birinin ağırlığı 100 N olan özdeş içi dolu metal küreler şekildeki gibi iki duvar arasında dengededir. I ve II. duvarın tepki kuvveti ve zeminin yere değen küreye etki eden tepki kuvveti kaç N'dır? ( $\sin 53^\circ = 0,8$   $\cos 53^\circ = 0,6$ )



7.



Şekildeki 100 N ağırlığındaki küre,  $\vec{F}$  kuvveti uygulanarak dengeleniyor.  $\vec{F}$  kuvveti ve ipteki gerilme kaç N'dır? Şekildeki  $60^\circ$  lik açı küçültülerek küre yeniden dengeye getirilirse  $\vec{F}$  kuvveti ve  $\vec{T}$  ip gerilmesi nasıl değişir?

$$(\sin 60^\circ = \sqrt{3}/2 \quad \sin 30^\circ = 1/2)$$

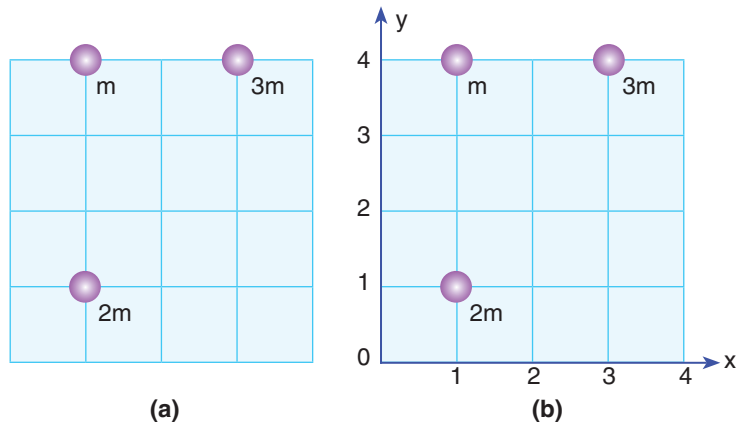


**Resim 1.53:** Forkliftin konteyneri kaldırması

### 1.9.2. Cisimlerin Kütle ve Ağırlık Merkezleri

Resim 1.53'deki kaldırmacın konteyneri düşürmeden kaldırması için taşıdığı yükün ağırlık merkezinin yerine dikkat etmesi gerekmektedir. Ağırlık merkezini incelemeyen önce "Ağırlık merkezi ile kütle merkezi arasında fark var mı?" sorusunun cevabını arayalım.

Cisimler birçok küçük kütlelerin birleşmesi ile oluşur. Kütle merkezi, cismin üzerindeki birçok kütlelerin toplandığı temsilî noktadır. Bir model üzerinde kütle merkezini bulalım.



**Şekil 1.114:** a) Ölçekli çizim üzerine yerleştirilmiş kütleler b) Koordinat sisteminin yerleştirilmesi

Şekil 1.114.a'daki gibi kütle merkezinin yeri bulunurken önce Şekil 1.114.b'deki gibi koordinat sistemi çizilir. x eksenine göre,

kütle merkezinin torku, tek tek kütlelerin torkuna eşitlenerek kütle merkezinin x eksenini üzerindeki bileşeni bulunur.

$$x_{km} = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

$$x_{km} = (m \cdot 1 + 2m \cdot 1 + 3m \cdot 3) / m + 2m + 3m$$

$$x_{km} = 12m / 6m, x_{km} = 2 \text{ bulunur.}$$

y eksenine göre kütle merkezinin torku, tek tek kütlelerin torkları toplamına eşitlenerek kütle merkezinin y eksenini üzerindeki bileşeni bulunur.

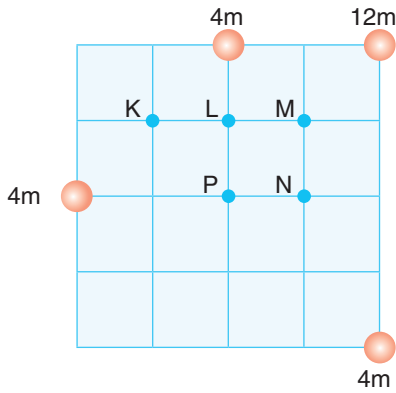
$$y_{km} = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

$$y_{km} = (m \cdot 4 + 2m \cdot 1 + 3m \cdot 4) / m + 2m + 3m$$

$y_{km} = 18m/6m, y_{km} = 3$  bulunur. Kütle merkezinin koordinatları (2,3) şeklindedir.



### KENDİMİZİ DENEYELİM 30



4m, 4m, 4m ve 12m kütleli cisimlerden oluşan şekildeki sistemin kütle merkezinin yerini bulunuz.





Resim 1.54: Petronas Kuleleri

### Cisimlerin ağırlık merkezi nerededir?

Bir cismin üzerindeki küçük kütlelerin her birine yer çekimi kuvveti etki eder. Yer çekimi kuvveti yer çekim ivmesine bağlıdır.

Malezya'daki "Petronas Kuleleri"nin zeminindeki yer çekim ivmesi ile çatısındaki yer çekim ivmesi farklıdır. Bu sebeple kulelerin kütle merkezi ve ağırlık merkezleri arasında fark vardır. Kütle merkezi 2 cm daha yukarıdadır (Resim 1.54).

Cisimlerin ağırlık merkezinin yerini bulmak için 9. Deney'i yapalım.

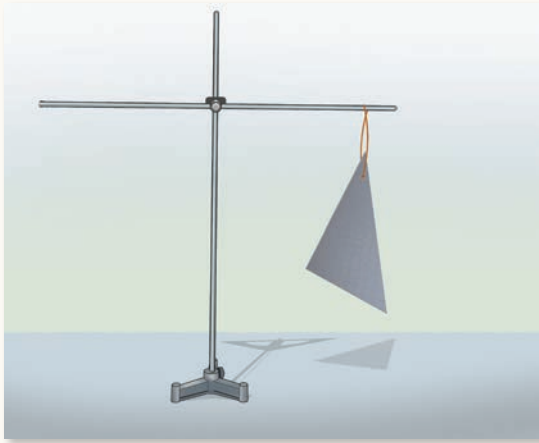


### 9. Deney



#### Ağırlık Merkezinin Bulunması

##### Nasıl Bir Yol İzleyelim?



#### Araç Gereç

- Mukavva
- Falçata
- İp
- Üçayak
- Destek çubuğu
- İki bağlantı aparatı

- ▶ Mukavvadan üçgen, kare, dikdörtgen ve şekli düzgün olmayan bir parça kesiniz.
- ▶ Üçgenin bir köşesinden mukavvayı delerek resimdeki gibi asınız. Daha sonra astığınız ipin doğrultusunu mukavva üzerinde çizin. Aynı üçgeni başka bir köşesinden asınız. İpin doğrultusunu mukavva üzerinde çizin. Çizdiğiniz iki doğruyun kesiştiği noktayı işaretleyiniz.
- ▶ İkinci adımı kare, dikdörtgen ve şekli düzgün olmayan mukavva için tekrarlayınız.

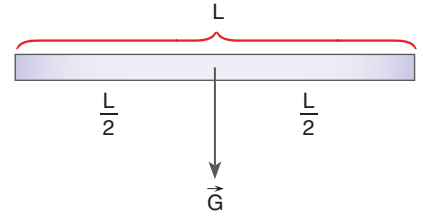
#### Sonuca Varalım

İşaretlediğiniz, doğrultuların kesiştiği nokta, cismin hangi noktasını temsil eder?

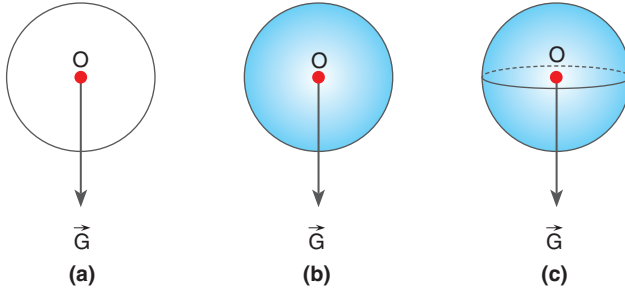
Deney 9'da gözlediğiniz gibi cismi astığımız iki durumda çizdiğimiz eksenlerin birleştiği nokta, cismin ağırlık merkezidir. Asılan cisimler dengede ise ipin uzantısı ağırlık merkezinden geçer.

### Düzgün Geometrik Cisimlerin Ağırlık Merkezleri

Düzgün, türdeş bir çubuğun ağırlık merkezi tam ortasıdır (Şekil 1.115). Düzgün, türdeş bir çubuğu tam ortasından asarsak çubuk dengede kalır.

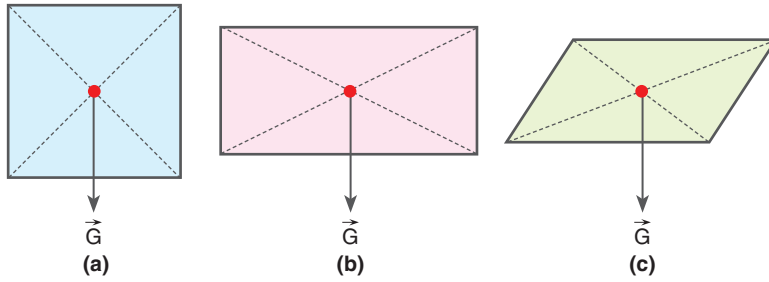


Şekil 1.115: Düzgün, türdeş çubuğun ağırlık merkezi



Şekil 1.116: a) Çember b) Daire c) Küre

Düzgün, türdeş çember; daire ve küre şeklindeki cisimlerin ağırlık merkezi, merkezlerindedir (Şekil 1.116.a, b, c).

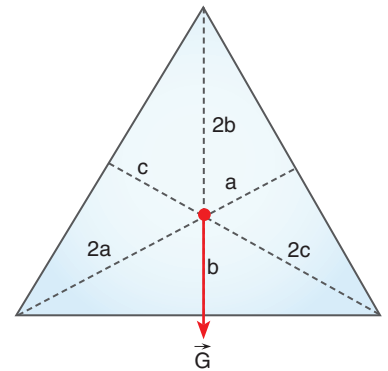


Şekil 1.117: a) Kare b) Dikdörtgen c) Paralelkenar

Düzgün, türdeş kare; dikdörtgen ve paralelkenar şeklindeki cisimlerin ağırlık merkezleri köşegenlerinin kesişim noktasındadır (Şekil 1.117.a, b, c).

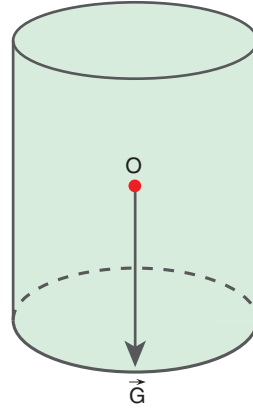
Düzgün, türdeş üçgenin ağırlık merkezi kenarortayların kesişim noktasındadır.

Bir üçgenin kenarortayları Şekil 1.118'deki gibi birbirini köşeden  $\frac{2}{3}$ , kenardan  $\frac{1}{3}$  oranında keser.

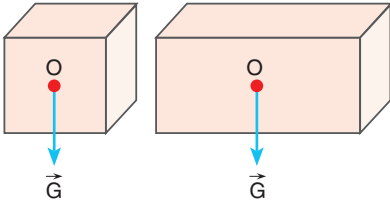


Şekil 1.118: Üçgenin ağırlık merkezi

Düzgün, türdeş silindir şeklindeki bir cismin ağırlık merkezi tavan ve taban merkezlerini birleştiren doğrunun ortasıdır (Şekil 1.119).

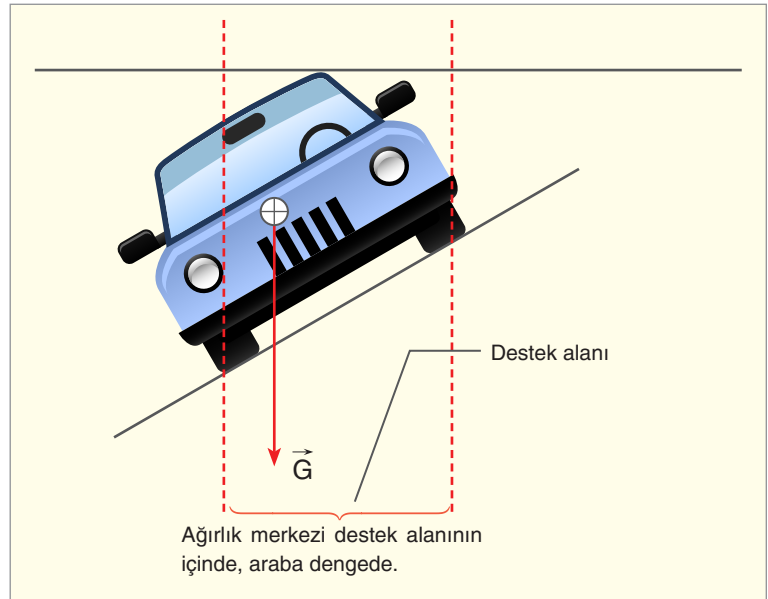


Şekil 1.119: Silindir



Şekil 1.120: a) Küp b) Dikdörtgenler prizması

Homojen küp ve dikdörtgenler prizmasının ağırlık merkezi geometrik merkezlerindedir (Şekil 1.120, a. b).



Şekil 1.121: Arabanın eğimli zeminde durması

Ağırlık merkezinin yeri ve destek alanı, araçların devrilmesinde önemli rol oynar. Bir aracın ağırlık merkezi yere yaklaştıkça devrilmesi zorlaşır. Ayrıca Şekil 1.121’de görüldüğü gibi arabanın destek alanı (tekerlekleri arasındaki alan) büyüdükçe devrilmesi zorlaşır.

Düzgün türdeş ve aynı maddeden yapılan cisimlerde ağırlık merkezi bulunurken çubuğun ağırlığı yerine uzunluğu, levhanın

ağırlığı yerine alanı; üç boyutlu cisimlerde de cismin ağırlığı yerine hacmi alınabilir.

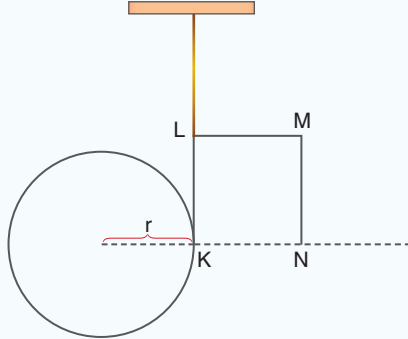
### 1.9.3. Kütle ve Ağırlık Merkezleri ile İlgili Hesaplamalar

Kütle ve ağırlık merkezi ile ilgili örnek sorular çözelim.



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 36

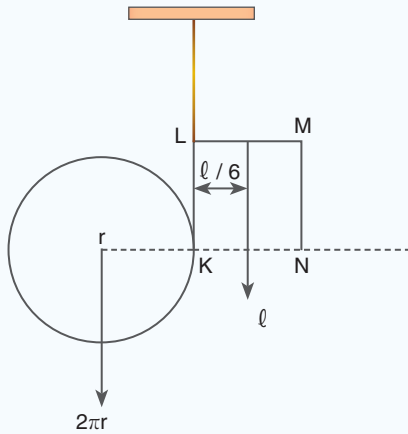
1.



Aynı homojen telden kesilen  $r$  yarıçaplı çember şeklindeki bir tel ile  $\ell$  uzunluğundaki KLMN teli, şekildeki gibi birleştirilerek L noktasından asılıyor. Sistem dengede olduğuna göre  $(r/\ell)$  oranı kaçtır? ( $\pi = 3$  alınız,  $KL = LM = MN$ )

#### ÇÖZÜM

Teller asıldığında dengede kaldığına göre sistemin ağırlık merkezi LK parçası üzerindedir. LK teline göre ağırlıkların toplam torku sıfırdır. Çemberin ağırlığı yerine çevresini, telin ağırlığı yerine de boyunu alabiliriz.



LK doğrultusuna göre tork alırsak

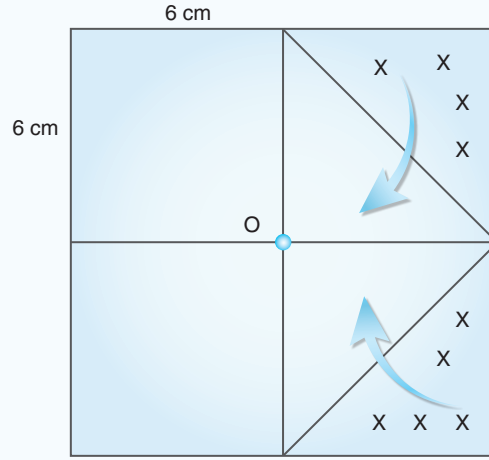
$2\pi r \cdot r = \ell \cdot \ell/6$ ;  $36r^2 = \ell^2$  eşitliğinden  $r/\ell = 1/6$  buluruz.



## Kavram Yanılgıları

- Kütle merkezi ile ağırlık merkezi aynıdır.

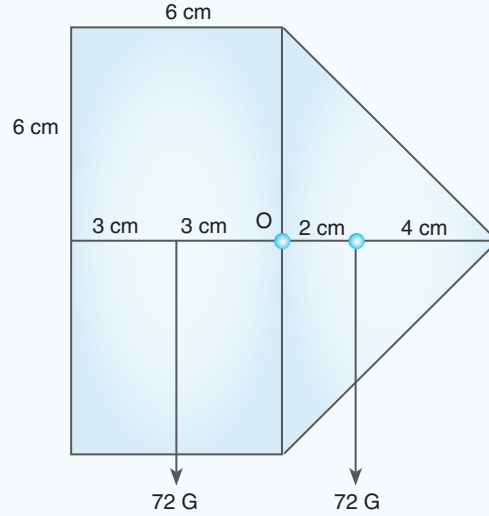
2.



Bir kenarı 12 cm olan homojen kare levhanın işaretli kısmı şeklin üzerinde katlanıyor. Cismin ağırlık merkezi kaç cm yer değiştirir?

## ÇÖZÜM

Şeklin katlamadan önceki ağırlık merkezi O noktasıdır. Sağ tarafta katlanan kısım üçgen şeklinde olur. Sol tarafta ise bir dikdörtgen oluşur. Bu alanlar birbirine eşittir. Çünkü bütün alanın sağ yarısı köşelerinden kendi üzerine katlanıyor.

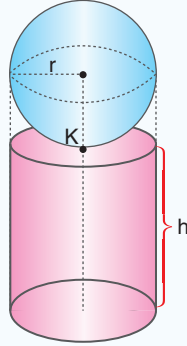


Dikdörtgen ve üçgenin ağırlık merkezleri şekildeki belirtilen noktalardadır. Özdeş levhalarda ağırlık yerine alan kullanıldığı için iki parçanın ağırlıkları 72 G alınabilir. İki kuvvet eşit ve aralarında 5 cm olduğu için bileşke, noktaların tam ortasındadır. Yeni ağırlık merkezi, dikdörtgenin ağırlık mer-



kezinden 2,5 cm uzaktadır. Bu durumda ağırlık merkezi O noktasından sola doğru 0,5 cm yer değiştirir.

3. Aynı maddeden yapılan içi dolu küre ile içi dolu silindir, şekildeki gibi yerleştirilmiştir. Bu iki cismin ağırlık merkezinin, cisimlerin birbirine değdiği K noktasında olması için  $r/h$  oranı kaç olmalıdır?



### ÇÖZÜM

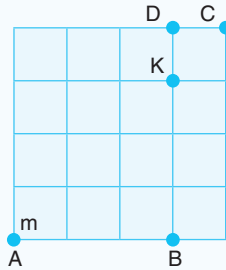
Üç boyutlu cisimlerde ağırlık yerine hacim kullanılır. K noktasına göre kürenin ve silindirin torklarının toplamı sıfır olmalıdır.

$$\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \cdot r = \pi r^2 \cdot h \cdot h / 2,$$

$8r^2 = 3h^2$  eşitliğinden  $r/h = \sqrt{\frac{3}{8}}$  bulunur.

**NOT:** Cisimler aynı maddeden değilse ağırlığı yerine öz-kütle ile hacimlerinin çarpımı alınır.

4. Ölçekli çizim üzerine dört kütle yerleştiriliyor. Toplam kütlesi 16 m olan dört kütlelerin kütle merkezi K noktasındadır. A noktasal cisminin kütlesi m olduğuna göre B, C ve D kütleleri kaç m'dir?



### ÇÖZÜM

Kütle merkezi K olduğuna göre C cisminin kütlesi,

$$m \cdot 3 = m_C \cdot 1 \text{ eşitliğinden } m_C = 3m \text{ bulunur.}$$

Toplam kütle 16 m olduğundan B ve D cisimlerinin toplam kütlesi  $16m - 4m = 12m$  bulunur.

D ve B kütleleri arasında

$$m_D \cdot 1 = m_B \cdot 3 \text{ eşitliği olduğundan}$$

$$m_D \cdot 1 = (12 - m_D) \cdot 3$$

$$m_D = 36m - 3m_D \quad m_D = \frac{36m}{4} = 9m \text{ bulunur.}$$

$$m_B = 12m - 9m = 3m \text{ elde edilir.}$$

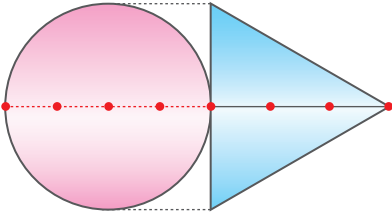
## BÖLÜM SONU DEĞERLENDİRME SORULARI 9

(Bu bölümde verilen sorulardaki açı değerleri için  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 3/5$   $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$   $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2$   $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$   $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$   $g \cong 10 \text{ m/s}^2$  ve hava sürtünmesini ihmal ediniz.)



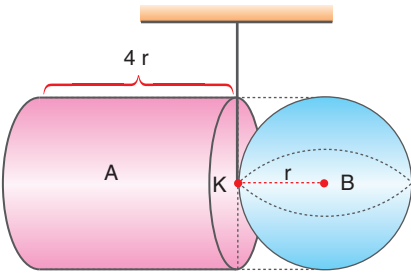
1. Şekildeki homojen çubuğun her bir bölümü 1 cm'dir. Çubuğun soldaki iki parçası kendi üzerine katlanırsa ağırlık merkezi kaç cm yer değiştirir?

Çözüm:

2. Aynı maddeden yapılmış düzgün, türdeş daire şeklindeki levha ile üçgen levha, şekildeki gibi birleştiriliyor. Buna göre oluşan yeni şeklin ağırlık merkezinin daire şeklindeki levhanın merkezine uzaklığı kaç cm'dir?  
(Bir bölme 1 cm'dir ve  $\pi = 3$  alınız.)

Çözüm:

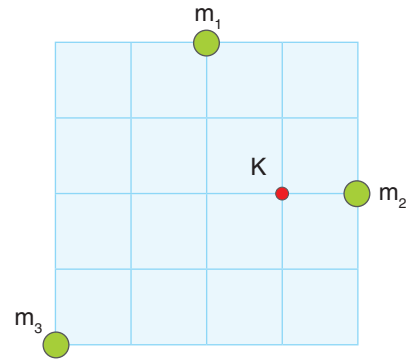
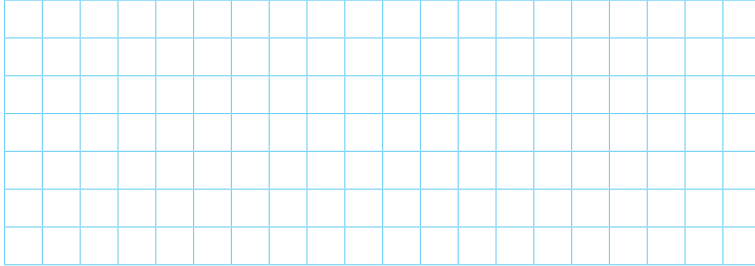



3. Kendi içlerinde homojen silindir ve küre, şekildeki gibi silindirin tabanının orta noktasından yapıştiriliyor. Sistem K noktasından bir ip ile asıldığında dengede kaldığına göre silindir ve kürenin yapıldığı maddelerin özkütlelerinin oranı ( $d_A/d_B$ ) kaçtır?

Çözüm:

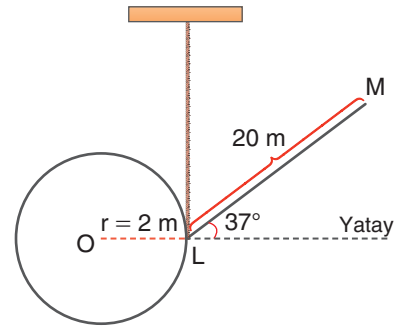
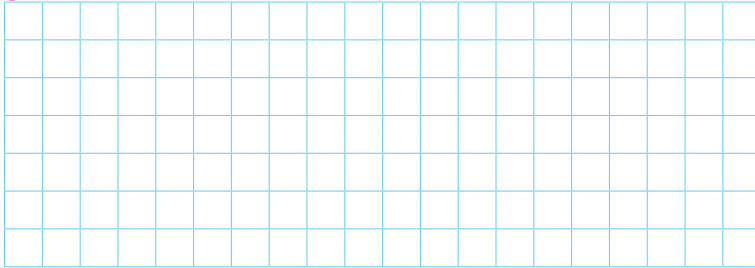

4. Kütleleri  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  olan cisimlerin kütle merkezi K noktasıdır.  $m_1$  kütleli cismin kütlesi  $2m$  olduğuna göre  $m_2$  ve  $m_3$  kütleli cisimlerin kütleleri kaç m'dir?

Çözüm: 



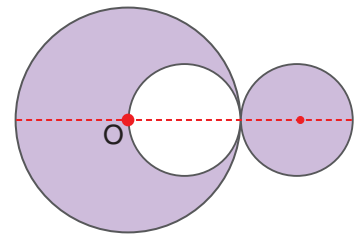
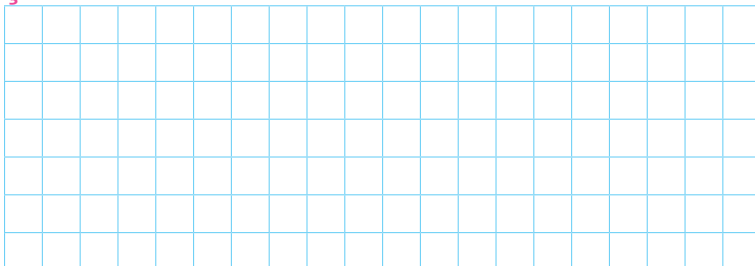
5. Kalınlıkları aynı olan, kendi içinde homojen 2 m yarıçaplı çember şeklindeki bir tel ile 20 m uzunluğundaki LM teli şeklindeki gibi birleştirilerek L noktasından asılıyor. Sistem denge olduğuna göre çemberin yapıldığı maddenin özkütlesinin LM telinin özkütlesine oranı kaçtır? ( $\pi = 3$  alınız.)

Çözüm: 



6. Yarıçapı 4 cm olan düzgün, türdeş daire levhadan; yarıçapı 2 cm olan kısmı kesilerek çıkarılıyor ve şekildeki gibi yan tarafa ekleniyor. Oluşan yeni şeklin ağırlık merkezi ilk duruma göre kaç cm yer değiştirir?

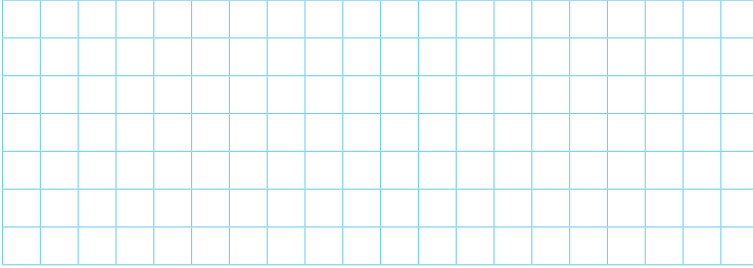
Çözüm: 



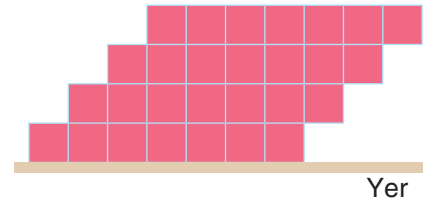


10. Boyutları şekildeki gibi olan ağırlıksız kap, K musluğundan akan su ile dolduruluyor. Su seviyesi yerden kaç  $a$  olduğu zaman denge bozulmaya başlar?

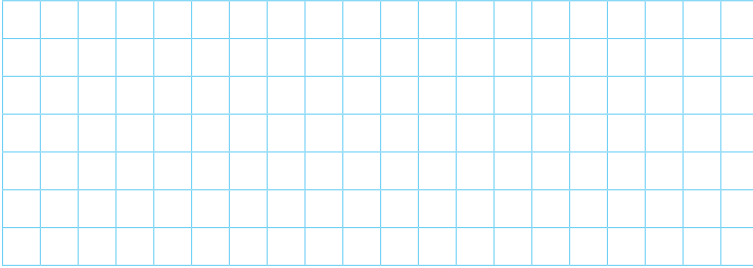
Çözüm: 



11. Özdeş ve eşit bölmeli şekildeki kalaslar üst üste konuluyor. Kalaslar devrilmeden
- Kalaslar birbirine yapışık ise
  - Kalaslar birbirine yapışık değil ise üst üste en çok kaç kalas konulabilir?

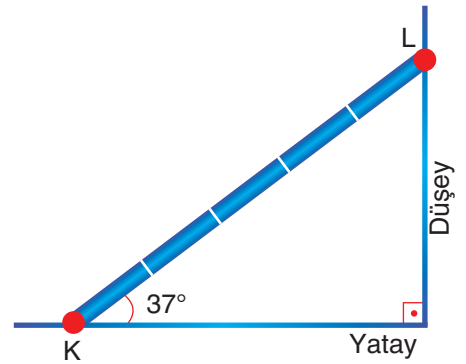
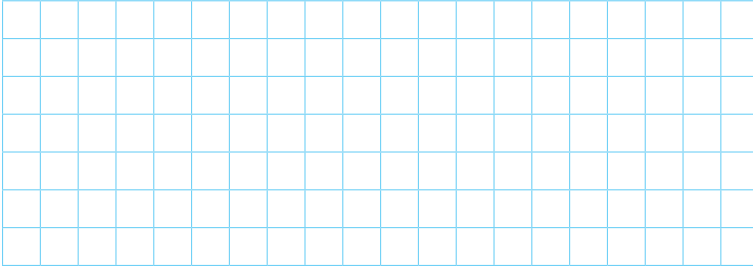


Çözüm: 



12. Kütleli 10 kg olan 5 m uzunluğundaki bir merdiven üzerinde bulunan 60 kg kütleli Ali, merdivenin tam ortasında dengededir. Merdivenin yere ve duvara değdiği noktadaki tepki kuvvetleri kaç N'dır? (Düşey duvarın sürtünmesi önemsizdir.  $g \cong 10 \text{ N/kg}$   $\sin 37^\circ = 0,6$   $\cos 37^\circ = 0,8$ )

Çözüm: 





Resim 1.55: Bisiklet çark sistemi

## 1.10. BASİT MAKİNELER

### 1.10.1. Basit Makineler Hayatımızı Kolaylaştırır

İnsanlar yaşam koşullarını iyileştirebilmek için sürekli fikir yürütmüş ve bu fikirleri uygulamaya geçirerek icatlar yapmıştır. Basit makineler, insanın yapması gereken işlerin daha kolay bir yolla yapılması fikri ile ortaya çıkmıştır. Kuvvet gerektiren bir işi daha az kuvvetle yapmak, yol alması gereken bir nesneyi daha kısa yoldan götürme mantığı ile basit makineler icat edilerek geliştirilmiştir. Fizikte bir cisme uygulanan kuvvet ve cismin kuvvet doğrultusunda aldığı yolun çarpımı işi verir.  $W = F \cdot x$  bağıntısı ile iş hesaplanır. Basit makinelerde işten kazanç yoktur. Kuvvetten kazanç varsa yoldan kayıp vardır.

Resim 1.55’de görülen bisikletlerde kullanılan dişli sistemi, basit makinedir. Düz yolda kullandığımız vites ile yokuş çıkarken kullandığımız vites birbirinden farklıdır. Çarkların diş sayısını değiştirerek yokuşları rahatlıkla çıkabiliriz.



Resim 1.56: a) Terzi makası b) Demirci makası

Kumaş keserken kullanılan Resim 1.56.a’daki terzi makası ile demir kesmek için kullanılan Resim 1.56.b’deki demirci makası birer basit makinedir. Terzi makasında kuvvetin uygulandığı kol kısa, demirci makasında ise uzundur. Kuvvetin uygulandığı kolun uzunluğunun, yükün uygulandığı kolun uzunluğuna oranını artırırsak kuvvetin etkisini artırırız. Böylece kesimi zor olan demiri kesebiliriz. Basit makinelerde kuvvet kolunun yük koluna oranına **kuvvet kazancı** denir.

Kütlesi büyük yükleri kolaylıkla kaldırmak için makara sistemleri kullanılır (Resim 1.57). Makara sistemleri basit makinedir. Basit makineler hayatımızı kolaylaştırır.

Günlük hayatımızı kolaylaştıran basit makineleri inceleyelim.

### Kaldıraçlar

Kaldıraçlar bir destek yardımıyla yükün kaldırılması prensibine göre çalışır. Archimedes (Arşimet) “Bana yeterince uzun bir



Resim 1.57: Vinç

sopa verin Dünya'yı yerinden kaldırayım." sözünü söylemiştir. Kaldıraçlarda amacına göre destek ortada ya da kenarda olabilir. Bütün kaldıraç sistemlerinde desteğe göre kuvvetin torqu, yükün torkuna eşitlenir.

Bu eşitlik "kuvvet x kuvvet kolu = yük x yük kolu" şeklinde ifade edilir.



(a) Çekiç (b) Pense  
**Resim 1.58:** a) Çekiç b) Pense

Desteğin ortada olduğu Resim 1.58.a'da görülen çiviye tahtadan çıkarırken kullanılan çekiç ve Resim 1.58.b'de görülen pense, kuvvet kolunu uzatarak kuvvetin etkisini artırma amacı ile üretilmiştir.



**Resim 1.59:** Ceviz kıracağı



**Resim 1.60:** Maşa

Ceviz kıracağı, Resim 1.59'da görüldüğü gibi desteğin kenarda olduğu duruma örnektir. Kıracağıın diğer kenarına kuvvet uygulayarak desteğe yakın yerdeki cevizi kırmak için tasarlanmıştır.

Desteğin kenarda olduğu bir diğer kaldıraç türüne örnek de Resim 1.60'daki gibi maşadır. Maşada destek kenarda, kuvvet ortada, yük ise diğer kenardadır.

### Makaralar

Makaralar genelde ağır yüklerin belirli bir yüksekliğe kaldırılması için kullanılmaktadır. Makaraların birçok kullanım alanı vardır. Resim 1.61'de görüldüğü gibi kuyudan su çekmek için sabit



**Resim 1.61:** Sabit makara



**Resim 1.62:** Hareketli makaraların kullanıldığı vinç

makaralar kullanılır. Sabit makaralar yüklerin belirli bir yüksekliğe kaldırılması için kullanılır.

Ağır yüklerin kaldırılması için yapılan vinçlerde hareketli makaralar kullanılmaktadır (Resim 1.62). Hareketli makarada yük, ağırlığından daha az kuvvetle çekilir.

### Palangalar

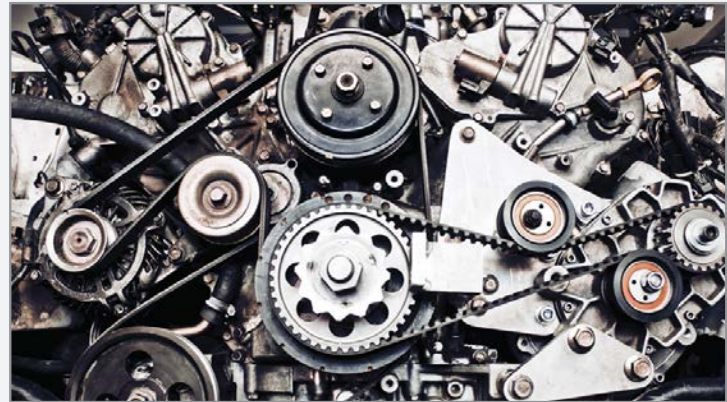
Palangalar makara sistemleri ile oluşur. Yük gemilerinde yelkenlilerde, inşaatlarda yüksek katlara malzeme çıkarmak için kullanılır. Palanga sisteminde kullanılan ip sayısı arttıkça kuvvet kazancı artmaktadır (Resim 1.63).



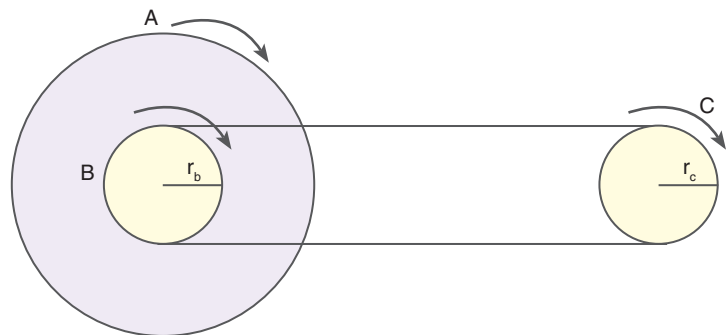
**Resim 1.63:** Palanga

### Kasnak ve Dişliler

Kullandığımız bisikletlerden otobüs motorlarına kadar birçok alanda kasnak ve dişliler kullanılmaktadır (Resim 1.64). Dişli ve kasnaklar, dönme hareketini aktarmada; küçük bir dönme hareketi ile elde edilen dönüşü, eş merkezli kasnaklar yardımıyla büyütmede kullanılır.



**Resim 1.64:** Otobüs motorunda kasnak ve dişliler kullanılır.



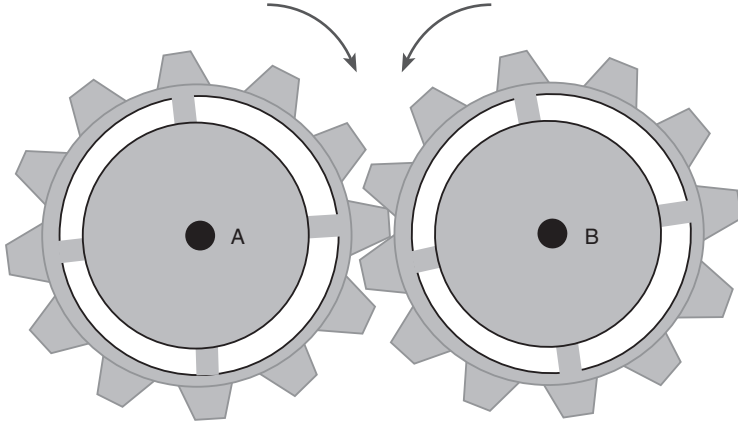
**Şekil 1.122:** Eş merkezli çarklar

A ve B kasnakları Şekil 1.122'deki gibi merkezleri aynı olacak şekilde birbirine sıkıca yapıştırıldığında eş merkezli kasnak-



lar elde edilir. Eş merkezli kasnakların dönme yönleri ve tur sayıları birbirine eşittir.

Mekanik saatlerin yapısında birçok dişlinin kullanıldığını biliyorsunuz. Dişliler yardımıyla farklı tur sürelerine sahip akrep ve yelkovanın dönüşleri ayarlanmaktadır (Resim 1.65).



Şekil 1.123: Dişli sistemleri

Birbirine Şekil 1.123'teki gibi bağlı dişli sisteminde A ve B dişlisinin dönüş yönleri birbirine zıttır. Dişlilerin saniyedeki tur sayıları  $f$ , diş sayıları  $n$  olmak şartı ile iki dişlinin diş sayıları ve saniyedeki tur sayıları arasında  $f_A \cdot n_A = f_B \cdot n_B$  bağıntısı vardır. Dişlilerin saniyedeki dönüş sayıları ile diş sayısı ters orantılıdır.

### Çıkrık

Kuyudan su çekmekte kullanılan çıkrık, kuvvet kazancının birden büyük olduğu bir sistemdir. Kova bir silindirin üzerine sarılı ip ya da zincire bağlıdır. Kuvvet ise Resim 1.66'da görülen yandaki kola uygulanır.

### Eğik Düzlem

P ağırlığındaki bir cismi belirli bir yüksekliğe çıkarmak için kullanılan araçlardan biri de Şekil 1.124'te görülen eğik düzlem'dir. Eğik düzlemin özelliği, cismi ağırlığından daha küçük kuvvetle eğik bir düzlemde hareket ettirmektir.

### Vida

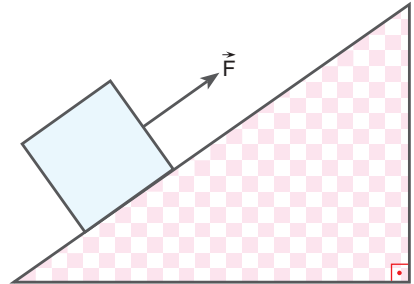
Kapılarımızın kilit sistemini sabitlemede; sunta, mdf gibi malzemelerden yapılmış dolaplarımızı duvara tutturmada, elektronik devreleri kasalara sabitlemede Resim 1.67'de görülen vida kullanılmaktadır. Vidayı bir tur çevirdiğimizde vida adımı (iki diş arası mesafe) kadar içeri girer.



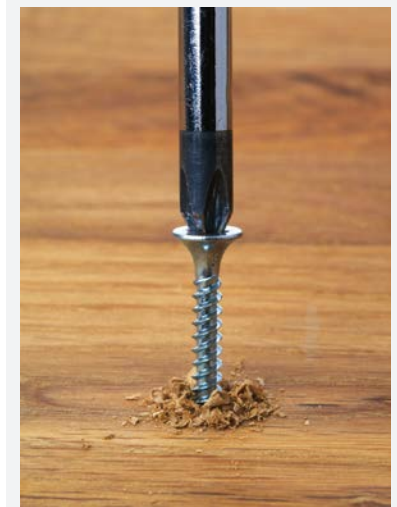
Resim 1.65: Saat dişlileri



Resim 1.66: Çıkrık

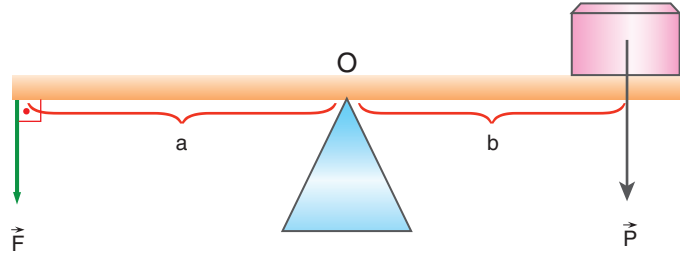


Şekil 1.124: Eğik düzlem



Resim 1.67: Vida

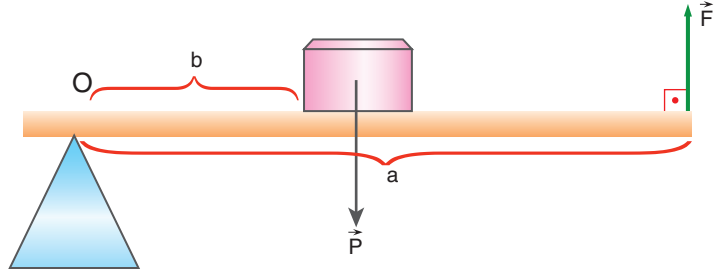
## 1.10.2. Basit Makineler ile İlgili Hesaplamalar



Şekil 1.125: Desteğin ortada olduğu kaldıraç sistemi

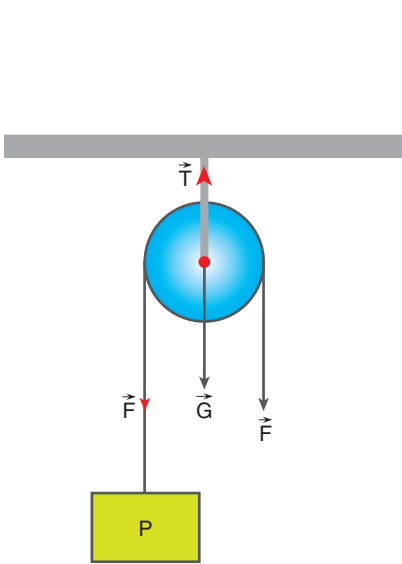
P yükünün Şekil 1.125'teki gibi ağırlığı ihmal edilen bir çubuk üzerinde  $\vec{F}$  kuvveti ile dengelendiğini düşünelim. Destek ortada olduğu için O noktasına göre kuvvetin ve yükün torklarını eşitlediğimizde,

$F \cdot a = P \cdot b$  bağıntısını elde ederiz.

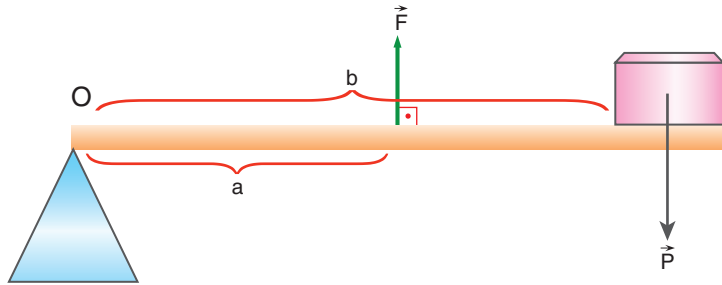


Şekil 1.126: Yükün ortada, kuvvet ve desteğin kenarda olduğu kaldıraç sistemi

Şekil 1.126'da görülen sistemde desteğin olduğu yere göre tork alındığında  $F \cdot a = P \cdot b$  eşitliği yazılır. Bu kaldıraç sistemine ceviz kıracağı örnek verilebilir.



Şekil 1.128: Sabit makara



Şekil 1.127: Desteğin ve yükün kenarda, kuvvetin ise ortada olduğu kaldıraç sistemi

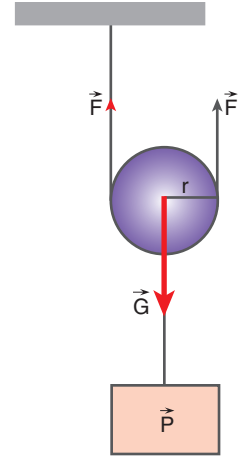
Mutfakta kullandığımız maşalarda Şekil 1.127'de görüldüğü gibi destek ve yük kenardadır. Bu sistem içinde O noktasına göre tork alırsak  $F \cdot a = P \cdot b$  eşitliğini yazarız.

Sabit makaralar genelde hafif yüklerin belirli bir yüksekliğe kaldırılmasında kullanılır. Şekil 1.128'de görüldüğü gibi  $\vec{F}$  kuvveti

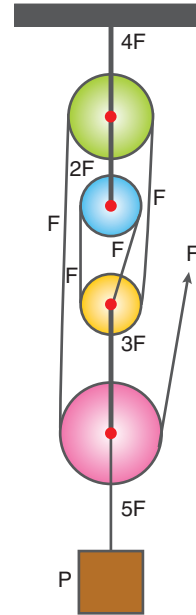
ile  $\vec{P}$  ağırlığındaki yükü  $h$  kadar çekersek yük de  $h$  kadar yükselir. Makarayı dengeleyen ipteki  $\vec{T}$  gerilme kuvveti, makara ağırlığının önemsiz olduğu denge durumunda  $2\vec{F}$  büyüklüğündedir.  $\vec{F}$  kuvveti ile ipi  $2\pi r$  çekersek  $r$  yarıçaplı makara bir tur çektığımız kuvvet yönünde döner. Makara ağırlığının önemli ve  $\vec{G}$  olduğu denge durumunda ise  $T = 2F + G$  büyüklüğündedir.

Hareketli makaralar ağır yüklerin kaldırılmasında kullanılmaktadır. Ağırlığı  $\vec{G}$  olan sistemde kuvvetlerin dengesi  $2F = P + G$  şeklinde yazılır. Eğer sistemde makara ağırlığı önemsiz olsaydı  $2F = P$  eşitliği yazılırdı.  $\vec{F}$  kuvvetinin uygulandığı ip  $2\pi r$  kadar çekilirse yük,  $\pi r$  kadar yükselir.  $\vec{F}$  kuvvetinin bağlı olduğu ip  $2\pi r$  kadar çekildiğinde makara da döner. Makara, çekilen ipin uzunluğunun yarısı kadar döner. Asılı olan  $r$  yarıçaplı hareketli makaranın çevresi  $2\pi r$  olduğu için  $\pi r$  dönme miktarı, yarım tura karşılık gelir. Makaranın ağırlığının değişmesi yükselme miktarını ve dönme miktarını etkilemez (Şekil 1.129).

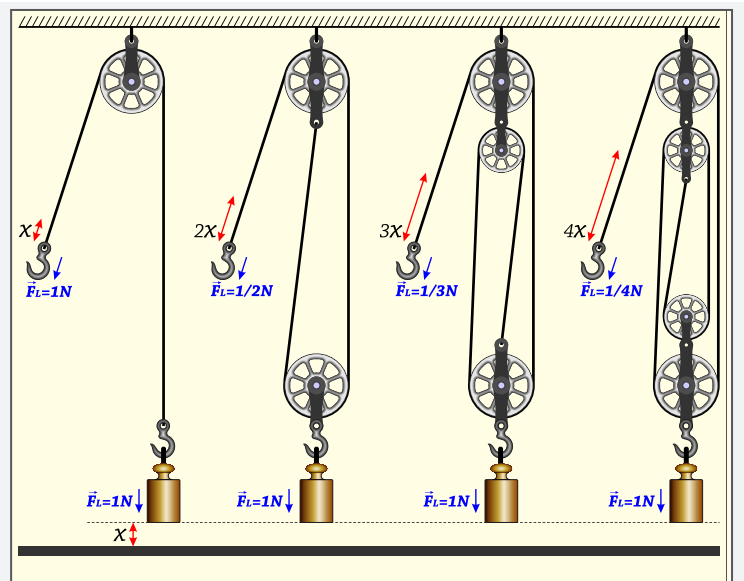
P yükünü ağırlıksız makaralar yardımı ile Şekil 1.130'da görüldüğü gibi  $\vec{F}$  kuvveti ile dengeleyelim. Makarayı aşağıya doğru çeken kuvvetlerin toplamı, yukarıya doğru çeken kuvvetlerin toplamına eşittir (kuvvetlerin dengesi).  $\vec{F}$  kuvvetinin bağlı olduğu ip boyunca ip gerilmeleri sabit olduğu için P yükünü taşıyan ipteki gerilme  $5F$  büyüklüğünde bulunur.



Şekil 1.129: Hareketli makara



Şekil 1.130: Palanga sistemi



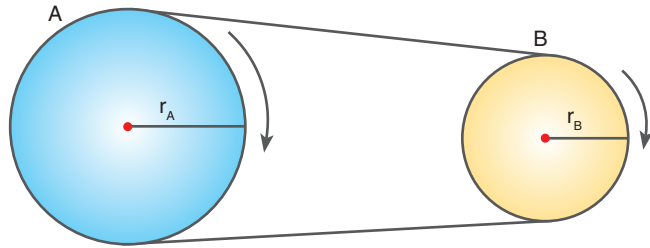
Resim 1.68: Makara sistemleri

Basit makinelerde işten kazanç olmadığı için çektığımız yükün ne kadar yükseldiğini Resim 1.68'de görüldüğü gibi bulabiliriz.

1 N ağırlığındaki yükü  $x$  kadar yükseltmek için dört durumda da yapılan iş aynıdır.

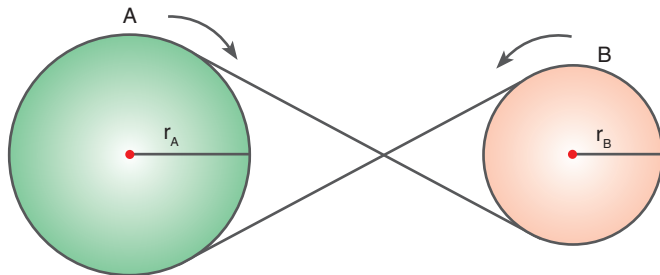
Yapılan işler  $W = F \cdot x$  bağıntısından  $W = 1 \cdot x$ 'dir. Cisimleri  $x$  kadar yükseltmek için yükü dengeleyen kuvvet, makara ağırlığı ihmal edilerek bulunur. Daha sonra yükün üzerinde yapılan işe eşit iş olması şartı ile kuvvet ve yol çarpımı bulunur. Yapılan bütün işler  $W = 1 \cdot x$  büyüklüğündedir. Kuvvetlerin yaptığı işler de  $W = x$  olmalıdır. Dört durumda da kuvvetin yaptığı işler  $W = x \text{ N} \cdot \text{m}$  olacak şekilde ipler çekilmelidir.

Birbirine Şekil 1.131'deki gibi bağlanan A ve B kasnaklarının dönüş yönleri aynıdır. Kasnakların saniyedeki tur sayıları  $f$  ile yarıçapları  $r$  arasındaki ilişki  $f_A \cdot r_A = f_B \cdot r_B$  şeklinde ifade edilir. Yarıçapı küçük kasnak, yarıçapı büyük kasnağa göre daha çok tur atar.



Şekil 1.131: Düz bağlı kasnaklar

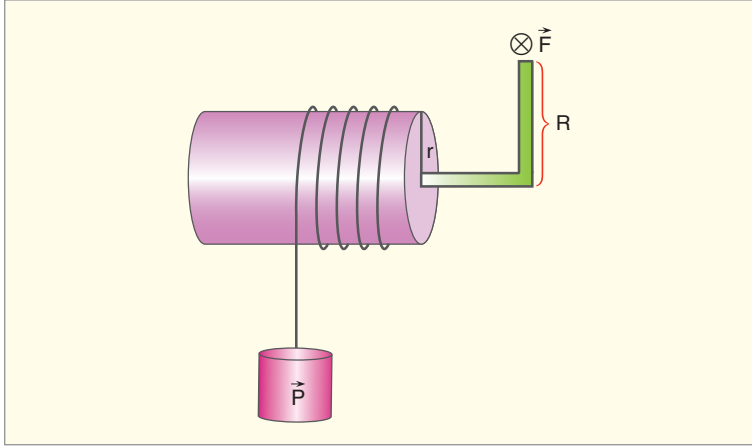
Kasnakları Şekil 1.132'deki gibi ters bağladığımızda yarıçap ve tur sayıları arasında düz bağlamada olduğu gibi  $f_A \cdot r_A = f_B \cdot r_B$  bağıntısı geçerlidir. Ters bağlamanın farkı, iki kasnağın dönme yönlerinin ters olmasıdır.



Şekil 1.132: Ters bağlı kasnaklar

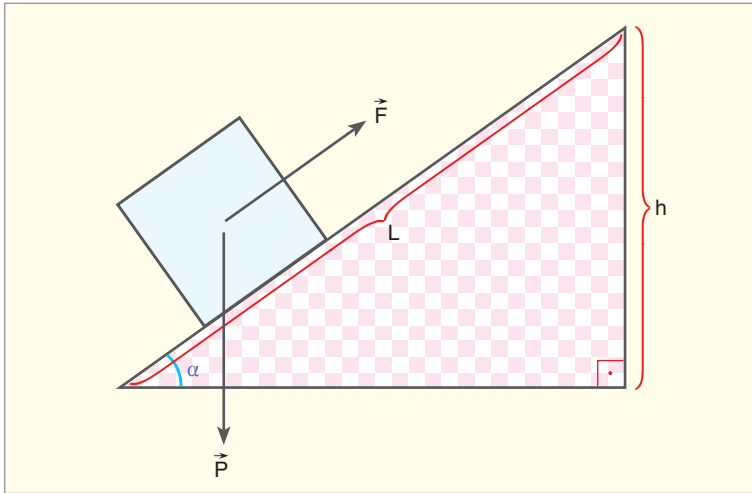
Çıkık sisteminde silindirin dönme eksenine göre yükün ve uygulanan kuvvetin torkları birbirine eşitlenir.  $F \cdot R = P \cdot r$  eşitliği yazılır. Kuvvet kolunun yarıçapı  $R$ , yükün bağlı olduğu silindirin yarıçapından büyük olduğu için yükten daha küçük kuvvet uygulanarak denge sağlanır. Kuvvet kolu bir tur çevrildiğinde yükün

bağlı olduğu silindir bir tur döner. Bu sırada yük, silindirin çevresi kadar yer değiştirir (Şekil 1.133).



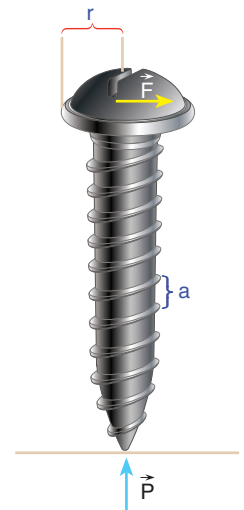
Şekil 1.133: Çıkrık

Eğik düzlemin uzunluğu  $L$ , eğik düzlemin yüksekliği  $h$  olsun. Kuvvet ve yük arasında  $F \cdot L = P \cdot h$  eşitliği yazılır. Bu eşitlik farklı bir şekilde  $F = P \sin \alpha$  şeklinde de yazılır ( $\sin \alpha = h/L$ ) (Şekil 1.134).



Şekil 1.134: Eğik düzlem

Şekil 1.135'te görülen vidada tornavidanın uygulandığı üst kısmın yarıçapı  $r$  olsun. Vidaya uyguladığımız kuvvet ile tornavidayı bir tur çevirdiğimizde kuvvetin yaptığı iş  $W = F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$  büyüklüğündedir. Vida bir tur döndüğünde bir vida adımı kadar saplanır. Vida adımı  $a$  ile gösterilir. Vidayı döndürmek için vidaya belirli bir kuvvet uygulamamız gerekir. Bu kuvvete **direnge kuvvet** denir. Direngen kuvvet  $P$  ile gösterilir. Vida bir tur döndüğünde bu kuvvet üzerinde yapılan iş  $W = P \cdot a$  büyüklüğündedir.



Şekil 1.135: Vida

Kuvvetin yaptığı iş, direngen kuvvet üzerinde yapılan işe eşittir. Bu iki işi eşitlediğimizde  $F \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = P \cdot a$  bağıntısını elde ederiz.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 37

1.



Bir inşaat işçisi araba ile birlikte kütlesi 50 kg olan yükü el arabasını kullanarak şekildeki gibi taşımaktadır. Buna göre işçinin bir koluna düşen yük kaç N'dır? (A noktası yükü ile birlikte el arabasının kütle merkezidir.  $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

### ÇÖZÜM

Araba ile birlikte toplam yük 500 N ağırlığındadır. Kollara düşen yükü bulmak için

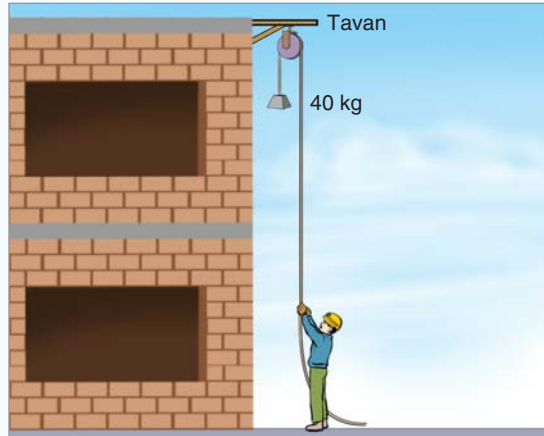
$$F \cdot 120 = 500 \cdot 60 \text{ eşitliğinden}$$

$$F = 250 \text{ N elde edilir.}$$

Kollardan birine düşen yük,

$$\frac{250}{2} = 125 \text{ N bulunur.}$$

2.



Bir inşaatçı çalışan Murat 40 kg kütleli yükü sabit makara kullanarak üst kata kaldırmak istiyor. Makaranın kütlesi

3 kg'dır. Makara sistemi dengede iken tavana bağlı çengele kaç newton kuvvet uygular? ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

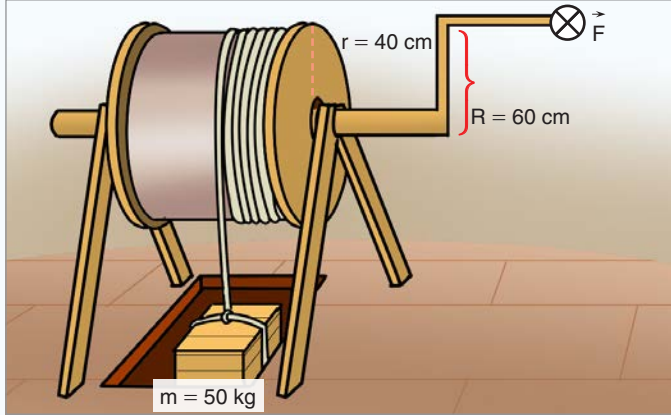
### ÇÖZÜM

Makaranın çengele uyguladığı kuvvet,

$$T = 400 + 400 + G_{\text{makara}} \text{ ile bulunur.}$$

$$T = 800 + 30 = 830 \text{ N bulunur.}$$

3.



Bir geminin güvertesine kurulu, şekildeki çıkırık ile ambar-  
dan yük yukarıya çekilmektedir. 50 kg kütleli yükü çekmek  
için uygulanması gereken kuvvet kaç N'dir? (Sürtünmeler  
ihmal ediliyor,  $\otimes$  işareti kuvvetin sayfa düzleminin içine  
doğru olduğunu gösterir.  $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınız.)

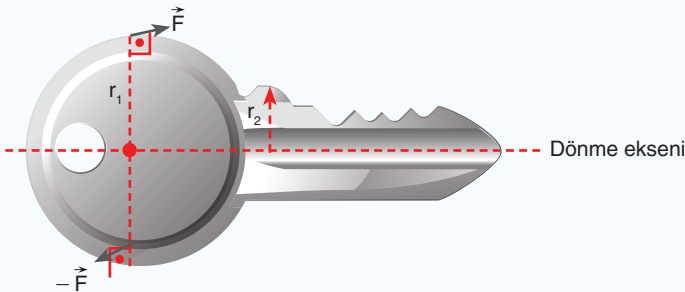
### ÇÖZÜM

Çıkırığı döndürmek için gereken kuvveti bulmak için

$G \cdot r = F \cdot R$  eşitliğinden yararlanılır.

$$500 \cdot 40 = F \cdot 60 \quad F = \frac{2000}{6} = \frac{1000}{3} \text{ N bulunur.}$$

4.



Günay kapıyı açmak için şekilde gösterildiği gibi 10 N bü-  
yüklüğünde kuvvet uyguluyor. Anahtarın kapıya uyguladığı  
kuvvet kaç N'dir? ( $r_1 = 10 \text{ mm}$ ,  $r_2 = 2 \text{ mm}$ 'dir. Kapıya sade-  
ce  $r_2$  tırnağının etki ettiğini kabul ediniz)

## ÇÖZÜM

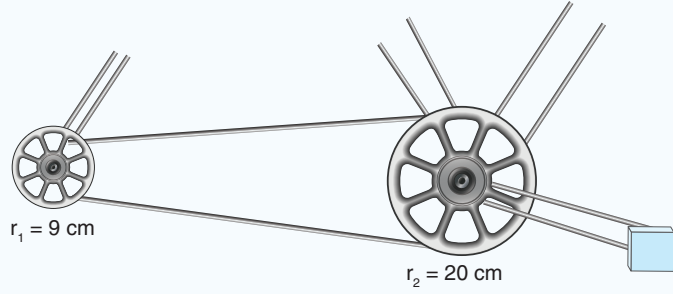
Dönme eksenine göre tork alınırsa

$$2F \cdot r_1 = P \cdot r_2 \text{ eşitliği yazılır.}$$

$$2 \cdot 10 \cdot 10 = P \cdot 2$$

$$P = 100 \text{ N bulunur.}$$

5.



Bir bisikletin ön ve arka dişlilerinin yarıçapları şekildeki gibi veriliyor. Ön dişli bir tur attığında arka dişli kaç tur döner?

## ÇÖZÜM

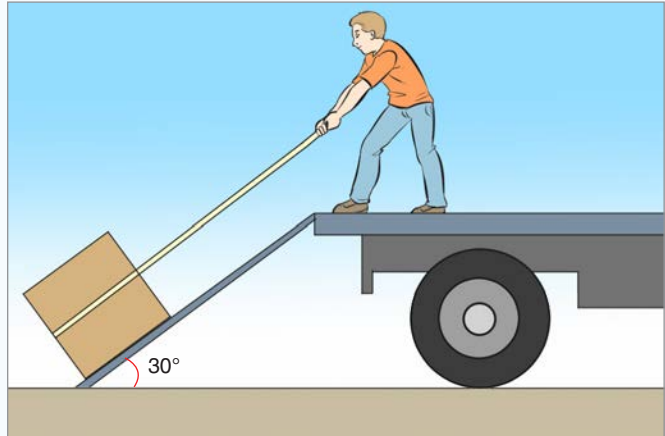
Ön dişli 1 tur döndüğünde arka dişli

$$r_1 \cdot f_1 = r_2 \cdot f_2 \text{ eşitliğinden}$$

$$9 \cdot f_1 = 20 \cdot 1$$

$$f_1 = \frac{20}{9} \text{ tur bulunur.}$$

6.



Kamyonla yük taşıyan Hasan, 40 kg kütleli bir tahta sandığı 2 m uzunluğundaki eğik düzlemde bir ip yardımıyla çekmektedir. Hasan'ın sandığı çekmesi için gereken kuvvet kaç N'dır? (Sürtünmeleri ihmal ediniz.

$$\sin 30^\circ = 1/2 \quad \cos 37^\circ = 0,8 \quad g \cong 10 \text{ N/kg alınız.})$$



## ÇÖZÜM

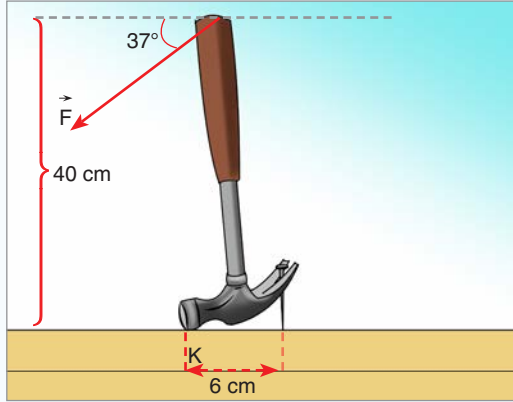
Eğik düzlemde işçinin uygulaması gereken kuvvet

$$F \cdot \ell = P \cdot h \text{ eşitliğinden,}$$

$$F \cdot 2 = 400 \cdot 1$$

$$F = 200 \text{ N bulunur.}$$

7.



Hakan tahtaya saplı çiviye şekildeki gibi kuvvet uygulayarak çıkarıyor. Hakan 300 N büyüklüğünde kuvvet uyguladığında çekicin çiviye uyguladığı kuvvet kaç N'dır?

( $\cos 37 = 0,8$ )

## ÇÖZÜM

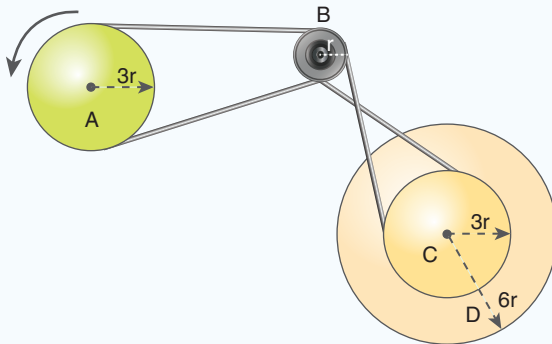
Çekicin çiviye uyguladığı kuvvet için K noktasına göre torklar eşitlenir.

$$F \cdot \cos 37 \cdot 40 = F_{\text{ç}} \cdot 6$$

$$300 \cdot \frac{4}{5} \cdot 40 = F_{\text{ç}} \cdot 6$$

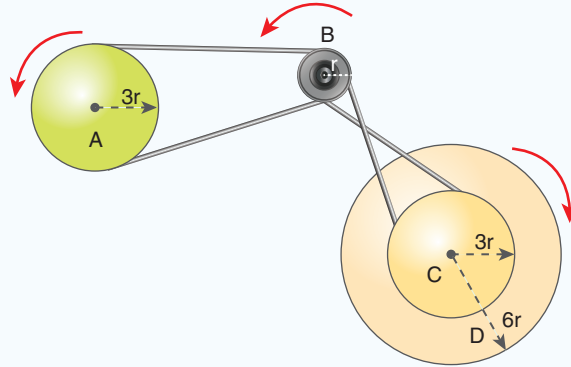
$$F_{\text{ç}} = 1600 \text{ N bulunur.}$$

8.



Yarıçapları verilen A, B, C ve D çarkları şekildeki gibi birbirine kayışlarla bağlanıyor. A çarkı ok yönünde 2 tur atarsa diğer kasnaklar hangi yönde, kaç tur atar?

## ÇÖZÜM



Sistemde A ve B çarkı aynı yönde döner. C ve D çarkları da eş merkezli olduğu için aynı yönde döner. B ve C çarkları ise zıt yönde döner. Tur sayıları için

$f_A \cdot r_A = f_B \cdot r_B$  eşitliğinden yararlanılır.  $2 \cdot 3r = f_B \cdot r$  eşitliğinden B çarkı 6 tur döner. B çarkı C çarkına bağlıdır. Bu nedenle tur sayıları,  $f_C \cdot r_C = f_B \cdot r_B$  eşitliğinden  $f_C \cdot 3r = 6 \cdot r$ , olur ve C çarkı 2 tur döner. C çarkı ile D çarkı eş merkezli olduğu için D çarkı da 2 tur döner.

9. Çıkrıkla kuyudan su çeken Murat, 20 kg toplam kütleli su kovanını kuyudan yukarıya çekmektedir. Kovanın bağlı olduğu silindirin yarıçapı 50 cm, Murat'ın kuvvet uyguladığı kolun uzunluğu 1 m'dir. Buna göre Murat'ın kovayı çekmesi için gereken minimum kuvvet kaç N'dır? (Sürtünmeleri ihmal ediniz.)

## ÇÖZÜM

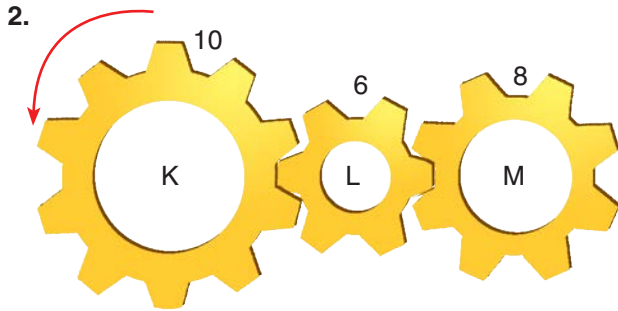
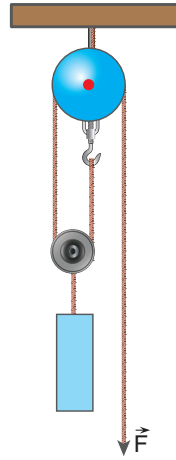
Minimum kuvvet için

$F \cdot r = P \cdot R$  eşitliliği yazılır.

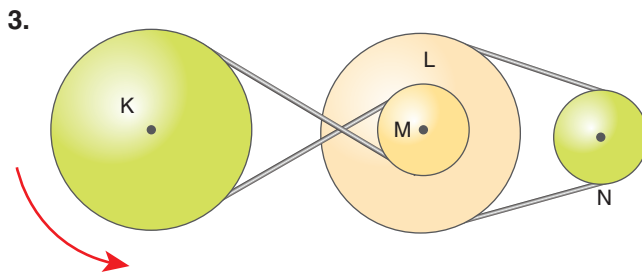
$$F \cdot 1 = 200 \cdot \frac{1}{2} \quad F = 100 \text{ N bulunur.}$$

### KENDİMİZİ DENEYELİM 31

1. Kütlesi 200 kg olan bir piyanoyu şekildeki gibi ağırlığı ve sürtünmesi ihmal edilen makaralarla yukarıya kaldırmak isteyen bir işçinin uygulaması gereken kuvvet kaç N'dır? ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınınız.)



Diş sayısı sırasıyla 10, 6 ve 8 olan K, L ve M dişlilerinden K dişlisi ok yönünde 2 devir yaparsa M dişlisi, hangi yönde kaç tur yapar? Ortadaki dişlinin diş sayısı iki katına çıkarılırsa M dişlisinin dönme sayısı değişir mi?



Bir otobüs motorunun içinde kurulu olan ve şekildeki gösterilen kasnakların yarıçapları  $r_K = 4r$ ,  $r_L = 4r$ ,  $r_M = r$ ,  $r_N = r$ 'dir. K çarkı ok yönünde 5 tur atarsa M, L ve N çarkı hangi yönde kaç tur atar?



## Araştırılmalı

Makinelerin neden yüzde yüz verimle çalışamayacağını araştırınız.

## Verim

Basit makinelerde verim, verilen enerjinin alınan enerjiye oranı ile bulunur. Yükün ağırlığının uygulanan kuvvete oranına **kuvvet kazancı** denir.

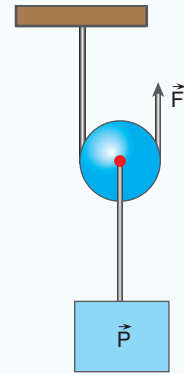
$$\text{Verim} = \frac{\text{alınan iş}}{\text{verilen iş}} = \frac{\text{alınan enerji}}{\text{verilen enerji}} = \frac{\text{yükün kazandığı enerji}}{\text{kuvvetin yaptığı iş}}$$



## ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 38

9 kg kütleli yük 10 N ağırlığındaki makaraya bağlanarak  $\vec{F}$  kuvveti ile şekildeki gibi dengeleniyor.  $\vec{F}$  kuvvetinin uygulandığı ip, sabit hızla 2 m çekiliyor. Hareketli makarada verim yüzde kaçtır?

( $g = 10 \text{ N/kg}$  alınız.)



## ÇÖZÜM

Hareketli makara için denge denklemi,

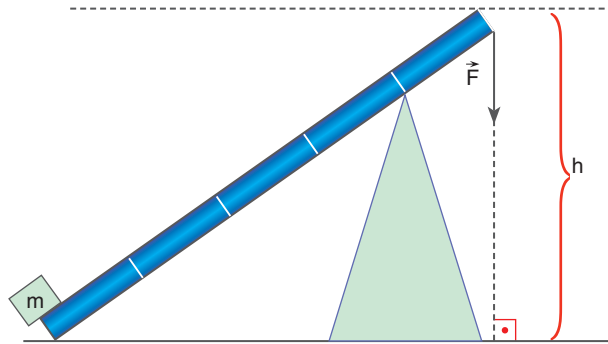
$$P + G_{\text{MAKARA}} = 2F, 90 + 10 = 2F; F = 50 \text{ N bulunur.}$$

F kuvvetinin yaptığı iş,  $W = F \cdot x = 50 \cdot 2 = 100 \text{ J}$ 'dür. Kuvvetin bağlı olduğu ip 2 m çekilirse yük 1 m yükselir. Yükün üzerinde yapılan iş  $W = P \cdot h = 90 \cdot 1 = 90 \text{ J}$  bulunur.

$$\text{Verim} = 90 / 100 = \%90 \text{ olur.}$$



## KENDİMİZİ DENEYELİM 32



m kütleli, eşit bölmeli ve homojen kaldıraça m kütleli cisim sabitlenerek F kuvveti ile sabit hızla yatay konuma getiriliyor. Kaldıraçta verim % kaçtır?

### 1.10.3. Günlük Hayattaki Bir Problemi Çözebilecek Basit Makineler

Basit makineler günlük yaşantımızı kolaylaştırmaktadır. Günlük yaşantımızda zorlandığımız durumlar için basit makineler üretilmiştir. Kumaş kesmek için terzi makası, ceviz kırmak için ceviz kıracağı, buz tutmak için buz maşası geliştirilmiştir. Bunlar basit makinelerden bazılarıdır. Siz de basit bir makine tasarlayarak günlük yaşantımızda karşılaştığımız bir soruna çözüm bulunuz.



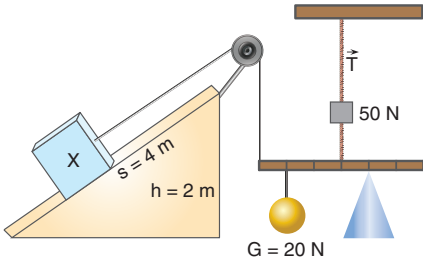
#### Proje Hazırlayalım

Günlük hayatta karşılaşılan sorunları araştırınız. Araştırma yaparken basit makine sistemlerinin kullanıldığı alanlarda iş sağlığı ve güvenliğini artırıcı tedbirlere yönelik neler yapıldığını inceleyiniz. Hayatı kolaylaştırmak için basit makinelerden oluşan güvenli bir sistem tasarlayınız. Tasarladığınız modeli yapmak için atık malzeme ve bilişim teknolojilerinden yararlanınız. Geliştirdiğiniz özgün tasarımın patentini almak için aşağıdaki Genel Ağ adresinden başvurunuzu yapabilirsiniz.

<http://www.turkpatent.gov.tr/TURKPATENT/>

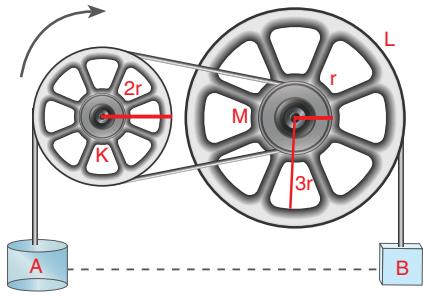






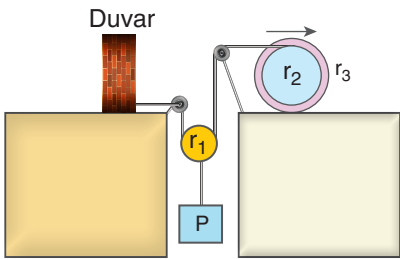
7. Ağırlığı 10 N olan bir X cismi sürtünmenin ihmal edildiği ortamda şekildeki gibi dengededir. Eşit bölmeli çubuğun ağırlığı önemsiz olduğuna göre 50 N ağırlığındaki cismin üzerindeki ip gerilmesinin büyüklüğü kaç N'dır?

Çözüm:

8. Şekildeki gibi birbirine bağlı çarklardan K çarkı ok yönünde 4 tur atarsa A ve B cisimleri arasındaki dikey uzaklık kaç  $\pi r$  olur? ( $r_K = 2r, r_M = r, r_L = 3r$ )

Çözüm:

9. Yarıçapları şekildeki gibi olan eş merkezli çarklar yarıçapı  $2r$  olan hareketli bir makaraya bağlıyor. Eş merkezli çarklar ok yönünde bir tur dönerek ilerlediğinde hareketli makara hangi yönde kaç tur döner? ( $r_1 = 2r, r_2 = 3r, r_3 = 5r$ )

Çözüm:




## 1. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan noktalı yerleri, kutucukların içinde bulunan kelimeler ve kavramlarla tamamlayınız.

konum

iş

vektörel

kuvvet

itme

nehir hızı

tepki kuvveti

sağ el

iki

mekanik enerji

- ..... büyüklükler; sayının yanında yön, doğrultu ve uygulama noktasını da belirtmemiz gereken büyüklüklerdir.
- Yere göre hız, cismin suya göre hızı ile ..... bileşkesidir.
- Sürtünme kuvveti sürtünme katsayısı ile yüzeyin ..... çarpımı ile bulunur.
- Hızlanan hareketlerde konum-zaman grafiği ..... eksenine doğru eğilir.
- Eğik atılan cisimler ..... boyutta hareket eder.
- Bir cismin sahip olduğu kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına ..... denir.
- Bir cisme uygulanan kuvvetle kuvvetin uygulanma süresinin çarpımına ..... denir.
- Torkun yönü ..... kuralı ile bulunur.
- Dengede olan sistemlerde ..... vektörel toplamı sıfırdır.
- Basit makinelerde ya kuvvetten kazanılır ya da yoldan kazanılır. Basit makinelerde ..... kazanç olmaz.

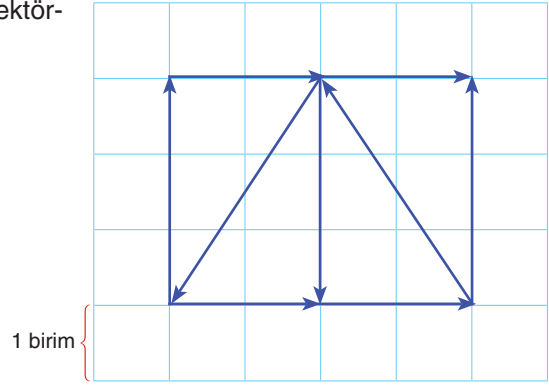
B. Aşağıdaki cümlelerde bildirilen yargılar doğru ise yay ayraç içine “D”, yanlış ise “Y” yazınız.

- (...) İki vektörün toplamının en büyük değeri, vektörlerin büyüklüklerinin skaler toplamları kadardır.
- (...) Gözlemcinin hızı ile gözlenen cismin hızının vektörel toplamı, bağlı hızı verir.
- (...) Sürtünmeli yatay yüzeye belirli bir hızla atılan cisim, ivmeli hareket yaparak durur.
- (...) İvme-zaman grafiğinin altında kalan alan, hız değişimini verir.
- (...) Serbest düşen cisimler her saniyede eşit miktarda yer değiştirir.
- (...) Yaylarda depolanan enerjiye “kinetik enerji” denir.
- (...) Patlamalarda momentum korunur.
- (...) Kuvvetin döndürme etkisi olan tork, skaler bir büyüklüktür.
- (...) Bir eksen etrafında dönen cisimler dengede değildir.
- (...) Her zaman cisimlerin kütle merkezi ile ağırlık merkezi aynı yerdedir.

**C. Aşağıdaki çoktan seçmeli sorularda doğru seçeneği işaretleyiniz.**

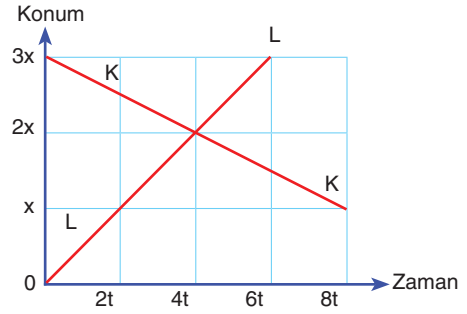
1. Özdeş karelerden oluşmuş sistemde şekildeki vektörler veriliyor. Vektörlerin bileşkesi kaç birimdir?

- A) 1                      B) 2                      C) 3  
D) 4                      E) 5



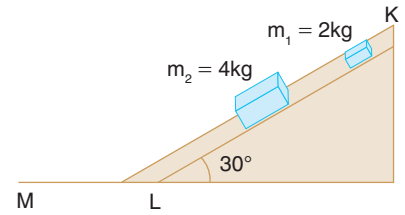
2. Aynı anda harekete başlayan K ve L hareketlilerinin konum-zaman grafiği şekildeki gibidir. L hareketlisi doğuya doğru  $4v$  hızıyla gittiğine göre L hareketlisi K'ye bakarak kendini hangi yöne doğru, hangi hızla gidiyor görür?

- A) Doğu  $6v$                       B) Batı  $6v$                       C) Doğu  $2v$   
D) Duruyor görür                      E) Batı  $4v$



3. Sürtünmesiz düzlemde aynı anda 2 kg ve 4 kg kütleli cisimler serbest bırakılıyor. Cisimlerin aralarındaki mesafe KL ve LM aralığında nasıl değişir?

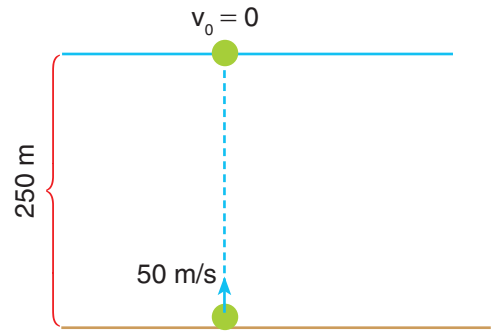
- |    | KL      | LM      |
|----|---------|---------|
| A) | Artar.  | Azalır. |
| B) | Artar.  | Sabit.  |
| C) | Artar.  | Artar.  |
| D) | Azalır. | Azalır. |
| E) | Sabit.  | Azalır. |



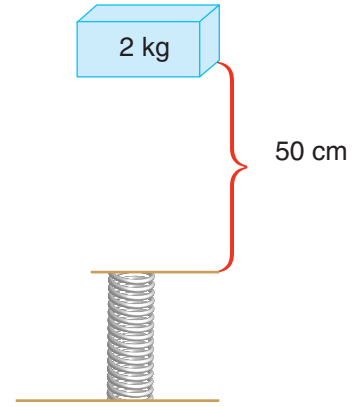
4. Aynı yönde hareket eden X ve Y araçlarından önde olan X aracının hızı  $20 \text{ m/s}$ , Y aracının hızı ise  $50 \text{ m/s}$ 'dir. Y aracı ile X aracı arasında  $60 \text{ m}$  kaldığında Y aracının şoförü frene basıyor ve araç sabit ivme ile yavaşlıyor. Çarpışma olmaması için Y aracının en küçük ivmesi kaç  $\text{m/s}^2$  olmalıdır?

- A) 1                      B)  $\frac{15}{2}$                       C)  $3/4$                       D)  $4/5$                       E) 5

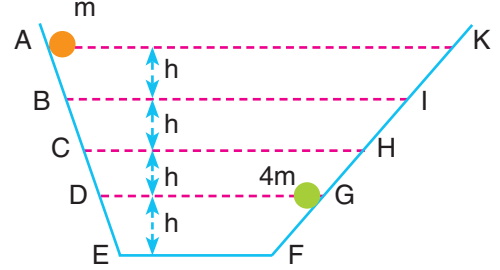
5. Şekildeki iki cisim aynı anda belirtilen hızlarla harekete başlıyor. Cisimler kaç saniye sonra karşılaşır?
- A) 2                      B) 3                      C) 5  
D) 7                      E) 9



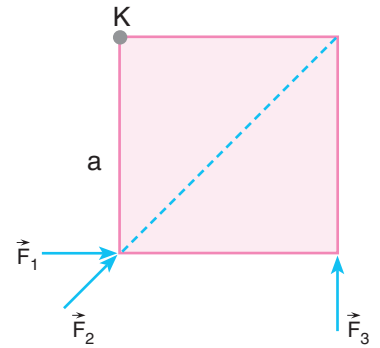
6. Şekildeki gibi serbest bırakılan cisim, yayı 10 cm sıkıştırabildiğine göre yay sabitini bulunuz. ( $g \cong 10 \text{ N/kg}$  alınınız.)
- A) 1500                      B) 200                      C) 2100  
D) 2400                      E) 2500



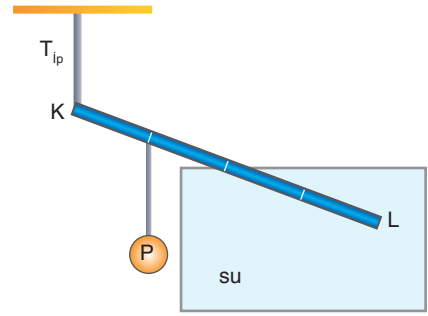
7. Şekildeki A ve G noktalarında bulunan  $m$  ve  $4m$  kütleli cisimler, sürtünmesiz düzlemde aynı anda serbest bırakılıyor. Cisimler EF aralığında çarpışıp kenetleniyor. Cisimlerin çarpışmadan sonra ilk durduğu aralık neresidir?
- A) DE                      B) FG                      C) CD  
D) GH                      E) HI



8. Bir kenarı  $a$  kadar olan kare levha, K noktasından şekildeki gibi tuturulmuştur. Sistem K noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir. Kuvvetler levhayı ayrı ayrı dengede tutabildiklerine göre kuvvetlerin toraklarının büyüklüklerinin doğru sıralanışı aşağıdakilerden hangisidir?
- A)  $\tau_1 < \tau_2 = \tau_3$     B)  $\tau_1 > \tau_2 > \tau_3$   
C)  $\tau_1 < \tau_2 < \tau_3$     D)  $\tau_1 = \tau_3 < \tau_2$   
E)  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$

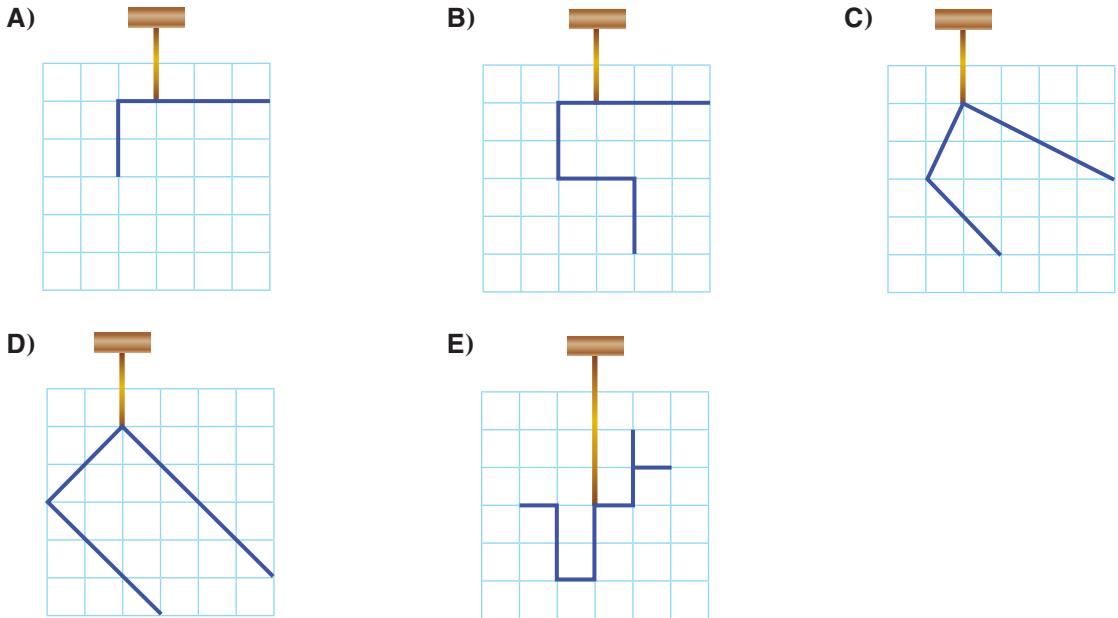


9. 20 N ağırlığındaki düzgün, tırdeş ve eşit bölmeli KL çubuğuna 5 N'lık P cismi asılıyor. Çubuğun yarısı suyun içinde kalıyor. Cismin bu şekilde dengede kalması sağlanıyor. Buna göre ipteki gerilme kuvvetinin suyun kaldırma kuvvetine oranı kaçtır?



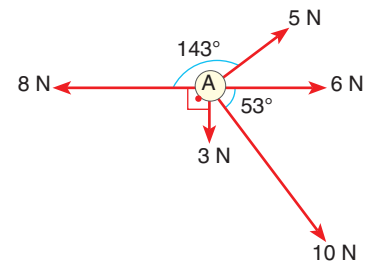
- A) 1                      B) 2 / 3                      C) 2  
D) 2 / 5                      E) 3 / 7

10. Homojen bir tel parçasından kesilen parçalar belirli noktalarından asılıyor. Hangi tel parçası asıldıktan sonra şekillerde belirtilen konumlarda denge sağlanır?

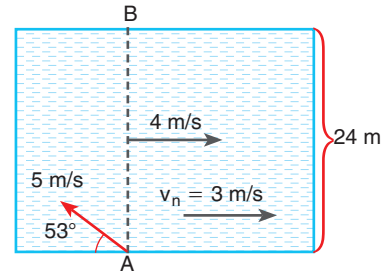


Ç. Aşağıdaki soruların cevaplarını defterinize yazınız.

1. Şekildeki kuvvetler, sürtünmesiz ortamda duran 2 kg kütleli A cismine etki ediyor. Cisime etki eden net kuvveti bulunuz.

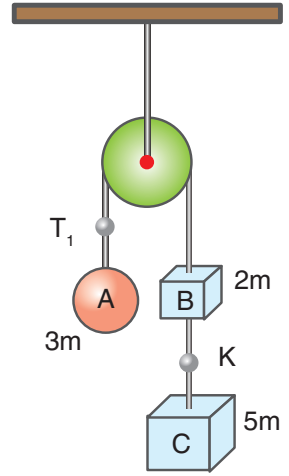


2. Akıntı hızının 3 m/s olduğu 24 m genişliğindeki bir nehirde A noktasından suya göre 5 m/s hızla şekildeki gibi bir yüzücü suya giriyor. Aynı anda nehrin tam ortasında bir yüzücü suya göre 4 m/s hızla akıntı ile aynı yönde yüzmeye başlıyor. A noktasından suya giren yüzücü karşı kıyıya çıktığında yüzmeye nehrin ortasından başlayan yüzücü ile aralarındaki uzaklık kaç m'dir? (sin 53 = 0,8 cos 53 = 0,6)

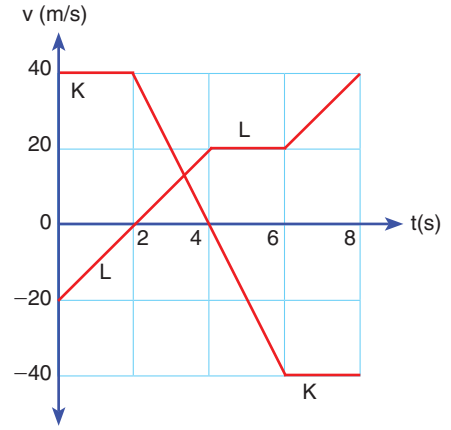


3. Şekildeki ağırlığı önemsenmeyen makara ile kurulan sürtünmesiz sistem serbest bırakılırsa

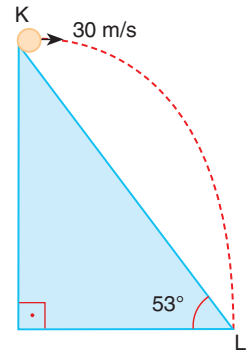
- Sistemin ivmesini bulunuz.
- $T_1$  ip gerilmesini ve makarayı taşıyan ipteki gerilmeyi bulunuz.
- Şekildeki sistem hareket ederken ip K noktasından kopuyor. Cisimler ip koştuktan sonra nasıl hareket eder?
- Hareketin hız-zaman grafiğini çiziniz. (Cisimlerin bağlı olduğu ipler yeterince uzundur.)



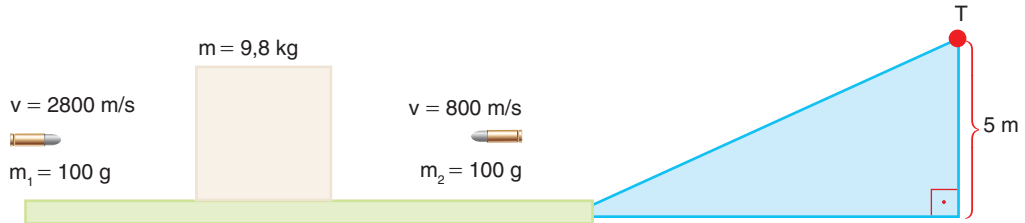
4. Başlangıçta yan yana olan K ve L araçlarının
- 7 s sonunda aralarındaki uzaklığı bulunuz.
  - Araçların 0-6 saniye arasındaki ortalama hızlarının oranı kaçtır?
  - Hangi zaman aralıklarında L aracının ivme vektörü ile yer değiştirme vektörü ters yönlüdür?
  - Hangi zaman aralığında K hareketlisi bir net kuvvetin etkisinde kalmıştır?
  - Hangi zaman aralığında L hareketlisi başladığı noktaya yaklaşmıştır?



5. Şekildeki gibi K noktasından yatay atılan 2 kg'lık cisim L noktasına çarpıyor. KL yolunun uzunluğunu bulunuz. ( $\sin 53^\circ = 0,8$   $\cos 53^\circ = 0,6$  Hava sürtünmesini ihmal ediniz.  $g \cong 10$  N/kg alınınız.)

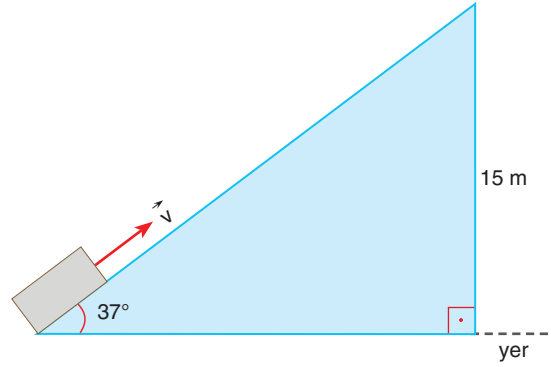


- 6.

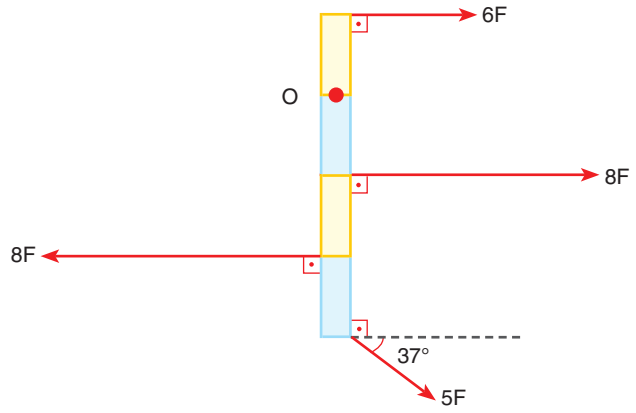


Hızları ve kütleleri verilen şekildeki mermiler, sürtünmenin ihmal edildiği ortamda kütlesi 9,8 kg olan tahta bloka aynı anda saplanıp kalıyor. Bloкта kütle kaybı olmadığına göre T noktasından geçerken cismin hızını bulunuz.

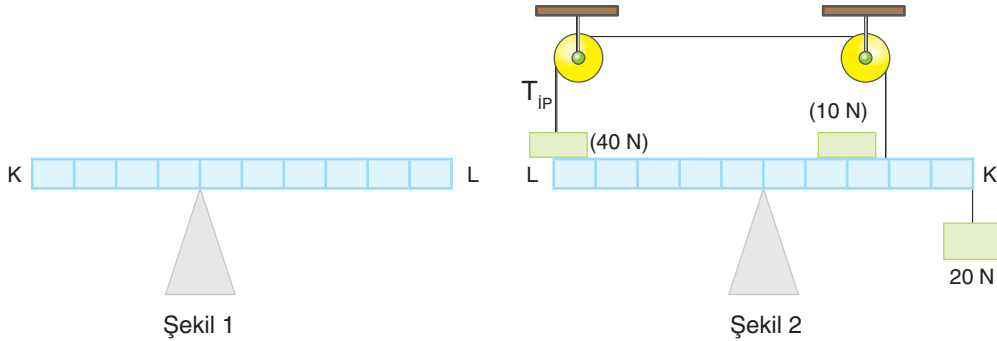
7. Kütlesi 10 g olan bir mermer parçası eğik düzlemin alt ucundan 20 m/s hızla şekildeki gibi fırlatılıyor. Sürtünmelerin ihmal edildiği sistemde mermer parçasının yere göre sahip olacağı en büyük potansiyel enerji kaç J'dür?  
( $\sin 37^\circ = 0,6$   $\cos 37^\circ = 0,8$   $g \cong 10 \text{ N/kg}$ )



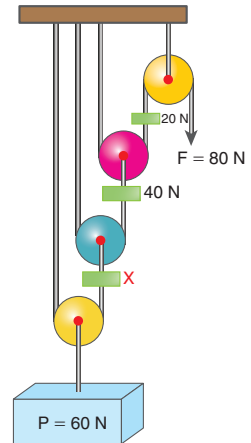
8. Şekildeki ağırlığı önemsiz çubuk, O noktası etrafında serbestçe dönebilmektedir. Çubuk eşit bölmeli ve her aralık a kadar olduğuna göre bileşke tork kaç  $F \cdot a$ 'dır?  
( $\sin 37^\circ = 0,6$   $\cos 37^\circ = 0,8$ )



9. Eşit bölmeli 40 N ağırlığındaki KL çubuğu Şekil 1'deki gibi dengededir. Aynı çubuk Şekil 2'deki gibi dengede olduğuna göre  $T_{ip}$  gerilmesi kaç N'dır?



10. Özdeş ve ağırlıkları 20 N olan makaralarla hazırlanmış şekildeki sistem dengededir. Sistemde sürtünmeler ihmal edildiğine göre x cisminin ağırlığı kaç N'dır?



# 2. ÜNİTE



## ELEKTRİK VE MANYETİZMA

### Anahtar Kavramlar

1. Elektriksel kuvvet
2. Elektrik alan
3. Elektriksel potansiyel enerji
4. Elektriksel potansiyel
5. Elektriksel potansiyel farkı
6. Sığa
7. Sığaç
8. Manyetik alan
9. Manyetik kuvvet
10. Manyetik akı
11. Elektromotor kuvveti
12. Alternatif akım
13. İndüktans
14. Kapasitans
15. Empedans
16. Rezonans
17. İndüksiyon akımı
18. Öz indüksiyon akımı
19. Transformatör

### KONULAR

- 2.1. Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan
- 2.2. Elektriksel Potansiyel
- 2.3. Düzgün Elektrik Alan ve Sığa
- 2.4. Manyetizma ve Elektromanyetik İndüklenme
- 2.5. Alternatif Akım
- 2.6. Transformatörler

Bu ünite amacımız: Daha önce öğrendiğiniz elektrik ve manyetizma olaylarıyla ilgili bilgileri derinleştirmenizdir. Elektrik olayının temel kaynağı olan yüklerin hareketlerine ve etkileşimlerine odaklanarak elektrik ve manyetizma olaylarını detaylı bir şekilde tanımlayan temel kavramları yapılandırmanızdır. Yapılandırdığınız kavramlardan yola çıkarak farklı akım çeşitlerinin avantaj ve dezavantajlarını sorgulayabilmelisiniz; farklı tip elektrikli motor, jeneratör ve transformatörlerin çalışma ilkelerini inceleyerek alternatif tasarımlar geliştirebilmelisinizdir.

## 2.1. ELEKTRİKSEL KUVVET VE ELEKTRİK ALAN

## 2.1.1. Yüklü Cisimler Arasındaki Elektriksel Kuvvetin Bağlı Olduğu Değişkenler

Yüklü iletken cisimler arasında elektriksel kuvvet oluştuğunu 10. sınıfta öğrendiniz. Yüklü cisimler arasındaki kuvvetin ilk olarak matematiksel modelini çıkaran Charles Augustin de Coulomb'dur (Çarls Agustin de Kulon). Coulomb 1784'te Resim 2.1'de görülen burulma terazisini kullanarak yüklü iletken cisimler arasındaki kuvvetin matematiksel modelini çıkardı. Coulomb, yaptığı deneyde iki özdeş küreden birini yükledikten sonra yüklü küreyi nötr iletken küreye dokundurarak iki kürenin de eşit yüklenmesini sağladı. Coulomb, deney sonucunda iki yüklü iletken kürenin birbirine uyguladığı kuvvetin yüklerin çarpımı ile doğru orantılı, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğunu buldu. 10. Deney'i yaparak yüklü iletken kürelerin arasındaki elektriksel kuvvetin bağlı olduğu değişkenleri analiz edelim.



Resim 2.1: Coulomb'un burulma terazisi



## 10. Deney



## İtme ve Çekme Kuvveti Nelere Bağlıdır?

## Nasıl Bir Yol İzleyelim?

- ▶ Alüminyum folyodan 2 adet küçük küre yapınız.
- ▶ Şekildeki gibi bir düzenek oluşturunuz.
- ▶ Yaptığınız küçük küreleri aralarında 2 cm olacak şekilde resimdeki gibi demir çubuğa asınız.
- ▶ Plastik çubuğu yünlü kumaşa 10 s sürterek yükledikten sonra asılı olan alüminyum folyolara dokundurunuz.
- ▶ Aynı deneyi alüminyum folyolar arasındaki uzaklığı 1 cm artacak şekilde üç kez daha tekrarlayınız.
- ▶ Folyoları tekrar aralarında 2 cm olacak şekilde başlangıç konumuna getiriniz.
- ▶ Plastik çubuğu yünlü kumaşlara 15 s, 20 s, 25 s ve 30 s sürecek şekilde ayrı ayrı sürterek kürelere dokundurunuz.

## Sonuca Varalım

1. Yük miktarının artması elektriksel kuvveti nasıl değiştirdi?
2. Yüklerin arasındaki uzaklığın değişmesi elektriksel kuvveti nasıl değiştirdi?

## Araç Gereç

- Alüminyum folyo
- İp
- 2 adet demir çubuk
- İkili bağlantı aparatı
- Üçayak
- Plastik çubuk
- Yünlü kumaş





10. Deney’de gözlemlediğiniz gibi yüklü iletken cisimler arasındaki elektriksel kuvvet, yük miktarının artması ile arttı. Yüklü cisimlerin arasındaki uzaklık arttıkça elektriksel kuvvet azaldı.

Aralarında  $d$  mesafesi bulunan Şekil 2.1’deki gibi iki noktasal yükün birbirine uyguladığı elektriksel kuvvet, yük miktarının çarpımı ile doğru orantılı ( $F \sim q_1 \cdot q_2$ ), aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır ( $F \sim 1/d^2$ ). Bu ifade bugün **Coulomb Yasası** olarak anılmaktadır. Yapılan deneyler elektriksel kuvvetin ortama da bağlı olduğunu göstermiştir. Ortamın elektrik geçirgenliği, elektriksel kuvveti etkilemektedir. Bu yüzden ortamın elektrik geçirgenliği bağıntıya eklenmiştir. Elektriksel kuvvet

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bağıntıdaki  $k$  orantı sabiti, ortamın elektrik geçirgenliği ile ilgilidir.

Sabitin değeri  $k = 8,9875 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$  dir.

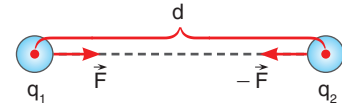
Genellikle  $k$  sabiti  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 / \text{C}^2$  olarak alınır.

$k$  sabit sayısı  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  bağıntısı ile hesaplanır. Bağıntıdaki  $\epsilon_0$  boşluğun elektrik geçirgenliğidir. Elektriksel kuvvet bağıntısının birim tablosu Tablo 2.1’deki gibidir. Yükler arasında oluşan kuvvetin birimi “newton”dır.

Yük işaretleri aynı, kütleleri farklı ( $m_A > m_B$ ) olan iki küreyi yalıtkan bir iple Şekil 2.2’deki gibi astığımızı düşünelim. Hangi küre daha büyük kuvvet uygular?

Cevabımız “İkisi de birbirine eşit büyüklükte kuvvet uygular.” olmalıdır. Çünkü cisimler arasındaki itme ya da çekme kuvveti hesaplanırken yüklerin çarpımı alınır. Dolayısı ile iki kürenin yük çarpımı sabit bir değer olduğu için yükleri farklı veya aynı kürelerin birbirlerine uyguladığı elektriksel kuvvetin büyüklükleri aynıdır. Kuvvet, vektörel bir büyüklük olduğu için vektörel gösterimde kuvvetlerin yönleri terstir. Bu durum (–) işareti ile belirtilir.

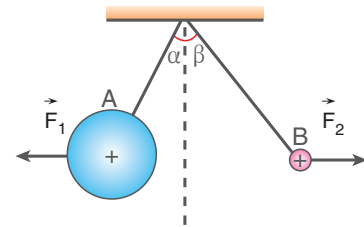
$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$



**Şekil 2.1:** İki yük arasındaki elektriksel kuvvet

**Tablo 2.1:** Elektriksel kuvvet birim tablosu

F	k	q	d
N	$\text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$	C	m



**Şekil 2.2:** İki yük arasındaki elektriksel kuvvet

Kuvvetlerin büyüklükleri eşit ise iki kürenin de düşey düzlemde yaptığı açılar eşit olur mu?

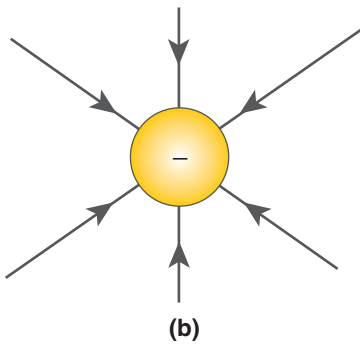
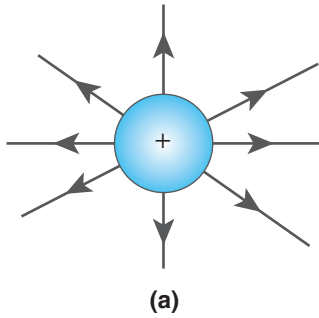
Kürelere elektriksel çekim kuvveti ile birlikte yer çekimi kuvveti etki ettiği için ağırlığı büyük olan küre daha az açılır. Bu yüzden  $\alpha$  açısı  $\beta$  açısından küçük olur.

### 2.1.2. Bir Elektrik Yükünün Oluşturduğu Elektriksel Alan

Yüklü cisimlerin arasında meydana gelen elektriksel kuvvetin sebebi nedir?

Yüklü bir cisim, kendinden belirli bir uzaklıktaki yükü nasıl fark eder?

Yüklü cisimler çevrelerinde bir etki alanı oluşturur. Bu etki alanına giren yüklü bir cisim bu alanın etkisi ile bir kuvvete maruz kalır. Yüklü cisimler arasındaki Coulomb kuvvetinin sebebi elektrik alanıdır. Herhangi bir noktada bir elektrik alanının varlığını anlamamız için bir test yükünü bu noktaya koymamız yeterlidir. Test yüküne elektriksel bir kuvvet etki ediyorsa o noktada elektrik alan vardır. Bu yüzden **elektrik alan**, pozitif birim yüke etki eden elektriksel kuvvet olarak tanımlanır. Herhangi bir  $q$  yükünü bir elektrik alan içine koyduğumuzda yüke etki eden kuvvet,



**Şekil 2.3:** a) Pozitif yükün elektrik alan çizgileri b) Negatif yükün elektrik alan çizgileri

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Elektrik alan, vektörel bir büyüklüktür. Birimi ise N / C'dur (Newton/Coulomb). Herhangi bir  $q$  yükünün kendi etrafında oluşturduğu elektrik alan,

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

bağıntısı ile hesaplanır. Elektrik alanı kavramak için bir model geliştirilmiştir. Bu modeli inceleyelim.

Elektrik alan çizgileri Şekil 2.3.a'da görüldüğü gibi pozitif yükten dışa doğru, Şekil 2.3.b'de görüldüğü gibi negatif yükün merkezine doğru olduğu kabul edilerek çizilir. Elektrik alan çizgileri yüzeye değdiği noktaya daima diktir. Elektrik alan vektörü her

noktada bu çizgilere teğettir. Çizgiler pozitif yükten çıkıp negatif yüke girecek şekildedir. Birim yüzey başına düşen çizgi sayısı bu bölgedeki elektrik alan şiddetiyle doğru orantılıdır. Elektrik alanının içindeki her noktadan ancak bir alan çizgisi geçer ve alan çizgileri hiçbir zaman birbirini kesmez.



### Tartışalım

Elektrik alan çizgilerinin özelliklerini sınıfta tartışınız.



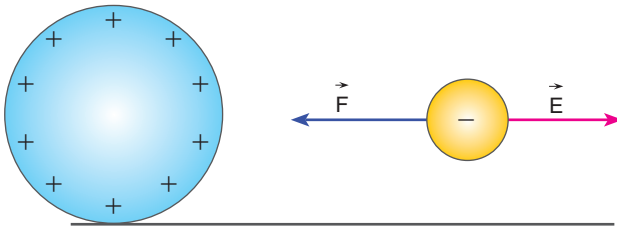
### 2. Etkinlik: Elektrik Alan Çizgilerini Çizelim



Şekilde verilen yükler arasında oluşan elektrik alan çizgilerini çiziniz.



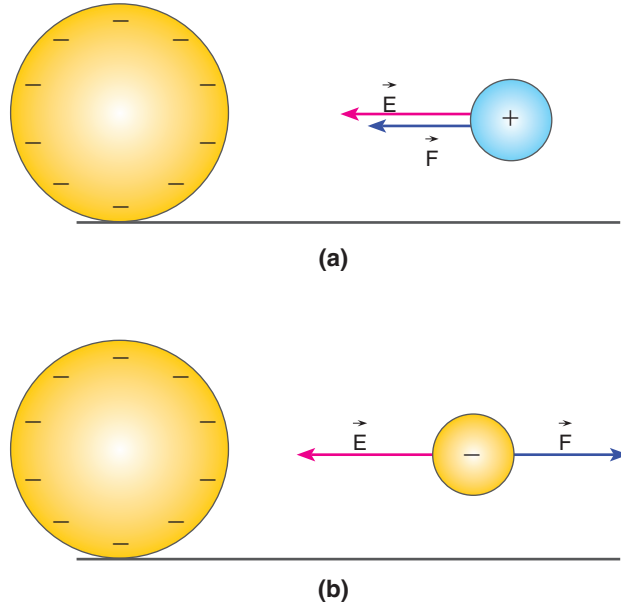
(a)



(b)

**Şekil 2.4:** a) Pozitif yükün yakınındaki pozitif yükün üzerinde oluşan elektrik alan ( $\vec{E}$ ) ve elektrikselsel kuvvet ( $\vec{F}$ ) b) Pozitif yükün yakınındaki negatif yükün üzerinde oluşan elektrik alan ( $\vec{E}$ ) ve elektrikselsel kuvvet ( $\vec{F}$ )

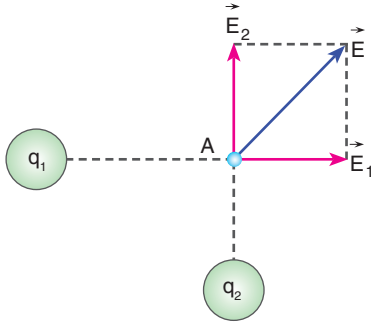
Pozitif yüklü cismin oluşturduğu elektrik alan, yükten dışa doğrudur. Bu yüzden iki durum için de elektrik alan aynı yöndedir. Pozitif yük yakınına getirilen pozitif yüke itme kuvveti etki ederken pozitif yük yakınına getirilen negatif yüke ise çekme kuvveti etki eder (Şekil 2.4.a, b).



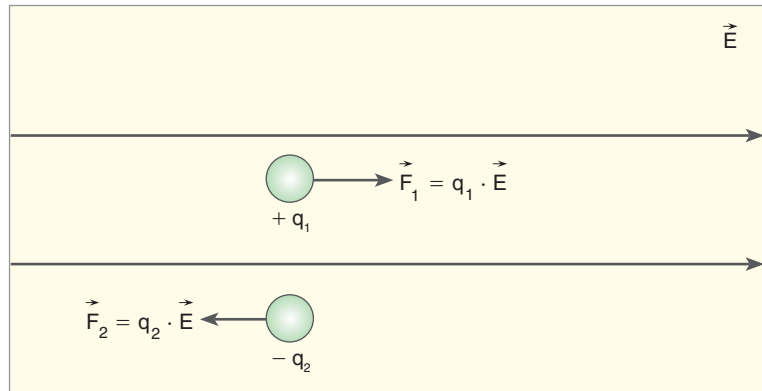
**Şekil 2.5:** a) Negatif yükün yakınındaki pozitif yükün üzerinde oluşan elektrik alan ( $\vec{E}$ ) ve elektrikselsel kuvvet ( $\vec{F}$ ) b) negatif yükün yakınındaki negatif yükün üzerinde oluşan elektrik alan ( $\vec{E}$ ) ve elektrikselsel kuvvet ( $\vec{F}$ )

Negatif yüklü cismin oluşturduğu elektrik alan, yüke doğrudur. Negatif yük, yakınına getirilen pozitif yüke çekme kuvveti uygularken yakınına getirilen negatif yüke ise itme kuvveti uygular (Şekil 2.5.a, b).

Noktasal ve pozitif yük işaretli  $q_1$  ve  $q_2$  yüklerini Şekil 2.6'daki gibi yerleştirerek A noktasındaki elektrik alanı çizelim. İki yükün de elektrik alanı yükten dışa doğrudur. Bu noktadaki bileşke elektrik alan, iki elektrik alan vektörünün toplamı ile bulunur.



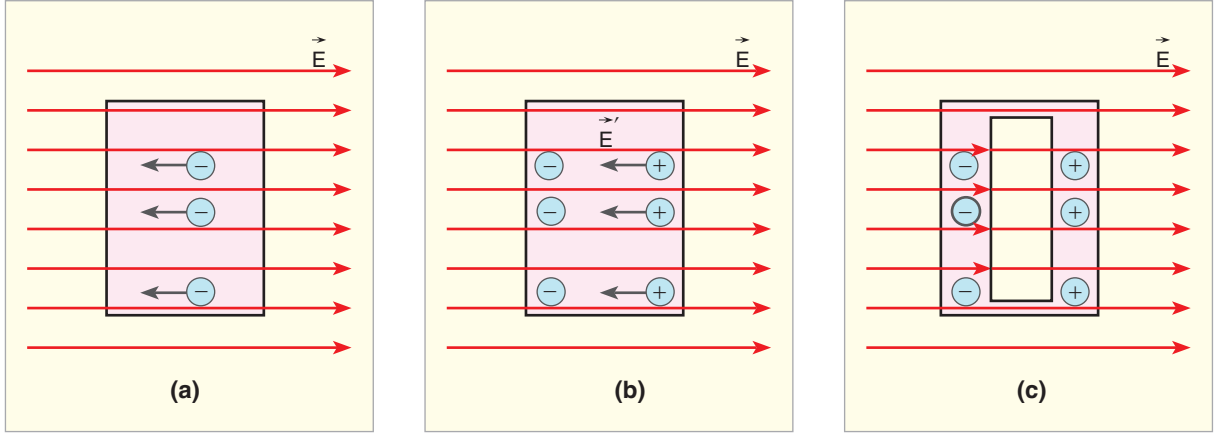
**Şekil 2.6:** Pozitif yüklü iki noktasal cismin A noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan



**Şekil 2.7:** Düzgün elektrik alan içine konulan zıt yüklü noktasal parçacıklar

Düzgün elektrik alan içine Şekil 2.7'deki gibi zıt yüklü parçacıkları bırakalım. Pozitif yüklü bir parçacığa alanla aynı yönde

kuvvet etki eder. Negatif yüklü parçacığa ise alanla ters yönde kuvvet etki eder. Parçacıklar kuvvet yönünde harekete başlar.



**Şekil 2.8:** a) Düzgün elektrik alan içine konulan metal levhadaki negatif yüklerin hareketi b) Levha içinde oluşan yeni elektrik alan c) Metal içinde oluşan elektrik alandan etkilenmeyen bölge

Metal levhayı Şekil 2.8.a'daki gibi düzgün bir elektrik alana yerleştirirsek metal levha içindeki serbest elektronlar, alana zıt yönde harekete başlar. Serbest elektronların yer değiştirmesi nedeniyle iletkenin bir kenarında pozitif yük yoğunluğu, diğer kenarında ise negatif yük yoğunluğu meydana gelir. Bu yük dağılımı, kendi elektrik alanını Şekil 2.8.b'deki gibi meydana getirir. İki elektrik alan birbirine zıt yönde ve aynı büyüklükte olacağından iletkenin içinde elektrik alan sıfırdır (Şekil 2.8.c). Bu olaydan yararlanılarak elektrik alandaki iletken içinde boşluklar açılarak elektrostatik alanların etkisi olmayan ortamlar meydana getirilir.

### 2.1.3. Elektriksel Kuvvet ve Elektrik Alan ile İlgili Hesaplamalar

Elektriksel kuvvet ve elektrik alanla ilgili hesaplamalar yaparak konuyu pekiştirelim.

ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 1

1.  $q_1 = 4 \times 10^{-6} \text{ C}$   $q_2 = 2 \times 10^{-3} \text{ C}$

300 cm

Şekildeki gibi sabit tutulan K ve L noktasal yükleri arasındaki uzaklık 300 cm'dir. Yükler arasındaki elektriksel kuvveti bulunuz. ( $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ )

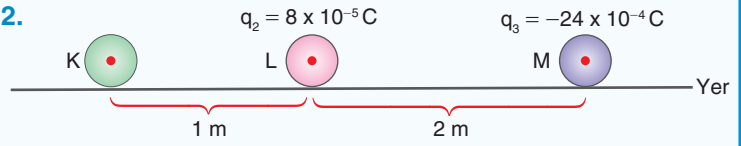
## ÇÖZÜM

Elektriksel kuvvet bağıntısı,

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

$F = 9 \times 10^9 \cdot 4 \times 10^{-6} \cdot 2 \times 10^{-3} / 3^2$  elektriksel kuvvetin büyüklüğü  $F = 8 \text{ N}$  bulunur.

2.



Sürtünmenin ihmal edildiği ortamda sabit tutulan noktasal ve iletken K ve M kürelerinin arasına, şekildeki gibi yüklü ve iletken noktasal L yükü yerleştiriliyor. L yükü hareketsiz kaldığına göre K küresinin yükünü bulunuz.

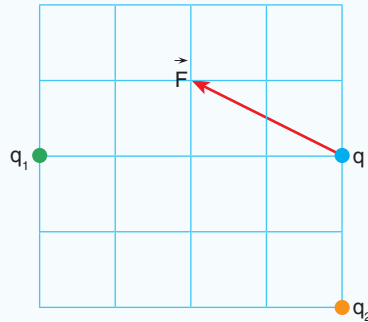
( $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ )

## ÇÖZÜM

L küresi hareketsiz kaldığına göre L küresine etki eden kuvvetlerin büyüklükleri birbirine eşit olmalıdır.

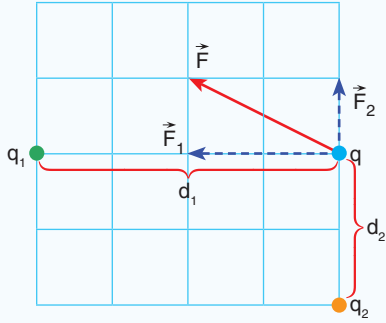
$k \cdot q_K \cdot 8 \times 10^{-5} / 1 = k \cdot 24 \times 10^{-4} \cdot 8 \times 10^{-5} / 4$ , K küresinin yükü  $q_K = -6 \cdot 10^{-4} \text{ C}$  bulunur. M küresinin yükü eksi işaretli olduğu için K küresinin de yük işareti eksidir.

3.



Şekildeki konumlarında sabit tutulan noktasal  $q_1$ ,  $q_2$  yüklerinin  $q$  yükü üzerinde oluşturduğu bileşke elektriksel kuvvet  $\vec{F}$  dir. Buna göre  $q_1 / q_2$  oranını bulunuz.

## ÇÖZÜM



Kuvvetin bileşenleri şekildeki gibidir. Bu bileşenler oranlandırıldığında

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{k \cdot q_1 \cdot q}{d_1^2} \cdot \frac{2}{1} = \frac{k \cdot q_1 \cdot q / (4)^2}{k \cdot q_2 \cdot q / (2)^2}, \quad \frac{q_1}{q_2} = \frac{32}{4} = 8$$

$q_1 / q_2 = 8$  bulunur.  $q_1$  yükü  $q$  yüküne çekme,  $q_2$  yükü de  $q$  yüküne itme kuvveti uyguladığı için yüklerin işaretleri tersdir. Bu yüzden sorunun cevabı  $-8$  olur.

4.

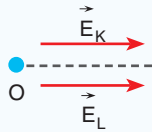


Noktasal  $q_K$  ve  $q_L$  yüklerinin O noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan şiddetini bulunuz.

$$(k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2, \mu = 10^{-6})$$

## ÇÖZÜM

K noktasal yükünün elektrik alanı  $E_K$ , L noktasal yükünün elektrik alanı ise  $E_L$  olsun.



O noktasındaki elektrik alan, iki yük içinde aynı yönde olur. Bileşke elektrik alan, iki yükün elektrik alanının toplamı ile bulunur.

$$E_K = k q / d^2 \text{ bağıntısından,}$$

$$E_K = 9 \times 10^9 \cdot 16 \times 10^{-6} / (2 \times 10^{-1})^2$$

$$E_K = 36 \times 10^5 \text{ N / C bulunur.}$$



**Kavram Yanılgıları**

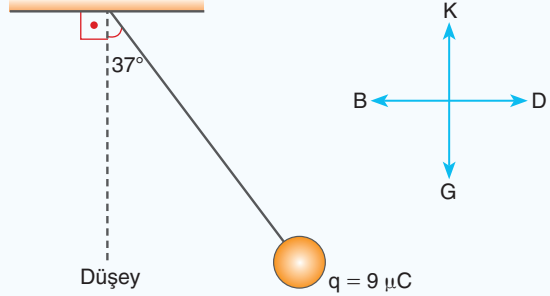
- Alan çizgileri gerçektir.
- Coulomb Kanunu noktasal yük dışındaki yük sistemlerine de uygulanır.
- Yüklü bir cisim sadece tek tip yüke (pozitif veya negatif) sahiptir.
- (Bir ortamda) Belirli sayıda alan çizgileri vardır.
- Bir yük olmasa da her noktada kuvvet vardır.
- Alan çizgileri yüklerin hareket yörüngeleridir.
- Elektrik kuvveti yer çekimi kuvveti ile aynıdır.
- Alan çizgileri tam olarak pozitif yükten negatif yüke doğrudur ve hareketi ifade eder.
- Alan çizgileri sadece iki boyutludur.

$$E_L = 9 \times 10^9 \times 12 \times 10^{-6} / (1 \times 10^{-1})^2$$

$$E_K = 108 \times 10^5 \text{ N / C bulunur.}$$

Bileşke elektrik alan,  $E = 36 \times 10^5 + 108 \cdot 10^5 = 144 \times 10^5 \text{ N / C}$  bulunur.

5.

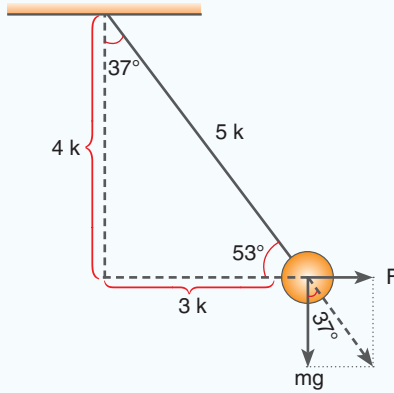


0,2 g kütleli bir noktasal q yüklü cisim, elektrik alan şiddeti E olan doğu-batı doğrultusunda düzgün bir elektrik alan içine konulunca şekildeki konumda dengede kalıyor. Elektrik alan şiddetinin yönünü ve büyüklüğünü bulunuz.

$$(g \cong 10 \text{ m / s}^2 \quad k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

$$\mu = 10^{-6} \quad \sin 37^\circ = 0,6 \quad \sin 53^\circ = 0,8)$$

**ÇÖZÜM**



İpin düşeyle yaptığı açıdan yararlanarak kuvvetler arasında orantı kurulur.  $\tan 37^\circ = \frac{3k}{4k}$

$$3k / 4k = F / m \cdot g \longrightarrow 3 / 4 = q \cdot E / m \cdot g \text{ yazılır.}$$

$3 / 4 = 9 \cdot 10^{-6} \cdot E / 2 \cdot 10^{-4} \cdot 10$  sadeleştirme yapıldığında,

$$1 / 2 = 3 \cdot 10^{-6} \cdot E / 1 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \text{ elde edilir.}$$

$E = 10^3 / 6 \text{ N / C}$  elde edilir. Elektrik alanın yönü, cismin yükü pozitif olduğu için kuvvetin yönündedir.



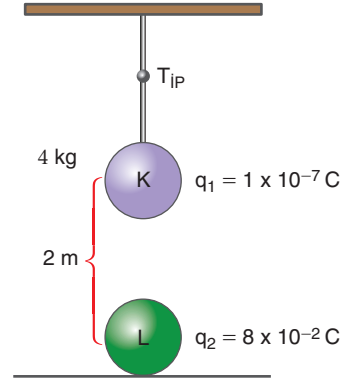
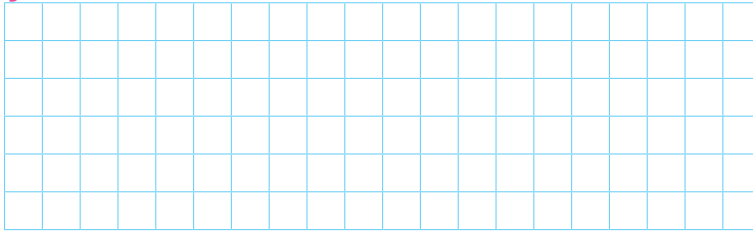


## BÖLÜM SONU DEĞERLENDİRME SORULARI 11

(Bu bölümde verilen sorulardaki açı değerleri için  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 3/5$   $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$   
 $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2$   $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$   $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$   $g \cong 10 \text{ m/s}^2$   
 $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$  alınınız.)

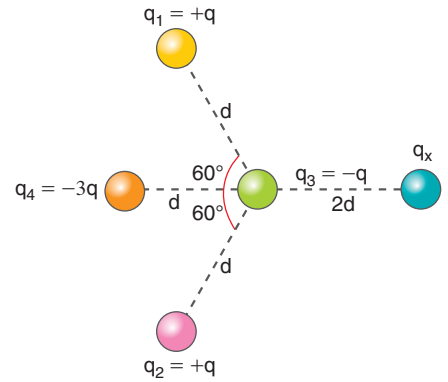
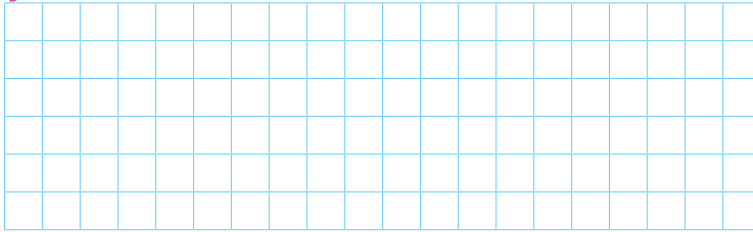
1. Şekildeki sistemde 4 kg kütleli, yüklü K cisminin düşeyde tam altına yüklü L cismi yerleştiriliyor. K cismini dengeleyen ipteki gerilme kuvvetini bulunuz.

Çözüm:



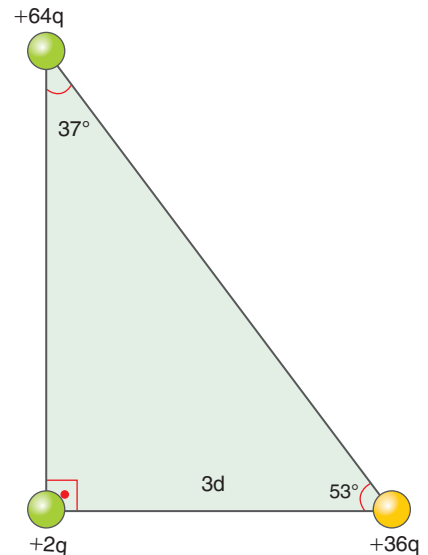
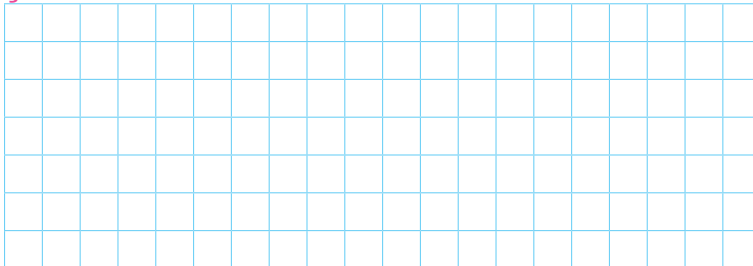
2. Şekildeki gibi sabit konumda bulunan yüklerin arasına  $q_3$  yükü bırakılıyor.  $q_3$  yükü bırakıldığı konumda dengede kaldığına göre  $q_x$  yükü kaç q'dur?

Çözüm:



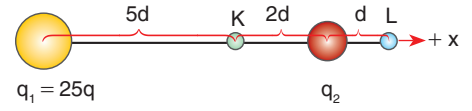
3. Yükleri  $+36q$  ve  $+64q$  olan iki noktasal yük şekildeki gibi üçgenin iki köşesine yerleştiriliyor. Noktasal  $+2q$  yüküne etki eden bileşke kuvvet kaç  $\frac{kq^2}{d^2}$ 'dir?

Çözüm:

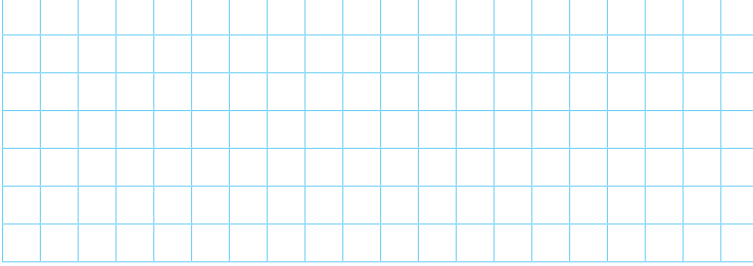




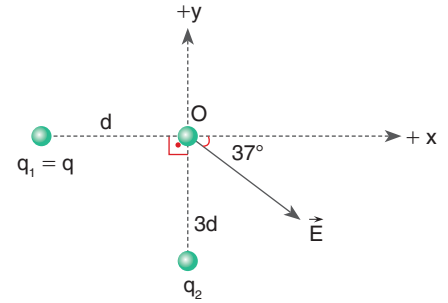
7. Şekildeki gibi yerleştirilen  $q_1 = 25q$  ve  $q_2$  yüklerinin K noktasındaki oluşturduğu bileşke elektrik alan sıfır olduğuna göre L noktasındaki bileşke elektrik alanın büyüklüğünü ve yönünü bulunuz.



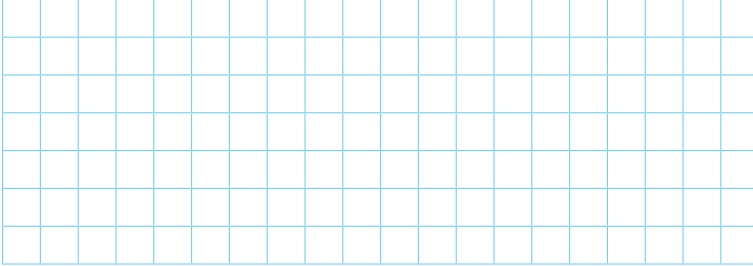
Çözüm:



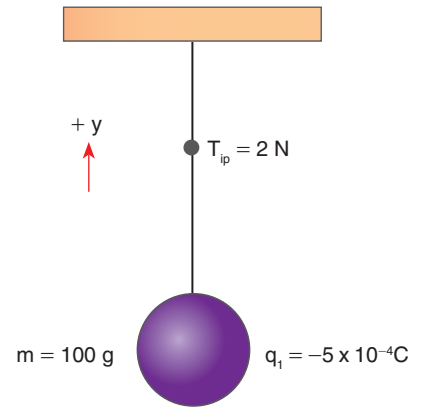
8.  $q_1$  ve  $q_2$  yüklerinin O noktasında oluşturduğu bileşke elektrik alan vektörü, şekilde gösterildiği gibi x eksenine ile  $37^\circ$  açı yapıyor.  $q_2$  yükünün büyüklüğü kaç q'dur?



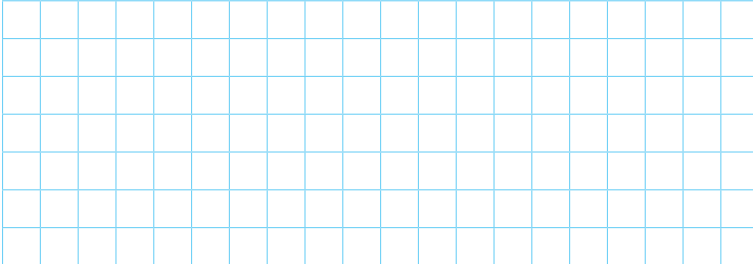
Çözüm:



9. Kütleli 100 g ve yükü  $q_1 = -5 \times 10^{-4} \text{C}$  olan cisim şekildeki gibi dengededir. Cisim düşey düzlemde düzgün bir elektrik alan içinde kaldığında ipteki gerilme kuvveti 2 N olarak ölçülüyor. Buna göre elektrik alanın yönünü ve büyüklüğünü bulunuz.



Çözüm:

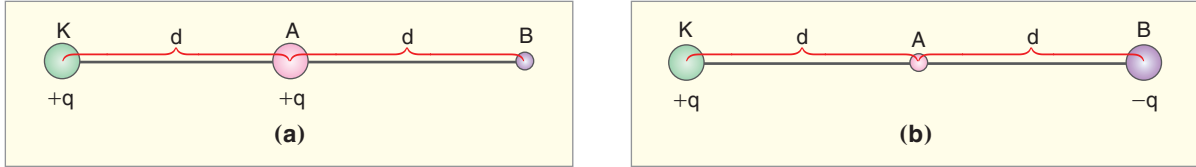




## 2.2. ELEKTRİKSEL POTANSİYEL

### 2.2.1. Elektriksel Potansiyel Enerji, Potansiyel, Potansiyel Farkı ve İş Kavramları

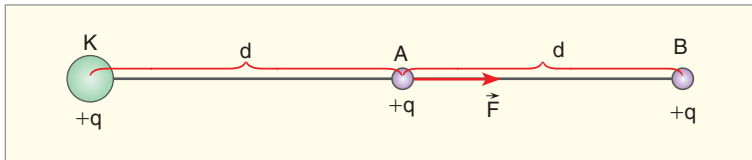
#### Elektriksel potansiyel Enerji



**Şekil 2.9:** a) Sabit tutulan K noktasal yükünün yanına noktasal +q yükünün konulması b) Sabit tutulan noktasal K yükünün yakınına noktasal -q yükünün konulması

İki yüklü cisim arasındaki elektriksel kuvvetin nelere bağlı olduğunu öğrendiniz. Sabit tutulan noktasal +q yüklü K cisminin yakınına Şekil 2.9.a'daki gibi +q yükünü bırakalım. +q yükü, A noktasından B noktasına doğru hareket eder. Şekil 2.9.b'de ise sabit tutulan +q yüklü K noktasal cisminin yakınındaki B noktasına -q yüklü noktasal cismi bıraktığımızda ise yüklü cisim A noktasına doğru hareket eder.

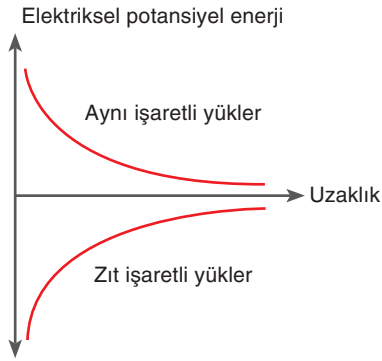
Elimizde tuttuğumuz bir silgiyi serbest bıraktığımızda silgi yere doğru harekete başlar. Bu olayın sebebi, silginin çekim potansiyel enerjisi fazla olan yerden az olan yere doğru hareket etmesidir. Bir yayı sıkıştırıp bıraktığımızda ise yayın elimizden fırlamasının sebebi, yayda depolanan potansiyel enerjidir. Pozitif yüklü iki noktasal yükü yaklaştırdığımızda birbirlerini itmekte, zıt yüklerle yüklü iki noktasal yükü yaklaştırdığımızda ise birbirlerine doğru hareket etmektedir. Yükler arasındaki bu hareketin sebebi de elektriksel potansiyel enerjidir.



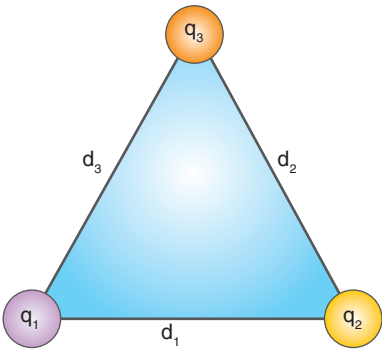
**Şekil 2.10:** Sabit tutulan +q yüklü noktasal cismin yakınındaki +q yüküne etki eden kuvvet

Sabit tutulan +q yüklü cismin yakınına bırakılan Şekil 2.10'daki gibi +q yüklü cisme, elektrik alandan kaynaklanan Coulomb kuvveti etki eder. Kuvvet cisim üzerinde bir iş yapar. Yapılan iş, hareket eden yükün elektriksel potansiyel enerjisini

## 2. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA



**Şekil 2.11:** Yüklü cisimler arasındaki elektriksel potansiyel enerjinin uzaklığa göre değişimi



**Şekil 2.12:** Üç yükün bir aradayken sahip olduğu potansiyel enerji

değiştirir. İş, kuvvet ve kuvvet doğrultusundaki yer değiştirmenin çarpımı olduğu için

$W = (k \cdot q_1 \cdot q_2 / d^2) \cdot d = k \cdot q_1 \cdot q_2 / d$  bağıntısı elde edilir. Aralarında  $d$  uzaklığı bulunan iki yüklü cismin sahip olduğu potansiyel enerji,

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

bağıntısı ile bulunur.

Bu ifade, noktasal iki yük arasındaki elektriksel potansiyel enerjisini verir. **Elektriksel potansiyel enerjisi** elektrik alanın yüklü parçacık üzerinde yaptığı iş olarak tanımlanır. Bu ifadeye benzer olarak elektriksel potansiyel enerji, elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş olarak da tanımlanmaktadır. Elektriksel potansiyel enerjisi skaler bir büyüklüktür. Birimi ise enerji birimi olan "joule"dür.

Yüklü cisimler arasındaki elektriksel potansiyel enerji, yüklerin çarpımı ile doğru; aralarındaki uzaklık ile ters orantılı olduğundan aynı işaretli yükler için uzaklık arttıkça elektriksel potansiyel enerjisi azalırken zıt işaretli yükler için uzaklık arttıkça artar (Şekil 2.11).

Elektriksel potansiyel enerjisi iki yük arasında yazılır. İki den çok yüklü cisimlerin sahip olduğu toplam potansiyel enerji şöyle bulunur: Yükleri  $q_1, q_2, q_3$  olan üç yük, Şekil 2.12'deki gibi yerleştirilir. Sistemin toplam potansiyel enerjisi, ikişerli yüklerin elektriksel potansiyel enerjilerinin toplamı kadardır. Toplam elektriksel potansiyel enerjisi,

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

bağıntısı ile hesaplanır. Bu ifade aynı zamanda üç yükü bu noktalara yerleştirmek için sisteme verilmesi gereken enerjiye de eşittir.

Bu sistemde sadece  $q_3$  yükünün toplam elektriksel potansiyel enerjisi bulunurken şu işlemler yapılır:  $q_3$  yükünün  $q_1$  ve  $q_2$  yükü ile potansiyel enerjileri ayrı ayrı bulunarak toplanır. Toplam elektriksel potansiyel enerjisi

$$E_{P3} = k \cdot \frac{q_2 \cdot q_3}{d_2} + k \cdot \frac{q_1 \cdot q_3}{d_3}$$

bağıntısı ile hesaplanır.

### Elektriksel potansiyel

Sabit bir yükün oluşturduğu elektrik alanında hareket eden yükü, birim yük kabul edersek birim yük başına düşen elektriksel potansiyel enerjisine **elektriksel potansiyel** denir. Buna göre

$$V = E_p / q_0 = k \frac{q \cdot q_0}{d} / q_0$$

bağıntısından, elektriksel potansiyel bağıntısı,

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

elde edilir.

Sabit  $q$  yükünün Şekil 2.13.a'da görüldüğü gibi  $d$  kadar uzaklıkta oluşturduğu elektriksel potansiyel,  $V = k \cdot q / d$  bağıntısı ile hesaplanır.  $q$  yükün etrafında Şekil 2.13.b'de görüldüğü gibi aynı potansiyele sahip eş potansiyel yüzeyler meydana gelir. Elektriksel potansiyel skaler bir büyüklüktür. Birimi ise Alessandro Volta (Aleksandro Volta) onuruna volt olarak kabul edilir. Elektriksel potansiyel, enerjinin yüke oranından bulunduğu için  $V$  (volt) yerine J/C birimi de kullanılabilir.

Yükleri  $q_1$ ,  $q_2$  olan iki noktasal yükün Şekil 2.14'teki gibi A noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel, yüklerin ayrı ayrı potansiyellerinin skaler toplamı ile bulunur. Toplam elektriksel potansiyel,

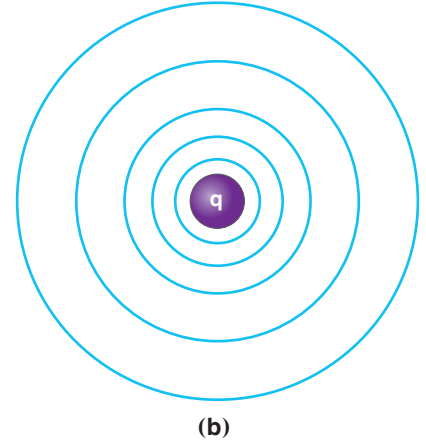
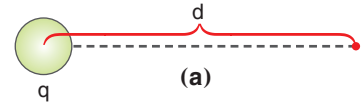
$$V = k \frac{q_1}{d_1} + k \frac{q_2}{d_2}$$

bağıntısı ile hesaplanır.

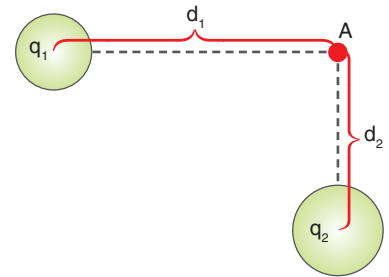
İletken ve yüklü iki küreyi birbirine bağlayan iletken tellerin arasındaki anahtarı Şekil 2.15'teki gibi kapatırsak aralarında yük geçişinin olabilmesi için yük/yarıçap oranlarının farklı olması gerekir. Bu oran eşitlenene kadar yük geçişi devam eder. İki küre için son durumda elektriksel potansiyeller eşit olur. Bu potansiyele **ortak potansiyel** denir. Ortak potansiyel,

$$V_{ORT} = k \frac{q_1 + q_2}{r_1 + r_2}$$

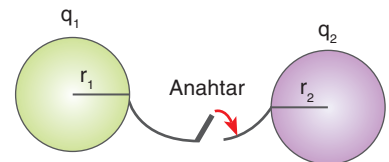
bağıntısı ile hesaplanır.



**Şekil 2.13:** a)  $q$  yükünün  $d$  kadar uzaklıkta oluşturduğu elektriksel potansiyel b) Eş potansiyel yüzeyleri

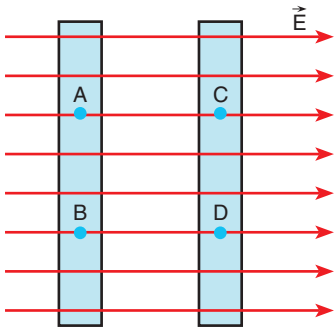


**Şekil 2.14:** İki yükün A noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyel



**Şekil 2.15:** Yüklü iki kürenin ortak potansiyeli

## 2. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA



Şekil 2.16: Eş potansiyel yüzeyleri

Elektriksel potansiyel, elektrik alan yönünde gidildikçe azalır, elektrik alana ters yönde gidildikçe artar. Elektrik alan içindeki alan çizgilerini dik kesen düzlem üzerindeki her noktanın elektriksel potansiyelleri eşittir. Bu noktaların oluşturduğu yüzeye **eş potansiyel yüzeyleri** denir. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi aynı düzlemde bulunan A, B noktalarının potansiyelleri birbirine eşittir. C, D noktalarının potansiyelleri de birbirine eşittir. Fakat elektrik alan yönünde gidildikçe elektriksel potansiyel azaldığı için

$$V_A = V_B > V_C = V_D$$

A ve B noktalarının potansiyelleri, C ve D noktalarının potansiyelinden büyüktür.

### Elektriksel potansiyel Farkı

Elektriksel potansiyel uzaklıkla ters orantılıdır. Şekil 2.17'deki gibi yükü  $+q$  olan noktasal K cisminin A ve B noktalarındaki potansiyellerini bulalım.

$$V_A = k q / d, V_B = k q / 2d$$

A ve B noktalarındaki potansiyellerin farkını bulalım.

$$V_{AB} = V_B - V_A \text{ İki nokta arasındaki potansiyel farkını verir.}$$

$$V_{AB} = k \cdot q / 2d - k \cdot q / d = -k \cdot q / 2d \text{ bulunur.}$$

$V_{AB}$  ifadesi, A noktasının B noktasına göre potansiyelini ifade eder. İki nokta arasındaki potansiyel farkı, elektrik devrelerinde gerilim (voltaj) olarak adlandırılır. Potansiyel farkı, birim yük A noktasından B noktasına götürülürken elektriksel kuvvetlerce yapılan işe eşittir.

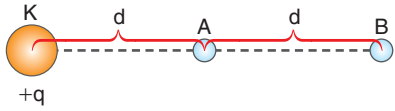
### Elektriksel İş

K noktasına pozitif yüklü  $q_1$  yükünü yerleştirelim. Bu yük A ve B noktalarında bir potansiyel fark oluşturur. Pozitif yüklü  $q_2$  yükünü A noktasına Şekil 2.18'deki gibi bırakırsak  $q_2$  yükü bu potansiyel farkın altında A noktasından B noktasına doğru hareket eder. Bu sırada elektriksel kuvvetler iş yapar. Yapılan iş  $W = q_2 \cdot V_{AB}$  bağıntısı ile hesaplanır. Yapılan işi hesaplayalım.

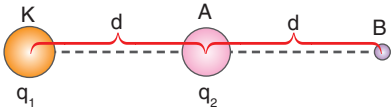
$$A \text{ noktasının potansiyeli: } V_A = k \frac{q_1}{d}$$

$$B \text{ noktasının potansiyeli: } V_B = k \frac{q_1}{2d}$$

$$V_{AB} = V_B - V_A = k \frac{q_1}{2d} - k \frac{q_1}{d}$$



Şekil 2.17: K noktasal yükünün A ve B noktalarındaki potansiyel farkı



Şekil 2.18:  $q_1$  yükünün oluşturduğu  $V_{AB}$  potansiyel farkının altına bırakılan  $q_2$  yükü



Potansiyel farkı,

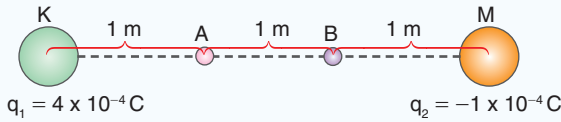
$V_{AB} = -k \frac{q_1}{2d}$  bulunur. Bu sırada elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş,

$W = q_2 \cdot V_{AB}$  bağıntısı ile bulunur. İş,

$$W = q_2 \cdot \left( -k \frac{q_1}{2d} \right) = -k \frac{q_1 \cdot q_2}{2d} \text{ bulunur.}$$



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 2



K ve M noktasal yüklerinin A ve B noktalarında oluşturduğu  $V_{AB}$  potansiyel farkını bulunuz. ( $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ )

### ÇÖZÜM

İki noktanın potansiyel farkı,

$V_{AB} = V_B - V_A$  bağıntısı ile bulunur. A noktasındaki toplam potansiyel,

$$V_A = \frac{9 \times 10^9 \cdot 4 \times 10^{-4}}{1} - \frac{9 \times 10^9 \cdot 1 \times 10^{-4}}{2}$$

$$V_A = \frac{63 \times 10^5}{2} \text{ volt bulunur. B noktasındaki toplam potansiyel,}$$

$$V_B = \frac{9 \times 10^9 \cdot 4 \times 10^{-4}}{2} - \frac{9 \times 10^9 \cdot 1 \times 10^{-4}}{1}$$

$$V_B = 9 \times 10^5 \text{ volt bulunur.}$$

$$V_{AB} = 9 \times 10^5 - \frac{63}{2} \times 10^5 = -\frac{45}{2} \times 10^5 = -22,5 \times 10^5 \text{ volt elde edilir.}$$

### Elektriksel Potansiyel Enerji ile Gravitasyon Potansiyel Enerjisi

Dünya üzerindeki bütün cisimler yer çekim alanının etkisi altındadır. Dünya'nın çekim alanından dolayı Resim 2.2'deki vinç, mermeri kaldırdığında mermer bir gravitasyon potansiyel enerjisi kazanır. Çünkü mermer, kütlelerinin Dünya'nın merkezinden uzaklaşmasından dolayı çekim potansiyeli düşük olan yerden çekim



### izleyelim Öğrenelim

Elektrik alan çizgilerinin özelliklerini incelemek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/charges-and-fields>



**Resim 2.2:** Vincin mermeri kaldırması



Resim 2.3: Elma ağacı

potansiyeli yüksek olan yere hareket eder. Bu sırada yer çekim kuvvetine karşı iş yapılır.

Ağaç dalında Resim 2.3'teki gibi duran elmalar koptuğunda yer çekimi kuvvetinin etkisi ile düşmeye başlar. Bu sırada yer çekim kuvveti iş yapar. Yapılan iş, elmanın kinetik enerjisini artırır. Gravitasyon potansiyel enerjisi ile elektriksel potansiyel enerjisi arasında benzerlik vardır. Bu benzerliği gözlemek için 11. Deney'i yapalım.



### 11. Deney



#### Elektriksel potansiyeli ve Çekim Potansiyel Enerjisi

##### Nasıl Bir Yol İzleyelim?

► Tenis topunu yerden 50 cm yukarı kaldırarak serbest bırakınız. Sonra, tenis topunu yerden 100 cm mesafeye kaldırarak serbest bırakınız. Gözleminizi defterinize yazınız.

► Birinci adımı basketbol topu için tekrarlayınız.

► Plastik çubuğu ip ile bağlayarak resimdeki gibi asınız. Astığınız plastik çubuğu yünlü kumaşla yükleyiniz. Başka bir plastik çubuğu da yünlü kumaşla yükleyerek asılı olan yüklü plastik çubuğa 8 cm yaklaştırınız. Aynı deneyi iki plastik çubuk arasındaki mesafe 2 cm olacak şekilde tekrarlayınız. Gözleminizi defterinize yazınız.

► Üçüncü adımı plastik çubuğu daha fazla süre yükleyerek tekrarlayınız.

► Asılı olan plastik çubuğu yünlü kumaşla tekrar yükleyiniz. Cam çubuğu, ipekli kumaşla yükleyerek asılı plastik çubuğa 8 cm yaklaştırınız. Aynı deneyi plastik ve cam çubuk arasındaki mesafe 2 cm olacak şekilde tekrarlayınız. Gözleminizi defterinize yazınız.

► Beşinci adımı cam çubuğu daha fazla süre yükleyerek tekrarlayınız.

##### Sonuca Varalım

1. Tenis topu yerden yükseldikçe topun yere düşme hızı nasıl değişti?
2. Hangi top yere daha büyük enerji ile çarptı?

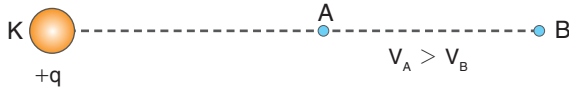
##### Araç Gereç

- Tenis topu
- Basketbol topu
- Cetvel
- Plastik çubuk (ebonit)
- Cam çubuk
- İp
- Destek çubuğu
- Üçayak
- İkili bağlantı aparatı



3. Aynı yükle yüklü plastik çubukları yaklaştırdığımızda asılı plastik çubuk, hangi durumda daha hızlı hareket etti?
4. Plastik çubuğu daha uzun süre yüklediğinizde asılı plastik çubuğun hareketi nasıl değişti?
5. Zıt elektrik yükü ile yüklü çubukların aralarındaki mesafe azaldıkça asılı plastik çubuğun hareketi nasıl değişti?
6. Cam çubuğu daha uzun süre yüklediğinizde asılı plastik çubuğun hareketi nasıl değişti?

Yaptığınız 11. Deney’de gözlemlediğiniz gibi çekim potansiyel enerjisi, yeryüzünden yukarıya doğru çıkıldıkça artar. Cismin kütlesinin artması çekim potansiyel enerjisini artırır. Aynı yükle yüklü iki plastik çubuk arasındaki mesafe azaldıkça elektriksel potansiyel enerjisi artar. Bu yüzden plastik çubuklar arasındaki mesafe azalınca asılı çubuk daha hızlı hareket etti. Zıt yükle yüklü plastik ve cam çubuk arasındaki mesafe azalınca asılı plastik çubuk, cam çubuğa doğru daha hızlı hareket etti.



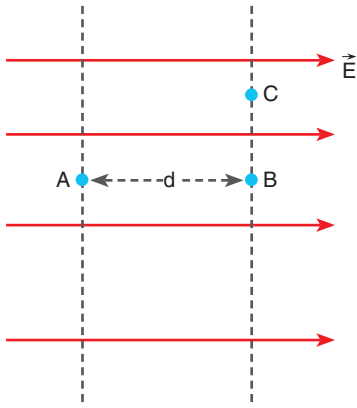
**Şekil 2.19:** K noktasında bulunan pozitif yüklü cismin potansiyeli yükten uzaklaştıkça azalır.

Pozitif yüklü cismin K noktasal yükün etrafında oluşturduğu potansiyel Şekil 2.19’da görüldüğü gibi yükten uzaklaştıkça azalır. Elektriksel potansiyel enerjisi aynı işaretli yüklerde, yükler arasındaki uzaklık azaldıkça artar. Pozitif yüklü bir noktasal cismi B noktasından A noktasına getirip serbest bırakırsak yüklü cisim, elektriksel potansiyel enerjisi düşük olan yere doğru hareket eder. Zıt işaretli yüklerde elektriksel potansiyel enerjisi, yükler arasındaki uzaklık arttıkça artar. Negatif yüklü bir noktasal cismi A noktasından B noktasına kadar taşırsak potansiyeli düşük noktadan potansiyeli yüksek noktaya götürmüş oluruz. Negatif yüklü noktasal cismi, B noktasında serbest bıraktığımızda yüklü cisim, potansiyeli düşük noktaya doğru hareket eder.



### Tartışalım

Çevremizde bulunan yüklerin insan sağlığına ne gibi etkileri olduğunu tartışınız.



Şekil 2.20: Düzgün elektrik alandaki iki nokta arasındaki potansiyel farkı

### 2.2.2. Düzgün Bir Elektrik Alan İçinde İki Nokta Arasındaki Potansiyel Farkı

Düzgün bir elektrik alanında Şekil 2.20'de görüldüğü gibi A, B ve C noktalarının olduğunu düşünelim. Eş potansiyel yüzeylerinde öğrendiğimiz gibi A noktasının potansiyeli, B noktasının potansiyelinden büyüktür. B ve C noktalarının potansiyelleri ise birbirine eşittir. A ve B noktaları arasında meydana gelen potansiyel farkı,

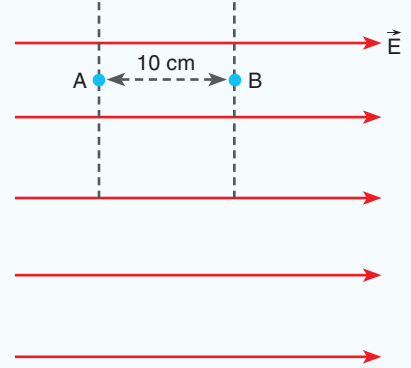
$$V_{BA} = E \cdot d$$

matematiksel modeli ile bulunur.



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 3

Aralarında 10 cm uzaklık bulunan iki nokta, şekilde görüldüğü gibi düzgün ve 20 N/C elektrik alanı içindedir. A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı kaç voltur?



#### ÇÖZÜM

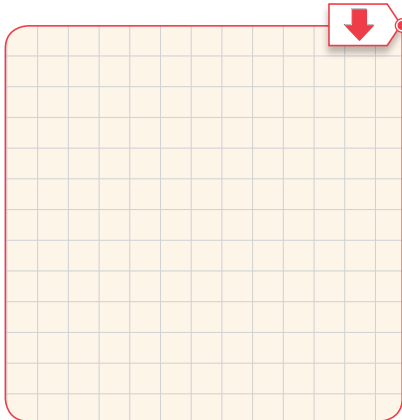
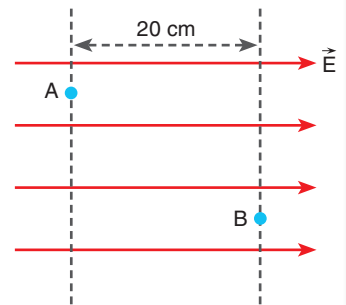
$$V_{AB} = E \cdot d \text{ eşitliğinden}$$

$$V_{AB} = 20 \cdot 0,1 = 2 \text{ V bulunur.}$$



#### KENDİMİZİ DENEYELİM 33

Aralarında yatayda 20 cm uzaklık bulunan iki nokta, şekilde görüldüğü gibi düzgün ve 50 N/C elektrik alanı içindedir. A ve B noktaları arasındaki potansiyel farkı kaç voltur?



### 2.2.3. Elektriksel Potansiyel Enerji, Potansiyel, Potansiyel Farkı ve İş Kavramları ile İlgili Hesaplamalar

Elektriksel potansiyel enerji, potansiyel, potansiyel farkı ve iş kavramları ile ilgili hesaplamalar yaparak konuyu pekiştirelim.



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 4

1.



Aralarında 90 cm bulunan iki noktasal yükün sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji kaç J'dür?

$$(k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2 \quad \mu = 10^{-6})$$

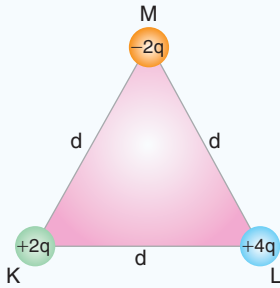
#### ÇÖZÜM

Elektriksel potansiyel enerji  $E = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$  bağıntısı ile hesaplanır.

$$E = \frac{9 \times 10^9 \cdot 30 \times 10^{-6} \cdot 10 \times 10^{-6}}{9 \times 10^{-1}} = 3$$

Elektriksel potansiyel enerji  $E = 3 \text{ J}$  bulunur.

2.



Şekildeki  $d$  kenar uzunluklu eşkenar üçgenin köşelerinde bulunan K, L ve M yüklerinin toplam elektrik potansiyel enerjisini bulunuz.

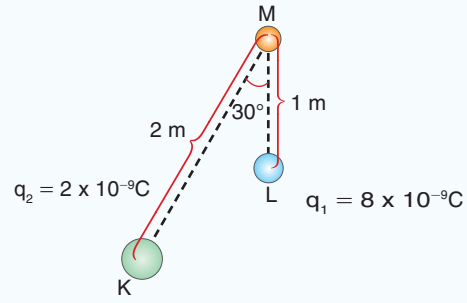
#### ÇÖZÜM

Üç yükün sahip olduğu elektriksel potansiyel enerji, yüklerin ikili potansiyel enerjileri toplamı ile bulunur.

$$E = k \cdot \frac{2q \cdot 4q}{d} + k \cdot \frac{4q(-2q)}{d} + k \cdot \frac{2q(-2q)}{d} = -k \frac{4q^2}{d}$$

bulunur.

3.



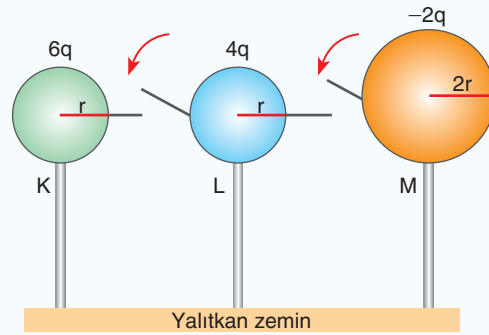
K ve L noktalarında sabit tutulan şekildeki yüklerin M noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyeli bulunuz.  
( $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ )

### ÇÖZÜM

Elektriksel potansiyel, skaler büyüklüktür ve  $V = k \frac{q}{d}$  bağıntısı ile hesaplanır.

$$V = \frac{9 \times 10^9 \cdot 2 \times 10^{-9}}{2} + \frac{9 \times 10^9 \cdot 8 \times 10^{-9}}{1} = 81 \text{ volt bulunur.}$$

4.



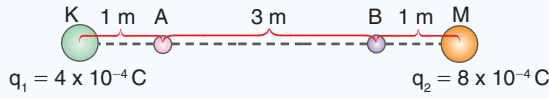
Şekildeki yüklü K, L ve M iletken kürelerinin birbirlerine bağlayan iletken teller üzerindeki anahtarlar aynı anda kapatılırsa kürelerin ortak potansiyelini veren ifadeyi bulunuz.

### ÇÖZÜM

Kürelerin ortak potansiyeli  $V_{\text{ort}} = k \frac{(q_1 + q_2 + q_3)}{r_1 + r_2 + r_3}$  bağıntısı ile bulunur.

$$V_{\text{ort}} = k \frac{(6q + 4q + (-2q))}{4r} \text{ denkleminde } V_{\text{ort}} = 2 \frac{kq}{r} \text{ bulunur.}$$

5.



K ve M noktalarına sabitlenen şekildeki noktasal yüklerin A ve B noktalarındaki  $V_{AB}$  potansiyel farkını bulunuz.  
( $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ )

**ÇÖZÜM**

$V_{AB}$  potansiyel farkı  $V_{AB} = V_B - V_A$  ile hesaplanır.

$$V_A = \frac{9 \times 10^9 \cdot 4 \times 10^{-4}}{1} + \frac{9 \times 10^9 \cdot (8 \times 10^{-4})}{4} = 54 \times 10^5 \text{ volt}$$

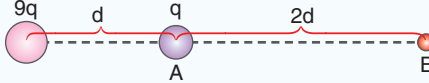
bulunur.

$$V_B = \frac{9 \times 10^9 \cdot 4 \times 10^{-4}}{4} + \frac{9 \times 10^9 \cdot (8 \times 10^{-4})}{1} = 81 \times 10^5 \text{ volt}$$

bulunur.

$V_{AB} = V_B - V_A = 81 \times 10^5 - 54 \times 10^5 = 27 \times 10^5 \text{ volt}$  bulunur.

6.



Yükü  $9q$  olan noktasal cisim şekildeki gibi sabitlendikten sonra  $d$  kadar uzağındaki  $q$  yükünü A noktasından B noktasına getirmek için elektriksel kuvvetlerin yaptığı işi bulunuz.

**ÇÖZÜM**

Elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş  $W = q \cdot V_{AB}$  ile bulunur.

$W = q \cdot V_{AB}$   $V_{AB} = V_B - V_A$  potansiyel farkını bulalım.

$$V_A = \frac{k \cdot 9q}{d} \quad V_B = \frac{k \cdot 9q}{3d} = \frac{3kq}{d}$$

$$V_{AB} = V_B - V_A = \frac{3k \cdot q}{d} - \frac{9k \cdot q}{d} = \frac{-6 \cdot k \cdot q}{d} \text{ bulunur.}$$

$$\text{iş: } W = q \cdot V_{AB} = q \frac{-6 \cdot k \cdot q}{d} = \frac{-6 \cdot k \cdot q^2}{d} \text{ bulunur.}$$

7.



K ve M noktasında bulunan yükler, şekilde bulunduğu noktalara sabitleniyor. Sonsuzda bulunan  $-2 \times 10^{-4} \text{ C}$  yüklü



## Kavram Yanılgıları

- Gerilim bir devrede akar.
- Elektriksel alan ile gerilim arasında hiçbir bağlantı yoktur.
- Gerilim enerjidir.
- Eş potansiyel, eşit alan veya düzgün alan anlamındadır.
- Yüksek voltaj kendine zarar verir.
- Gerçek bir yükü, bir eş potansiyelde hareket ettirmek için iş yapmak gerekir.
- Yükler kendi kendilerine hareket eder.

noktasal cismi L noktasına getirmek için elektrik kuvvetlerinin yaptığı işi bulunuz. ( $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ )

## ÇÖZÜM

K ve M noktalarındaki yükler için sonsuzdaki potansiyel sıfırdır. Bu yüzden yükün sonsuz ve L noktaları arasındaki potansiyel farkı, L noktasının potansiyeline eşittir.

$$\Delta V = V_{\infty L} = V_L - V_{\infty} = V_L - 0 = V_L \text{ bulunur.}$$

$$V_L = \frac{9 \times 10^9 \cdot 6 \times 10^{-4}}{2} + \frac{9 \times 10^9 \cdot 2 \times 10^{-4}}{1} = 45 \times 10^5 \text{ volt bulunur.}$$

$$\Delta V = V_L = 45 \times 10^5 \text{ volt bulunur.}$$

İş:  $W = q \cdot \Delta V = -2 \times 10^{-4} \cdot (45 \times 10^5) = -90 \times 10^1$  elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş,  $W = -900$  joule bulunur.

8.



Şekildeki gibi yerleştirilen yüklerin A noktasındaki elektrik alanlarının toplamı sıfırdır. Bu yüklerin B noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyelin toplamı kaç  $k \frac{q}{d}$ 'dir? (Noktalar eşit aralıklı ve her bir aralık d kadardır.)

## ÇÖZÜM

A noktasındaki elektrik alanının sıfır olması için,

$$k \frac{10q}{d^2} = k \frac{q_x}{4d^2} \text{ eşitliği yazılır.}$$

Bu eşitlikten  $q_x = 40q$  bulunur.

B noktasındaki elektrik potansiyel,

$$V_B = k \frac{10q}{4d} + k \frac{40q}{d} = \frac{170}{4} k \frac{q}{d}$$

$$V_B = \frac{85}{2} k \frac{q}{d} \text{ bulunur.}$$

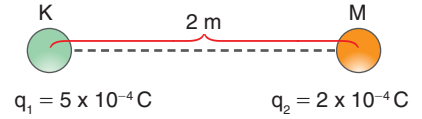




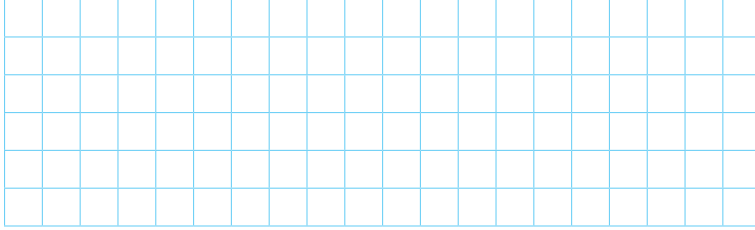
## BÖLÜM SONU DEĞERLENDİRME SORULARI 12

(Bu bölümde verilen sorulardaki açı değerleri için  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 3/5$   $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$   
 $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2$   $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$   $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$   $g \cong 10 \text{ m/s}^2$   
 $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$  alınınız.)

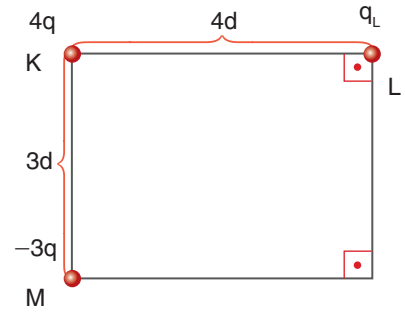
1. K ve M noktalarına sabitlenen şekildeki noktasal yüklerin elektriksel potansiyel enerjisi kaç J'dür?



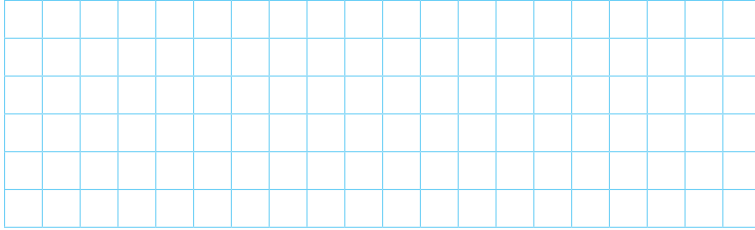
Çözüm:



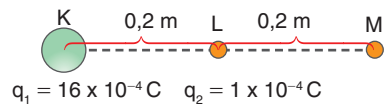
2. Şekildeki dikdörtgenin köşelerine K, L ve M yükleri sabitleniyor. Sistemin toplam elektriksel potansiyel enerjisi sıfır olduğuna göre L noktasındaki yük kaç q'dur?



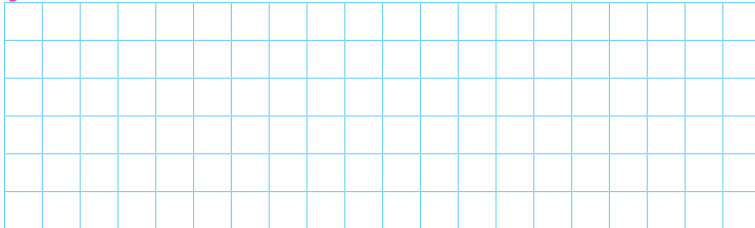
Çözüm:



3. K noktasına yükü  $q_1 = 16 \times 10^{-4} \text{C}$  olan noktasal cisim sabitleniyor. Yükü  $q_2 = 1 \times 10^{-4} \text{C}$  olan noktasal bir cisim L noktasında iken elektriksel potansiyel enerji  $E_1$ , M noktasında iken elektriksel potansiyel enerji  $E_2$  oluyor. Buna göre  $(E_1/E_2)$  oranı kaçtır?

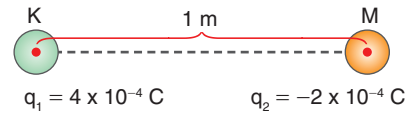


Çözüm:

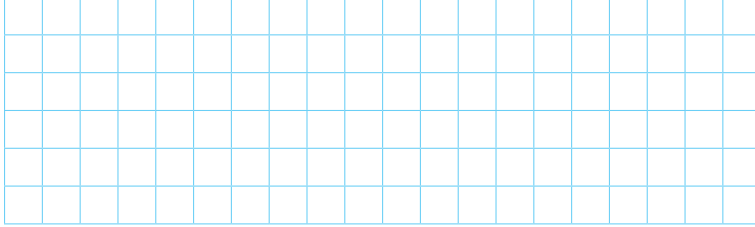




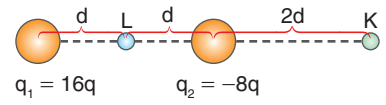
8. K ve M noktasına şekildeki gibi noktasal yükler sabitleniyor. Sonsuzdaki  $5 \times 10^{-5}$  C yükünü KM uzaklığının tam ortasına getirmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş kaç J'dür?



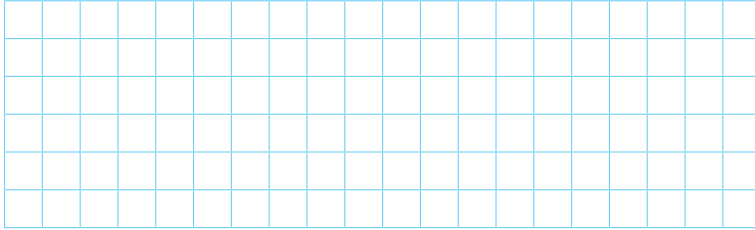
Çözüm:



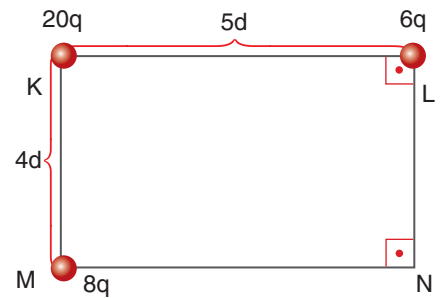
9. Yükleri  $q_1$  ve  $q_2$  olan iki noktasal parçacık, şekilde bulunduğu noktalara sabitleniyor. Yükü  $2q$  olan noktasal parçacığı K noktasından L noktasına götürmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan iş kaç  $k \frac{q^2}{d}$ 'dir?



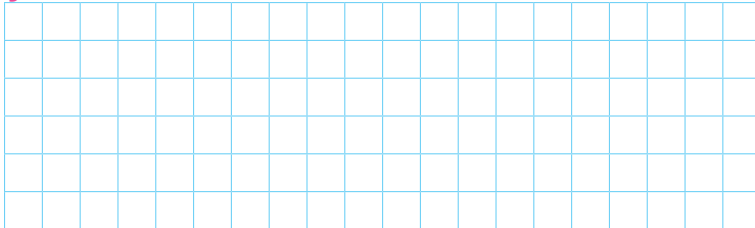
Çözüm:

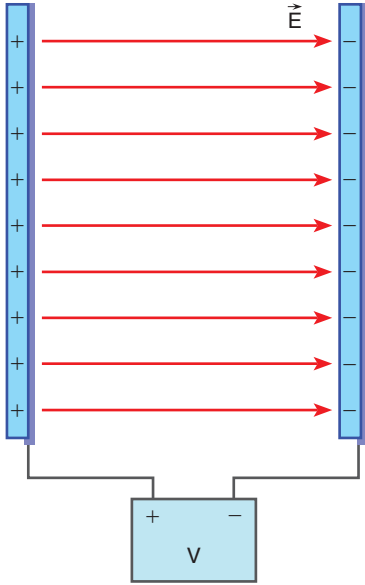


10. Şekildeki dikdörtgenin K, L ve M köşelerine noktasal yükler yerleştiriliyor. K noktasında bulunan yükü N noktasına getirmek için elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş kaç  $k \frac{q^2}{d}$ 'dir?



Çözüm:



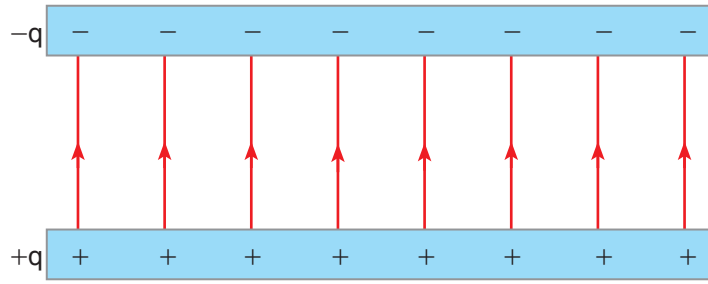


Şekil 2.21: Yüklü paralel levhalar

## 2.3. DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN VE SIĞA

### 2.3.1. Yüklü Levhalar Arasında Elektrik Alan

Aynı boyuttaki iki iletken levhayı, aralarında elektriği iletmeyen hava ortamı varken Şekil 2.21'deki gibi aralarında  $d$  mesafesi olacak biçimde birbirine paralel yerleştirelim. Levhalara sabit bir  $V$  potansiyeli uygulayalım. Elektrik kaynağının pozitif kutbuna bağlı levha, pozitif yükü yüklenir. Kaynağın negatif kutbuna bağlanan levha, negatif yük ile yüklenir. Zıt işaretli yükler birbirlerini çektiği için yüklerin çoğu karşılıklı olarak birbirlerine bakan yüzeyde yoğunlaşır. Bu yüzden levhaların arasında düzgün elektrik alan meydana gelir.

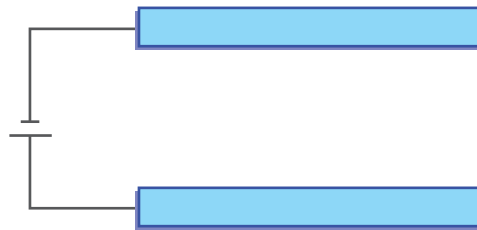


Şekil 2.22: Yüklü iletken iki levha arasındaki elektrik alan çizgileri

Birbirine paralel, yüklü iki iletken levha Şekil 2.22'de görüldüğü gibi zıt elektrik yükü ile yüklendiğinde levhalar arasında düzgün elektrik alan meydana gelir. Elektrik alan çizgileri pozitif yükten çıkıp negatif yüke girecek şekilde çizilir. Levhaların ortasında merkezî bölgede elektrik alan çizgileri doğrusaldır. Alan çizgileri uçlarda eğrilir.



### KENDİMİZİ DENEYELİM 34



Aynı boyda iki iletken levha, şekildeki gibi potansiyel farkı sabit olan bir kaynağa bağlanıyor. Levhalar arasında meydana gelen elektrik alan çizgilerini çiziniz.

### 2.3.2. Yüklü, İletken ve Paralel Levhalar Arasında Oluşan Elektrik Alanının Bağlı Bulunduğu Değişkenler

Simülasyonda gözlemlediğiniz gibi pilin potansiyel farkının artması, iletken levhalar arasında meydana gelen elektrik alanının büyüklüğünün artmasına sebep olur. Paralel levhaları birbirine yaklaştırdığınızda levhalar arasındaki elektrik alanının büyüklüğü artar. Levhalar arasındaki ortamın değişmesi ile levhalarda toplanan yük miktarı değişir. Fakat elektrik alanının büyüklüğü değişmez.

Elektrik alanın

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

bağıntısı ile hesaplandığını öğrendiniz. Elektriksel potansiyeli de

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

bağıntısı ile hesapladınız.

Elektrik alan ve elektriksel potansiyel arasında

$$E = \frac{V}{d}$$

eşitliği yazılır.

Elektrik alan birimi için newton/coulomb ya da Tablo 2.2'de görüldüğü gibi volt/metre birimi de kullanılır.

Paralel levhalar arasında bulunan noktalar arasındaki potansiyel farkını bulalım. Şekil 2.23'teki gibi paralel levhalara sabit 3V gerilim uygulayalım. KP noktaları arasındaki gerilim 3V olur. Noktalar arasındaki potansiyelin uzaklığa oranı, sabit ve elektrik alanının büyüklüğüne eşittir. Bu oran  $3V / 3d$  eşitliğinden  $E = V/d$  bulunur.

KL noktaları arasındaki uzaklık  $d$  ve elektrik alan  $E$  olduğu için potansiyel fark,  $E = V_{LK}/d$  eşitliğinden  $V_{LK} = V$  bulunur. KM noktaları arasında  $2d$  uzaklığı olduğu için  $E = V_{MK}/2d$  eşitliğinden  $V_{MK} = 2V$  bulunur. M ve N noktaları levhalar eşit uzaklıkta olduğu için  $V_{NK} = 2V$  bulunur.

### İzleyelim Öğrenelim

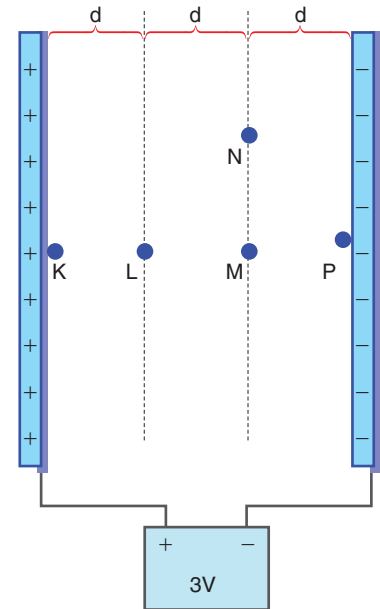
Yüklü levhalar arasındaki oluşan elektrik alanının bağlı bulunduğu değişkenleri gözlemlemek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/capacitor-lab-basics>

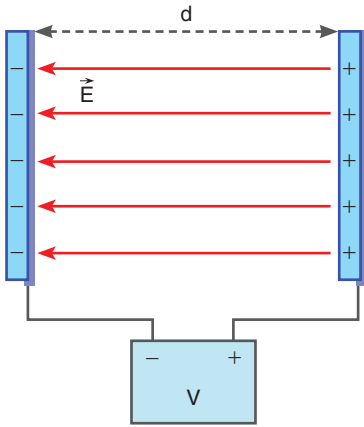


Tablo 2.2: Elektrik alan birimi

E	V	d
V / m	V	m



Şekil 2.23: Paralel levha arasındaki noktalar arası potansiyel farkı



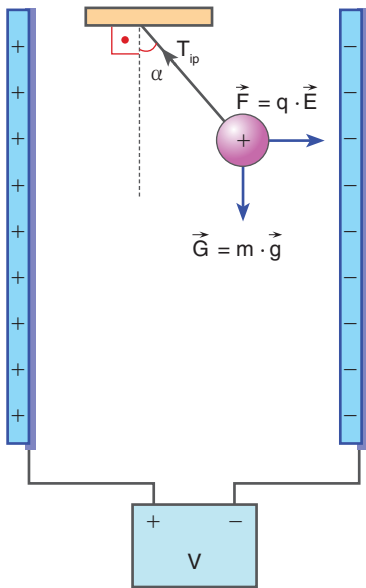
Şekil 2.24: İletken paralel levha arasındaki düzgün elektrik alan

Şekil 2.24'te görülen iletken paralel levhalar arasında  $V$  potansiyel farkı uygulanınca levhalar arasında düzgün elektrik alan meydana gelir. Levhaların potansiyel farkı değişmeden levhalar arasındaki uzaklığı arttırsak levhalar arasındaki elektrik alan azalır. Levhaları besleyen üretici devreden çıkardıktan sonra levhalar arasındaki uzaklığı arttırsak levhalar arasında meydana gelen elektrik alan değişmez.

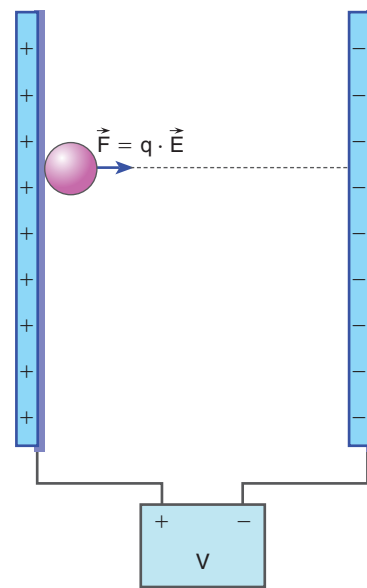
### 2.3.3. Yüklü Parçacıkların Düzgün Elektrik Alanındaki Davranışı

Yalıtkan ipe asılı, yüklü parçacığı düzgün elektrik alana bıraktığımızda elektrik alandan kaynaklanan  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$  elektriksel kuvvetine maruz kalır.

Paralel levhalar arasına  $q$  yüklü,  $m$  kütleli cismi asalım. Cisim üç kuvvetin etkisinde kalır. Aşağıya doğru yer çekimi kuvveti  $\vec{G} = m \cdot \vec{g}$ 'dir. Sağa doğru  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$  elektriksel kuvveti etki eder. Ağırlık ve elektriksel kuvveti, Şekil 2.25'te görüldüğü gibi ip gerilmesi dengeler.



Şekil 2.25: Paralel levhalar arasında asılan yüklü cisme etki eden kuvvet



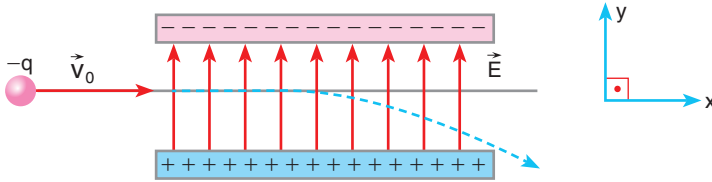
Şekil 2.26: Yüklü levhalar arasına konulan parçacık

Sabit potansiyel farkı ile yüklenen levhalardan pozitif yüküyle yüklü levhanın yanına Şekil 2.26'daki gibi ağırlığı önemsiz pozitif yüklü parçacık koyalım. Parçacık, sabit  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$  kuvvetinin etkisi ile karşı levhaya doğru sabit ivmeli hareket yapar. Kuvvetin yaptığı iş  $W = q \cdot \Delta V$  bağıntısı ile bulunur. Kuvvetin

parçacık üzerinde yaptığı iş, parçacığın kinetik enerjisini değiştirir.  $W = q \cdot \Delta V = \Delta E_k$  bağıntısı ile parçacığın hızı bulunur.

Hızlanan parçacığı durdurmak için parçacık, üzerinde yapılan işin negatif olduğu bir ortama girmesi gerekir. Şekil 2.27’de görüldüğü gibi ilk paralel levhalar arasında hızlanan parçacık ikinci levhalar arasında yavaşlayıp durur. Parçacığın durduğu nokta, parçacık üzerinde yapılan toplam işin sıfır olduğu noktadır. İlk levhalar arasında parçacık üzerinde  $W = q \cdot \Delta V = q \cdot 3V$  işi yapılır. İkinci paralel levhalar arasında parçacık üzerinde yapılan iş  $W = -q \cdot 3V$  olduğunda parçacık durur. Parçacığın durduğu nokta, ikinci bölgede  $-3V$  potansiyeli olan noktadır. Bu nokta yarıktan geçtikten sonra  $2d$  uzaklıktadır. Bu sebeple ikinci bölgede düzgün elektrik alan değeri,

$$E = \frac{12V}{8d} = \frac{3V}{x}, x = 2d \text{ bulunur.}$$

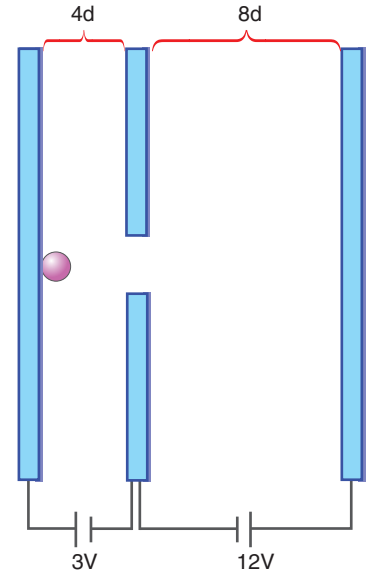


Şekil 2.28: Elektrik alana dik giren yüklü parçacığın hareketi

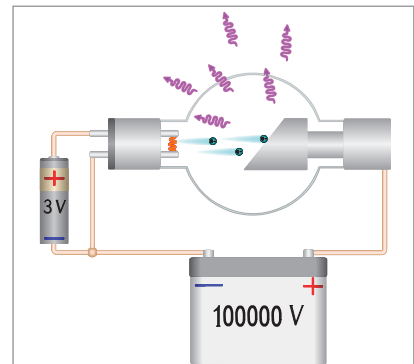
Elektrik alana Şekil 2.28’de görüldüğü gibi dik giren ağırlığı ihmal edilen negatif yüklü parçacık, elektrik alanın tersi yönünde  $F = q \cdot E$  büyüklüğündeki kuvvetinin etkisinde kalır. Yüklü parçacık yatayda sabit hızlı hareket yaparken düşeyde ilk hızı sıfır olan hızlanan (ivmeli) hareket yapar. Parçacığın yörüngesinden sapma miktarı, hareket bağıntıları ( $x = a t^2 / 2$ ) ile hesaplanır. Parçacığı ivmelendiren kuvvet  $F = q \cdot E$  olduğu için parçacığın ivmesi  $a = q \cdot E / m$  ile bulunur.

Şekil 2.29’da görülen, havanın boşaltılmış bir cam tüpte katot ve anot metalleri bulunur. Katot metali tungsten maddesinden yapılır. Bu maddeye düşük bir akım verilerek ısıtılır. Isınan telin son yörüngesindeki elektron, metalden ayrılır. Katot metalinden çıkan elektronlar düzgün elektrik alanda hızlandırılır. Hızlandırılan elektron, anot metaline çarptırılır. Elektronların yavaşlarken yaptığı ivmeli hareket sonucunda etrafa elektromanyetik dalga yayılır. Bu dalgalar X-ışınıdır.

Katot tüpünden elde edilen X-ışınlarından birçok alanda yararlanır. Örneğin Resim 2.4’te görüldüğü gibi elde kırık olup olmadığı X-ışınları sayesinde anlaşılır.



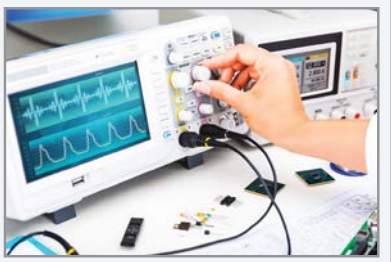
Şekil 2.27: Hızlanan parçacığın durdurulması



Şekil 2.29: Elektronların hızlandırılması

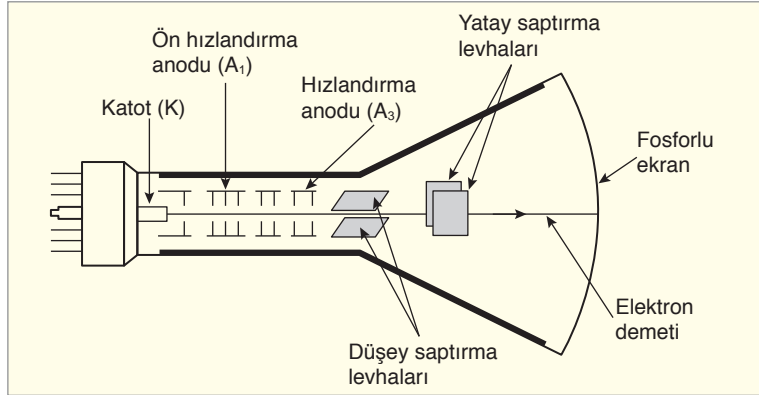


Resim 2.4: Röntgen filmi



Resim 2.5: Osiloskop

Katot ışını tüpü, deneysel bilimlerin (fizik, kimya, biyoloji, tıp) birçok alanında kullanılan osiloskopun en önemli parçasıdır. Resim 2.5'te görülen osiloskop, sinyallerin özelliklerini dalga formlarıyla birlikte görebilmemizi ve hesaplayabilmemizi sağlayan elektronik cihazdır.

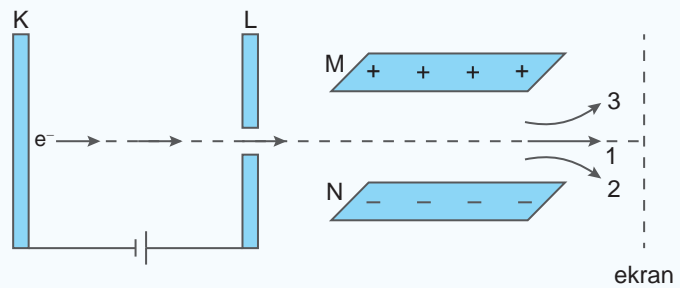


Şekil 2.30: Osiloskopun iç yapısı

Osiloskopun içinde yatay ve düşey saptırıcı levhalar bulunur. Yüksek hızlı ince elektron demeti, iki ayrı saptırma levhası arasından geçer. Böylece, elektron demetinin fosforlu ekran üzerinde hangi noktaya düşeceği belirlenir. Fosforlu ekran üzerine düşen yüksek enerjili elektron demeti fosforun parlamasına neden olur (Şekil 2.30).



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 5



Şekildeki K metal levhasından ayrılan elektron, iki ayrı paralel levha arasında hareket ediyor. Buna göre aşağıdaki soruları yanıtlayınız.

a) K ve L levhaları arasındaki potansiyel farkının artırılması elektronun bu levhalar arasından çıkış hızını nasıl etkiler?

b) Elektron M ve N levhaları arasından çıktıktan sonra hangi yolu izler?



c) M ve N levhalarının uçlarındaki potansiyel farkı arttırılırsa elektronun yörüngesi nasıl değişir?

### ÇÖZÜM

- a) Potansiyel farkı artarsa elektronun çıkış hızı artar.
- b) 3 no.lu yörüngeyi izler.
- c) Daha çok sapmaya uğrar.

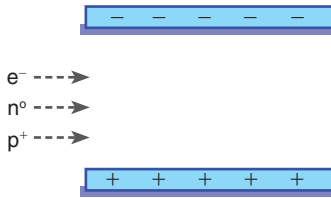


### Araştırma

Yüklü parçacıkların elektrik alandaki davranışının teknoloji-deki kullanım yerlerini araştırınız. Elde ettiğiniz bilgileri sınıfta arkadaşlarınıza sununuz.



### KENDİMİZİ DENEYELİM 35



Düşey düzlemde şekildeki gibi düzgün elektrik alana sahip paralel levhalar arasına aynı hızla ayrı ayrı dik olarak giren elektron, proton ve nötronun levhalar arasındaki sapma yönlerini çiziniz. (Yer çekimi etkisini ihmal ediniz.)



### 2.3.4. Sığa (Kapasite)

Fotoğraf makinelerinde ışığa ihtiyaç duyduğumuzda Resim 2.6'da görüldüğü gibi flaş devreye sokarız. Flaşta sığaçlarda depolanmış elektrik enerjisi, ışık enerjisine dönüşür. Sığaçlar, tıpkı yayların esneklik potansiyel enerjisini depoladığı gibi elektriksel potansiyel enerjiyi ve elektrik yükünü de depolayan araçlardır.

Sığaçlar elektrik devrelerinde Şekil 2.31'deki gibi gösterilir.

Sığaçlar ihtiyaç ve kullanım alanlarına göre Resim 2.7.a'daki farklı şekillerde üretilmektedir. Birçok elektronik devrede kullanılan sığaçlar, kondansatör veya kapasitör olarak da isimlendirilmektedir (Resim 2.7.b). Sığaçlar aralarında yalıtkan ortam olan



Resim 2.6: Fotoğraf makinesinin flaşının çalışması



Şekil 2.31: Sığaçların devrelerde gösterimi

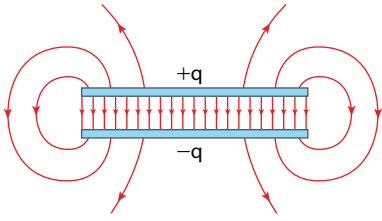


(a)



(b)

Resim 2.7: a) Sığaç çeşitleri b) Sığaçların devrede kullanılması



Şekil 2.32: Paralel levhalı sığaçlar

iki iletken oluşturur. Sığaçlara elektrik enerjisi depolamak için paralel levhalarda olduğu gibi iletkenlerden biri, üreticinin pozitif kutbuna diğeri de negatif kutbuna bağlanır. Yüklü iletkenler arasında potansiyel farkı oluşturmak için yapılan iş, sığaçta elektriksel potansiyel enerji olarak depolanır.

Sığaçlar kullanıldıkları yere ve ihtiyaç duyulan kapasiteye göre farklı şekillerde üretilmektedir. Şekil 2.32’de görüldüğü gibi aynı yüzey alanına sahip iletken levhalardan oluşan sığaçlara paralel levhalı sığaçlar denir. Levhalardan biri  $+q$ , diğeri ise  $-q$  yükü ile yüklenir. Levhalar arasında pozitif yüklü levhadan negatif yüklü levhaya doğru düzgün elektrik alan meydana gelir. Levhanın kenarlarından dışa doğru elektrik alan, düzgün değildir.

### 2.3.5. Sığanın Bağlı Olduğu Değişkenler

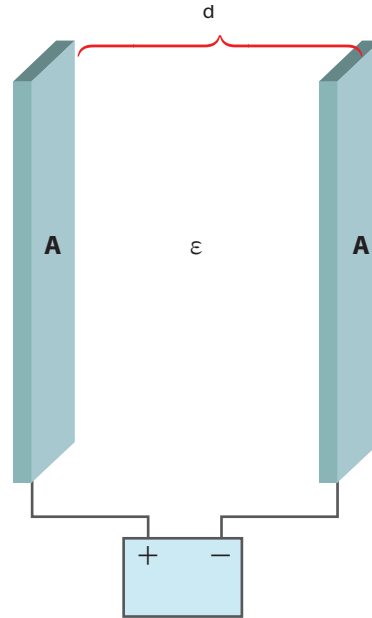
Simülasyonda gözlemlediğiniz gibi paralel levhaların alanının artması ile sığa büyüdü. Sığa, levhaların alanı ile doğru orantılıdır. Levhalar arasındaki uzaklığın artması ile sığa azalır. Sığa, uzaklıkla ters orantılıdır. Paralel levhaların arasındaki ortamın değişmesi sığayı değiştirir.



#### İzleyelim Öğrenelim

Sığanın bağlı olduğu değişkenleri analiz etmek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

<https://phet.colorado.edu/en/simulation/capacitor-lab-basics>



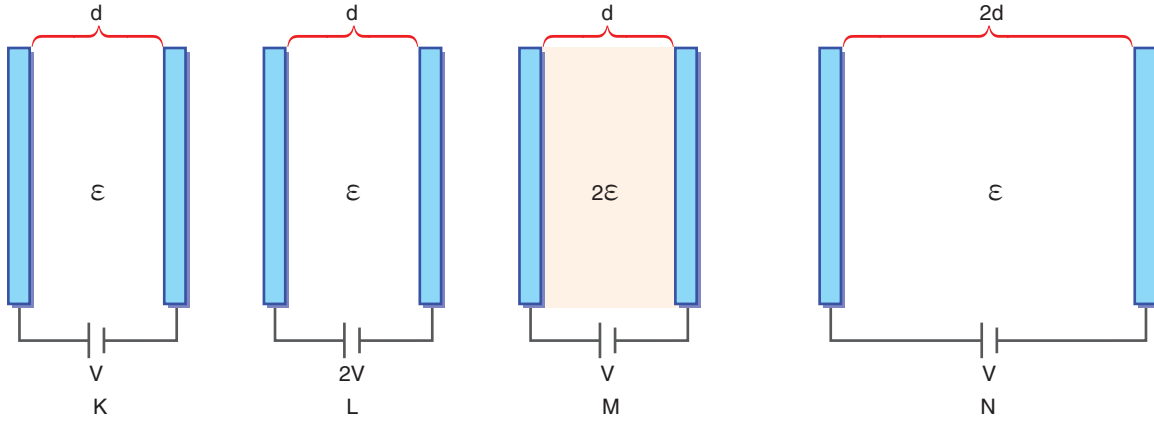
Şekil 2.33: Sığacın yapısı

Aralarında  $d$  mesafesi bulunan Şekil 2.33’teki gibi iki iletken levhanın arasında, elektriği iletmeyen dielektrik ortam

bulunmaktadır. Bu sistem sığacın yapısını oluşturmaktadır. İletken levhalara **sığaçların armatürleri** denir. Sığaçların yükü bir armatürün yükü kadardır. Elektriksel potansiyel enerji depolama kapasitesine **sığacın sığası** denir. Sığa C ile gösterilir. Birimi "farad"dır. Fotoğraf makinelerinin flaşlarında birkaç yüz mikrofarağlık sığaçlar kullanılmaktadır. Bir kondansatörün sığası armatürlerin alanı ile doğru orantılı ( $C \sim A$ ), armatürlerin aralarındaki mesafe ile ters orantılıdır ( $C \sim 1 / d$ ). Sığacın yük depolama kapasitesi levhalar arasındaki ortama da bağılıdır ( $\epsilon$ ). Bir kondansatörün sığası,

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Sığaç üretece bağılı iken levhalar birbirinden uzaklaştırılırsa sığa değışir, üretcin uçları arasındaki gerilim değışmez, dolayısı ile levhalarda yük değışir. Üretece bağılı olmayan kondansatörün levhalarını birbirinden uzaklaştırırsak yük sabit kalır. Sığa ile potansiyel fark ters orantılı değışir.



**Şekil 2.34:** Sığacın bağılı olduğu değışkenler

Aralarında d uzaklığı bulunan, V potansiyel farkı altında yüklenen Şekil 2.34'teki iki iletken paralel levhanın sığası C olsun (K). Sadece potansiyel farkı iki katına çıkarırsak sığa değışmez yine C olur (L). Levhalar arasında bulunan dielektrik ortamın dielektrik katsayısı iki katına çıkarsa sığa 2C olur (M). Sadece uzaklık iki katına çıkarsa sığa yarıya düşerek C/2 olur (N).

Sığacın levhaları arasında düzgün ve sabit elektrik alan meydana gelir. Elektrik alan, levhaların yükü ile doğru orantılıdır. Her iki iletken levhanın yükü iki katına çıkarılırsa levhalar arasındaki elektrik alan ve elektriksel potansiyel iki katına çıkar. Yük miktarının artması ya da azalması, yükün elektriksel potansiyele

oranını değiştirmeyiz. Bu orana **sığacın sığası** denir. Sığa,

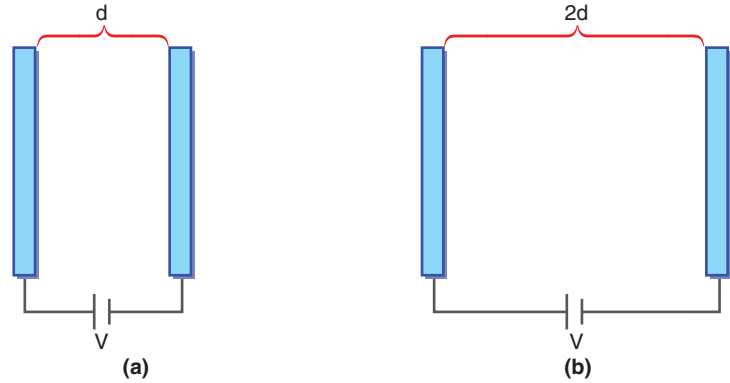
$$C = \frac{q}{V}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bağıntıdan yola çıkılarak sığanın birimi olarak farad yerine C/V da kullanılır. Sığası 1 $\mu$ F olan bir kondansatörün 1 V potansiyel farkı altında yüklenen sığacın yükü 1 $\mu$ C'dur. Yükyü q olan iletken bir kürenin yarıçapı R olsun. Kürenin sığasını hesaplayalım.

$C = q / V$  bağıntısında kürenin potansiyeli yazıldığında,

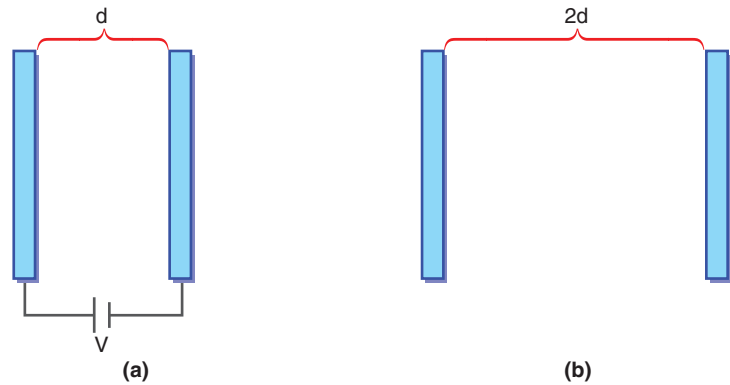
$$C = \frac{q}{k \frac{q}{R}} \text{ eşitliğinden } C = \frac{R}{k} \text{ elde edilir.}$$

İletken kürelerin sığası, ortama ve yarığapa bağlıdır.



**Şekil 2.35:** a) Armatürleri arasında d uzaklığı bulunan sığağ b) Armatürleri arasında 2d uzaklığı bulunan sığağ

Armatürlerin arasında Şekil 2.35.a'daki gibi d uzaklığı bulunan sığacın levhaların aralarındaki uzaklık Şekil 2.35.b'de görüldüğü gibi 2d yapılırsa  $C = \epsilon A/d$  bağıntısından sığacın sığası azalır.  $q = C \cdot V$  bağıntısında sığacın yükü azalır. Levhalar arasındaki elektrik alan  $E = V/d$  bağıntısına göre azalır.



**Şekil 2.36:** a) Armatürleri arasında d uzaklığı bulunan sığağ b) Sığacın üreteğten ayrılıp armatürleri arasındaki uzaklığın 2d olması

Armatürlerin arasında d uzaklığı bulunan Şekil 2.36.a'da görülen sığağ pilden ayrıldıktan sonra Şekil 2.36.b'de görüldüğü gibi

### Araştırılım

Sığağların kullanım alanlarını araştırarak elde ettiğiniz bilgilerle poster hazırlayınız. Posterinizi sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

birbirinden uzaklaştırılırsa sığacın yükü korunur.  $C = \epsilon A/d$  bağıntısından  $d$  artarsa sığa azalır.  $q = C \cdot V$  bağıntısında  $V$  artar. Levhalar arasındaki elektrik alan  $E = V/d$  bağıntısından değişmez.

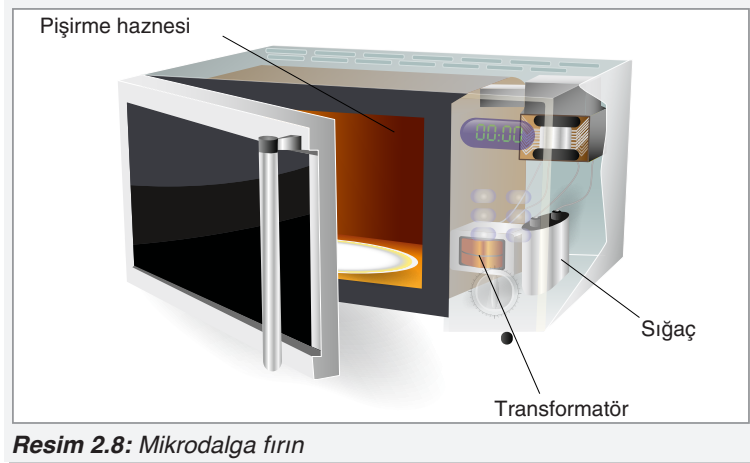
Sığaçta depolanan enerji, Şekil 2.37'de görüldüğü gibi kondansatörün yük-potansiyel farkı grafiğinin altında kalan taralı alanla bulunur. Yüklü bir kondansatörün taşıdığı enerji,

$$W = \frac{1}{2} q \cdot V$$

bağıntısı ile hesaplanır.

### 2.3.6. Sığacın (Kondansatör) İşlevi

Kondansatörler günlük yaşamımızda kullandığımız birçok elektronik alette bulunmaktadır.

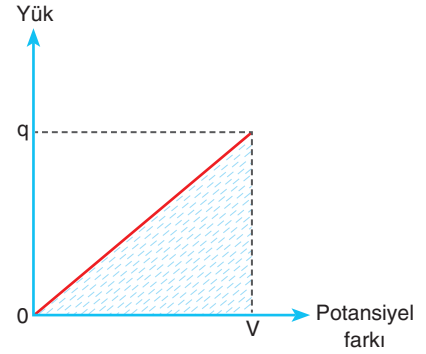


Resim 2.8: Mikrodalga fırın

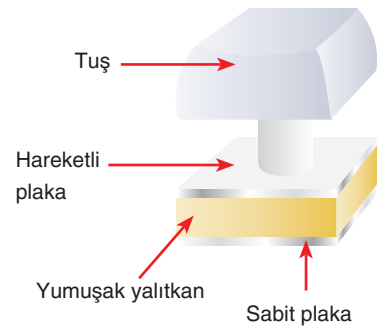
Resim 2.8'de görüldüğü gibi mikrodalga fırınlarda kullanılır. Mikrodalga fırınlarda kondansatörler yüksek gerilim kondansatörü denilen sığaçlar bulunur. Yüksek gerilim kondansatörleri yüksek gerilim diyotu ile birlikte gerilim doğrultulması için kullanılır.

Bilgisayar tuşuna basılınca Şekil 2.38'deki hareketli levha aşağı doğru hareket eder. Levhalar arasındaki mesafe azalınca kondansatörün sığası artar. Sabit potansiyelde sığanın artması, yükün artmasını sağlar. Yük artışını algılayan devre elemanları hangi tuşa basıldığını algılar.

Teknolojik gelişmelerin artması, elektrikli cihazların çoğalmasını sağladı. Bununla birlikte evlerimizde kullanılmayan elektronik cihazlar arttı. Ülke ekonomimizin gelişmesi için atık eski cihazların geri kazanım tesislerine gönderilmesi gerekmektedir. Elektronik atıkların geri dönüşümü ile hem çevre kirliliğinin artmasına engel oluruz hem de ülke ekonomimizin gelişmesine katkı sağlarız.



Şekil 2.37: Yüklü bir sığacın yük-potansiyel farkı grafiği



Şekil 2.38: Bilgisayar klavye tuşu

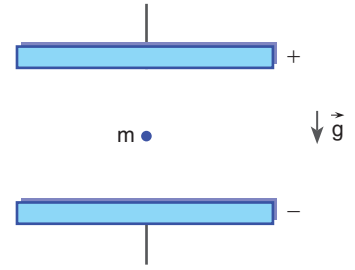


### Tartışalım

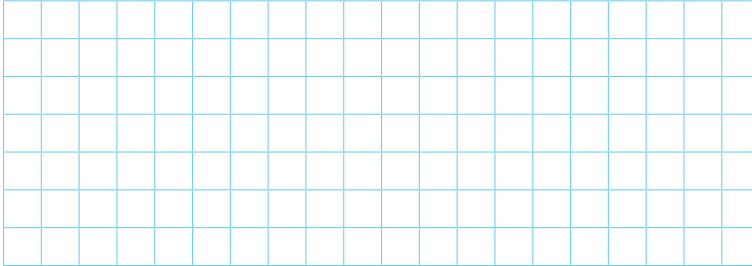
Elektrik yüklerinin nasıl depolanabileceğini ve depolanan bu enerjinin nasıl kullanılabileceğini sınıfta tartışınız.



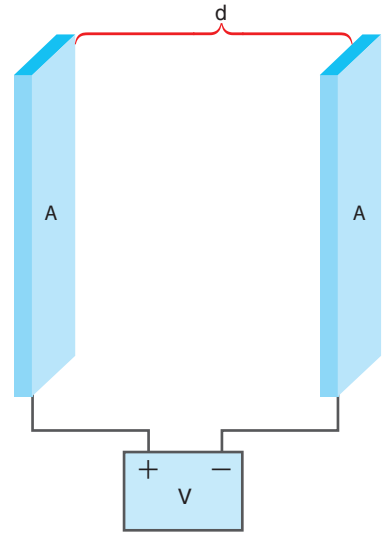
4. Kütle  $m$  olan bir parçacık; yüklü, iletken, levhalar arasında şekildeki gibi dengede durmaktadır. Parçacığın yükünün işareti nedir? Parçacığın yük/kütle oranı neye eşittir?



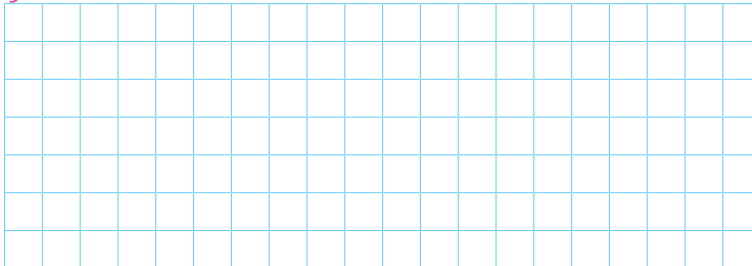
Çözüm:



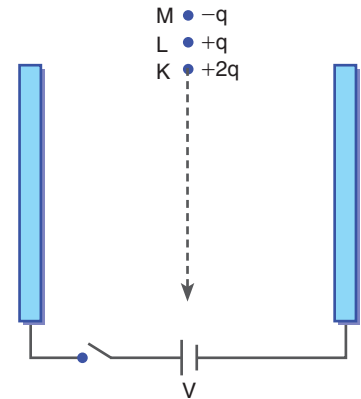
5. Yüklü, iletken iki levha, aralarında hava varken şekildeki gibi yerleştiriliyor. Levhaların sığası  $C$ , yükü ise  $q$ 'dur. Levhaların yüzey alanları iki katına çıkarılıp aralarındaki uzaklık yarıya düşürülürse levhaların sığası kaç  $C$ , yükü kaç  $q$  olur?



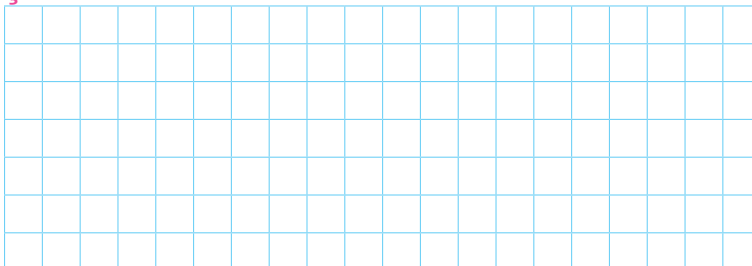
Çözüm:



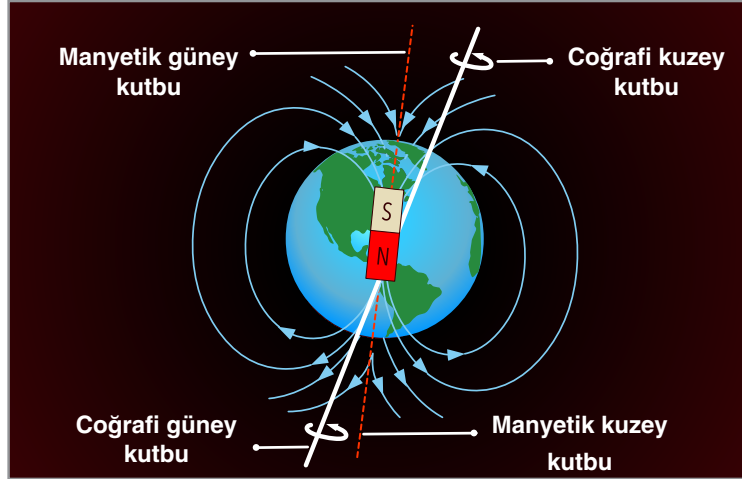
6. İletken paralel levhalar şekildeki gibi yerleştirildikten sonra yükü  $+2q$  olan  $K$  parçacığı, serbest bırakıldığında şekildeki yörüngeyi izliyor. Daha sonra anahtar kapatılıp bir süre beklendikten sonra sırası ile  $L$  ve  $M$  parçacıkları bırakılıyor. Buna göre  $L$  ve  $M$  parçacıklarının sapma yönlerini çiziniz.



Çözüm:



## 2.4. MANYETİZMA VE ELEKTROMANYETİK İNDÜKLENME



Şekil 2.39: Yer'in manyetik alanı

10. sınıfta Şekil 2.39'daki gibi yerin bir manyetik alanının olduğunu, manyetik alanla ilgili geliştirilen modelde alan çizgilerinin N (kuzey) kutbundan çıkarak S (güney) kutbuna girecek şekilde çizildiğini, demir gibi maddelerin geçici olarak mıknatıslık özelliği kazandığını öğrendiniz. Bu ünite de elektrik ve manyetizma arasındaki ilişkiyi inceleyeceğiz.

### 2.4.1. Üzerinden Akım Geçen Telin, Halkanın ve Akım Makarasının (Bobin) Oluşturduğu Manyetik Alan

#### Telin Manyetik Alanı

Üzerinden akım geçen tel, etrafında bir manyetik alan oluşturur mu?

Bilim insanı Hans Christian Oersted (Hans Kirişçin Örsted, 1777-1851) (Resim 2.9) 1819 yılında yaptığı deneyde iletken telin etrafına bir pusula yerleştirdi. Telden akım geçince pusulunun saptığını gördü. Yine aynı yıl Fransız matematikçi ve fizikçi Andre Marie Ampere (Andre Meri Amper, 1775-1836) üzerinden akım geçen iki telin birbirine kuvvet uyguladığını gözlemledi. İngiliz kimyacı ve fizikçi Michael Faraday (Maykıl Faraday, 1791-1867) ve ondan bağımsız olarak Joseph Henry (Josep Henri, 1797-1878) mıknatısların elektrik akımı oluşturduğunu ve değişen manyetik alanın elektrik alanı doğurduğunu buldu.

12. Deney'i yaparak üzerinden akım geçen telin etrafında oluşan manyetik alanın değişkenlerini gözlemleyelim.



Resim 2.9: Hans Christian Oersted (temsili resim)



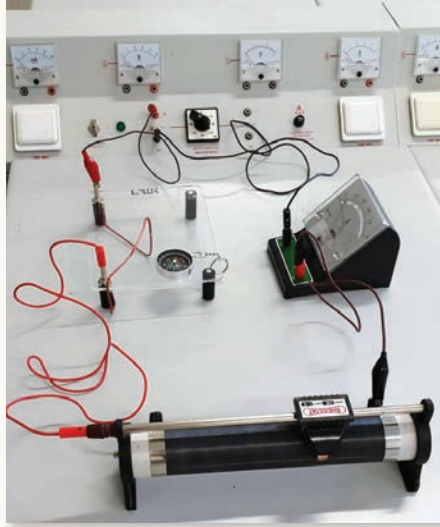


## 12. Deney



## Üzerinden Akım Geçen Telin Etrafındaki Manyetik Alan

### Nasıl Bir Yol İzleyelim?



### Araç Gereç

- Bakır tel
- Pusula
- Ampermetre
- Plastik ve metal levha

- ▶ Resimdeki gibi bir devre kurunuz.
- ▶ Güç kaynağından 3 V sabit gerilim uygulayınız.
- ▶ Pusulayı telin etrafında hareket ettirerek pusulanın nasıl yönlendiğini gözlemleyiniz. Üçüncü basamağı pusulayı telden daha uzak bir noktaya koyarak tekrarlayınız.
- ▶ Devreye güç kaynağından 6 V, 9 V ve 12 V potansiyel farkı uygulayarak 3 ve 4. basamaktaki işlemleri tekrarlayınız.
- ▶ Tel ile pusula arasına plastik ve metal levha koyarak 3 ve 4. basamağı tekrarlayınız.

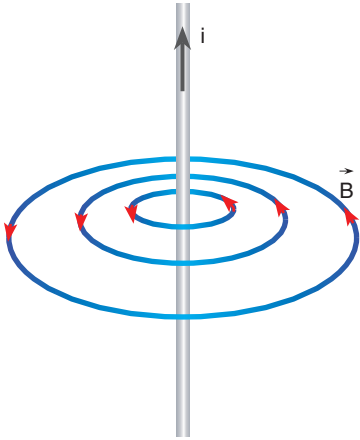
### Sonuca Varalım

1. Telden geçen akım arttıkça pusulanın sapması nasıl değişti?
2. Pusulayı telden uzaklaştırdıkça pusulanın sapması nasıl değişti?
3. Tel ile pusula arasına plastik ve metal ortamlar konulduğunda pusuladaki sapma nasıl değişti?

12. Deney'de gözlemlediğiniz gibi pusulanın sapma hızı, telin etrafında meydana gelen akım şiddetinin artması ile arttı. Pusula, telden uzaklaştıkça sapma miktarı azaldı. Pusula ile tel arasına farklı ortamlar konulması ise pusulanın sapmasını değiştirdi. Yapılan deneyler, telin etrafındaki manyetik alanın telden geçen akım şiddeti ile doğru orantılı; akım geçen tele uzaklıkta ters orantılı olduğunu göstermiştir. Telin bulunduğu ortam, telin



**Şekil 2.40:** Sağ el kuralıyla akım geçen düz telin etrafında oluşan manyetik alanın yönü bulunabilir.



**Şekil 2.41:** Üzerinden  $i$  akımı geçen telin etrafındaki manyetik alan

etrafında oluşan manyetik alanı değiştirmektedir. Telin etrafında oluşan manyetik alan vektördür ve  $\vec{B}$  ile gösterilir. Manyetik alan birimi olarak tesla (T), gauss (G) ve weber/metrekare ( $\text{wb/m}^2$ ) kullanılır. Meydana gelen manyetik alan,

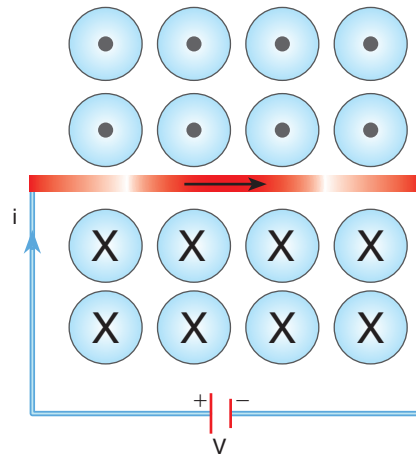
$$B = K \cdot 2i / d$$

bağıntısı ile bulunur.  $K$  sayısı boşluğun manyetik geçirgenliği olan  $\mu_0$  değerine bağlıdır. Telin etrafında oluşan manyetik alan bulunurken  $K$  değeri  $K = \mu_0 / 4\pi = 10^{-7} \text{ N / A}^2$  alınır.

Manyetik alan, vektörel bir büyüklük olduğu için telin etrafındaki manyetik alanın yönü önemlidir.

Telden Şekil 2.40'taki gibi akım geçsin. Telin etrafında oluşan manyetik alanı bulmak için sağ elin başparmağı akım yönünü gösterecek şekilde telin avuç içine alınır. Telin çevresinde bükülen dört parmağın yönü, manyetik alanın yönünü gösterir.

Şekil 2.41'de görüldüğü gibi üzerinden akım geçen telin etrafındaki manyetik alan, telin sağ tarafında sayfanın içine doğru; sol tarafında ise sayfanın dışına doğrudur. Bu iki durumu ayırmak için manyetik alan sayfa düzleminden çıkıp bize doğru geliyorsa  $\odot$  sembolü kullanılır. Ok, bizden sayfa düzlemine doğru gidiyorsa okun arkasını görürüz. Manyetik alan, bizden sayfa düzlemine doğru ise  $\otimes$  sembolü kullanılır.



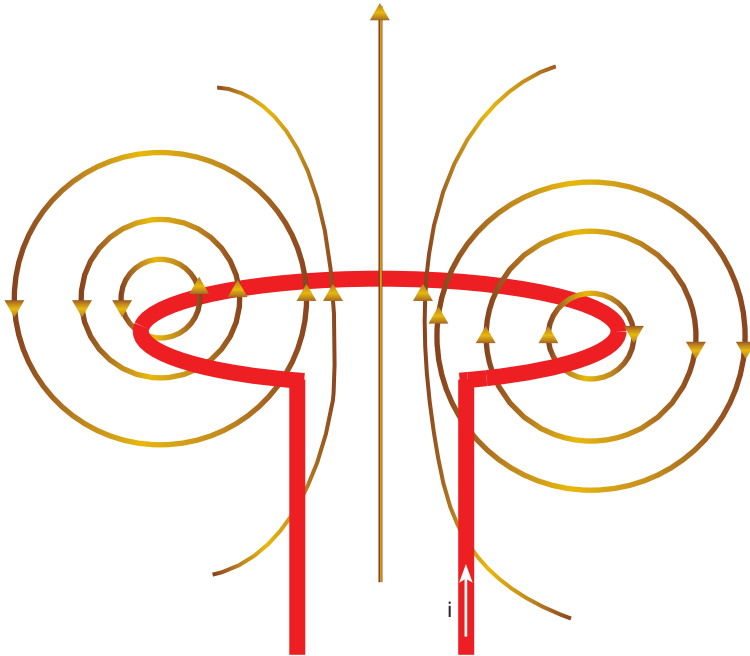
**Şekil 2.42:** Üzerinden akım geçen telin etrafındaki manyetik alan

Üzerinden  $i$  akımı geçen Şekil 2.42'de telin etrafında oluşan manyetik alanın yönünü bulmak için sağ el kuralı kullanılır. Sağ

elin başparmağı akım geçecek yönde tutularak tel, avuç içine alınır. Dört parmak, manyetik alanın yönünü gösterir. Buna göre telin üstünde manyetik alan bize doğru, telin altında ise bizden sayfa düzleminin içine doğrudur.

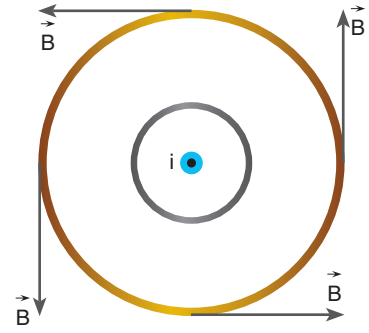
Sayfa düzlemine dik ve bize doğru akım gelen telin etrafında oluşan manyetik alanı bulmak için tel, başparmak akımın yönünü gösterecek şekilde sağ elin avuç içine alınır. Yana açılan dört parmak ise manyetik alanın yönünü gösterir. Manyetik alanın yönü Şekil 2.43'teki gibi olur.

### Halkanın Manyetik Alanı

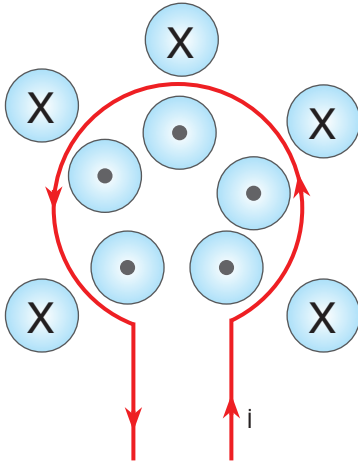


**Şekil 2.44:** Üzerinden akım geçen halkanın etrafındaki manyetik alan çizgileri

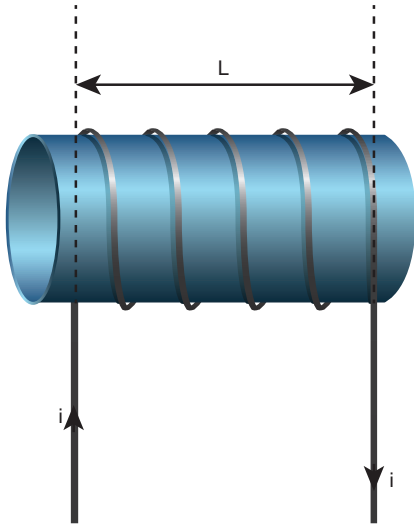
Üzerinden akım geçen halkanın etrafında oluşan manyetik alan çizgileri Şekil 2.44'teki gibidir. Manyetik alanın yönü, sağ el kuralı ile bulunur. Tel, başparmak akım yönünü gösterecek şekilde, sağ elin avuç içine alınırsa dört parmağın yönü manyetik alanın yönünü gösterir. Halkanın etrafında oluşan manyetik alan çizgileri birbirini hiçbir zaman kesmez. Manyetik alan çizgileri bir döngü oluşturur.



**Şekil 2.43:** Sayfa düzleminden bize doğru gelen teldeki akımın oluşturduğu manyetik alan



Şekil 2.45: Telin etrafındaki manyetik alan çizgilerinin yönünün gösterimi



Şekil 2.46: Sarımlardan oluşan bobin

Telin içinde sayfa düzleminden bize doğru, telin dışında ise bizden sayfa düzlemine doğru manyetik alan meydana gelir (Şekil 2.45). Halka şeklindeki telin merkezinde meydana gelen manyetik alan,

$$B = K \cdot 2\pi \cdot i / r$$

bağıntısı ile bulunur. r, halkanın yarıçapıdır. N tane halka, üzerinden aynı yönde akım geçecek şekilde üst üste konulursa, halkaların merkezinde meydana gelen manyetik alan:  $B = K \cdot N \cdot 2\pi \cdot i / r$  bağıntısı ile hesaplanır. Halka tam değil de yarım halka ise manyetik alan,

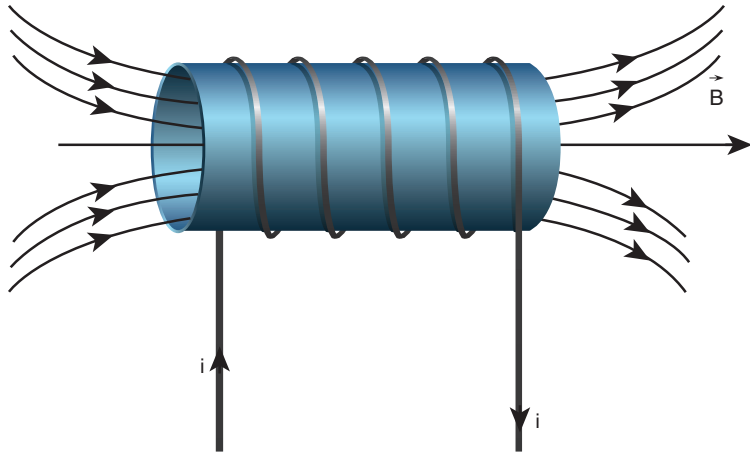
$$B = \frac{1}{2} \cdot \frac{2K \cdot \pi \cdot i}{r}$$

bağıntısı ile bulunur.

#### Akım Makarasının (Bobin) Oluşturduğu Manyetik Alan

N tane sarımdan oluşan bobinden i akımı geçtiğinde bobinin etrafında Şekil 2.46'daki gibi manyetik alan meydana gelir. Manyetik alan, sarım sayısı ve tellerin üzerinden geçen akım ile doğru orantılı; sarımların uzunluğu ile ters orantılıdır. Bobinin merkezindeki manyetik alan  $B = K \cdot N \cdot 4\pi \cdot i / L$  bağıntısı ile hesaplanır.

Bobinin etrafında oluşan manyetik alanın yönünü bulmak için bobin, sağ elin dört parmağı akım yönünde olacak şekilde avuç içine alınır. Yana açılan başparmak, manyetik alanın yönünü gösterir. Şekil 2.47'de görülen bobinde oluşan manyetik alan, bobinin sağ tarafından çıkıp sol tarafına girecek şekildedir.



Şekil 2.47: Bobinin etrafında meydana gelen manyetik alan

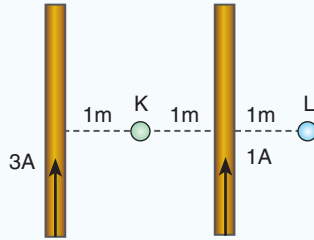
### 2.4.2. Manyetik Alan ile İlgili Hesaplamalar

Üzerinden akım geçen iletken düz telin çevresinde, halkanın merkezinde ve akım makarasının merkez ekseninde oluşan manyetik alan ile ilgili hesaplamalar yapalım.



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 6

1.



Şekildeki tel parçalarının üzerinden aynı yönde şekildeki gibi 1 A ve 3 A büyüklüğünde akımları geçmektedir. K ve L noktasında oluşan manyetik alanların oranı  $B_K / B_L$  kaçtır? ( $K = 10^{-7} \text{ N} / \text{A}^2$  alınız.)

#### ÇÖZÜM

K noktasında iki telin manyetik alanları ters yönlüdür.

$$B_1 = \frac{K \cdot 2 \cdot i}{d} = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 3}{1} = 6 \times 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \otimes$$

$$B_2 = \frac{K \cdot 2 \cdot i}{d} = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 1}{1} = 2 \times 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \odot$$

$$B_K = 6 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-7} = 4 \times 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \otimes \text{ bulunur.}$$

L noktasında iki teldeki akımın oluşturduğu manyetik alan aynı yönlüdür.

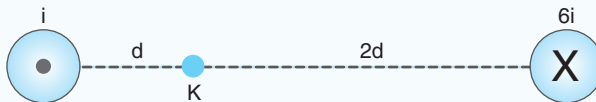
$$B_3 = \frac{K \cdot 2 \cdot i}{d} = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 3}{3} = 2 \times 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \otimes$$

$$B_4 = \frac{K \cdot 2 \cdot i}{d} = \frac{10^{-7} \cdot 2 \cdot 1}{1} = 2 \times 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \otimes$$

$$B_L = 2 \times 10^{-7} + 2 \times 10^{-7} = 4 \times 10^{-7} \frac{\text{wb}}{\text{m}^2} \otimes$$

$$\frac{B_K}{B_L} = \frac{4 \times 10^{-7}}{4 \times 10^{-7}} = 1 \text{ bulunur.}$$

2.



Sayfa düzlemine dik yerleştirilen iki iletken telden şekilde gösterilen yönlere akımlar geçmektedir.



**Kavram Yanılgıları**

- Kuzey ve güney kutup, pozitif ve negatif yük ile aynıdır.
- Manyetik alan çizgileri bir kuttuptan çıkar, diğer kutupta sona erer.
- Kutuplar izole edilebilir.
- Akı alan çizgileri ile aynıdır.
- Akı, gerçekte manyetik alan çizgilerinin akışıdır.
- Manyetik alanlar elektrik alanlarla aynıdır.
- Durgun yüklere manyetik kuvvet etkir.
- Mıknatıslardaki manyetik alanlar hareketli yükler tarafından oluşturulmaz.
- Manyetik alanlar 3 boyutlu değildir.
- Manyetik alan çizgileri sizi dünya üzerinde tutar.
- Yükler serbest bırakıldığında bir mıknatısın kutuplarına doğru hareket eder.

K noktasında oluşan manyetik alanın büyüklüğünü ve yönünü bulunuz.

**ÇÖZÜM**



İki telin K noktasında oluşturduğu manyetik alan aynı yönlüdür.

$$B = \frac{K \cdot 2 \cdot i}{d} + \frac{K \cdot 2 \cdot 6i}{2d} = 8 \frac{K \cdot i}{d} \text{ bulunur. Yönu: } \uparrow$$

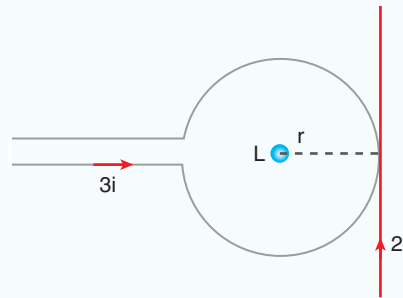
3. Üzerinden 2 A akım geçen 10 sarımlı bir halkanın merkezindeki manyetik alan  $8 \cdot 10^{-6} \text{ wb / m}^2$ dir. Buna göre tel halkanın yarıçapı kaç metredir? ( $K = 10^{-7} \text{ N / A}^2$ ,  $\pi = 3$ )

**ÇÖZÜM**

$$\text{Halkanın manyetik alanı } B = \frac{K \cdot N \cdot 2\pi \cdot i}{r}$$

$$8 \cdot 10^{-6} = \frac{10^{-7} \cdot 10 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2}{r} \Rightarrow r = \frac{12}{8} = 1,5 \text{ m bulunur.}$$

- 4.



Sayfa düzleminde bulunan halkanın ve düz telin L noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğünü, yönünü bulunuz. ( $\pi = 3$ )

**ÇÖZÜM**

Halkanın ve telin manyetik alanının yönü aynıdır.

$$\text{Halkanın: } B_1 = \frac{K \cdot 2 \cdot \pi \cdot i}{r} = \frac{K \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3i}{r} = 18 \frac{Ki}{r} \odot$$

$$\text{Telin: } B_2 = \frac{K \cdot 2 \cdot i}{r} = \frac{K \cdot 2 \cdot 2i}{r} = 4 \frac{Ki}{r} \odot$$

$$\text{Bileşke manyetik alan: } B = 18 \frac{Ki}{r} + 4 \frac{Ki}{r} = 22 \frac{Ki}{r} \text{ bulunur.}$$

5. 5 cm uzunluğundaki bir bobin (akım makarası) 1000 sarımlıdır. Bobinden 2 A büyüklüğünde akım geçmektedir. Bobin merkezinde meydana gelen manyetik alanın şiddetini bulunuz. ( $K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$ ,  $\pi = 3$  alınız.)

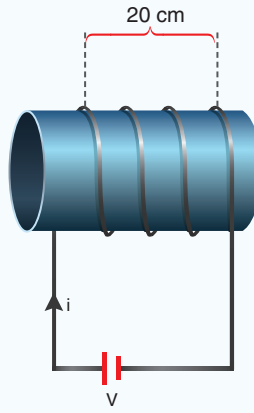
### ÇÖZÜM

Bobinin manyetik alanı:  $B = \frac{K \cdot 4 \cdot \pi \cdot N \cdot i}{L}$  bağıntısı ile bulunur.

$$B = \frac{10^{-7} \cdot 4 \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 2}{5 \cdot 10^{-2}} = \frac{24 \cdot 10^{-2}}{5} = 4,8 \times 10^{-2} \frac{\text{wb}}{\text{m}^2}$$

6. Sarımlarının uzunluğu 20 cm olan bir bobin (akım makarası) 1200 sarımlıdır. Bobinden 3 A'lık akım geçtiğine göre bobinin merkez ekseninde meydana gelen manyetik alanın şiddeti kaç tesladır? Bobinin içinde meydana gelen manyetik alanın yönünü çiziniz.

( $K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$   $\pi = 3$  alınız.)



### ÇÖZÜM

Bobinin merkez ekseninde meydana gelen manyetik alan şiddeti,

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

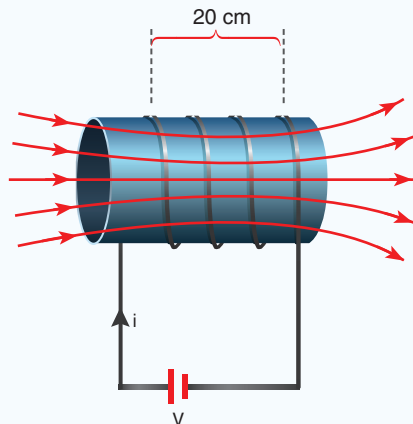
matematiksel modeli ile bulunur. Değerleri yerine yazarsak manyetik alanın büyüklüğü,

$$B = \frac{10^{-7} \cdot 4 \cdot 3 \cdot 1200 \cdot 3}{0,2}$$

$$B = 216 \times 10^{-4} \text{ T}$$

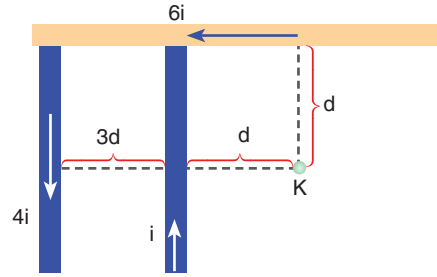
bulunur. Manyetik alanın yönü sağ el kuralı ile bulunur.

Manyetik alan şekilde gösterildiği gibi meydana gelir.



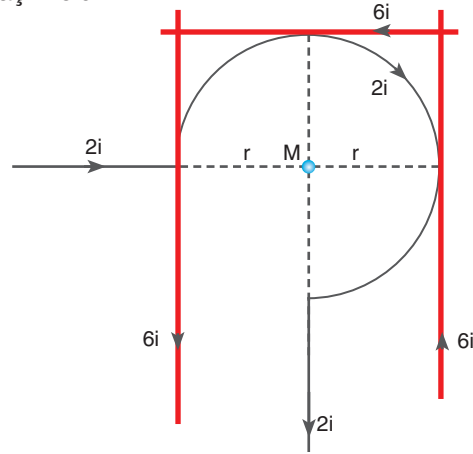
 KENDİMİZİ DENEYELİM 36

1.



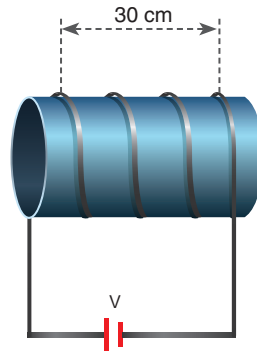
Şekildeki gibi sayfa düzleminde bulunan sonsuz uzunlukta-ki üç telden gösterilen yön ve büyüklükte akımlar geçmektedir. Üzerinden  $i$  akımı geçen telin  $K$  noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü  $B$  ise  $K$  noktasındaki bileşke manyetik alan kaç  $B$  olur?

2.



Üzerinden  $2i$  ve  $6i$  akımlar geçen sonsuz uzunlukta-ki tellerin, dairenin merkezi  $M$  noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü kaç  $\frac{Ki}{r}$ 'dir? ( $\pi = 3$  alınınız.)

3.



Sarımlarının uzunluğu  $30$  cm olan bir bobin (akım makarası)  $5000$  sarımlıdır. Bobinden  $2$  A'lik akım geçtiğine göre bobinin merkez ekseninde meydana gelen manyetik alanın şiddeti kaç tesladır? ( $K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$ ,  $\pi = 3$  alınınız.)

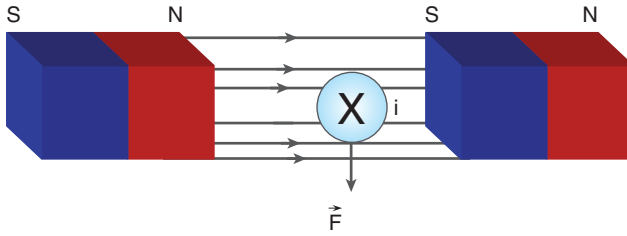


### 2.4.3. Üzerinden Akım Geçen Bir Tele Manyetik Alanda Etki Eden Kuvvet

Elektrik motorlarında elektrik enerjisi, hareket enerjisine dönüşür. Resim 2.10'da görülen motorda sabit bir manyetik alan içinde tel sarımlar bulunmaktadır. Devreye akım verildiğinde üzerinden akım geçen teller dönmeye başlar. Bir manyetik alan içinde bulunan ve üzerinden akım geçen tellere manyetik kuvvet etki eder.



Resim 2.10: Elektrikle çalışan motor



Şekil 2.48: Düzgün manyetik alan içindeki tele etki eden kuvvet

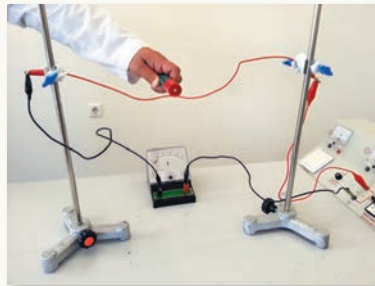
Düzgün bir manyetik alan içine Şekil 2.48'deki gibi sayfa düzlemine dik yerleştirilen iletken telden sayfa düzleminin içine doğru akım geçsin. Telin etrafında meydana gelen manyetik alan, telin üst tarafındaki manyetik alanı güçlendirir. Telin alt tarafında ise manyetik alanı zayıflatacak yönde bir manyetik alan oluşturur. Bu yüzden üzerinden akım geçen tele, manyetik alanı fazla olan yerden az olan yere doğru bir kuvvet etki eder ve teli iter. 13. Deney'i yaparak üzerinden akım geçen tele etki eden kuvvetin değişkenlerini gözlemleyelim.



### 13. Deney

#### Manyetik Alanda Üzerinden Akım Geçen Tele Etki Eden Kuvvet

##### Nasıl Bir Yol İzleyelim?



##### Araç Gereç

- İletken tel
- Mıknatıs (iki adet)
- Plastik levha
- Metal levha
- Ampermetre

► İletken teli üretece resimdeki gibi bağlayınız. Telin 4 cm yakınına, kullandığınız mıknatıslardan zayıf olanı yerleştiriniz.

► Tele sırasıyla 6 ve 12 volt potansiyel farkı uygulayınız. Ampermetrenin gösterdiği değeri ve telin hareketini defterinize yazınız.

- Mıknatısı telden 8 cm uzağa koyarak ikinci adımı tekrarlayınız.
- İkinci ve üçüncü adımları güçlü mıknatıs ile tekrarlayınız.
- İkinci adımı tel ile mıknatıs arasına plastik ve metal levha koyarak tekrarlayınız.

### Sonuca Varalım

1. Telden geçen akımın artması, tele etki eden kuvveti nasıl değiştirdi?
2. Mıknatıs telden uzaklaştıkça telin hareketi nasıl değişti?
3. Tel ile mıknatıs arasındaki ortamın değişmesi, tele etki eden kuvveti nasıl değiştirdi?

13. Deney’de gözlemlediğiniz gibi üzerinden akım geçen tele etki eden kuvvet, telden geçen akım ve manyetik alanla doğru orantılıdır.

Üzerinden  $i$  akımı geçen  $\vec{B}$  manyetik alanındaki  $L$  uzunluğundaki tele etkiyen manyetik kuvvetin büyüklüğü,

$$F = B \cdot i \cdot L$$

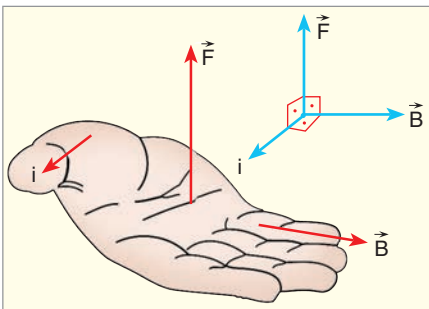
bağıntısı ile bulunur.

**Tablo 2.3:** Manyetik kuvvet birim tablosu

F	B	i	L
N	wb / m <sup>2</sup>	A	m

Üzerinden  $i$  akımı geçen tele etki eden kuvvetin birim tablosu Tablo 2.3’teki gibi olur.

Manyetik kuvvetin yönü, sağ el kuralıyla bulunur. Sağ elin başparmağı Şekil 2.49’daki gibi akımın yönünde tutulur. Dört parmak manyetik alanın yönünü gösterecek şekilde tutulursa avuç içi kuvvetin yönünü gösterir. Manyetik kuvvet hem akım geçen tele hem de manyetik alana diktir. Eğer tel manyetik alana dik değilse manyetik alanın tele dik bileşeni alınır. Tel, manyetik alana paralelse manyetik kuvvet oluşmaz.



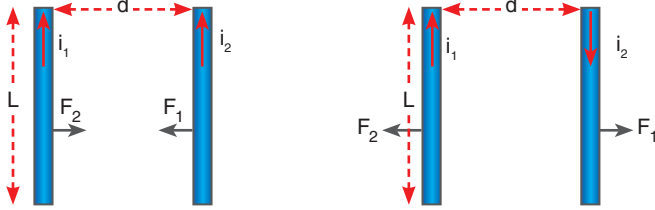
**Şekil 2.49:** Manyetik kuvvetin yönü

Şekil 2.50'deki gibi üzerinden  $i$  akımı geçen  $L$  uzunluğundaki tel, manyetik alanla  $\alpha$  açısı yapacak şekilde yerleştirilirse tele etki eden kuvvet,

$$F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin \alpha \text{ formülü ile bulunur.}$$

Aralarında  $d$  uzaklığı bulunan boyca eşit ve paralel iki telden aynı yönde  $i_1$  ve  $i_2$  akımları Şekil 2.51'deki gibi geçsin. Üzerinden  $i_1$  akımı geçen tel, diğer tel üzerinde sayfa düzleminin içine doğru bir manyetik alan meydana getirir ( $\vec{B}_1$ ). Üzerinden  $i_2$  akımı geçen tel ise diğer tel üzerinde bize doğru bir manyetik alan meydana getirir ( $\vec{B}_2$ ). Bu manyetik alanlardan dolayı tellere şekilde gösterilen yönlerde kuvvetler etki eder. Sonuç olarak üzerinden aynı yönde akım geçen iki tel, birbirine eşit büyüklükte kuvvet uygulayarak birbirini çeker.

Üzerinde aynı yönde akım geçen Şekil 2.52'deki iletken teller birbirini çeker. Tellerden geçen akımlardan birinin yönü ters çevrilirse tellerin birbirine uyguladığı kuvvetlerin büyüklüğü değişmez fakat teller birbirini iter.



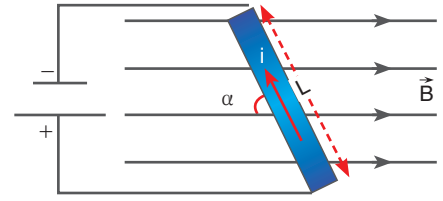
**Şekil 2.52 :** a) Aynı yönde akım geçen teller birbirini çeker. b) Zıt yönde akım geçen teller birbirini iter.

Tellerden birine etki eden kuvveti bulalım.

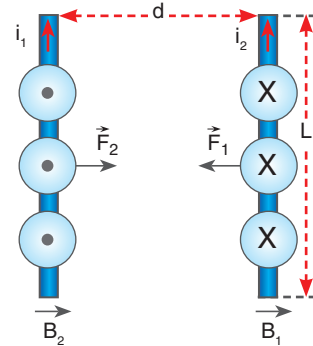
Tele etki eden kuvvet,  $F_1 = B_1 \cdot i_2 \cdot L$  bağıntısı ile bulunur. Telin manyetik alanını  $B_1 = K \cdot 2i_1 / d$  yerine yazılır. Tele etki eden manyetik kuvvet,  $F_1 = K \cdot 2i_1 \cdot i_2 \cdot L / d$  bağıntısı elde edilir.

#### 2.4.4. Manyetik Alan İçinde Akım Taşıyan Tel Çerçevesinin Hareketi

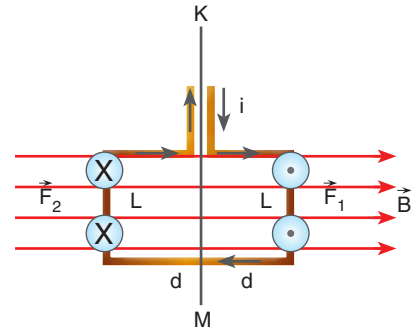
Üzerinden akım geçen sayfa düzlemindeki Şekil 53'teki gibi bir tel çerçevesine, sağa doğru düzgün manyetik alan uygulansın. Tel çerçevesinin sağ tarafındaki  $L$  uzunluğundaki parçasına sağ el kuralına göre sayfa düzleminde bize doğru  $\vec{F}_1$  kuvveti etki eder. Tel çerçevesinin sol tarafındaki  $L$  uzunluğundaki parçasına sayfa düzleminin içine doğru  $\vec{F}_2$  kuvveti etki eder. Tel çerçevesinin  $2d$  uzunluğundaki alt ve üst kısmına manyetik alana paralel olduğu için manyetik kuvvet etki etmez. Tel çerçevesinin alt ve üst kısmında



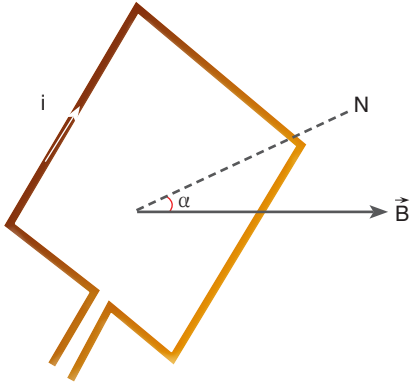
**Şekil 2.50:** Üzerinden  $i$  akımı geçen ve manyetik alanla  $\alpha$  açısı yapan tel



**Şekil 2.51:** Üzerinden akım geçen iki tel



**Şekil 2.53:** Manyetik alana konulan tel çerçevesi



Şekil 2.54: Tel çerçevenin normalinin manyetik alan çizgileri ile açısı yapması

bulunan teller, üzerinden zıt yönde akım geçtiği için birbirlerini iter. Bu kuvvet, telin gerilmesini sağlar. Telin sağ ve sol taraflarına zıt yönde ve eşit büyüklükte kuvvet etki ettiği için tel çerçeve, KM ekseninde dönmeye başlar.

KM eksenine göre torku bulalım.

$\tau = F_1 d + F_2 d$  elde edilir. Manyetik kuvveti yerine yazılırsa  $\tau = BILd + BILd = BIL2d$  bulunur.

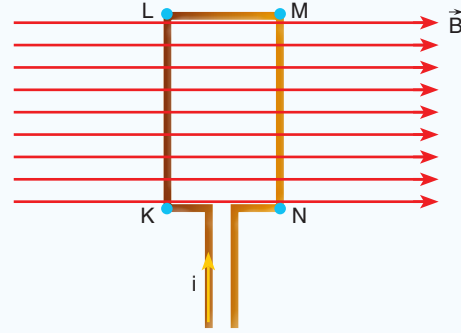
Tel çerçevenin alanı  $A = L \cdot 2d$  olduğu için tel çerçeveye etki eden tork  $\tau = B \cdot i \cdot A$  bulunur.

Halka düzleminin normaliyle alan arasında Şekil 2.54'te görüldüğü gibi bir  $\alpha$  açısı varsa tel çerçeveye etki eden tork,

$\tau = B \cdot i \cdot A \cdot \sin\alpha$  bağıntısı ile bulunur.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 7



Sayfa düzlemindeki kenar uzunlukları 20 cm x 30 cm olan tel halkaya şekilde gösterilen yönde, şiddeti 400 T olan manyetik alan uygulanıyor. Halkadan geçen akım 2 A olduğuna göre halkanın kenarlarına etki eden kuvvetin yönünü bularak tel çerçeveye etki eden torku hesaplayınız.

### ÇÖZÜM

Çerçevenin KL kısmına içeriye doğru kuvvet etki ederken MN kısmına da dışarıya doğru kuvvet etki eder. Çerçevenin LM bölümüne ve KN bölümüne manyetik kuvvet etki etmez.

Tork  $\tau = B \cdot i \cdot A$  ile bulunur.

$\tau = 400 \cdot 2 \cdot 0,2 \cdot 0,3$  eşitliğinde tork,

$\tau = 48 \text{ N} \cdot \text{m}$  bulunur.

### 2.4.5. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi

Elektrik alanda bulunan yüklere elektrik alandan kaynaklanan  $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$  elektriksel kuvvetin uygulandığını gördük. Acaba manyetik alanda hareket eden yüke bir kuvvet etki eder mi?

Dünya'nın manyetik alanına giren yüklü parçacıklar manyetik alanda saparak Resim 2.11'de görülen kutup ışıklarını oluşturmaktadır. Yapılan deneylerle manyetik alana dik fırlatılan yüklü parçacığın manyetik alanda saptığı gözlenmiştir.

Manyetik alanda üzerinden akım geçen tele etki eden kuvveti öğrendik. Bu kuvvet  $F = B \cdot i \cdot L$  bağıntısı ile bulunur. Telden birim zamanda geçen yük, akım şiddetini verir. Geçen akım şiddeti  $i = q / t$  bağıntısı ile bulunur.  $q$  yükünün  $L$  uzunluğunda teli  $v$  hızıyla geçme süresi  $t = L / v$  bağıntısı ile bulunur.  $i = q / t$  bağıntısında zaman yerine  $t = L / v$  yazılırsa  $i = q / t$

$i = q v / L$  elde edilir.

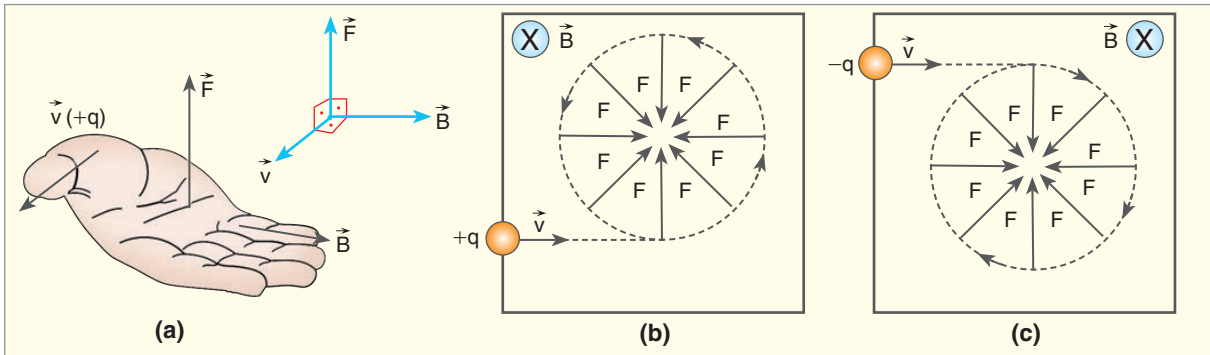
$F = B \cdot i \cdot L$  bağıntısında akım yerine yazıldığında,

$F = B \cdot i \cdot L = B \cdot qv \cdot L / L = q \cdot v \cdot B$  bağıntısı elde edilir.

Manyetik alana dik olarak  $v$  hızıyla giren  $q$  yüküne etki eden kuvvet

$$F = q \cdot v \cdot B$$

bağıntısı ile bulunur.



**Şekil 2.55:** a) Pozitif yüklü taneciğe etki eden manyetik kuvvetin yönü b) Manyetik alana dik fırlatılan  $+q$  yüklü parçacığa etki eden kuvvet c) Manyetik alana dik fırlatılan  $-q$  yüklü parçacığa etki eden kuvvet

Manyetik alana dik olarak pozitif yüklü parçacığı fırlatalım. Pozitif yüklü parçacığın hızının yönünde Şekil 2.55.a'daki gibi sağ elimizin başparmağını tutalım. Başparmağa dik olan sağ elin dört parmağını manyetik alan yönünde tutarsak avuç içi, yüklü parçacığa etki eden kuvvetin yönünü gösterir. Şekil 2.55.b'deki gibi parçacık alana dik girince  $F = q \cdot v \cdot B$  kuvvetinin etkisinde dairesel hareket yapmaya başlar. Aynı şekilde, manyetik alan dik olarak negatif yüklü parçacığı fırlattığımızda sağ elin başparmağı, hızın yönünün tersi yönde tutulur.

Başparmağa dik olan dört parmak manyetik alan yönünde tutulduğunda avuç içi, kuvvetin yönünü gösterir. Şekil 2.55.c'de görüldüğü gibi manyetik alana fırlatılan negatif yüklü parçacık, alana girdikten sonra  $F = q \cdot v \cdot B$  manyetik kuvvetinin etkisinde dönmeye başlar.



**Resim 2.11:** Kutup ışıkları



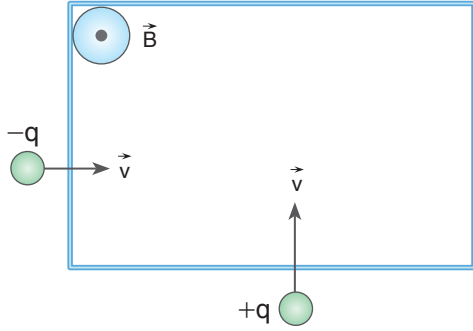
### Araştırma

Manyetik kuvvetin teknolojiye kullanım alanlarını araştırınız. Araştırma sonuçlarınızı sınıfta arkadaşlarınıza sununuz.

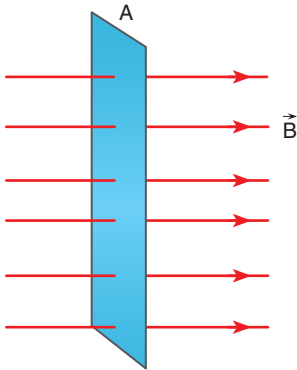
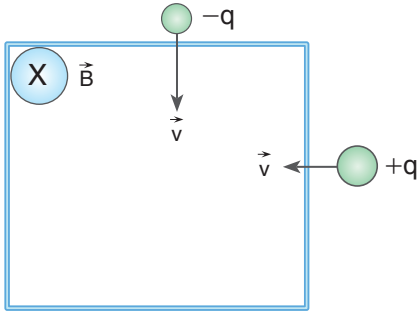


## 3. Etkinlik: Manyetik Alana Fırlatılan Yükler

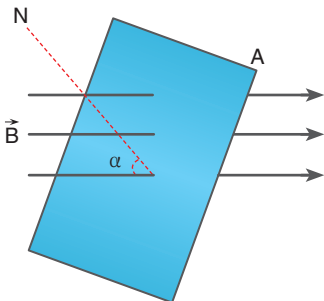
1. Manyetik alana fırlatılan yüklü parçacıkların yörüngelerini çiziniz.



2.



Şekil 2.56: Manyetik alana dik konulan yüzeyden geçen alan çizgileri



Şekil 2.57: Manyetik alan çizgilerine göre eğik yerleştirilen yüzey

## 2.4.6. Manyetik Akı

Düzgün bir manyetik alanda manyetik alan kaynağına yakın ve manyetik alana dik olacak şekilde, Şekil 2.56'daki gibi bir yüzey yerleştirelim. Yüzeyin içinden belirli sayıda manyetik alan çizgisi geçer. Manyetik alan çizgileri N kutbundan çıkıp S kutbuna girer ve alan çizgileri kutuplardan uzaklaştıkça azalır. Tel çerçeveyi manyetik alan kaynağından uzaklaştırırsak yüzeyin içinden geçen manyetik alan çizgi sayısı azalır. Yüzeyi manyetik alana doğru döndürdüğümüzde ise çerçeve içinden geçen alan çizgi sayısı azalır. Belirli bir alandaki manyetik alan çizgilerinin sayısı, manyetik akı kavramı ile açıklanır. Birim yüzeyden dik geçen manyetik alan çizgileri sayısına **manyetik akı** denir. Manyetik akı ( $\Phi$ ), manyetik alan şiddetinin büyüklüğüne ( $B$ ) ve yüzeyin alanına ( $A$ ) bağlıdır. Manyetik akı:  $\Phi = \mathbf{B} \cdot \mathbf{A}$  bağıntısı ile bulunur.

Tablo 2.4: Manyetik akı birim tablosu

$\phi$ (Manyetik akı)	B (Manyetik alan şiddeti)	A (Yüzey alanı)
Weber (Wb)	$\frac{wb}{m^2}$	$m^2$

Manyetik akı birimi olarak Tablo 2.4'te görüldüğü gibi weber (wb) kullanılır. Manyetik alan çizgilerinin geçtiği yüzeyin normali alan çizgileri ile belirli bir açı yapacak şekilde Şekil 2.57'deki gibi yerleştirilirse yüzeyden geçen akı  $\phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$  bağıntısı ile hesaplanır.

### 2.4.7. Manyetik Akı Değişimi ile Oluşan İndüksiyon Akımı

Barajlarda elektrik üretimi Resim 2.12'de görüldüğü gibi sabit bir manyetik alanda türbinlere bağlı sarımların döndürülmesiyle oluşmaktadır. Manyetik alanda sarımların dönmesi, neden elektrik akımı üretmektedir?

Michael Faraday (Maykıl Faraday, 1791-1867) ve Joseph Henry (Josep Henri, 1797-1878) manyetik indüksiyonla ilgili ilk deneyleri yapmışlardır. İndüksiyon akımı, sabit bir manyetik alanda tel çerçevenin dönmesi ile ya da tel çerçevenin sabit tutularak mıknatısların dönmesi ile elde edilir. 14. Deney'i yaparak indüksiyon akımını oluşturalım.



Resim 2.12: Barajlarda elektrik üretimi türbinlere bağlı sarımlarla elde edilir.

### İzleyelim Öğrenelim

Aşağıdaki Genel Ağ adresinden indüksiyon akımını oluşturan nedenler üzerinde çıkarımlar yapabilirsiniz.

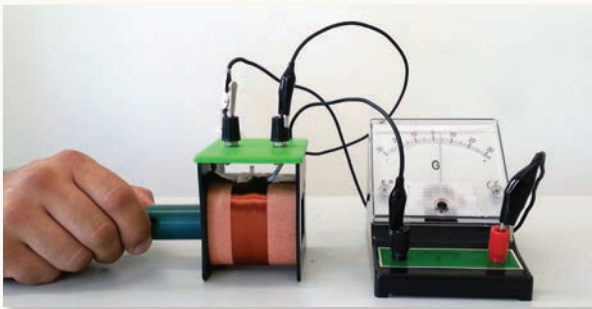
<https://phet.colorado.edu/en/simulation/faraday>



## 14. Deney

### İndüksiyon Akımının Oluşması

#### Nasıl Bir Yol İzleyelim?



► Çubuk mıknatıslardan zayıf manyetik alana sahip olanını, 300 sarımlı bobine resimdeki gibi yaklaştırıp uzaklaştırarak miliampermetrenin sapmasını gözlemleyiniz. Gözleminizi defterinize yazınız.

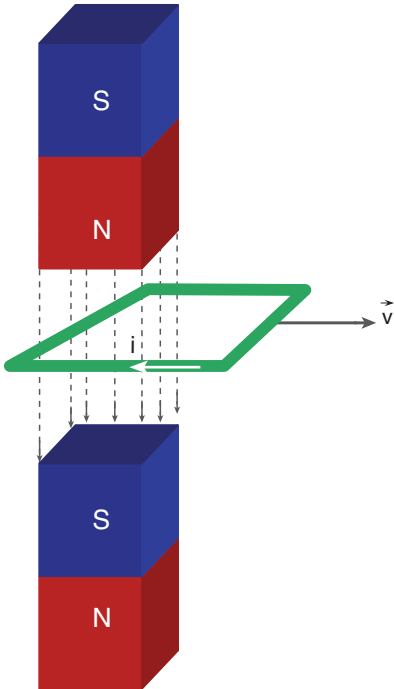
#### Araç Gereç

- Farklı sarımlı bobinler (300, 600 ve 1200 sarım)
- Miliampermetre
- Çubuk mıknatıs (2 adet, farklı manyetik alana sahip)

- ▶ Mıknatısı daha hızlı hareket ettirerek miliampermetrenin sapmasını gözleyiniz. Gözleminizi defterinize yazınız.
- ▶ Birinci adımı 600 ve 1200 sarımlı bobinle tekrarlayınız.
- ▶ Manyetik alanı daha güçlü olan çubuk mıknatısı kullanarak birinci, ikinci ve üçüncü adımları tekrarlayınız.

### Sonuca Varalım

1. Sarım sayısının değişmesi meydana gelen akımı nasıl etkiledi?
2. Mıknatıs manyetik alanının daha güçlü olması, meydana gelen akımı nasıl etkiledi?
3. Mıknatısın sarımlara yaklaşıırken ve sarımlardan uzaklaşıırken miliampermetrenin farklı yönlerde sapmasının sebebi nedir?
4. Mıknatısın daha hızlı hareket etmesi, meydana gelen akımı nasıl etkiledi?



Şekil 2.58: Manyetik alanda çekilen tel çerçeve

14. Deney’de gözlemlediğiniz gibi sarım sayılarının artması, meydana gelen akımın artmasını sağladı. Manyetik alanı büyük mıknatısın meydana getirdiği akımın şiddeti daha büyük oldu.

Mıknatısın manyetik alanı kutuplara yaklaştıkça artmaktadır. Mıknatıs sarımlara yaklaştıkça sarımların içinden geçen manyetik akı artmaktadır. İndüksiyon akımını oluşturan sebep, birim zamanda değişen manyetik akıdır.

Şekil 2.58’deki tel çerçeveyi manyetik alana dik olarak çekerek birim zamanda tel çerçevenin içindeki manyetik akı değiştiği için tel çerçeve üzerinde indüksiyon akımı oluşur. Tel çerçevenin içindeki manyetik alan, çerçeve hareket ettikçe azalır. Meydana gelen indüksiyon akımı, azalan manyetik alanı arttıracak yönde oluşur. Bu yüzden tel çerçevede gösterilen yönde indüksiyon akımı oluşur.

Tek bir halkada meydana gelen indüksiyon emk’i,

$\epsilon = - \Delta \phi / \Delta t = (\phi_2 - \phi_1) / t_2 - t_1$  bağıntısı ile bulunur. Bu eşitlik Faraday Yasası olarak ifade edilmektedir. Eğer N tane sarımdan oluşan bir bobin varsa oluşan emk’i:  $\epsilon = -N \cdot \Delta \phi / \Delta t$  bağıntısı ile bulunur.

Elektromotor kuvvetinin negatif olmasının sebebi, indüksiyon akımının kendini oluşturan sebebe karşı koyma özelliğidir. İndüksiyon akımı, bobinler üzerindeki manyetik alan artarken manyetik alanı azaltacak yönde manyetik alan oluşturur. Bobinler üzerindeki manyetik alan azalırken de meydana gelen indüksiyon akımı, manyetik alanı arttıracak yönde akım oluşturur.



### Araştırılmalı

Kredi kartı pos cihazından çekildiğinde, pos cihazının kartı nasıl okuduğunu araştırınız. Bulduğunuz bilgileri sınıfta arkadaşlarınız ile paylaşınız.



Sayfa düzleminden içeri doğru bir manyetik alanda Şekil 2.59.a'daki gibi iletken bir ray üzerinde hareket edebilen iletkeni ve L boyundaki teli sağa doğru t sürede çekelim. Telde oluşan indüksiyon emk'ini bulalım.

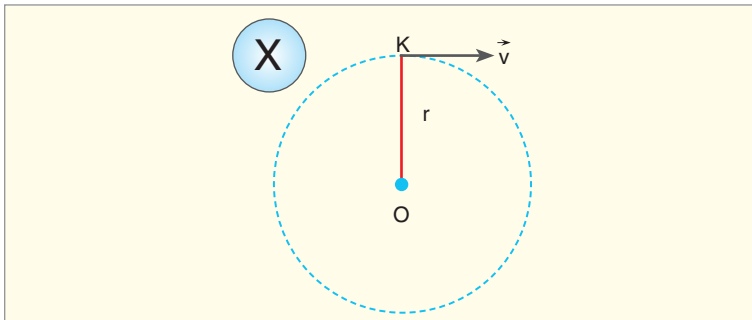
$\epsilon = -\Delta\phi / \Delta t = -(\phi_2 - \phi_1) / t_2 - t_1$  bağıntısında manyetik akıları yerine yazalım.

$\epsilon = -(B \cdot L \cdot b - B \cdot L \cdot a) / t$ , eşitliği B . L parantezine alırsak  $\epsilon = -B \cdot L(b - a) / t$  olur.

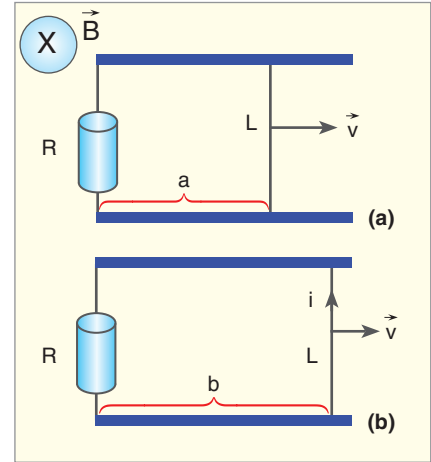
L boyundaki tel b - a yolunu t sürede aldığı için bağıntıdaki  $\frac{b-a}{t}$  yerine hız ifadesi yazılır. Telde oluşan emk,  $\epsilon = -B \cdot v \cdot L$  bulunur. İndüksiyon akımının yönü, kendini oluşturan sebebe karşı koyacak yönde olduğu için Şekil 2.59.b'de gösterilen yönededir. Tel sağa doğru hareket ettiği için çerçevenin alanı büyür. Çerçevenin içinden geçen manyetik akı artar. Meydana gelen indüksiyon akımı bu artışı azaltacak yönde oluşur. R direncinden geçen indüksiyon akımının büyüklüğü ise  $\epsilon = i \cdot R$  bağıntısı ile bulunur.

Manyetik alana dik olarak Şekil 2.60'taki L boyundaki iletken teli v hızıyla çekersek telin uçlarında indüksiyon emk'i meydana gelir. Telin uçlarının yük işareti sağ el kuralı ile bulunur. Sağ elin başparmağı hız yönünde tutulurken başparmağa dik dört parmak, manyetik alan yönünde tutulur. Avuç içinin tersi yön, negatif yüklerin hareket yönünü verir. Telin üst tarafı negatif, alt tarafı da pozitif yüklerle yüklenir.

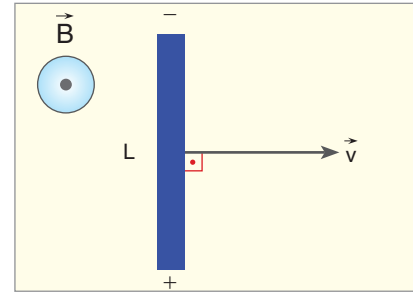
r uzunluğundaki teli O noktası etrafında Şekil 2.61'deki gibi döndürürsek sağ el kuralına göre K ucu pozitif, O ucu ise negatif yüklerle yüklenir. K noktasının hızı v, O noktasının hızı ise sıfır olduğu için meydana gelen emk,  $\epsilon = B \cdot v \cdot L / 2$  formülünden bulunur. Hız yerine iki noktanın ortalama hızı alınır.



**Şekil 2.61.** : Manyetik alanda  $\vec{v}$  hızıyla döndürülen r uzunluğundaki telde oluşan emk



**Şekil 2.59:** a) Manyetik alanda bulunan tel çerçevesi b) Manyetik alanda çekilen L boyundaki telde oluşan indüksiyon akımı



**Şekil 2.60:** Manyetik alana dik çekilen iletken telin kutuplanması



## Kavram Yanılgıları

- Elektrik (enerjisi) üretmek için iş yapmak gerekmez.
- Elektrik (enerjisi) üretilirken sadece mıknatıslar hareket edebilir.
- Gerilim sadece kapalı bir devrede olur.
- Manyetik akı, magnetik akının değişmesinden ziyade, indüklenmiş emk'e sebep olur.
- Tüm elektrik alanlar (+) yüklerden başlar ve (-) yüklerde son bulur.
- Barajlardaki su, elektrik (enerjisine) neden olur.

## 2.4.8. Manyetik Akı ve İndüksiyon Akımı ile İlgili Hesaplamalar

Manyetik akı ve indüksiyon akımı ile ilgili hesaplamalar yaparak bilgilerimizi pekiştirelim.



## ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 8

1. Manyetik alan şiddeti  $10 \text{ wb/m}^2$  olan bir bölgede alan çizgilerine dik yerleştirilen, kenar uzunlukları  $4 \text{ cm}$  ve  $8 \text{ cm}$  olan yüzeyden geçen manyetik akıyı bulunuz. Manyetik alan çizgileri yüzeyin normaliyle  $37^\circ$ lik açı yapsaydı manyetik akı kaç  $\text{wb}$  olurdu? ( $\sin 37^\circ = 0,6$   $\cos 37^\circ = 0,8$ )

## ÇÖZÜM

$$\phi = B \cdot A \text{ bağıntısından}$$

$$\phi = 10 \cdot 4 \times 10^{-2} \cdot 8 \times 10^{-2}$$

$$\phi = 32 \cdot 10^{-3} \text{ wb bulunur.}$$

$$\phi_2 = B \cdot A \cdot \cos \alpha$$

$$\phi_2 = 10 \cdot 4 \times 10^{-2} \cdot 8 \times 10^{-2} \cdot \frac{8}{10}$$

$$\phi = 256 \times 10^{-4} = 0,0256 \text{ wb bulunur.}$$

2.  $10 \text{ T}$  düzgün manyetik alanına dik konulan tek sarımlı tel çerçevenin kenarları  $20 \text{ cm}$  ve  $10 \text{ cm}$ 'dir. Tel çerçeve  $0,1$  saniyede alana paralel hâle getiriliyor. Çerçevenin uçlarından elde edilen indüksiyon emk'ini bulunuz.

## ÇÖZÜM

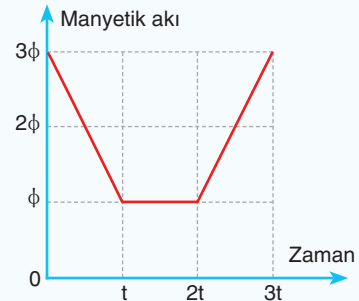
$$\phi_1 = B \cdot A = 10 \cdot 20 \cdot 10 \times 10^{-4} = 0,2$$

$$\phi_2 = 0$$

$$\Delta \phi = \phi_2 - \phi_1 = 0 - 0,2 = -0,2 \text{ wb bulunur.}$$

$$\varepsilon = -\frac{(-0,2)}{0,1} = 2 \text{ volt bulunur.}$$

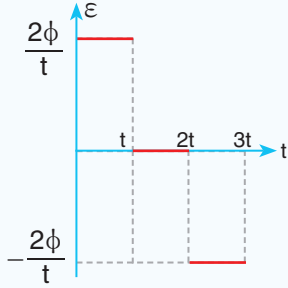
3. Bir tel çerçeve de akının zamanla değişim grafiği şekildeki gibidir. Çerçeve de meydana gelen indüksiyon emk'inin zamanla değişim grafiğini çiziniz.



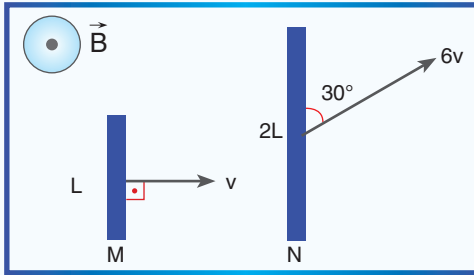
## ÇÖZÜM

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t} \quad \varepsilon_1 = -\frac{(\phi - 3\phi)}{t} = \frac{2\phi}{t}, \quad \varepsilon_2 = 0$$

$\varepsilon_3 = -\frac{(3\phi - \phi)}{t} = -\frac{2\phi}{t}$  indüksiyon emk-zaman grafiğini çizelim.



4.



Boyları ve hızları verilen şekildeki teller, sayfa düzlemine dik bir manyetik alanda çekiliyor. Tellerin uçlarında meydana gelen potansiyel farkların  $\varepsilon_M / \varepsilon_N$  oranını bulunuz. ( $\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ )

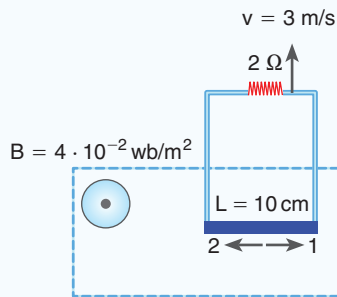
## ÇÖZÜM

İndüksiyon emk  $\varepsilon = B \cdot v \cdot L$  ile bulunur.

$$\varepsilon_M = B \cdot v \cdot L, \quad \varepsilon_N = B \cdot 6v \cdot 2L \cdot \sin 30 = 6B \cdot v \cdot L$$

$$\frac{\varepsilon_M}{\varepsilon_N} = \frac{B \cdot v \cdot L}{6B \cdot v \cdot L} = \frac{1}{6} \text{ bulunur.}$$

5.



Şekildeki tel çerçeve 3 m/s hızla çekiliyor. 2  $\Omega$  dirençten geçen indüksiyon akımının yönünü ve büyüklüğünü hesaplayınız.

ÇÖZÜM

emk  $\varepsilon = B \cdot v \cdot L = 4 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 1 \cdot 10^{-1}$  eşitliğinden

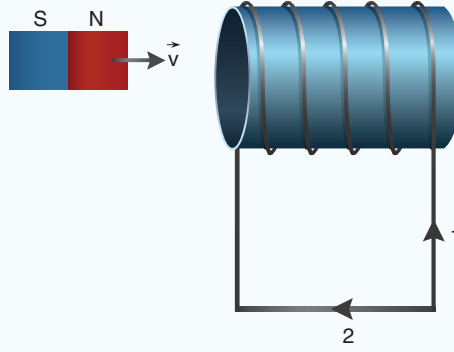
$\varepsilon = 12 \times 10^{-3}$  volt bulunur.

$\varepsilon = i \cdot R$  bağıntısından akım şiddeti bulunur.

$12 \cdot 10^{-3} = i \cdot 2 \quad i = 6 \cdot 10^{-3} \text{A}$  bulunur.

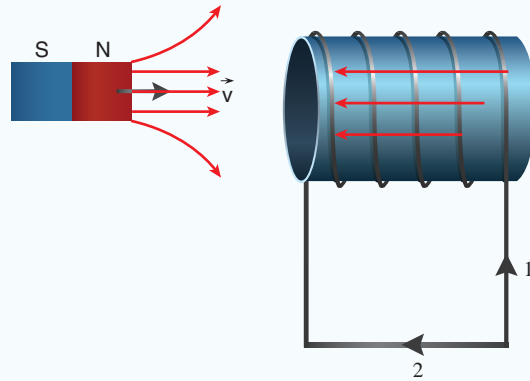
Çerçeve içinde manyetik akı azaldığı için manyetik akıyı artıracak yönde indüksiyon akımı oluşur. Akım 1 yönünde oluşur.

6.



Şekildeki mıknatısı  $v$  hızıyla akım makarasına yaklaştırsak akım makarasında oluşan indüksiyon akımının yönünü bulunuz.

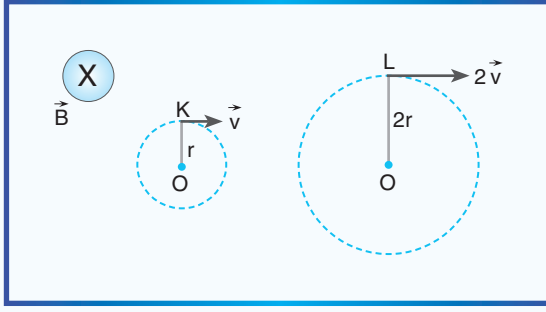
ÇÖZÜM



Mıknatıs sarımlara yaklaştıkça sarımların içinde sağa doğru manyetik alan artar. İndüksiyon akımı, bu etkiyi azaltacak yönde oluşur.

Manyetik alanın sola doğru oluşması için indüksiyon akımının 1 yönünde oluşması gerekir.

7.



Sayfa düzleminin içine doğru düzgün manyetik alanda, alana dik olarak O noktalarından sabitlenen OK ve OL çubukları şekildeki hızlarla döndürülüyor. Tellerde oluşan indüksiyon emk'lerinin oranını bulunuz.

**ÇÖZÜM**

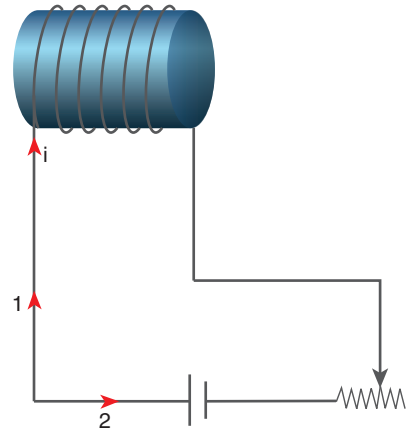
Oluşan emk  $\varepsilon = \frac{B \cdot v \cdot L}{2}$  ile bulunur.

$$\varepsilon_{OK} = \frac{B \cdot v \cdot r}{2}, \quad \varepsilon_{OL} = \frac{B \cdot 2v \cdot 2r}{2} = 2 \cdot B \cdot v \cdot r$$

$$\frac{\varepsilon_{OK}}{\varepsilon_{OL}} = \frac{\frac{B \cdot v \cdot r}{2}}{2B \cdot v \cdot r} = \frac{1}{4} \text{ bulunur.}$$

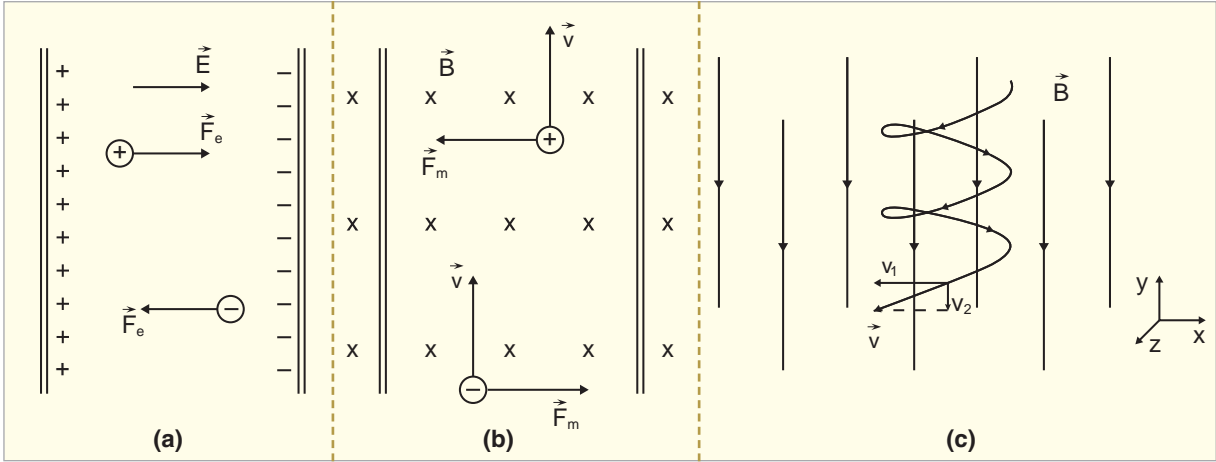
**2.4.9. Öz İndüksiyon Akımının Oluşumu**

Şekil 2.62'deki devreye akım verildiğinde sarımların içinde ve etrafında manyetik alan meydana gelir. Reostanın sürgüsünün hareketi ile akım şiddetini artırırsak oluşan manyetik alan büyür. Manyetik alan değişimi indüksiyon emk oluşturur. Oluşan indüksiyon emk, Lenz Kanunu'na göre kendini oluşturan sebebe karşı koyacak yönde meydana gelir. Devreden geçen akım arttığı için akımı azaltacak yönde yani 2 yönünde meydana gelir. Devrenin içinde meydana gelen indüksiyon akımına öz indüksiyon akımı, elektromotor kuvvetine de öz indüksiyon elektromotor kuvveti denir. Öz indüksiyon emk'i birim zamanda meydana gelen akım değişimi ile doğru orantılıdır. Ayrıca öz indüksiyon emk'i bobinin yapıldığı maddeye bağlıdır.



Şekil 2.62: Akım makarasında meydana gelen öz indüksiyon akımı

### 2.4.10. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan ve Elektrik Alandaki Davranışı

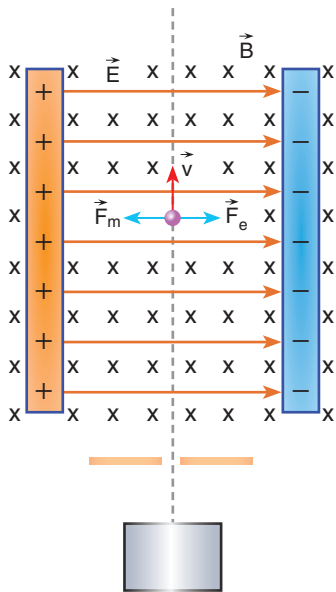


**Şekil 2.63:** a) Düzgün elektrik alan içindeki parçacıklara etki eden kuvvet b) Düzgün manyetik alan içindeki parçacıklara etki eden kuvvet c) Manyetik alanda yüklü parçacığın helis şeklinde yörünge izlemesi

Birçok modern aygıtın çalışmasını kavramamız için yüklü parçacıkların elektrik ve manyetik alandaki davranışlarını anlamak gerekir. Atomik düzeyde yüklü taneciklerin hareketine elektromanyetik kuvvetler hâkimdir. Yüklü taneciklere Şekil 2.63.a'da görüldüğü gibi elektrik alan içinde elektriksel kuvvet etki eder. Bu kuvvet  $F_e = q \cdot E$ 'ye eşittir. Manyetik alana dik fırlatılan yüklü taneciklere Şekil 2.63.b'de görüldüğü gibi manyetik kuvvet etki eder. Manyetik kuvvet  $F_m = q \cdot v \cdot B$ 'ye eşittir. Negatif yüklü bir parçacığı Şekil 2.63.c'de görüldüğü gibi manyetik alana fırlatırsak parçacık, helis şeklinde yörünge izler. Yüklü parçacık bir bölgede hem elektrik alan hem de manyetik alan etkisindeyse parçacığa etki eden kuvvet,

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

Elektriksel kuvvet      Manyetik kuvvet



**Şekil 2.64:** Yüklü parçacığa aynı anda ve zıt yönde elektriksel ve manyetik kuvvetin etki etmesi

matematiksel modeli ile bulunur. Bu kuvvete elektromanyetik olayın anlaşılmasına yaptığı katkılardan dolayı Hendrik Antoon Lorentz'in (Hendrik Anton Luvints) anısına Lorentz kuvveti denir.

Pozitif yüklü bir parçacık Şekil 2.64'te görüldüğü gibi elektrik ve manyetik alanın etki ettiği bölgeye fırlatılırsa zıt yönde iki kuvvetin etkisinde hareket eder. Bu iki kuvvet birbirine eşit ise parçacık, hızını değiştirmeden yoluna devam eder. Aynı yüke ve

daha büyük hıza sahip bir parçacığı bu alana fırlatırsak parçacığa etki eden elektriksel kuvvet değişmezken manyetik kuvvet artar. Bu yüzden parçacık, alandan atıldığı doğrultunun solundan çıkar. Parçacık daha küçük hıza sahip olsaydı alanı atıldığı doğrultunun sağından terk ederdi. Bu sistem hız seçici olarak kullanılmaktadır.

Maddenin yapısını araştırmak için atom altı parçacıklar hızlandırılıp çarpıştırılmaktadır. Çarpışan parçacıkların enerjileri yeteri kadar büyük ise çarpışma sonucunda yeni parçacıklar ortaya çıkmaktadır. Parçacıkların yüksek miktarda enerji kazanması için parçacık hızlandırıcılar kullanılır. Bir hızlandırıcıda demet şeklindeki yüklü parçacıklar, havası boşaltılmış bir tüpte elektrik alan bölgesinde hızlandırılır. Daha sonra demetin sapmadan yoluna devam edebilmesi için manyetik alandan yararlanır.

### 2.4.11. Elektromotor Kuvveti Oluşturan Sebepler

Simülasyonda gözlemediğiniz gibi sarım sayısının artması ile meydana gelen emk'i artar. Mıknatısın daha hızlı dönüş hızı meydana gelen emk'ini etkiler. Hız artarsa emk'i artar. Sarımların alanının artması, emk'inin artmasına sebep olur. Çünkü akı değişimi alanla doğru orantılıdır.

İndüksiyon akımında tel çerçeve içerinden geçen manyetik akının değişimi ile elektromotor kuvveti elde edildiğini öğrendik. N tane sarımdan oluşan bir bobindeki emk'i

$$\varepsilon = -N \cdot \Delta \phi / \Delta t$$

matematiksel modeli ile hesaplanır.

Elektrik motorları, elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştürür. Elektrik motorlarının birçok kullanım alanı vardır. Kumandalı arabalarda tekerlekleri, çamaşır makinelerinde kazanı döndüren elektrik motorlarıdır. Elektrik motorları Resim 2.13'te görüldüğü gibi sabit mıknatısların oluşturduğu manyetik alanın içinde bulunan sarımlardan oluşur. Sarımlardan elektrik akımı geçtiğinde tellere manyetik moment etki ederek sarımların dönmesi sağlanır. Motorlarda tur sayısı rpm ile ifade edilir. rpm motorun dakikadaki dönüş sayısını verir. Örneğin 1000 rpm'lik bir motor bir dakikada 1000 kez dönüş yapar.

Bir elektrik devresinde devreden akım geçmezken pilin kutuplarındaki potansiyel farka **elektromotor kuvveti** denir. Elektromotor kuvveti birim yüke düşen enerji miktarıdır. 15. Deney'i yaparak elektrik akımının sarımları nasıl döndürdüğünü gözleyelim.



### izleyelim Öğrenelim

Elektromotor kuvvetinin bağılı olduğu değişkenleri gözlemek için aşağıdaki Genel Ağ adresinden yararlanabilirsiniz.

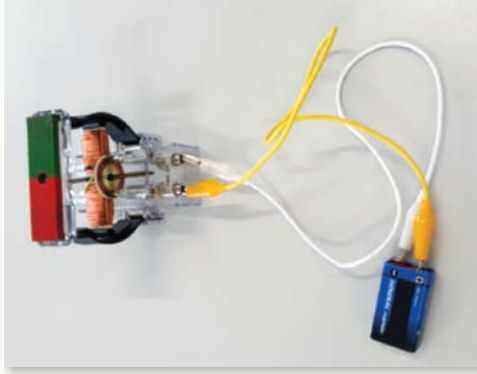
<https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/generator>



Resim 2.13: Elektrik motoru



## 15. Deney

**İndüksiyon Akımının Oluşması****Nasıl Bir Yol İzleyelim?****Araç Gereç**

- Pil (3 V ve 9 V)
- Motor modeli
- Bağlantı kablosu
- Mıknatıs (güçlü ve zayıf)

► Motor modeline bağlantı kabloları yardımıyla önce 9 V pili resimde görüldüğü gibi bağlayınız. Modelin üzerine önce zayıf mıknatısı yerleştiriniz. Sarımları gözleyiniz.

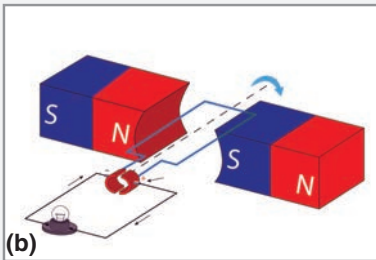
- Motor modelinin üzerine güçlü mıknatısı yerleştirerek sarımları gözleyiniz.
- Devreye bağlı 9 V pil yerine 3 V pili bağlayarak sarımları gözleyiniz.

**Sonuca Varalım**

1. Mıknatısın değişmesi, sarımların dönmesini nasıl değiştirdi?
2. Pilin potansiyel farkının değişmesi, sarımların dönmesini nasıl etkiledi?



(a)



(b)

**Resim 2.14:** a) Bisiklet dinamosu  
b) Dinamo modeli

15. Deney'de görüldüğü gibi manyetik alandaki sarımlara etki eden kuvvet sayesinde sarımlar dönmektedir. Bir bilgisayar fanında akım verilen fan dönmektedir. Fanın dönmesini sağlayan, motorun içindeki sarımların dönmesidir. Bu kuvvet sayesinde fan döner. Mıknatısın daha güçlü olması motorun daha hızlı dönmesini sağlar. Sarımların dönebilmesi için belirli bir potansiyel farka ihtiyaç vardır. Potansiyel farkının azalması sarımların dönüşünü azaltır.

Bisiklet sürerken elektrik enerjisi Resim 2.14.a'da görülen dinamo ile elde edilir. Dinamolar hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Dinamo, Resim 2.14.b'de görüldüğü gibi sabit bir manyetik alanda dönen bir tel çerçevenin içinde birim zamanda değişen manyetik akı sayesinde elektrik enerjisi üretir. Dinamolarla mekanik enerji, elektrik enerjisine dönüşür.

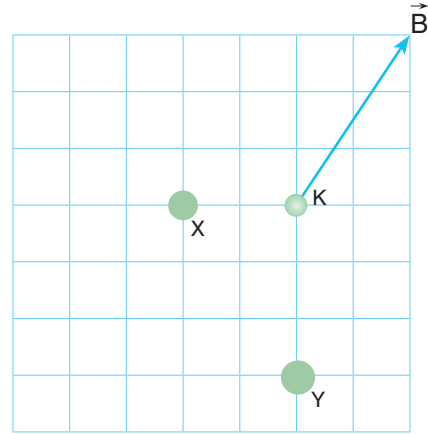




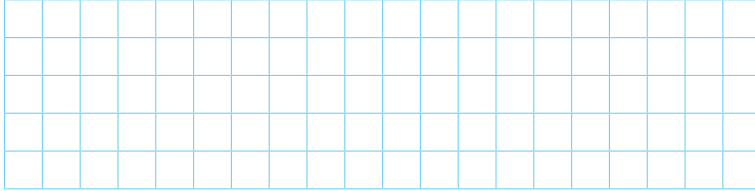
## BÖLÜM SONU DEĞERLENDİRME SORULARI 14

(Bu bölümde verilen sorulardaki açı değerleri için  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 3/5$   $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$   
 $\sin 30^\circ = \cos 60^\circ = 1/2$   $\sin 60^\circ = \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2$   $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ = \sqrt{2}/2$   $g \cong 10 \text{ m/s}^2$   
 $K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$  alınız.)

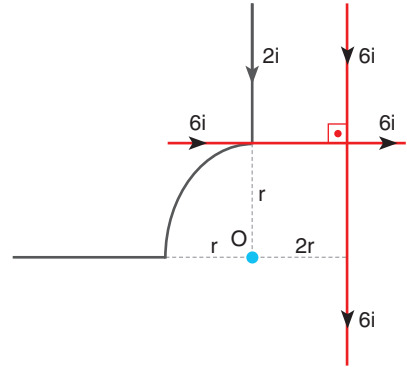
1. Birbirine paralel sonsuz uzunluktaki X ve Y telleri şekildeki gibi yerleştiriliyor. X teli üzerinden  $i$  akımı geçmektedir. İki telin K noktasında oluşturduğu bileşke manyetik alan şekildeki gibi ve  $\vec{B}$  olduğuna göre Y telinden geçen akımın yönünü ve büyüklüğünü bulunuz.



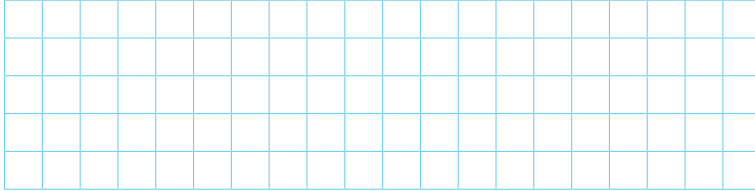
Çözüm:



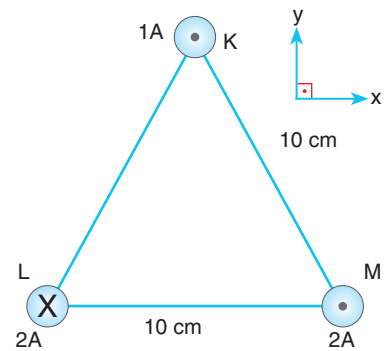
2. Şekildeki sonsuz uzunluktaki tellerden gösterilen yönde akımlar geçmektedir. Çeyrek dairenin merkezi olan O noktasında meydana gelen manyetik alanın yönünü ve büyüklüğü kaç  $Ki/r$ 'dir? ( $\pi = 3$  alınız.)



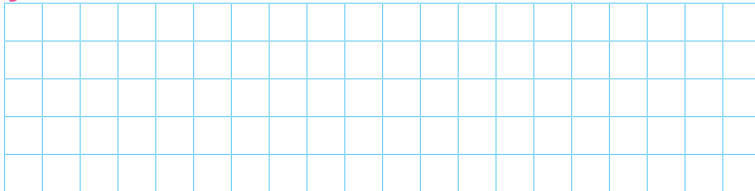
Çözüm:



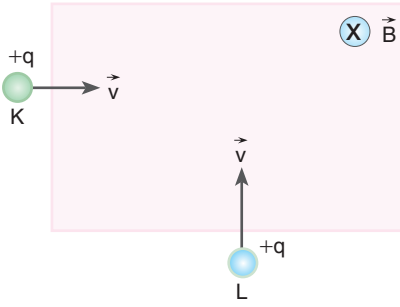
3. Bir kenarı 10 cm olan eşkenar üçgenin köşelerine sonsuz uzunluktaki K, L, M telleri yerleştiriliyor. K, L, M tellerinden şekilde gösterilen yönlerde ve büyüklüklerde akımlar geçmektedir. K telinin 1 m'lik kısmına etki eden kuvvetin büyüklüğünü ve yönünü bulunuz. ( $K = 10^{-7} \text{ N/A}^2$ )



Çözüm:

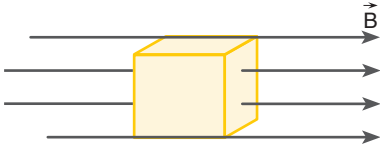


## 2. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA



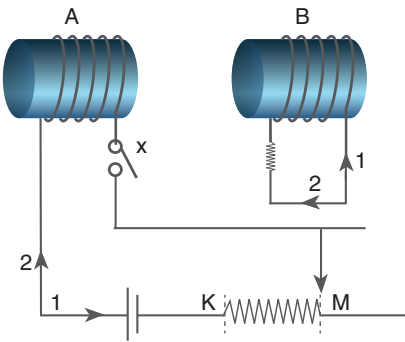
4. Sayfa düzleminde sağa doğru şekildeki gibi bir manyetik alana, ağırlığı ihmal edilen yüklü parçacıklar fırlatılıyor. Parçacıkların hız ve yükleri şekildeki gibi olduğuna göre parçacıkların manyetik alanda izleyeceği yörüngelerini çiziniz.

**Çözüm:** 



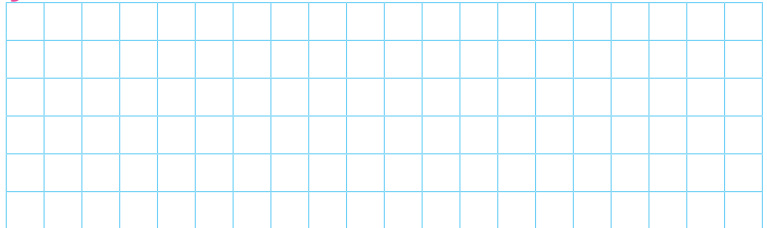
5. Manyetik alan çizgilerine paralel konulan, bir kenarı 10 cm olan bir demir küpten geçen toplam manyetik akı 48 wb'dir. Buna göre küpün bulunduğu bölgede manyetik alanının büyüklüğü kaç  $\frac{wb}{m^2}$ 'dir?

**Çözüm:** 

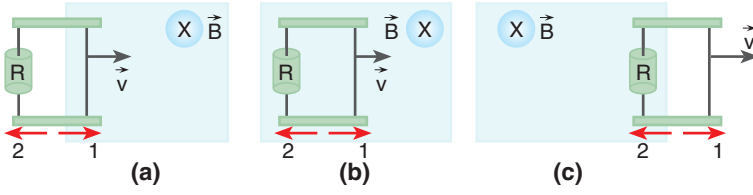


6. a) Şekildeki x anahtarı kapatılırsa A bobininin bulunduğu devrede oluşan öz indüksiyon ve B bobininde oluşan indüksiyon akımlarının yönlerini bulunuz.
- b) Şekildeki reosta sürgüsü M noktasından K noktasına getirilirse A bobininin bulunduğu devrede oluşan öz indüksiyon ve B bobininde oluşan indüksiyon akımlarının yönlerini bulunuz.

**Çözüm:** 

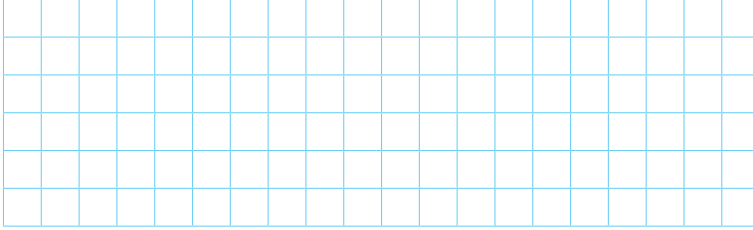


7.



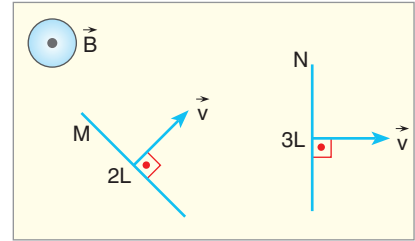
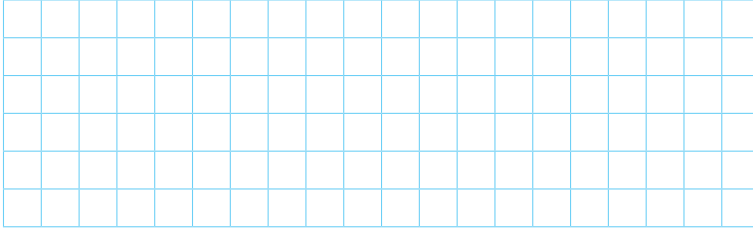
Sayfa düzleminde içeri doğru olan düzgün bir manyetik alanda bir tel çerçeve şekildeki gibi  $\vec{v}$  sabit hızı ile çekilirken meydana gelen indüksiyon akımlarının yönlerini bulunuz.

**Çözüm:**



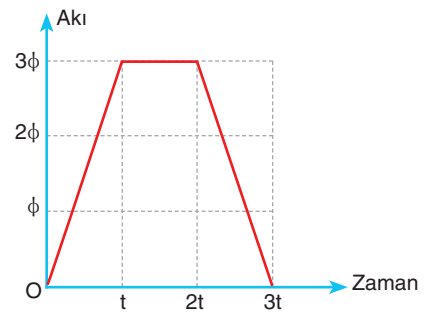
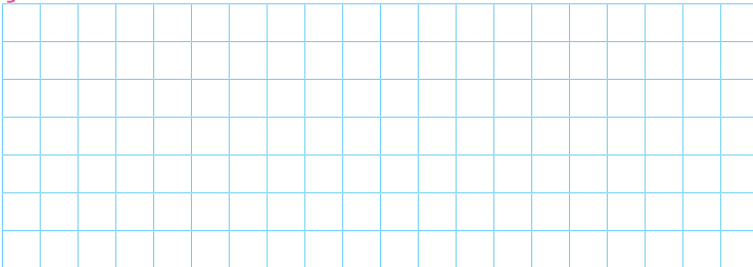
8. Boyları ve hızları verilen şekildeki iletken teller, sayfa düzleminde bize doğru düzgün bir manyetik alanda çekiliyor. Oluşan indüksiyon emk'lerinin oranı  $\left(\frac{\epsilon_M}{\epsilon_N}\right)$  kaçtır?

**Çözüm:**

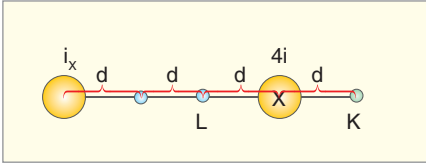


9. Bir tel çerçeve manyetik akının zamanla değişim grafiği şekildeki gibidir. Çerçeve meydana gelen indüksiyon emk'inin zamanla değişim grafiğini çiziniz.

**Çözüm:**

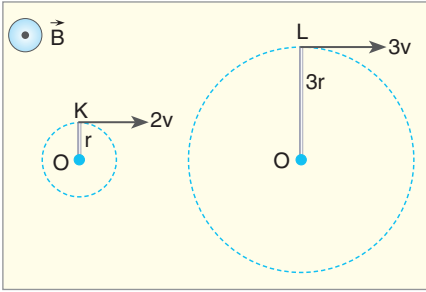


## 2. ÜNİTE: ELEKTRİK VE MANYETİZMA



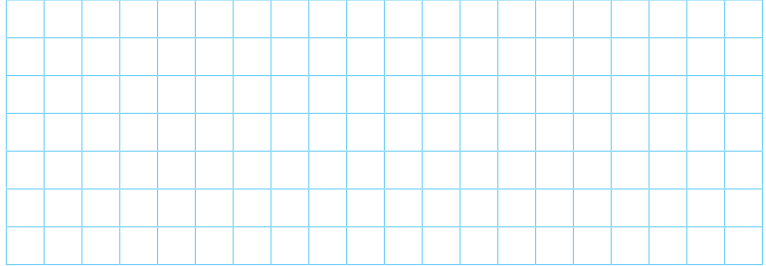
10. Şekildeki gibi sayfa düzlemine dik konulan iki iletken telin K noktasında oluşturduğu manyetik alanların toplamı sıfırdır. L noktasında oluşan manyetik alanın büyüklüğü kaç  $\frac{Ki}{d}$ 'dir?

Çözüm:



11. Sayfa düzleminden bize doğru düzgün manyetik alanda, alana dik olarak O noktalarından OK ve OL telleri şekildeki hızlarla döndürülüyor. Tellerde oluşan indüksiyon emk'lerinin oranı  $\left(\frac{\epsilon_K}{\epsilon_L}\right)$  kaçtır?

Çözüm:



## 2.5. ALTERNATİF AKIM

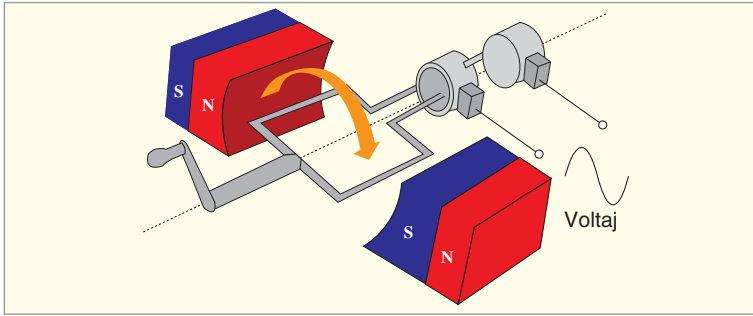
### 2.5.1. Alternatif Akımı

Evlerimizde kullandığımız prizlerde neden (+) (pozitif) ve (-) (negatif) uç yoktur?

Evlerimizdeki prizlerde kullandığımız elektrik akımı, alternatif akımdır (Resim 2.15). Alternatif akım, saniyede 50 kez yön değiştirdiği için prizlerde (+) (pozitif) ve (-) (negatif) uç yoktur. Alternatif akımın nasıl üretildiğini inceleyelim.

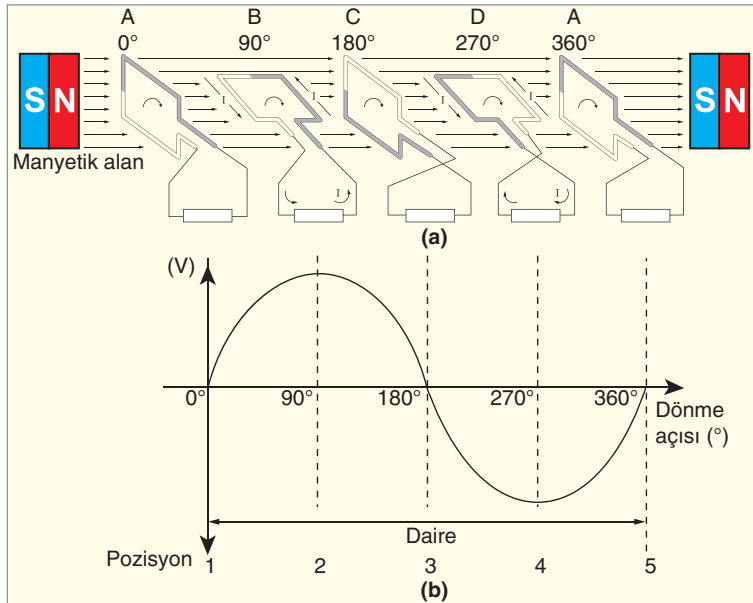


Resim 2.15: Elektrik prizi



Şekil 2.65: Alternatif akımın elde edilmesi

Alternatif akım, Şekil 2.65'te görüldüğü gibi sabit bir manyetik alanda tel çerçevenin dönmesi ile elde edilir. Tel çerçevenin içindeki manyetik akının değişmesi, indüksiyon akımı meydana getirir. Bu akım, dönen çerçevenin uçlarının değiştiği iletken fırçalar yardımıyla toplanır.



Şekil 2.66: a) Manyetik alanda tel çerçevenin çevrilmesi b) Açıya bağlı oluşan indüksiyon emki

Manyetik alanda tel çerçeveyi Şekil 2.66.a'daki gibi sabit hızla döndürelim.



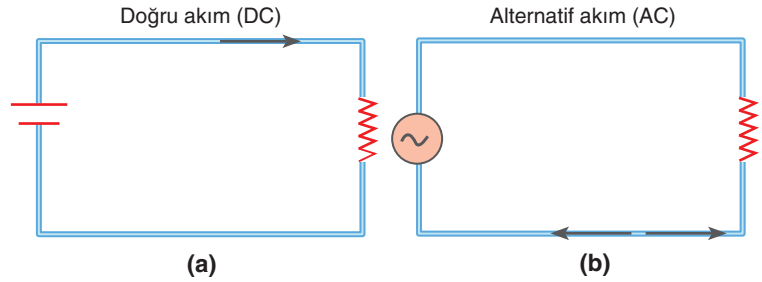
### Tartışalım

Farklı ülkelerin elektrik şebekelerinde kullanılan gerilim ve frekans değerlerinin farklı olmasının sebeplerini araştırınız. Edindiğiniz bilgileri sunum hâline getiriniz ve sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.

Çerçevenin bir turunu inceleyelim. Çerçeve A konumunda iken çerçeve yüzeyinin normali ile alan çizgileri arasındaki açı sıfırdır. Çerçeve dönmeye başladığında çerçevenin içinden geçen manyetik alan çizgileri azalır. Bu sırada meydana gelen indüksiyon akımı, Lenz Kanunu'na göre oluşan bu etkiye karşı koyacak yöndedir. Bu yüzden çerçeve B konumundayken gösterilen yönde akım geçer. Çerçeve B konumundan C konumuna giderken içinden geçen manyetik alan çizgi sayısı artar. Bu yüzden manyetik alanı azaltacak yönde indüksiyon akımı oluşur. C konumunda akım değeri sıfır olur. Çerçeve D konumunda iken oluşan akımın yönü ile B konumunda oluşan akımın yönü ters olur. Alternatif akımda açığa göre kazanılan emk'nin grafiği Şekil 2.66.b'deki gibi eğrisel olarak çıkar. Bu eğri, sinüs eğrisi olarak adlandırılır. Sonuçta zamana bağlı olarak periyodik bir şekilde yön ve şiddet değiştiren akımlara **alternatif akım** denir.

Alternatif akımı elektrik devrelerinde doğru akımdan ayırt etmek için AC kısaltması ve  $\sim$  sembolü kullanılır.

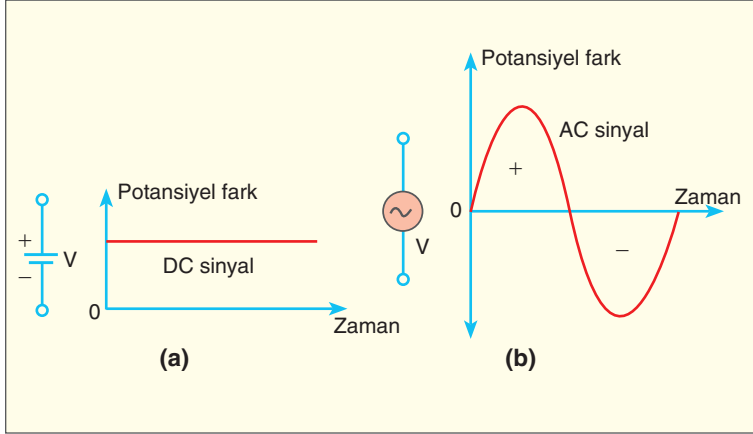
### 2.5.2. Alternatif ve Doğru Akım Arasındaki Benzerlik ve Farklılıklar



Şekil 2.67: a) Doğru akım devresi b) Alternatif akım devresi

Doğru akım (DC) ve alternatif akımı (AC), elektrik akımına ihtiyaç duyduğumuz her noktada kullanılmaktadır. Elektronların bir noktadan başka bir noktaya gidebilmesi için iki nokta arasında bir potansiyel farkının oluşması gerekir. İki akım türünde de elektrik akımı, elektrik potansiyeli yüksek yerden düşük yere doğru akar. Doğru akım Şekil 2.67.a'da görüldüğü gibi tek yönlü akımdır. Yönü + (pozitif) kutuptan - (negatif) kutba doğru kabul edilir. Alternatif akımda ise Şekil 2.67.b'de görüldüğü gibi sabit bir yön yoktur. Alternatif akım saniyede 50 kez (Ülkelere göre değişebilir.) yön değiştirir.

Doğru akım kaynağı olarak genellikle pil ve akü kullanılır. Doğru akım, kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüşmesi ile elde edilir. Alternatif akımda ise birim zamandaki manyetik akı değişiminden yararlanılarak elektrik enerjisi elde edilir.



**Şekil 2.68:** a) Doğru akımda potansiyel fark-zaman grafiği b) Alternatif akımda potansiyel fark-zaman grafiği

Doğru akım üreteçleri Şekil 2.68.a'daki gibi sabit potansiyel farkı verirken alternatif akım kaynakları ise Şekil 2.68.b'deki gibi değişken potansiyel farkı meydana getirir. Bu potansiyel farkların ürettiği akımlar doğru akımda sabit değer alırken alternatif akımda ise değişken (sinüs eğrisi) değer alır.

Alternatif akımda, akım ve gerilim zamanla sinüs eğrisi şeklinde değişir (Şekil 2.69.a, b). Alternatif akımın doğru akım karşılığına **etkin değer** denir. Bir dirençten belirli bir zaman aralığında verilen alternatif akımın sağladığı ısı miktarını aynı dirençte, aynı sürede ve aynı ısı enerjisini veren doğru akım değerine ve potansiyel farkına, o alternatif akımın **etkin akım şiddeti** ve **etkin potansiyel farkı** denir. Alternatif akım elektrik devrelerinde voltmetre etkin gerilimi, ampermetre ise etkin akımı gösterir.

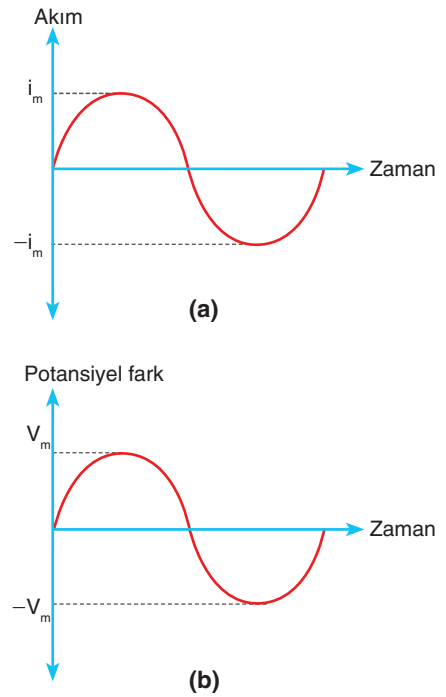
Alternatif akımda hem akımın hem de gerilimin doğru akım karşılıkları yazılırken maksimum değerleri kullanılır.

Alternatif akımın etkin değeri:  $i_e = i_m / \sqrt{2}$  ile bulunur. Alternatif akımda etkin potansiyel fark:  $V_e = V_m / \sqrt{2}$  ile bulunur. Direnci R olan bir iletken alternatif gerilim uygulandığında, alternatif akımın etkin değerleri arasında  $V_e = i_e \cdot R$ , maksimum değerler arasında  $V_m = i_m \cdot R$  eşitlikleri yazılır.



### Araştırma

“Suyun elektrolizi alternatif akımla yapılır mı?” sorusunun cevabını araştırarak bulduğunuz bilgileri sınıfta arkadaşlarınız ile paylaşınız.



**Şekil 2.69:** a) Alternatif akımda akımın zamanla değişmesi b) Alternatif akımda potansiyel farkın zamanla değişmesi



## ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 9

20 ohm'luk bir direncin uçları arasındaki alternatif gerilimin maksimum değeri  $40\sqrt{2}$  V ise direncin üzerinden geçen akımın etkin değerini bulunuz.

## ÇÖZÜM

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \text{ eşitliğinden, } V_e = \frac{40\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 40 \text{ V bulunur.}$$

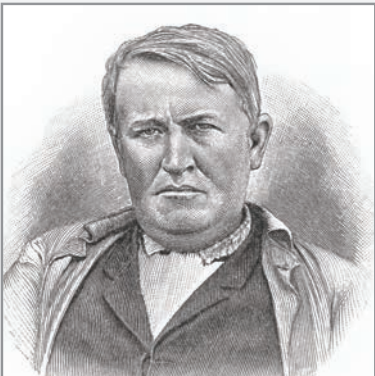
$$V_e = i_e \cdot R$$

$$40 = i_e \cdot 20$$

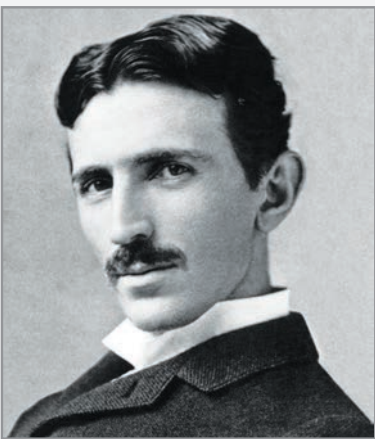
$$i_e = 2 \text{ A}$$



Resim 2.16: Yüksek gerilim hattı



Resim 2.17: Thomas Edison (temsilî resim)



Resim 2.18: Nikola Tesla

Barajlarda üretilen elektrik akımının bir yerden başka bir yere taşınması için Resim 2.16'da görülen yüksek gerilim hatları kullanılır. Yüksek gerilim hatlarının tüm ülkeyi sardığı düşünülürse elektrik enerjisinin taşınması çok önemli maddi kayıplara yol açabilirdi. Elektrik hangi akım türüyle taşınmalıydı?

Tarihî süreçte, Thomas Edison (Tamis Edisın) (Resim 2.17) doğru akımın, Nikola Tesla (Resim 2.18) ise alternatif akımın kullanılmasının daha doğru olduğunu savundu. Edison 1878 yılında, tarihte ilk güç istasyonu olarak nitelendirilebilecek bir güç dağıtım merkezini New York'ta (Niv York) kurdu. Bugün müze olarak sergilenen "Pearl Street Station" (Pörl Sitrit Siteyşın) buhar türbinleri tarafından sürülen DC generatörler (dinamolar) barındıran ve 220 V DC gerilimi üretilip dağıtan bir elektrik santraliydi. 1888 yılında Tesla, Edison ile arasındaki büyük rekabette önemli bir adım atarak (Bu rekabet aslında DC ile AC arasındaki rekabettir.) tarihteki ilk 3 fazlı AC elektrik santralini kurdu. Bu santraller Nikola Tesla'dan bu yana kullanılmaktadır. Transformatörler sayesinde gerilim seviyesini kolayca yükseltip düşürme olanağı sağladığı için alternatif gerilim daha yaygın kullanılır. Enerji iletim hatlarında uzun mesafelerde kayıpları azaltmak için gerilim, yüzlerce kV (kilovolt) mertebesine kadar yükseltilir. Gerilimin yükseltilmesi, akımın düşük olmasını sağlar; bu da hat kesitinin, iletken maliyetinin ve iletim kayıplarının düşük olması anlamına gelir. Dağıtım aşamasında,

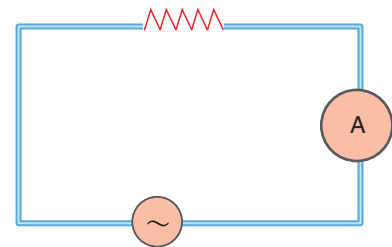


transformatörler yardımıyla gerilim 220 V seviyesine düşürülür ve abonelere iletilir.

Alternatif akım, doğru akıma göre daha çok tercih edilen bir akım çeşididir. Alternatif akım üretiminde doğru akıma göre çok daha yüksek gerilimde elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Ayrıca alternatif akımda transformatörler yardımıyla gerilim yükseltip alçaltılabilmektedir. Aydınlatmada, ısıtmada ve elektrik motorlarında alternatif akım kullanılır. Doğru akım ise radyo alıcılarında, şarjlı elektrik süpürgelerinde, cep telefonlarında, pille çalışan araçlarda kullanılır. Günümüzde elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımı için iki standart frekans değeri vardır: 50 Hz ve 60 Hz. 60 Hz frekanslı gerilim Amerika, Kanada, Brezilya gibi ülkelerde üretilir ve kullanılır. 50 Hz ise Avrupa, Rusya, Güney Amerika Kıtası (Brezilya hariç.) ve Hindistan'da kullanılır. Ülkemizde şebeke frekansı 50 Hz'dir. Üretilen gerilimin sadece frekansı değil, gerilimi de ülkelere göre farklılık göstermektedir. Örneğin Amerika'da gerilim 110 V, Türkiye'de ise 220 V'tur.

Alternatif akımın düzgün bir manyetik alan içinde bulunan tel çerçevesinin sabit bir hızla dönmesiyle oluştuğunu öğrendiniz. Tel çerçevesinin saniyedeki tur sayısı, frekans ile ifade edilir. Frekans "f" ile, birimi  $s^{-1}$  ile gösterilir. Dönen bir tel çerçevesinin dönmeye dolaylı sahip olduğu hız açısal hızdır. Açısal hız  $w = 2\pi f$  bağıntısı ile bulunur. Açısal hızın birimi radyan/saniyedir.

Alternatif akımda meydana gelen gerilim  $V = V_m \cdot \sin wt$  bağıntısı ile hesaplanır. Alternatif akımda akım denklemi de  $i = i_m \cdot \sin wt$  bağıntısı ile hesaplanır.  $i_m$  ve  $V_m$  değerleri akım ve gerilimin maksimum değerleridir. Bir alternatif akım devresine Şekil 2.70'teki gibi R direnci bağladığımızda direncin değeri  $V_m / i_m$  oranı ile bulunur. Sonuç olarak devrede sadece direnç varsa devrenin direnci, maksimum gerilimin maksimum akıma oranına eşittir. Alternatif akım devresinde akım makarası ve kondansatör de varsa devrenin direnci, akımın frekansına ve zamana bağlı olarak değişir.

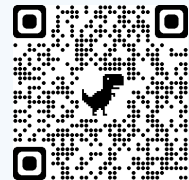


Şekil 2.70: Direncin alternatif akım devresine bağlanması

### İzleyelim Öğrenelim

Alternatif ve doğru akım devrelerinde direnç, bobin ve kondansatör davranışlarını ayrı ayrı incelemek için aşağıdaki Genel Ağ adresindeki simülasyonu inceleyiniz. Devreleri çalıştırdığınızda akım şiddeti ve potansiyel farkı grafiklerini inceleyiniz.

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele\\_ac\\_rlc&l=en](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_ac_rlc&l=en)





## ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 10

1. Direnci  $30 \Omega$  olan bir iletkenin uçlarına gerilim denklemi  $V = 100\sqrt{2} \sin \omega t$  olan alternatif gerilim kaynağı bağlanıyor. Devreden geçen akımın etkin değerini bulunuz.

## ÇÖZÜM

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \text{ eşitliğinden, } V_e = \frac{100\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = 100 \text{ V bulunur.}$$

$$V_e = i_e \cdot R \text{ bağıntısından}$$

$$100 = i_e \cdot 30, \quad i_e = \frac{100}{30} = \frac{10}{3} \text{ A bulunur.}$$

2. Bir alternatif akım devresinde gerilim denklemi  $V = 20\sqrt{2} \sin 100\pi t$  şeklinde veriliyor. Devrenin frekansını bulunuz.

## ÇÖZÜM

Alternatif akım devresinde potansiyel farkı,

$$V = V_m \cdot \sin 2\pi f t \text{ bağıntısı ile bulunur.}$$

$$2\pi f = 100\pi, \quad f = 50 \text{ s}^{-1} \text{ bulunur.}$$

3. Bir direncin uçları arasındaki alternatif gerilimin maksimum değeri  $100\sqrt{2} \text{ V}$  ve alternatif akımın frekansı  $50 \text{ s}^{-1}$  dir. Gerilimin sıfırdan geçtikten  $1/200$  saniye sonraki değerini bulunuz.

## ÇÖZÜM

$V = V_m \cdot \sin 2\pi f t$  denkleminde verileri yerleştirelim.

$$V = 100\sqrt{2} \cdot \sin 2\pi \cdot 50 \cdot \frac{1}{200} = 100\sqrt{2} \sin \frac{\pi}{2}$$

Gerilim  $V = 100\sqrt{2} \text{ Volt}$  bulunur.

### 2.5.3. Alternatif ve Doğru Akım Devrelerinde Direncin, Bobinin ve Sığacın Davranışı

Direnç, bobin ve sığacı doğru akım ve alternatif akım devrelerine ayrı ayrı bağlarsak ne gibi değişiklikler olur?

Simülasyonda gözlediğiniz gibi direnci doğru akım devresine bağladığımızda devre üzerinde pozitif uçtan negatif uca

doğru tek yönde ve sabit bir akım geçer. Direncin uçlarındaki potansiyel farkı ise sabittir. Direnç alternatif akım devresine bağlandığında devreden geçen akım ve potansiyel farkı sinüzoidal olarak değişir. Akım ve gerilimin maksimum ve minimum noktalardan geçtiğine dikkat ediniz.

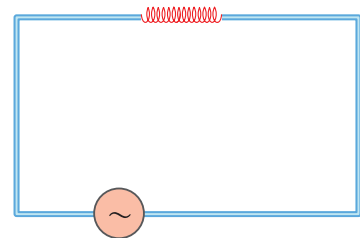
Sığacı doğru akım devresine bağlarsak sığacın bir levhası pozitif, diğer levhası da negatif yük ile yüklenir. Sığaç doğru akım devresinde üzerinden geçen akımın miktarına bağlı olarak belirli bir zaman sonra dolar. Dolduktan sonra da üzerinden akım geçirmez. Alternatif akım devresinde akım sürekli yön değiştirdiğinden sığaç üzerinden sürekli akım geçer. AC devrelerde elektrik yüklerini şarj etme özelliklerinden dolayı sığaç, gerilimdeki değişimlere karşı zorluk gösterir.

Doğru akım devrelerinde bobin, devreye enerji verildiği ilk anda büyük bir zorluk gösterir. Ancak kısa bir süre sonra bu zorluk, telin direncinden ibaret olur. Alternatif akım devrelerinde bobinin uçlarında yönü ve şiddeti sürekli değişen bir manyetik alan oluşur. Bu manyetik alan, bobin üzerinden geçen akım yönüne ters yönde bir akım geçirmek ister. Bu nedenle bobin uçlarında akım aniden yükselmez. Bobinden geçen akım sabitse bobin etrafında oluşan manyetik alanın şiddeti de sabittir. Bir bobinden geçen akım değişkense bobinde oluşan manyetik alan şiddeti de değişkendir. Bir bobin, kendi değişken alanının etkisi ile kendi üzerinde bir emk'i (elektromotor kuvvet) indükler. İndüklenen bu emk'ine **zıt emk** denir. Bobinler alternatif akımdaki özelliğinden dolayı A.C motorlar, transformatörler, doğrultma devreleri, floresan lambalar, indüksiyon fırınları gibi yerlerde ve elektroniğin farklı dallarında farklı amaçlar için kullanılmaktadır. İndüksiyon fırınlarında çeşitli düzeneklerle akımın frekansı yükseltilir. Isıtılacak madde büyük bir bobinin içinde duracak şekilde yerleştirilir. Bobinden yüksek frekanslı akım geçirilince malzemede indüksiyon gerilimi oluşur ve bu gerilim de malzemede yüksek değerli akımlar (fuko akımı) dolaştırır. Elektriksel direncine göre malzeme ısınır hatta eriyebilir. Bir elektromıknatis bobininden alternatif akım geçirilirse elektromıknatisin kutupları sürekli yer değiştirir.

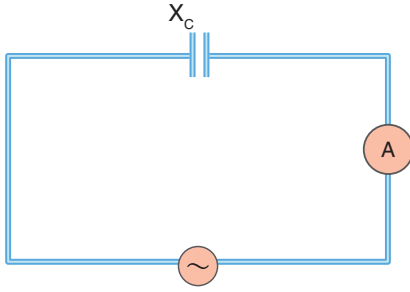
#### 2.5.4. İndüktans, Kapasitans ve Empedans

##### İndüktans

Bir akım makarasına Şekil 2.71'deki gibi alternatif gerilim uygulayalım. Bobin, tel sarımlardan oluştuğu için iki direnç ortaya çıkar: Tellerin direnci ve bobinin direnci. Tellerin direncinin dışın-



Şekil 2.71: Akım makarasının alternatif gerilime bağlanması



Şekil 2.72: Kondansatörün alternatif gerilime bağlanması

da bobinin alternatif akım devrelerindeki saf direncine **indüktans** denir. İndüktans  $X_L$  sembolü ile gösterilir. Bir bobinin bağlı olduğu devrede, geçen akımın azalıp artması ile devre içinden öz indüksiyon akımının oluştuğunu öğrendik. Alternatif akım zamanla sinüs eğrisi olarak değiştiği için indüktansın değeri de zamanla değişir. Bir alternatif akım devresinde bobinin direnci (indüktans)  $X_L = \omega \cdot L$  bağıntısı ile hesaplanır.  $L$ , bobinin öz indüksiyon katsayısıdır. Birimi "henry"dir. Devrenin etkin değerleri kullanılarak  $X_L = V_e / i_e$  indüktans hesaplanabilir.

$X_L = \omega \cdot L$  eşitliğinde açısal hız  $\omega = 2\pi \cdot f$  yerine yazılırsa indüktans  $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$  elde edilir. Sonuç olarak bir akım makarasının direnci, frekans ile doğru orantılıdır. Birimi "ohm"dur ( $\Omega$ ).



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 11

Bir alternatif akım devresinde akım makarasının indüktansı  $30 \Omega$ , devrenin frekansı ise  $50 \text{ s}^{-1}$ 'dir. Buna göre akım makarasının öz indüksiyon katsayısını bulunuz. ( $\pi = 3$  alınınız.)

#### ÇÖZÜM

İndüktansın direnci  $X_L = L \cdot \omega$  ile bulunur.

$$X_L = 30 \Omega, 30 = L \cdot 2\pi f = L \cdot 2 \cdot 3 \cdot 50 \text{ eşitliğinden}$$

$$L = 0,1 \text{ H bulunur.}$$

#### Kapasitans

Bir alternatif akım devresine şekil 2.72'deki gibi sığaç bağlarsak sığaç akıma karşı bir direnç oluşturur. Sığacın direncine **kapasitans** denir. Kapasitans  $X_C = 1/\omega \cdot C$  bağıntısı ile hesaplanır.

Açısal hızı yerine yazılırsa  $X_C = 1/2\pi \cdot f \cdot C$  elde edilir. Kapasitans sığacın sığası ve devrenin frekansı ile ters orantılıdır. Birimi "ohm"dur ( $\Omega$ ).



#### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 12

Bir alternatif akım devresinde kullanılan sığacın sığası  $6 \mu \text{ F}$ 'dir. Devrenin frekansı  $60 \text{ s}^{-1}$  olduğuna göre sığacın kapasitansını bulunuz. ( $\pi = 3$  alınınız.)

## ÇÖZÜM

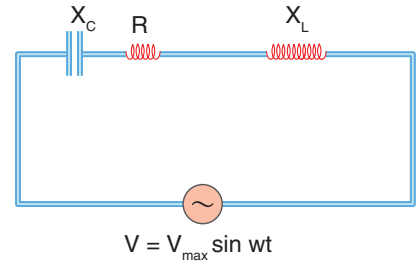
Sığacın direnci  $X_L = \frac{1}{C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f}$  ile bulunur.

$$X_C = \frac{1}{6 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 3 \cdot 60}$$

$X_C = \frac{10^5}{216}$  bulunur. Kapasitans yaklaşık olarak  $X_C = 463 \Omega$  bulunur.

## Empedans

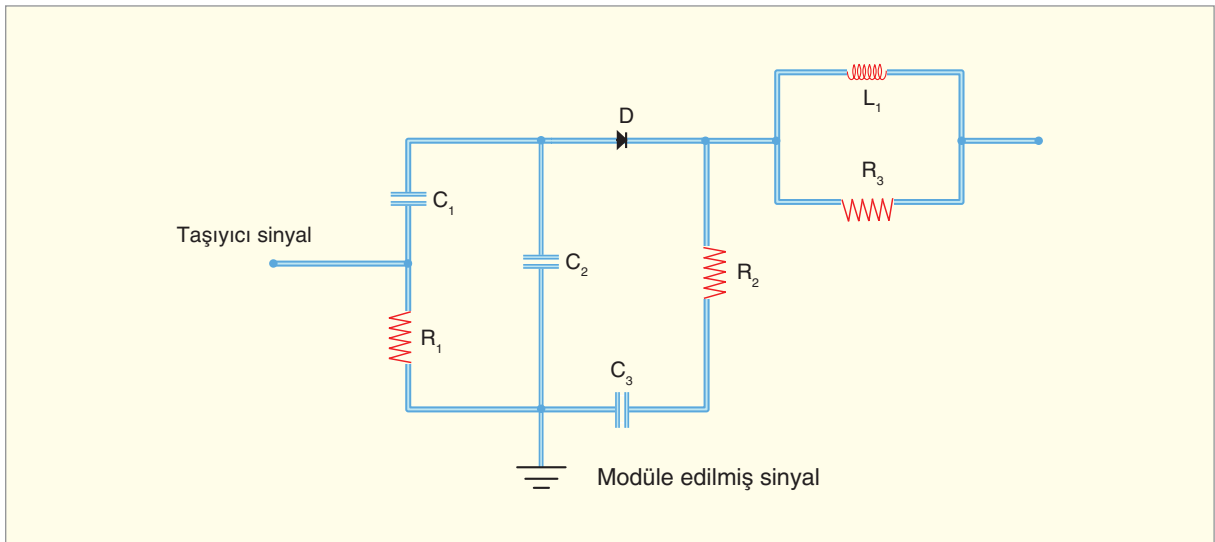
Doğru akım devrelerinde eş değer kavramını öğrendik. Eş değer direnç, birden çok direncin yaptığı işi tek başına yapan direnç demektir. Alternatif akımda eş değer direncin karşılığı empedans olarak ifade edilir. Empedans; Şekil 2.73'te görülen devrede bulunan direnç, indüktans ve kapasitans dirençlerinin toplamı demektir. Z ile gösterilir. Birimi "ohm"dur ( $\Omega$ ).



Şekil 2.73: Alternatif akım devresi

## Rezonans

Alternatif akım devrelerinde indüktans ve kapasitans kullanılarak, devre gerilimi modülatörler yardımıyla yükseltilerek veya alçaltılarak devreye uygun hâle getirilir. Modülatör, taşıyıcı bir sinyali başka bir sinyalle modüle eden aygıttır. Genellikle radyo ve televizyon vericilerinde güç kartından önce bulunan sürücüdür. Şekil 2.74'te bir modülatör devresi görülmektedir.



Şekil 2.74: Modülatör devresi



Resim 2.19: Radyo

Devrede C sembolü ile gösterilenler kapasitans, L sembolü ile gösterilen devre elemanı ise indüktanstır. R ile gösterilen devre elemanları rezistans (direnç), devrede görülen D ise diyot olup devreden istenilen yönde akım geçmesini sağlamaktadır.

Radyoda, istediğimiz radyo kanalını dinlemek için Resim 2.19'da görüldüğü gibi frekansı ayarlamamız gerekir. Herhangi bir radyo sinyalinin frekansı, alıcı devrede aynı frekansta akım oluşturur. Sinyalin frekansı, alıcı devrenin ayarlı frekansına eşit olduğunda akımın genliği en büyük değere ulaşır. Bu etkiye **rezonans** denir.

Bir alternatif akım devresinde indüktansın direnci, kapasitansın direncine eşit ise "Devre rezonans hâlidir." denir. Rezonans durumunda devrenin direnci hesaplanırken indüktans ve kapasitans dirençleri hesaba katılmaz. Bu yüzden rezonans durumunda devrenin direnci en küçük değerini alırken devreden geçen akım, en büyük değerini alır.

Rezonans frekansı,

$$X_L = X_C \quad 2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC} \quad f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Devrenin rezonans frekansı, öz indüksiyon katsayısı ve sığacın sığasının karekökü ile ters orantılıdır.



### Araştırma

Alternatif akımda rezonansın kullanıldığı başka örnek olayları araştırınız. Edindiğiniz bilgileri poster sunumu olarak hazırlayıp sınıfta arkadaşlarınız ile paylaşınız.



### ÇÖZELİM ÖĞRENELİM 13

Alternatif akım devresinde akım makarasının öz indüksiyon katsayısı 0,2 H, sığacın sığası 20  $\mu\text{F}$ 'dir. Devrenin rezonans frekansını bulunuz. ( $\pi = 3$  alınız)

### ÇÖZÜM

Rezonans frekansı,  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$  ile bulunur.

$$f = \frac{1}{2 \cdot 3 \sqrt{0,2 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}}, f = \frac{1}{6 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = \frac{1000}{12} \text{ bulunur.}$$

Rezonans frekansı,  $f = 83,3 \text{ s}^{-1}$  bulunur.











## 2.6. TRANSFORMATÖRLER

### 2.6.1. Transformatörlerin Çalışma İlkeleri

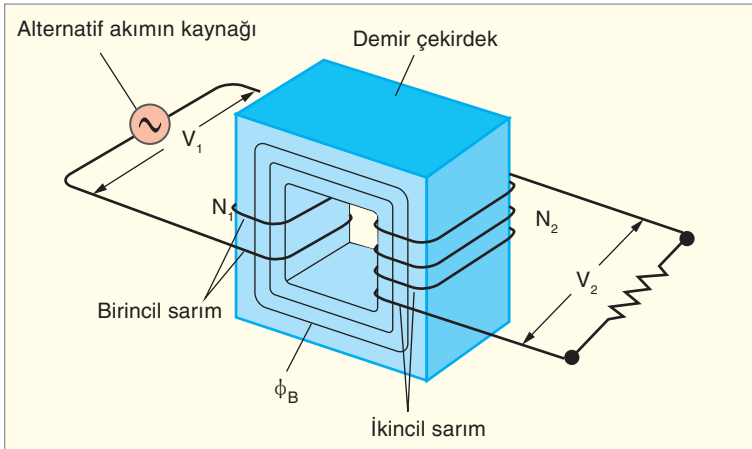
Barajlarda üretilip yüksek gerilim hatları ile taşınan elektrik akımı, evlerimizde 220 V potansiyel farkına nasıl düşürülür?

Evimizde bulunan prizlerdeki 220 V gerilim, cep telefonlarında kullanılan 3,5 V potansiyel farkına nasıl düşürülür?

Alternatif akımın en önemli avantajı transformatörler yardımıyla gerilimin artırılıp azaltılabilmesidir. Resim 2.20’de görülen transformatörler, barajlarda üretilen elektrik gerilimini önce yükseltir; daha sonra da şehir girişlerinde evlerde kullanılabilir voltaj değerine düşürür. Cep telefonu adaptörleri prizlerdeki 220 V değerini cep telefonlarında kullanılan 3,5 V değerine düşürür. Bilgisayar çalışma gerilimi yaklaşık 19 V değerindedir. Bilgisayar adaptörleri de prizlerdeki 220 V gerilimi, 19 V değerine dönüştürür. Transformatörün yapısını inceleyelim.



Resim 2.20: Transformatör



Şekil 2.75: Transformatörün yapısı

Demir çekirdek üzerine Şekil 2.75’teki gibi gerilimin uygulandığı tarafa bakır telleri  $N_1$  kez saralım. Demir çekirdeğin diğer tarafına ise  $N_2$  kez bakır telleri saralım.  $N_1$  sarımına “birincil (primer) sarım”,  $N_2$  sarımlarına ise “ikincil (sekonder) sarım” denir.

Birincil sarımların uçlarına  $V_1$  alternatif potansiyel farkını uygulayalım. Sarımların üzerinden akım geçtiğinde sarımların içinde manyetik alan oluşur. Bu manyetik alanın hemen hemen hepsi, demir çekirdek tarafından ikincil sarımlara iletilir. İkincil sarımlardaki akı değişimi, sarımlar üzerinde indüksiyon akımı oluşturur. Bunun sonucu olarak ikincil (sekonder) sarımların uçlarından  $V_2$  potansiyel farkı elde edilir. 16. Deney’i yaparak transformatörleri inceleyelim.

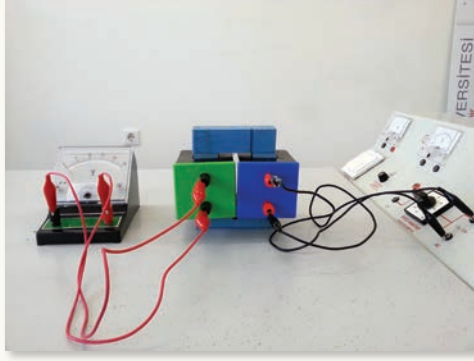


### Araştırılmalı

Barajlarda elde edilen potansiyel farkı, şehirler arasında yüksek gerilim hatlarındaki potansiyel farkı, evlerimizin girişindeki potansiyel farkı ve bu potansiyel farkın nasıl değiştirildiğini araştırınız. Elde ettiğiniz bilgileri sınıf panosuna asarak arkadaşlarınızla paylaşınız.



## 16. Deney

**Transformatörler****Nasıl Bir Yol İzleyelim?****Araç Gereç**

- Bobin (300, 600,1200 sarım)
- Demir çekirdek
- Voltmetre (AC)
- AC güç kaynağı

► Demir çekirdeğe (birincil sarım) 300 sarımlı bobini yerleştiriniz. Demir çekirdeğin diğer ucuna (ikincil sarım) 600 sarımlı bobini takınız. 300 sarımlı bobine sırası ile 3 V, 6 V ve 12 V alternatif gerilim uygulayınız. 600 sarımlı bobinin uçlarından elde ettiğiniz potansiyel farkını voltmetreden okuyarak tabloya kaydediniz.

► Demir çekirdekte ikincil sarımı 1200 yaparak deneyi tekrarlayınız. Ölçülen değerleri tabloya kaydediniz.

	Giriş gerilimi	3 V	6 V	12 V
Çıkış gerilimi	600 sarım			
	1200 sarım			

**Sonuca Varalım**

1. İkincil sarım, birincil sarımdan daha büyük olduğunda çıkış gerilimi giriş gerilimine göre nasıl değişti?
2. İkincil sarım sayısı 600'den 1200'e çıktığında çıkış gerilimi nasıl değişti?
3. Birincil sarım, ikincil sarımdan daha büyük olduğunda çıkış gerilimi nasıl değişti?

16. Deney'de gözlemlediğiniz gibi ikincil sarım, birincil sarımdan daha büyükse çıkış gerilimi giriş geriliminden daha büyük olur. İkincil sarım, birincil sarımdan daha küçükse çıkış gerilimi, giriş geriliminden daha küçük değer alır. Yapılan deneyler sonucunda ideal transformatörlerde sarım sayıları, akım ve potansiyel farkı arasında,

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{i_2}{i_1}$$

eşitliğinin olduğu gözlenmiştir. Bu eşitliğin sonucu olarak birincil sarımlar ikincil sarımlardan büyük olursa transformatör, voltajı düşürür; ikincil sarımlar birincil sarımlardan büyük olursa transformatör gerilimi yükseltir. Transformatörlerde  $N_2 / N_1$  oranına “değiştirme oranı” denir. Sarımlardan  $N_2 > N_1$  ise potansiyel farklar da  $V_2 > V_1$  olur.

Elektrik devrelerinde güç, potansiyel farkı ile akımın çarpımı ile bulunur. Birincil sarımlarda güç (primer güç)  $P_1 = V_1 \cdot i_1$  bağıntısı ile bulunur. İkincil sarımlarda güç (sekonder güç)  $P_2 = V_2 \cdot i_2$  bağıntısı ile hesaplanır.

$$\text{Verim} = \eta = \frac{V_2 \cdot i_2}{V_1 \cdot i_1}$$

İkincil sarımlardaki gücün birincil sarımlardaki güce oranı ise transformatörün verimini gösterir. İdeal transformatörlerde verim %100 kabul edilir. Transformatörlerde her zaman güç kaybı vardır.

Cep telefonunu Resim 2.21’deki gibi şarj ettiğimizde şarj cihazı ısınmaktadır. Cihazının ısınması transformatörün güç kaybını gösterir. Transformatörlerde güç kaybının sebepleri, sacların içinde oluşan ve dairesel olarak dolaşan fuko akımları, sacların mıknatıslanması ve sargı tellerinin alternatif akım direnci kaybı oluşturmaktadır.

### 2.6.2. Transformatörlerin Kullanım Amaçları

Kullanım alanı en yaygın transformatör düşürücü (dağıtım) tip transformatördür. Bu tip transformatörlere “alçaltıcı tip transformatörler” de denir. Primer sargıya uygulanan alternatif gerilimden daha küçük bir alternatif gerilim sekonder sargıdan alınıyorsa bu tip transformatörlere “düşürücü tip transformatör” denir. Düşürücü tip transformatörler evlerimizdeki gece lambaları, şarjlı süpürgeler (Resim 2.22), cep telefonlarının şarj aletleri vb. cihazlarda kullanılır.

Primer sargısına uygulanan alternatif gerilimden daha büyük bir alternatif gerilim, sekonder sargıdan alınıyorsa bu tip transformatörlere “yükseltici tip transformatör” denir. Televizyonlarda ve enerji nakil hatlarındaki yüksek gerilim bu tip transformatörler ile oluşturulur.



### Kavram Yanılgıları

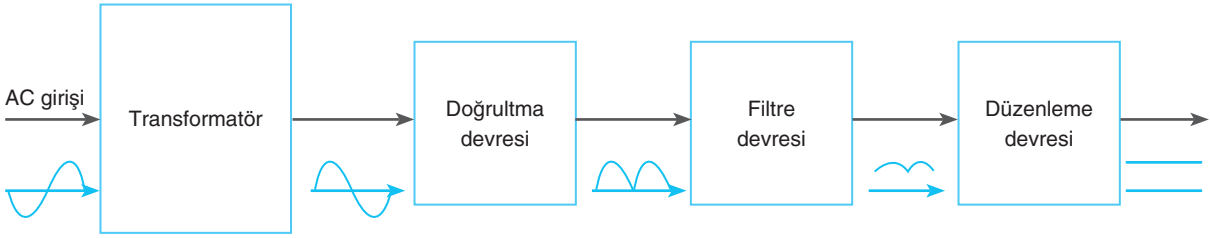
- Yükler devre etrafındaki tüm yönlerde hareket eder ve tekrar tüm yönlerden geri gelir.
- Gerilim ve akım, doğru akım devrelerindeki gibi sabit kalır.
- Bir transformatörde enerji kaybolmaz.
- Yükseltici bir transformatör, daha düşük girişe karşın size fazladan bir şeyler verir.
- Transformatörler doğru akım gerilimini değiştirmek için kullanılabilir.
- Elektrik şirketleri evinizdeki akımlar için elektronlar üretir.



**Resim 2.21:** Cep telefonunun şarj edilmesi

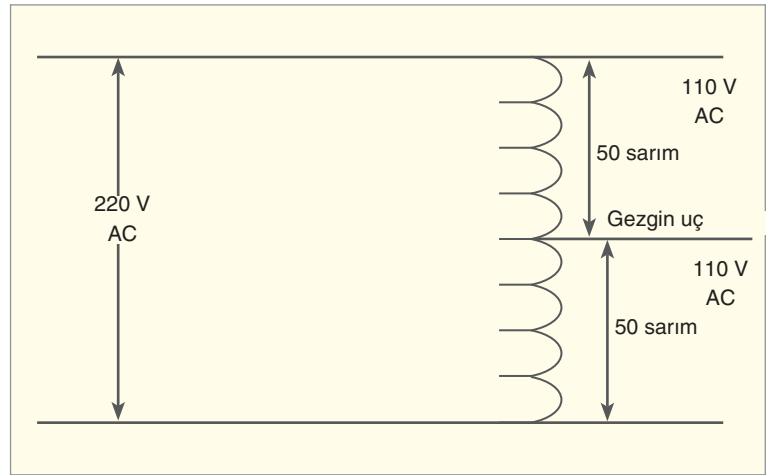


**Resim 2.22:** Şarjlı elektrik süpürgesi



Şekil 2.76: Alternatif akımı doğru akıma çevirme devresi

Transformatörler alternatif akımı doğru akıma çevirme devrelerinde kullanılır. Şekil 2.76'da görüldüğü gibi doğrultma devrelerinde transformatörler kullanılarak alternatif akım doğru akıma dönüştürülür.



Şekil 2.77: Oto transformatör

Oto transformatörler Şekil 2.77'de görüldüğü gibi sabit bir alternatif gerilimi, gezgin bir uç yardımıyla istenilen değere dönüştürmeye yarar. Ortadaki gezgin uç hareket ettirilerek gerilim değeri değiştirilir.

Transformatörler; alternatif akımın frekansını, gücünü değiştirmeden gerilimi ve akımı ihtiyaca göre azaltır ya da artırır. Elektrik şebekesinin önemli elemanlarından biridir. Güç transformatörleri, yüksek gerilim hatlarında gerilimi artırıp azaltmak için kullanılır. Gerilimleri 440 kV, 200 kV, 110 kV, 66 kV, 33 kV'tur. Güçleri genellikle 200 MVA üzeri trafolar bu sınıftadır. Dağıtım transformatörleri ise abonelerin ihtiyacı doğrultusunda 11 kV – 6,6 kV – 3,3 kV – 440 V – 220 V'luk orta ve alçak gerilim dağıtım hatlarında kullanılır. Dağıtım transformatörleri endüstriyel abonelerde 33 kV altı, normal şehir şebekelerinde 380 V–220 V elektrik enerjisinin dağıtımında kullanılır.



### Araştırma

Transformatörlerin günlük yaşamdaki kullanım alanları ile ilgili araştırma yapınız. Elde ettiğiniz bilgileri poster hâline getiriniz. Sınıfta arkadaşlarınızla paylaşınız.







## 2. ÜNİTE SONU ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI

**A. Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan noktalı yerleri, kutucukların içinde bulunan kelimeler ve kavramlarla tamamlayınız.**

pozitif yükten

yalıtkan

elektrik potansiyel enerji

frekans

alternatif akım

sağ el kuralı

düşürücü tip

yük

elektiriksel kuvvet

manyetik akı

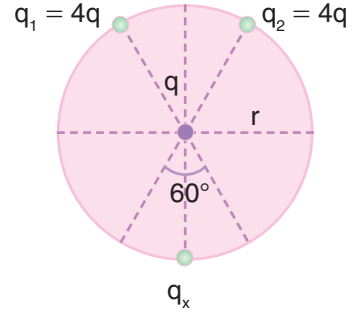
1. Elektrik alan pozitif birim yüke etki eden ..... olarak tanımlanır.
2. Pozitif yüklü cismin etrafındaki elektrik alan çizgileri ..... dışı doğrudur.
3. Elektrik alanın yüklü parçacık üzerinde yaptığı iş ..... olarak tanımlanır.
4. Sığaçlar aralarında ..... ortam bulunan iki iletken oluşur.
5. Seri bağlı sığaçlarda eşit miktarda ..... depolanır.
6. Üzerinden akım geçen telin etrafındaki manyetik alan ..... ile bulunur.
7. Birim yüzeyden dik geçen manyetik alan çizgileri sayısına ..... denir.
8. Kapasitans, sığacın sığası ve devrenin ..... ile ters orantılıdır.
9. .... devrelerinde akım sürekli yön değiştirir.
10. Primer sargıya uygulanan alternatif gerilimden daha küçük bir alternatif gerilim sekonder sargıdan alınıyorsa bu tip transformatörlere ..... transformatör denir.

**B. Aşağıdaki cümlelerde bildirilen yargılar doğru ise yay ayraç içine “D”, yanlış ise “Y” yazınız.**

1. (...) Yüklü cisimler nötr cisimleri çeker.
2. (...) Elektrik alan çizgileri negatif yükten çıkacak şekilde çizilir.
3. (...) Aynı işaretli iki yükün arasındaki uzaklık artarsa elektrik potansiyel enerji artar.
4. (...) İletken yüklü levhalar arasında düzgün elektrik alan meydana gelir.
5. (...) Sığaçlar, elektrik potansiyel enerjiyi ve elektrik yükünü depolayan araçlardır.
6. (...) Üzerinden akım geçen telin manyetik alanı telden uzaklaştıkça artar.
7. (...) Akım makarasının içinde oluşan manyetik alan, sarım sayısı ile doğru orantılıdır.
8. (...) Evlerimizin prizlerindeki elektrik akımı doğru akımdır.
9. (...) Alternatif akım devresi rezonans durumundayken sığacın kapasitansı ile akım makarasının indüktansı birbirine eşittir.
10. (...) Transformatörlere doğru akım verilerek potansiyel farkın yükseltilmesi ya da alçaltılması sağlanır.

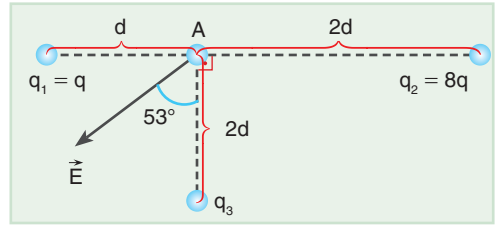
C. Aşağıdaki çoktan seçmeli sorularda doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Şekildeki dairede  $q_1$ ,  $q_2$  ve  $q_x$  yükleri sabitleniyor. Dairenin merkezindeki  $q$  yükünün hareketsiz kalması için  $q_x$  yükü kaç  $q$  olmalıdır?



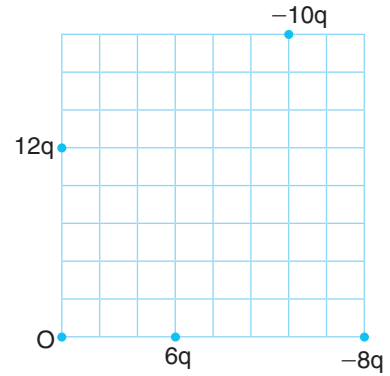
- A) 1                      B) 2                      C) 3  
D)  $4\sqrt{3}$               E) 5

2. Şekildeki gibi bulunduğu noktalara sabitlenen üç yükün A noktasında oluşturduğu elektrik alan  $\vec{E}$  ile gösteriliyor.  $q_3$  yükünün büyüklüğü kaç  $q$ 'dur?



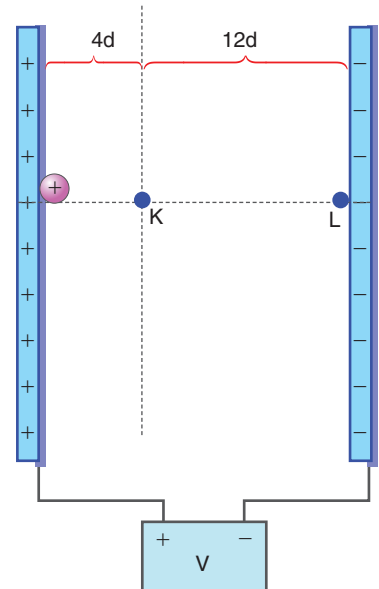
- A) 4                      B)  $-16/3$               C)  $-3$   
D)  $7/4$                       E) 5

3. Şekildeki gibi bir birimi  $d$  olan ölçekli şekle sabitlenen yüklerin O noktasında oluşturduğu elektriksel potansiyelin büyüklüğü kaç  $q/d$ 'dir?



- A) 1                      B) 1,6                      C) 1,8  
D) 2                      E) 2,4

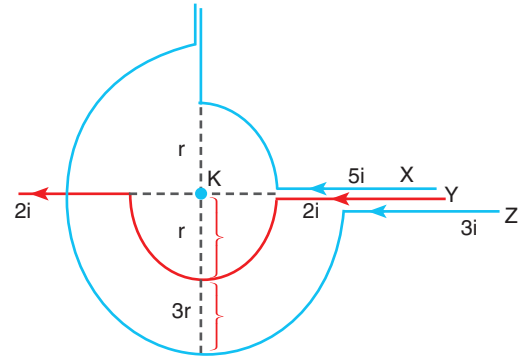
4.  $V$  potansiyel farkı ile yüklenen levhaların içinde pozitif yüklü ve yükü  $q$  olan parçacık, şekildeki gibi serbest bırakılıyor. Parçacık K ve L noktalarından geçtiğinde bu noktaların elektrik alanının büyüklüğünün oranı kaçtır?



- A) 1                      B) 2                      C) 3  
D) 4                      E) 5

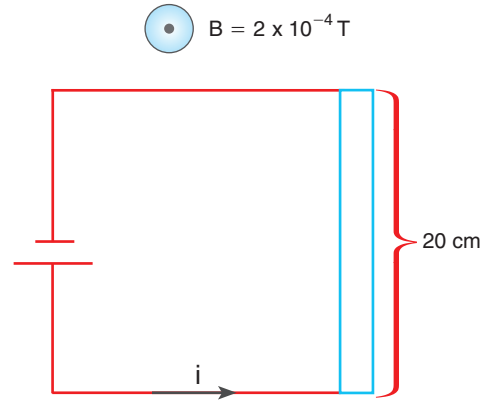
5. Aynı düzlemde bulunan sonsuz uzunluktaki X, Y ve Z telinden alınan parçalarla X telinden çeyrek, Y telinden yarım, Z telinden de  $\frac{3}{4}$  halka oluşturularak şekilde gösterilen akımlar geçiriliyor. K noktasında meydana gelen bileşke manyetik alanın büyüklüğü kaç  $ki\pi/r'$ 'dir?

- A)  $5/2$       B)  $5/8$       C)  $25/8$   
D)  $9/2$       E)  $9/8$



6. Şekildeki devrede 20 cm uzunluğundaki telin üzerinden 2 A lik akım geçiriliyor. Buna göre manyetik alanda tele etkleyen kuvvetin büyüklüğü kaç N'dir?

- A)  $8 \times 10^{-5}$       B) 20      C)  $5 \times 10^{-5}$   
D) 100      E) 40

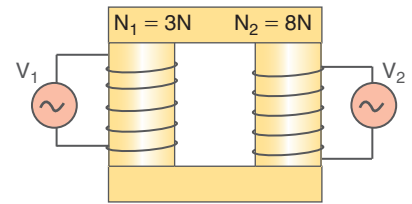


7. Bir alternatif akım devresinde akım makarasının indüktansı  $50 \Omega$ , akım makarasının öz indüksiyon katsayısı 0,1 H olduğuna göre devrenin frekansı kaçtır?

- A)  $50/\pi$       B) 60      C)  $80/\pi$       D) 100      E)  $250/\pi$

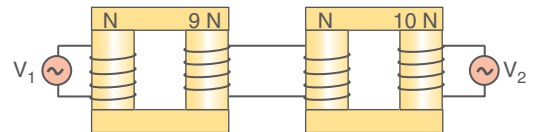
8. Şekildeki transformatörde birincil sarım  $3N$ , ikincil sarım ise  $8N$ 'dir. Birincil sarımlara uygulanan gerilimin ikincil sarımlardan alınan gerilime oranı ( $V_1/V_2$ ) kaçtır?

- A) 5      B) 8      C) 3  
D)  $3/8$       E)  $8/3$



9. Şekilde sarım sayıları verilen transformatörlere  $V_1 = 200$  V potansiyel farkı uygulanıyor. Çıkış gerilimi  $V_2$  kaç voltur?

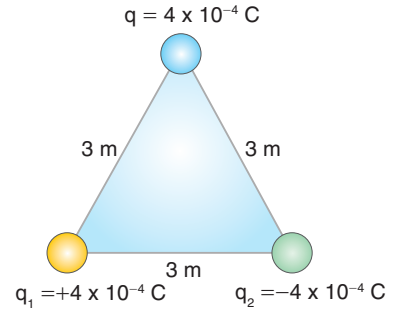
- A) 1800      B) 8000      C) 9000  
D) 10000      E) 18000



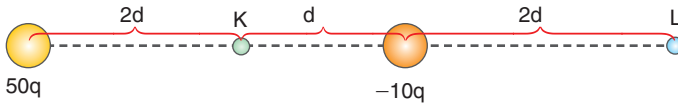
**Ç. Aşağıdaki soruların cevaplarını defterinize yazınız.**

1. Yüklerinin büyüklükleri eşit olan aynı düzlemdeki üç yük, şekildeki gibi eşkenar üçgenin köşelerine yerleştiriliyor.  $q$  yüküne etki eden bileşke elektriksel kuvveti ve yönünü bulunuz.

$$\left( k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \right)$$

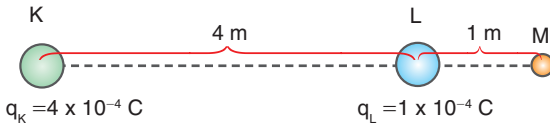


- 2.



Yükleri  $50q$  ve  $-10q$  olan iki yükün K noktasındaki bileşke elektrik alanının, L noktasındaki bileşke elektrik alanına oranı  $E_K / E_L$  kaçtır?

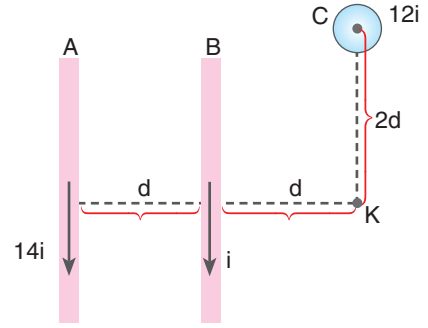
- 3.



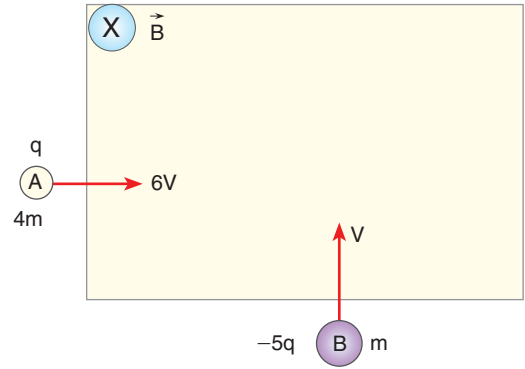
Yükleri verilen K ve L noktasal cisimleri şekildeki gibi sabitleiyor. Yükü  $2 \times 10^{-4} \text{ C}$  olan noktasal cisimi sonsuzdan M noktasına getirmek için elektriksel kuvvetlere karşı yapılan işi bulunuz.

$$\left( k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \frac{\text{m}^2}{\text{C}^2} \right)$$

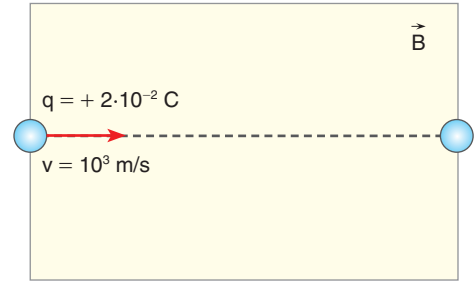
4. Sayfa düzleminde bulunan A ve B tellerinden sırasıyla  $14i$  ve  $i$  akımları geçmektedir. Sayfa düzlemine dik olan C telinden ise  $12i$  akımı geçmektedir. Üzerinden  $i$  akımı geçen telin K noktasında oluşturduğu manyetik alanın büyüklüğü B ise K noktasındaki bileşke manyetik alan kaç B olur?



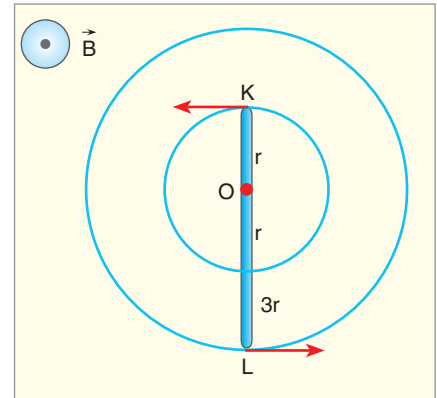
5. Sayfa düzleminden içeri doğru olan bir manyetik alana dik olarak yüklü parçacıklar fırlatılıyor. Parçacıkların kütle, hız ve yükleri şekildeki gibi olduğuna göre yörüngelerini çiziniz.



6. Düzgün bir manyetik alana  $10^3$  m/s hızla fırlatılan kütlesi  $4 \times 10^{-6}$  kg yükü  $+2 \times 10^{-2}$  C parçacık, sapmadan alandan dışarı çıkıyor. Manyetik alanın yönünü ve büyüklüğünü bulunuz. ( $g \cong 10$  N/kg)



7. Şekildeki KL teli,  $\vec{B}$  manyetik alanında sabit hızla O noktası etrafında döndürülmektedir. KO arasında oluşan emk  $\varepsilon$  olduğuna göre KL arasındaki emk kaç  $\varepsilon$ 'dir?



## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME ÇALIŞMALARI CEVAP ANAHTARLARI

### 1. ÜNİTE

#### A. Boşluk Doldurma

1	vektörel	6	mekanik enerji
2	nehirin hızı	7	itme
3	tepki kuvveti	8	sağ el
4	konum	9	kuvvet
5	iki	10	iş

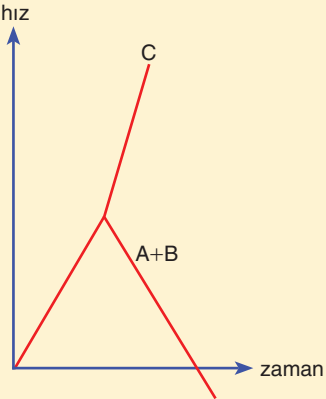
#### B. Doğru-Yanlış

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	Y	D	D	Y	Y	D	Y	D	Y

#### C. Çoktan Seçmeli Sorular

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E	A	E	B	C	D	A	E	B	E

#### Ç. Klasik Sorular

1	$8\sqrt{2}$ N	4	a) 25 b) 2 c) 0-2 ç) 2-6 d) 2-4
2	43,68	5	400
3	a) $2g/5$ b) $21mg/5$ , $42mg/5$ c) A ve B önce yavaşlar durur sonra ters yönde hızlanır. C daha büyük ivmeyle hız bulur.	6	$10\sqrt{3}$
		7	1,68
		8	2
		9	20
		10	$G_x = 60$ N

## Kendimizi Deneyelim

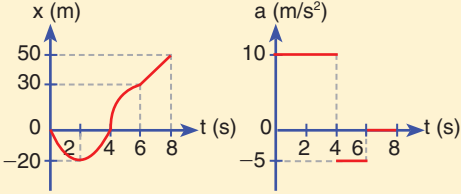
1	Büyükük: 20 N, uygulama noktası: K, doğrultu: doğu-batı, yön: doğu
2	Y, D, Y, D, Y, D
3	
4	
5	
6	$5\sqrt{2}$ birim
7	a) 4 birim    b) $2\sqrt{2}$ birim
8	a) 40 N    b) 110 N
9	1. Doğuya doğru 15 2. 50
10	3. a) 10    b) 70    c) 50    ç) 50    d) $40\sqrt{3}$
11	a) 3    b) 6
12	25 m/s hızla batıya doğru.
13	$10\sqrt{1601}$
14	a) 40    b) 16    c) 50
15	a) 4    b) 4
16	

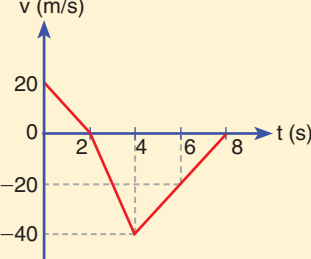
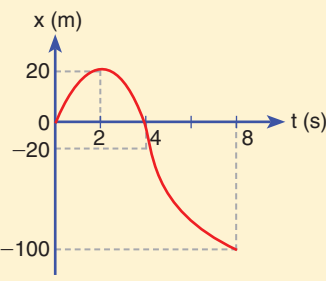
	1. a) 5      b) 2,42
17	2. 3080 3. 2
18	6
19	60
20	45
21	1. 4 s sonra 40 m/s hızla düşer.      2. $h = 500 \text{ m}, v = 100 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
22	1. 40 2. a) -10      b) -175 m      c) -55
23	1. 1080      2. 1000      3. 0,072
24	1. 40 2. a) 6      b) 120      c) 2,19
25	$E_1 = 10 \text{ J}, E_2 = 40 \text{ J}$
26	1. 30      2. 10      3. 360
27	72
28	a) 10      b) 10      c) 5
29	1. $G_x = 96, G_y = 20$ 2. $T_1 = T_2 = T_3 = 20$ 3. $T = 50, N = 70$ 4. 11/9 5. 225      6. $N_1 = N_2 = 75, N_{\text{zemin}} = 200$ 7. $T = 200, F = 100\sqrt{3}$ , açı küçülünce T ve F küçülür.
30	M
	1. 1000
31	2. Ok yönünde 2,5 tur atar. Ortadaki dişlinin diş sayısı artarsa M dişlisinin tur sayısı değişmez. 3. $f_M = 20, f_K = 20, f_N = 80$ L, M, ve N saat yönünde döner.
32	72

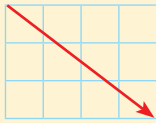
### Bölüm Sonu Değerlendirme Soruları

1	1	60	11		
	2	$\sqrt{3}$			
	3	8			
	4	$\sqrt{5}$			
	5	a) 3 birim b) Cisim yavaşlar ve durur.			
	6	a) +x yönüne b) Cisim yavaşlar durur ve ters yönde daha büyük ivme ile hızlanır.			
	7	$10\sqrt{2}$			
	8	$F_1 : \sqrt{5} \quad F_2 : 2\sqrt{10} \quad F_3 : 3$			
	9	4			
	10	a) en büyük: 11 N, en küçük 1 N b) en büyük: 17 N, en küçük: 0			
2	12	2	2	1	6 V
	2	40 m/s batıya		2	46 m/s
	3	46 m/s		3	doğuya 3v
	4	doğuya 3v		4	$10\sqrt{5}$
	5	$10\sqrt{5}$		5	



6	600 m
7	40 s ve 160 m
8	300
9	6
10	a) $t_M > t_L > t_K = t_N$ b) $x_L > x_N > x_K = x_M$
11	3
12	K ile M ve K ile L
1	23/20
2	$a = \frac{10}{3} \text{ m/s}^2, T = 200 \text{ N}$
3	9/5
4	a) 10/3 b) $T_A = \frac{500}{3}, T_B = 100$ c) 20/3
5	8823,5
6	$2 \times 10^{-2}$
7	6,8
8	3,25
9	a) 4 b) 24
10	a) $2 \times 10^{-3}$ b) Tanker kayalığa çarpar.
1	$\frac{4}{25}$
2	$\frac{1}{8}$
3	
4	4
5	300
6	160
7	5
8	a) 5,2 b) 135,2
9	240
10	2
11	a) 5 b) 190

a)	
12	b) 12,5 c) 
1	$\frac{\sqrt{5}}{5}$
2	4
3	135
4	a) 150 b) 30
5	5
6	4
5	a) 8 b) $10\sqrt{73} \text{ m/s}$ c) 240
8	45
9	$\frac{2\sqrt{3}}{5}$
10	a) 50 b) $v = 30, h = 240$
11	$10\sqrt{17}$
12	25
1	$2\sqrt{10}$
2	2
3	3/5
4	1,5
5	$v = \sqrt{56}, h = 5,8$
6	$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot (0,8x + h) + \frac{1}{2} k \cdot x^2$
7	a) 5,68 b) 13,46
8	20400
9	1

7	1	100
	2	$v'_A = 3 \text{ m/s}$ , $v'_B = 5 \text{ m/s}$ ,
	3	4
	4	75
	5	20
	6	10
	7	a) 2 m/s b) 0,1 m/s
	8	5
	9	$v_A = -6 \text{ m/s}$ $v_B = 4 \text{ m/s}$
	10	$v = 10 \text{ m/s}$ $\Delta E = 3525 \text{ J}$
	11	Batı yönünde $\frac{v}{4}$
	12	
8	1	$\tau_B > \tau_C > \tau_A$
	2	13
	3	$\tau_2 > \tau_3 > \tau_1$
	4	1
	5	6 N · m
	6	27,5
	7	50
	8	$\frac{80}{3}$
	9	1,5
	10	280
	11	1/3

9	12	$\frac{7\sqrt{3}}{2}$
	1	$\frac{2}{3}$
	2	1
	3	1/6
	4	$m_2 = 8\text{m}$ , $m_3 = 2\text{m}$
	5	20/3
	6	1
	7	28,88
	8	$T_1 = 20$ , $T_2 = 12$ , $T_3 = 15$ L = 9
	9	30
	10	4/3
	11	a) 8    b) 7
12	$N_K = 700$ $N_L = 1400/3$	
10	1	6
	2	$T_1 = 150$ $T_2 = 50\sqrt{3}$ $P = 100$
	3	2
	4	$M > K = L$
	5	125
	6	45
	7	90
	8	64
	9	2, saatin tersi yönde

## 2. ÜNİTE

### A. Boşluk Doldurma

1	elektiriksel kuvvet	6	sağ el
2	pozitif yükten	7	manyetik akı
3	elektrik potansiyel enerji	8	frekans
4	yalıtkan	9	alternatif akım
5	yük	10	düşürücü tip

### B. Doğru–Yanlış

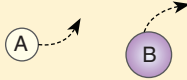

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	Y	Y	D	D	Y	D	Y	D	Y

### C. Çoktan Seçmeli Sorular

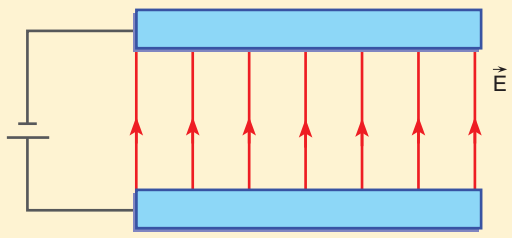
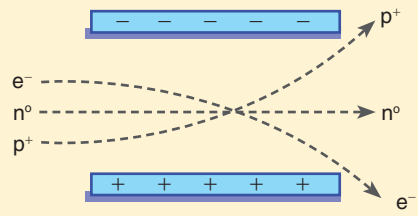
1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	C	E	A	B	A	E	D	E

### Ç. Klasik Sorular


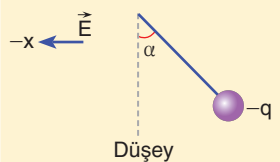
1	160 →
2	45
3	324
4	10

5	
6	$2 \cdot 10^{-6} \text{ wb/m}^2$ , 
7	15

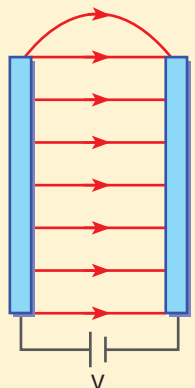
### Kendimizi Deneyelim

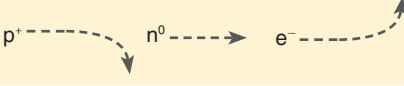
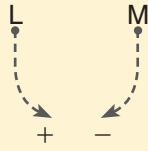

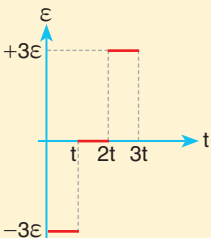
33	10
34	
35	
36	1.6      2.27 $3.4 \times 10^{-2}$

### Bölüm Sonu Değerlendirme Soruları

11	1	22
	2	-8
	3	$8\sqrt{2}$
	4	16/25
	5	
	6	12
	7	$\frac{281kq}{64d^2}$ ve + x yönünde
	8	$-\frac{27}{4}$
	9	$0,2 \times 10^4 \text{ N/C}$ , + y yönünde
	10	$5 \times 10^7$
	11	-50
12		

12	1	450
	2	10
	3	2
	4	-2/3
	5	4
	6	-540
	7	-6
	8	180
	9	16
	10	2

13	1	
----	---	--

	2	2/3
	3	
	4	$(-), \frac{q}{m} = \frac{g}{E}$
	5	4C, 4q
	6	
14	1	$i \otimes$
	2	$15 \frac{K_i}{r} \otimes$
	3	$4 \times 10^{-6} \text{ N}$ , +x yönünde
	4	
	5	4800
	6	a) Öz indüksiyon: 1 indüksiyon: 1 b) Öz indüksiyon: 1 indüksiyon: 1
	7	a) 1 b) oluşmaz c) 2
	8	2/3
	9	
	10	24
	11	2/9
15	1	İki akım türünde de elektrik akımı, potansiyeli yüksek yerden düşük yere doğru akar. Doğru akımda akım, (+) kutuptan (-) kutba doğrudur. Alternatif akımda sabit bir yön yoktur.

	2	Alternatif akımın doğru akım karşılığına "etkin değer" denir.
	2	Alternatif akımda akım ya da gerilim sürekli değişir. Bu değişim sinüzoidaldir. Bu değerlerin en büyük olduğu değere maksimum değer denir.
	3	Gerilim yükseltilip akım şiddeti düşürülerek enerji nakli sırasında oluşan kayıplar düşürülür.
	4	Bir alternatif akım devresinde indüktansın direnci, kapasitansın direncine eşit ise "Devre rezonans hâlinindedir." denir. Rezonans frekansı indüktansın öz indüksiyon katsayısına ve kapasitansın sığasına bağlıdır.
	5	$110\sqrt{2}$ volt
	6	$60 \text{ s}^{-1}$
	7	$i = 4\sqrt{2} \sin 100 \pi t$
	8	$10 \Omega$
	9	$90 \Omega$
	10	$2,77 \times 10^{-4} \text{ F}$
	11	$\frac{50}{6} \text{ s}^{-1}$
	12	$27,5 \Omega$
	13	$330 \sqrt{2} \times 10^{-4}$
16	1	$\frac{1}{6}$
	2	$2V_1 = 5V_2$
	3	3200
	4	15
	5	800

## SÖZLÜK

### A

<b>ağırlık</b>	: Bir cismin birim kütesine etkiyen çekim kuvveti.
<b>akım</b>	: Gaz veya sıvı maddelerin ya da elektrik yüklerinin belirli bir yöne akışı.
<b>alternatör</b>	: Dalgalı elektrik akımı veren üreteç.
<b>ampermetre</b>	: Akım şiddetinin ölçülmesinde kullanılan alet.
<b>amortisör</b>	: Motorlu araçlarda sarsıntı, sallantı vb. hareketleri en aza indiren, yayların gereksiz hareketlerini gidermeye yarayan düzen.
<b>ardışık</b>	: Birbiri ardından gelen.
<b>atlama sırrığı</b>	: Atletizmde belli bir yüksekliğe konmuş çitayı aşmak için kullanılan sırrık.
<b>atom</b>	: <b>1.</b> Bir elementin bütün özelliklerini gösteren en küçük yapı taşı. <b>2.</b> Birkaç türü birleştğinde çeşitli molekülleri, bir tek türü ise bir kimyasal ögeyi oluşturan parçacık.

### B

<b>bağıl</b>	: Özdeş türden başka bir nesneyle karşılaştırılarak ölçülen veya değerlendirilen nesnelerin ya da olguların niteliği.
<b>batarya</b>	: İki ya da daha fazla pilin seri ya da paralel bağlanmasıyla elde edilen elektrik akım kaynağı.
<b>bileşen</b>	: Bir bileşke oluşturan kuvvetlerin her biri.
<b>bileşik</b>	: Kimyasal tepkimeler sonucu iki veya daha çok elementten oluşan ve bunlardan bağımsız fiziksel, kimyasal nitelikler gösteren (madde).
<b>bilim</b>	: <b>1.</b> Evrenin veya olayların bir bölümünü konu olarak seçen, deneye dayanan yöntemler ve gerçeklikten yararlanarak yasalar çıkarmaya dayanan düzenli bilgi. <b>2.</b> Tabiat kanunlarına uygun ve/veya deneysel yöntemlerle doğrulanmış belirli bir olgu, konu veya olay kategorilerine ilişkin bilgileri sistemli olarak bir araya getiren tutarlı bütün.
<b>bozunma</b>	: Işın etkin bir çekirdeğin, ışınım salarak değişikliğe uğraması.

### C-Ç

<b>Coulomb kuvveti</b>	: Bir yüklü taneciğin bir diğeri üzerine Coulomb Yasası'na göre uyguladığı elektrostatik itme ya da çekme kuvveti.
<b>çark</b>	: Bir eksenin döndürdüğü tekerlek biçimindeki makine parçası.
<b>çevrim</b>	: Kesinti göstermeksizin düzenli tekrarlanan olaylar dizisi.
<b>çubuk mıknatıs</b>	: Sert çelikten yapılmış kalıcı mıknatıs özellikli çubuk cisim.

### D

<b>dezavantaj</b>	: Avantajlı olmama durumu.
<b>dielektrik</b>	: Elektrik akımı taşıyacak serbest elektronları olmayan ancak bir yalıtkan gibi elektrik gerilimine dayanabilen ve elektrik alanda kutuplanma gösteren madde özelliği.
<b>dielektrik sabiti</b>	: Bir maddenin dış elektriksel etkiye zıt olarak yüklenebilme ölçüsü.
<b>dinamo</b>	: Mekanik enerjii elektrik enerjisine dönüştüren alet.
<b>dinamometre</b>	: Kuvvetleri ölçmeye yarayan cihaz, kuvvetölçer.
<b>direnç</b>	: İletkenlerin elektrik yüklerinin geçişine gösterdiği zorluk.
<b>durgun</b>	: Hareketli olmayan, statik.

## E

<b>ebonit</b>	: Yüz kısım kauçuğun otuz iki kısım kükürtle işlenmesinden elde edilen plastik madde.
<b>elektrik alan</b>	: Elektrikle yüklü bir maddenin elektriksel etkisini gösterdiği bölge.
<b>elektrik yükü</b>	: Maddedeki elektrik miktarı, elektron eksikliği ya da fazlalığı; elektriğin maddeden ya da ortamdan geçen miktarı.
<b>elektriksel potansiyel farkı</b>	: Birim elektrik yükünün iki nokta arasında taşınmasında yapılan elektriksel iş veya harcanan elektriksel enerji.
<b>elektroliz</b>	: Elektrik enerjisi yardımıyla bir sıvı içinde çözülmüş kimyasal bileşikleri ayırma işlemi.
<b>elektromanyetizma</b>	: Elektriklenme ile mıknatıslanmanın karşılıklı etkilenmelerinden ortaya çıkan olayların bütünü.
<b>elektrometre</b>	: Elektrik yükünün büyüklüğünü ölçen araç.
<b>elektromıknatıs</b>	: İçinde manyetik akımı toplayıp artırıcı bir yumuşak demir bulunan, bobin veya bobinlere doğru akım geçirilerek elde edilen mıknatıs.
<b>elektron</b>	: Bütün atomlarda bulunan negatif yüke sahip temel parçacık.
<b>elektronik</b>	: Serbest elektronların etkisiyle oluşan olayları inceleyen bilim dalı.
<b>elektroskop</b>	: Maddelerin elektrikle yüklü olup olmadığını tespit etmeye yarayan araç.
<b>elektrostatik</b>	: Durgun hâldeki elektrik yüklerinden kaynaklanan olayları inceleyen fizik dalı.
<b>elektrot</b>	: Bir elektrolitin içine daldırılan artısına anot, eksisine katot denilen çubuktan her biri.
<b>element</b>	: Aynı cins atom içeren ve bir kimyasal reaksiyonda elde edilebilen basit madde.
<b>eylemsizlik</b>	: Bir cisme etki eden kuvvetlerin vektörel toplamı sıfırsa veya hiçbir kuvvet etki etmiyorsa cismin hareketsiz olması veya sabit hızla hareket etmesi.

## F

<b>flaş</b>	: Fotoğraf çekiminde ışık yeterli olmadığında bir görüntüyü net almak için kullanılan çok kısa süreli ve güçlü parlaklık.
<b>floresan lamba</b>	: Yüzeyi parlak maddelerle kaplı, içi cıva buharı ile dolu cam tüpten oluşan lamba.
<b>frekans</b>	: Periyodik olaylarda bir saniyedeki devir sayısı, sıklık.

## G-H

<b>genlik</b>	: Bir atmanın düşey konumdan denge durumuna kadar olan en büyük yer değiştirmesi.
<b>gravitasyon</b>	: Kütle çekimi.
<b>güç</b>	: Birim zamanda yapılan iş veya harcanan enerji.
<b>hareket</b>	: Seçilen bir başlangıç noktasına göre zamanla yer değiştirme eylemi.
<b>hız</b>	: Birim zamandaki yer değiştirme.
<b>homojen</b>	: Tamamının aynı yapıda olma hâli.

## I-J

<b>ideal</b>	: Düşüncenin tasarlayabileceği bütün üstün nitelikleri kendinde toplayan, uygun.
--------------	--

<b>ihmal</b>	: Önem vermeme, yok sayma.
<b>iletken</b>	: Elektrik akımını ya da ısıyı kendi üzerinden geçiren cisim.
<b>iş</b>	: Yol doğrultusundaki kuvvetin, etki ettiği cismin yer değiştirmesi ile çarpımı.
<b>ivme</b>	: Hızın birim zamandaki değişme miktarı.
<b>jenaratör</b>	: Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren alet.

## K

<b>kanun</b>	: Tekrarlanan gözlem ve deneylerle aynı şartlarda aynı sonuçları verdiği kesin olarak belirlenen, akla ve mantığa uygun, genel kaniya göre kabul görmüş, değişmez nitelik kazanmış, yanlışlanma olasılığı olmayan gerçek bilgi, yasa.
<b>kartezyen koordinat</b>	: <b>1.</b> Düzlemde O noktasında birbirine dik iki doğru alınarak düzlemin her bir P noktasına karşılık getirilen $(P_1, P_2)$ ikilisi, dik koordinatlar. <b>2.</b> Uzayda bir O noktasında birbirine dik üç doğru alınarak uzayın her bir P noktasına karşılık getirilen $(P_1, P_2, P_3)$ üçlüsü, dik koordinatlar.
<b>kazanç</b>	: Bir elektronik sistemin verimliliğinin yükselteçlerde çıkış gerilimi veya akımının, giriş gerilimi ya da akımına oranıyla verilen ölçüsü.
<b>kehribar</b>	: Ağaçların gövdelerinden sızan reçinemsî sıvının katı hâli.
<b>kinetik enerji</b>	: Cismin hareketi nedeniyle sahip olduğu enerji.
<b>kutuplanma</b>	: Yalıtkan maddelerin elektriksel etki sonucu pozitif ve negatif bölgelere ayrılması.
<b>kuvvet</b>	: Bir cismin durgunluk veya hareket durumunu değiştirebilen ve cismin momentumunun zamana göre değişim hızına eşit olan vektörel nicelik.

## L

<b>limit</b>	: Değişken bir büyüklüğün istenildiği kadar yaklaşabildiği durağan büyüklük, sınır.
<b>literatür</b>	: Herhangi bir bilim dalında yazılmış olan yazı veya eserlerin bütünü, kaynak.

## M

<b>manyetik alan</b>	: Kalıcı bir mıknatısın veya akım taşıyan bir iletkenin çevresinde manyetik kuvvetlerin tespit edilebildiği bölge.
<b>manyetik madde</b>	: Mıknatıs tarafından çekilebilen madde.
<b>mekanik</b>	: Kuvvetlerin maddeler ve hareketler üzerine etkisini inceleyen fizik dalı.
<b>mıknatıs</b>	: Demir, nikel, kobalt gibi maddeleri çekebilen cisim.
<b>motor</b>	: Herhangi bir enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren düzenek.

## N

<b>nesnel</b>	: Nesne ile ilgili, nesneye ilişkin, öznel karşıtı.
<b>newton</b>	: SI birim sisteminde kuvvet birimi.
<b>nötron</b>	: Yaklaşık olarak proton ağırlığında ve elektrik yüklü olmayan bir atom cisimciği.
<b>nükleer</b>	: Atom çekirdeği ile ilgili.

## O-Ö

<b>ohm</b>	: Direnç birimi.
<b>özdeş</b>	: Her türlü nitelik bakımında eşit olan, ayrılamayacak kadar benzer olan, aynı.
<b>öz direnç</b>	: İletkenlerin birim uzunluk ve kesitteki parçalarının direnci.
<b>özkütle</b>	: Bir maddenin kütesinin hacmine oranı.

## P

<b>periyodik</b>	: Belirli aralıklarla tekrarlanan, süreli.
<b>periyot</b>	: Dairesel veya basit harmonik hareket yapan cismin, bir devrini tamamlaması için geçen süre.
<b>pil</b>	: Kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren düzenek.
<b>potansiyel</b>	: Bir kütleyi, yükü ve kutbu sonsuzdan uzayın herhangi bir yerine getirebilmek için gravitasyonel, elektrik ve manyetik kuvvet alanlarına karşı birim kütleye, birim yük veya birim artı yük başına yapılan iş.
<b>primer</b>	: Birinci derecedeki, birincil, ilk, esas.
<b>pusula</b>	: Üzerinde kuzey-güney doğrultusunu gösteren bir mıknatıs iğnesi bulunan ve yön tespit etmek için kullanılan kadranlı araç, yön belirteci.

## R

<b>reosta</b>	: Devreye değişik değerlerde direnç konulmasını sağlayarak akım şiddetini değiştirmeye yarayan araç.
<b>rezonans</b>	: Özdeş ses kaynaklarından birinin titreşmesi sonucu diğerinin de titreşmesi olası.

## S

<b>sekonder</b>	: İkinci derecedeki, ikincil.
<b>simülasyon</b>	: Taklit etme, benzerini yapma, benzetim.
<b>skala</b>	: Genellikle ölçü aletlerinde gösterge çizelgesi.
<b>skaler büyüklük</b>	: Ölçülen bir büyüklüğü sadece sayısal rakamlarla ve bir birim ile belirten ifade.

## T

<b>takoz</b>	: Bir eşyanın altına kıpırdamadan dik durması için yerleştirilen ağaç kama.
<b>temas</b>	: Değme, dokunma.
<b>titreşim</b>	: Esnek bir nesneye ait parçaların, her saniye eş sayıda ileri geri yaptığı düzenli salınım.
<b>türbin</b>	: Elektrik santrallerinde akarsu veya buhar gücüyle dönen ve jeneratörün çalışmasını sağlayan araç.
<b>türdeş</b>	: Türleri bir olanlardan her biri.

## Ç

<b>üreteç</b>	: Değişik enerji türlerini, elektriksel potansiyel enerjiye dönüştüren araç.
<b>üreteç kutupları</b>	: Üreticinin pozitif ve negatif uçları.

## V

<b>vektörel büyüklük</b>	: Ölçülen bir büyüklüğü, sayısal rakam ve birim yanında şiddeti, yönü, doğrultusu ve başlangıç noktası ile belirten ifade.
<b>verim</b>	: Çalıştırılan, işletilen, bakılan bir şeyin verdiği sonuç veya bu sonucun niceliği.
<b>volt</b>	: Elektriksel potansiyel veya potansiyel farkı birimi.
<b>voltmetre</b>	: Potansiyel farkını ölçmek için kullanılan alet.

## Y

<b>yalıtkan</b>	: Isıyı ve elektrik akımını iletmeyen veya çok az ileten madde.
<b>yük</b>	: 1. Maddedeki elektrik miktarı, elektron eksikliği ya da fazlalığı. 2. Elektrığın maddeden ya da ortamdaki geçen miktarı.
<b>yer çekimi</b>	: Yerin cisimlere uyguladığı çekim kuvveti.



## KAYNAKÇA

- Avundukoğlu, M. Ali ve Şeref Turhan. *Fizik Terimleri Sözlüğü*. İstanbul: Ötüken Yayınevi, 2007.
- Balkan, Naci ve Ayşe Erol. *Çevremizdeki Fizik*. Ankara: TÜBİTAK Yayınları, 2012.
- Beiser, Arthur. *The Mainstream of Physics*. London: Addison-Wesley Company, Inc., 1965.
- Breithaupt, Jim. *Key Science Physics*. England: Stanley Thornes Limited, 1995.
- Fizik Dersi Öğretim Programı (Ortaöğretim 9, 10, 11 ve 12. Sınıflar)*. Ankara: MEB, 2018.
- Giancoli, Douglas C. *Fen Bilimcileri ve Mühendisler İçin Fizik*. çev.: Gülsen Öngüt. Ankara: Akademi Yayıncılık, 2009.
- Guillen, Michael. *Dünyayı Değıştiren Beş Denklem*. çev.: Gürsel Tanrıöver. Ankara: TÜBİTAK Yayınları Popüler Bilim Kitapları, 2012.
- Keller, Frederick J., W. Edward Gettys ve Malcolm J. Skove. *Fizik*. cilt: 1. çev.: Bekir Karaoğlu, Erhan Gülmez, R. Ömür Akyüz, Serdar Nergiz ve Galip Tepehan. İstanbul: Literatür Yayınları, 2005.
- Serway, Raymond A. ve Robert J. Beichner. *Fen ve Mühendislik İçin Fizik 1*. çev.: Kemal Çolakoğlu. Ankara: Palme Yayıncılık, 2008.
- Serway, Raymond A. ve Robert J. Beichner. *Fen ve Mühendislik İçin Fizik 2*. çev.: Kemal Çolakoğlu. Ankara: Palme Yayıncılık, 2011.
- Türkçe Sözlük*. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları, 2011.
- Walker, Jearl. *Fiziğin Temelleri 1. Kitap*. çev.: Bülent G. Akınoğlu ve H. Murat Alev. Ankara: Palme Yayıncılık, 2013.
- Yazım Kılavuzu*. Ankara: Türk Dil Kurumu Yayınları, 2012.
- Young, Hugh D. ve Roger A. Freedman. *Sears ve Zemansky'nin Üniversite Fiziği*. cilt: 1, bs.: 12. çev.: Hilmi Ünlü, Ahmet T. Giz, Mahmut Ö. Hortaçsu, Nazmi Postacioğlu ve Özgür Özer. Ankara: Pearson Education Yayıncılık, 2011.

Kaynakça Chicago'ya göre düzenlenmiştir.

## GENEL AĞ KAYNAKÇASI

- <http://w3.balikesir.edu.tr/~kahveci/dersler/te-08.pdf> (05.11.2018)
- [http://vfdergi.yyu.edu.tr/archive/1992/3\\_1-2/1992\\_3\\_%281-2%29\\_1-10.pdf](http://vfdergi.yyu.edu.tr/archive/1992/3_1-2/1992_3_%281-2%29_1-10.pdf) (05.11.2018)
- <http://kitaplar.ankara.edu.tr/dosyalar/pdf/734.pdf> (05.11.2018)
- [http://www.iosb.org.tr/v3/index.php?option=com\\_content&view=article&id=371&Itemid=20](http://www.iosb.org.tr/v3/index.php?option=com_content&view=article&id=371&Itemid=20) (05.11.2018)

## KAREKOD ADRESLERİ

- Sayfa 55 <https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/forces-and-motion-basics>
- Sayfa 58 <https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/ramp-forces-and-motion>
- Sayfa 114 <https://www.physicsclassroom.com/Physics-Interactives/Vectors-and-Projectiles/Projectile-Simulator/Projectile-Simulator-Interactive>
- Sayfa 134 <https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/energy-skate-park>
- Sayfa 157 <https://phet.colorado.edu/en/simulation/collision-lab>
- Sayfa 241 <https://phet.colorado.edu/en/simulation/charges-and-fields>
- Sayfa 253 <https://phet.colorado.edu/en/simulation/capacitor-lab-basics>
- Sayfa 258 <https://phet.colorado.edu/en/simulation/capacitor-lab-basics>

Sayfa 279 <https://phet.colorado.edu/en/simulation/faraday>

Sayfa 287 <https://phet.colorado.edu/tr/simulation/legacy/generator>

Sayfa 297 [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele\\_ac\\_rlc&l=en](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=ele_ac_rlc&l=en)

## GÖRSEL KAYNAKÇA

www.shutterstock.com (Telif hakkı ödenerek satın alınmıştır.) 29/03/2021

Sayfa No	Görsel No	Shutterstock No	Sayfa No	Görsel No	Shutterstock No
13	kapak	1082638499	150	1.41	120361270
14	1.1	62604760	153	1.43	130076780
20	1.2	220694014	160	1.45	158114063
34	1.3	160419665	160	1.46	133884635
40	1.4	29686771	172	1.49	276790835
43	1.6	57056989	181	1.50a	91062116
45	1.7	2962921	181	1.50b	178041056
46	1.8	154213904	182	1.51	69079948
53	1.9	146731958	186	1.53	196119632
75	1.13	182169542	198	1.57	156847814
75	1.14	83385613	199	1.58a	125341028
75	1.15	123621076	199	1.58b	111378131
102	1.19	187524950	199	1.59	8338435
102	1.20	136866725	199	1.60	132559526
114	1.26	348539132	199	1.61	124449988
115	1.27	104299712	200	1.62	169281503
128	1.28	108705380	200	1.63	126829964
132	1.29	280242302	200	1.64	88536604
136	1.31	60393193	201	1.65	150798050
148	1.36	24372937	201	1.67	126707297
148	1.37	55913443	203	1.68	181198142
148	1.38	173955671	241	2.2	7820935
148	1.39	154577858	242	2.3	66116539
150	1.40	86746465	255	2.4	782605813

Sayfa No	Görsel No	Shutterstock No
255	2.4	782605813
256	2.5	767641027
257	2.6	87054269
257	2.7a	128001347
257	2.7b	166911536
261	2.8	152161793
264	2.9	89020693
273	2.10	160393541
277	2.11	65900437

Sayfa No	Görsel No	Shutterstock No
279	2.12	63347320
287	2.13	90211438
288	2.14a	143179240
288	2.14b	167013404
302	2.19	227832967
307	2.20	167852588
309	2.21	149802491
309	2.22	9324580

Sayfa No	Görsel No	GENEL AĞ ADRESLERİ
100	1.18a	<a href="https://media.pri.org/s3fs-public/styles/story_main/public/felix-baumgartner-freefall-skydive-youtube-record.jpg?itok=moIYqKHQ">https://media.pri.org/s3fs-public/styles/story_main/public/felix-baumgartner-freefall-skydive-youtube-record.jpg?itok=moIYqKHQ</a>
100	1.18b	<a href="https://maumendoza.files.wordpress.com/2012/10/salto-felix-baumgartner-felix-baumgartner-blog-vida-plena-mau-mendoza.jpeg?w=350&amp;h=&amp;zoom=">https://maumendoza.files.wordpress.com/2012/10/salto-felix-baumgartner-felix-baumgartner-blog-vida-plena-mau-mendoza.jpeg?w=350&amp;h=&amp;zoom=</a>
113	1.25	<a href="https://en.wikipedia.org/wiki/Batting_(baseball)/media/File:Marcus_Thames_Tigers_2007.jpg">https://en.wikipedia.org/wiki/Batting_(baseball)/media/File:Marcus_Thames_Tigers_2007.jpg</a>
137	1.32	<a href="https://cdnuploads.aa.com.tr/uploads/Contents/2019/09/02/thumbs_b_c_a6ad-801c5e663923e2992a11f8b76145.jpg">https://cdnuploads.aa.com.tr/uploads/Contents/2019/09/02/thumbs_b_c_a6ad-801c5e663923e2992a11f8b76145.jpg</a>
137	1.33	<a href="https://cdn.ntvspor.net/b3b2f0c0bc194a84b7cd7a66f770372b.jpg?&amp;mode=crop&amp;w=940&amp;h=626.66666666666666">https://cdn.ntvspor.net/b3b2f0c0bc194a84b7cd7a66f770372b.jpg?&amp;mode=crop&amp;w=940&amp;h=626.66666666666666</a>
141	1.34	<a href="https://cdn1.ntv.com.tr/gorsel/yy1FPIQXsUq3cp2jyFQ1Mw.jpg?width=972&amp;height=644&amp;mode=crop&amp;scale=both&amp;v=20171220081415087">https://cdn1.ntv.com.tr/gorsel/yy1FPIQXsUq3cp2jyFQ1Mw.jpg?width=972&amp;height=644&amp;mode=crop&amp;scale=both&amp;v=20171220081415087</a>

Yayınevi Arşivi

## 1. ÜNİTE

Şekil 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 1.10, 1.11, 1.12, 1.13, 1.14, 1.15, 1.16, 1.17, 1.18, 1.19, 1.20, 1.21, 1.22, 1.23, 1.24, 1.25, 1.26, 1.27, 1.28, 1.29, 1.30, 1.31, 1.32, 1.33, 1.34, 1.35, 1.36, 1.37, 1.38, 1.39, 1.40, , 1.41, 1.42, 1.43, 1.44, 1.45, 1.46, 1.47, 1.48, 1.49, 1.50, , 1.51, 1.52, 1.53, 1.54, 1.55, 1.56, 1.57, 1.58, 1.59, 1.60, 1.61, 1.62, 1.63, 1.64, 1.65, 1.66, 1.67, 1.68, 1.69, 1.70, 1.71, 1.72, 1.73, 1.74, 1.75, 1.76, 1.77, 1.78, 1.79, 1.80, 1.81, 1.82, 1.83, 1.84, 1.85, 1.86, 1.87, 1.88, 1.89, 1.90, 1.91, 1.92, 1.93, 1.94, 1.95, 1.96, 1.97, 1.98, 1.99, 1.100, 1.101, 1.102, 1.103, 1.104, 1.105, 1.106, 1.107, 1.108, 1.109, 1.110, 1.111, 1.112, 1.113, 1.114, 1.115, 1.116, 1.117, 1.118, 1.119, 1.120, 1.121, 1.122, 1.123, 1.124, 1.125, 1.126, 1.127, 1.128, 1.129, 1.130, 1.131, 1.132, 1.133, 1.134, 1.135

## 2. ÜNİTE

Şekil 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7, 2.8, 2.9, 2.10, 2.11, 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.25, 2.26, 2.27, 2.28, 2.30, 2.31, 2.32, 2.33, 2.34, 2.35, 2.36, 2.37, 2.39, 2.40, 2.41, 2.42, 2.43, 2.44, 2.45, 2.46, 2.47, 2.48, 2.49, 2.50, 2.51, 2.52, 2.53, 2.54, 2.55, 2.56, 2.57, 2.58, 2.59, 2.60, 2.61, 2.62, 2.63, 2.64, 2.65, 2.66, 2.67, 2.68, 2.69, 2.70, 2.71, 2.72, 2.73, 2.74, 2.75, 2.76