

# ENERJİ VE HAREKET

## KONULAR

1. Yapılan İş ile Enerji Arasındaki İlişki
2. Esneklik Potansiyel Enerjisi
3. Mekanik Enerjinin Korunumu
4. Sürünme Kuvvetinin Yaptığı İş



Fizikte enerji, doğrudan doğruya gözlemlenemeyen fakat kendi konumunda hesaplanabilen fiziksel sistemin geniş ve korunmuş bir özelliğidir. Enerji, fiziğin en temel kavramlarından biridir. Enerjinin pek çok formda bulunmasından dolayı tek bir tanımını yapmak imkânsızdır ama en yaygın tanımı şudur: Enerji, bir sistemin iş yapma kapasitesidir. İş yapabilmek için mutlaka enerjiye ihtiyaç vardır. Enerji, yapılacak işlem ile işe dönüsecektir. Kuvvet uygulanarak iş yapıldığında cisim enerji kazanmaktadır. Bu nedenle enerji ile işin birimleri (joule) aynıdır.

Ayrıca enerji, iş yapabilme yeteneğinin dışında çeşitli formlarda bulunabilir: ışık, elektrik, ses vb. Enerji en genel anlamda potansiyel ve kinetik enerji başlığı altında incelenir.

Fizikte potansiyel ve kinetik enerjinin toplamı, mekanik enerji olarak ifade edilir. Bu enerji, cisimin hareketi ve konumu ile ilişkilidir. İdeal bir ortamda eğer bir cisim, yalnızca yer çekimi kuvvetine tabi ise enerjinin korunumu yasası mekanik enerjinin sabit olduğunu söyleyebilir. Bir cisim yer çekimi kuvvetinin tersi yönünde hareket ederse yere göre potansiyel enerjisi artacak ve eğer sürat (hızı değil) değişirse kinetik enerjisi de değişecektir. Tüm sistemlerde sürünme kuvveti bulunacaktır fakat bu değerler çoğu zaman ihmal edilebilir. Bu bölümde cisimlerin hareketini, mekanik enerjinin korunumundan yararlanarak analiz edeceğiz.

## Düşünelim-Hazırlanalım

1. Araçların amortisörleri hangi amaçla kullanılır?
2. Sırıkla yüksek atlayan bir sporcunun, atlayacağı yüksekliğe göre sırtı değiştirmesinin nedeni ne olabilir?
3. Enerji bir kuvvet midir?

## 1. Yapılan İş ile Enerji Arasındaki İlişki

### a) İş Kavramı

9. sınıf fizik dersinde iş, güç ve enerji kavramlarını öğreniniz. Şimdi bu kavamları kısaca tekrar hatırlayalım.

- Fizikte iş yapmak enerji aktarmak demektir.
- Cisme bir kuvvet uygulandığında cisim, kuvvetin uygulandığı doğrultuda hareket ediyorsa fiziksel anlamda iş yapılmış sayılır.
- İş  $W$  simboli ile gösterilir ve skaler bir büyüklüktür. Si da birimi "joule"dür ( $J$ ).  $m$  kütleyeli cisme Görsel 1.6.1'deki gibi sürtünmesiz ortamda  $F$  kuvveti uygulanıp  $\Delta x$  kadar yer değiştirirse yapılan iş,

$$W = \vec{F} \cdot \vec{\Delta x} \text{ kadar olur.}$$

Kuvvet, Görsel 1.6.2'deki gibi uygulanırsa kuvvetin hareket doğrultusundaki bileşeni alınır. Bu durumda yapılan iş,

$$W = \vec{F} \cdot \vec{x} \cdot \cos \alpha \text{ bağıntısı ile bulunur.}$$

Ortam sürtünmeli ise iş hesaplanırken net kuvvetin yaptığı iş dikkate alınır. Görsel 1.6.3'teki  $F$  kuvvetinin yaptığı iş,

$$W = \vec{F} \cdot \vec{\Delta x} \text{ olur.}$$

Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş,

$$W = \vec{f}_S \cdot \vec{\Delta x} \text{ olur. Bu durumda net kuvvetin yaptığı iş,}$$

$$W = F_{\text{net}} \cdot \Delta x = (F - f_S) \cdot \Delta x \text{ olur.}$$

Sabit ya da değişken kuvvetlerin yaptığı iş, kuvvet-yol grafiğinden yararlanılarak bulunabilir. Grafik 1.6.1'deki kuvvet-yol grafiğinin altındaki alan, işi verir.

Grafikte yol ekseniňin üst kısmındaki alan pozitif, alt kısmındaki alan da negatif yönde yapılan işi verir. Yapılan toplam iş, tüm alanların cebirsel toplamıdır:

$$\Sigma W = W_1 - W_2 + \dots$$

### Örnek 1

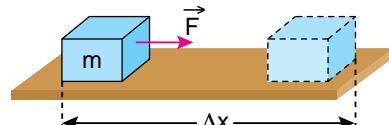
Düz bir yolda, yola paralel uygulanan  $F$  kuvvetinin yola bağlı değişimi Grafik 1.6.2'deki gibidir. 50 m sonunda yapılan işi bulunuz.

### Çözüm 1

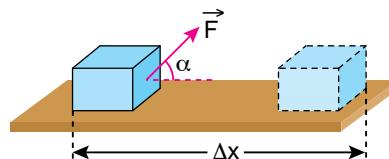
Grafik 1.6.2'den yararlanarak yapılan toplam iş,

$$\Sigma W = W_1 - W_2 \text{ olur.}$$

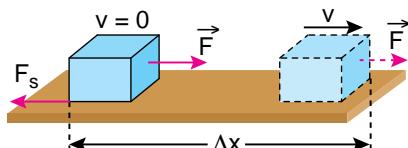
$$\Sigma W = 20 \cdot 40 - 30 \cdot 10 = 500 \text{ J bulunur.}$$



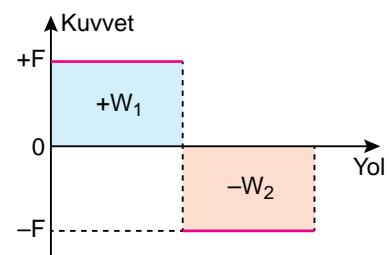
Görsel 1.6.1



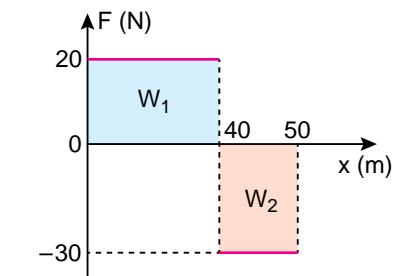
Görsel 1.6.2



Görsel 1.6.3

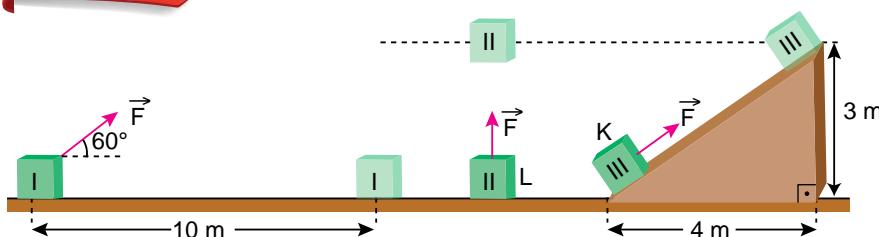


Grafik 1.6.1



Grafik 1.6.2

### Örnek 2



Görsel 1.6.4

Özdeş cisimler sürtünmenin dikkate alınmadığı Görsel 1.6.4'deki gibi sistemlerde sabit  $F$  kuvveti ile hareket ettirilmektedir. Bu kuvvetlerin cisimler üzerinde yaptığı işler sırası ile  $W_I$ ,  $W_{II}$  ve  $W_{III}$  ise bu işlerin büyüklükleri arasında nasıl bir ilişki vardır? ( $\cos 60^\circ = 0,5$ )

### Çözüm 2

I. cisim üzerine kuvvetin yer değiştirme doğrultusundaki yatay (x) bileşeni iş yapar.

$$W_I = F \cdot \cos 60^\circ \cdot x$$

$$W_I = F \cdot 0,5 \cdot 10 = 5F$$

II. cisim üzerine yapılan iş,

$$W_{II} = F \cdot h = F \cdot 3 = 3F \text{ olur.}$$

III. cisim eğik düzlemdir ve üçgenin hipotenüsü boyunca yer değiştirmiştir.

$$W_{III} = F \cdot x = F \cdot 5 = 5F$$

Buna göre

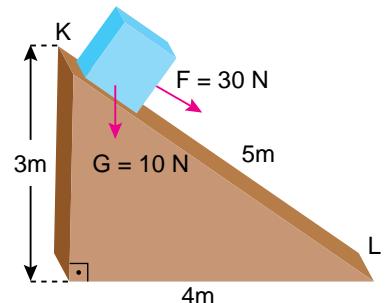
$$W_I = W_{III} > W_{II} \text{ olur.}$$

### Örnek 3

Görsel 1.6.5'teki eğik düzlemin K noktasındaki 10 N ağırlığındaki cisime 30 N'lık kuvvet K noktasından L noktasına kadar etki ediyor.

Buna göre

- Yer çekim kuvvetinin yaptığı iş kaç J'dür?
- $F$  kuvvetinin yaptığı iş kaç J'dür?



Görsel 1.6.5

### Çözüm 3

a. Yer çekimi kuvveti cisme düşeyde 3 m yol alıdır. Bu kuvvetin yaptığı iş,

$$W = F \cdot x = G \cdot h = 10 \cdot 3 = 30 \text{ J olur.}$$

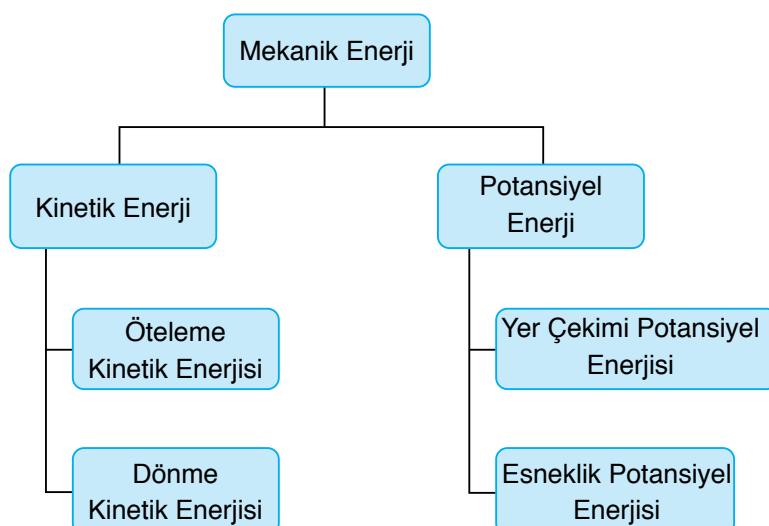
b.  $F$  kuvvetinin yaptığı iş,

$$W = F \cdot x = 30 \cdot 5 = 150 \text{ J olur.}$$

## b) Enerji Kavramı

**Enerji:** En genel anlamıyla bir cismin ya da sistemin iş yapabilme yeteneğidir. Enerji, yapılan işin büyüklüğü ile ölçülür. Bu yüzden enerjinin de SI'da birimi J'dür. Skaler bir büyüklüktür. Fizikte enerji en genel anlamda mekanik enerji başlığı altında incelenir. Bir cismin kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamına **mekanik enerji** denir. Mekanik enerji şemada gösterilen başlıklar altında incelenir.

9. sınıfta öteleme kinetik enerjisi, yer çekimi potansiyel enerjisi ve esneklik potansiyel enerjisini tanıyarak bu enerjilerin bağlı olduğu değişkenleri analiz etmiştiniz. Dönme kinetik enerjisini ise 12. sınıfta inceleyeceksiniz.



## Öteleme Kinetik Enerjisi

Cisimlerin hareketinden dolayı sahip olduğu enerjiye kinetik enerji denir. Külesi  $m$  ve hızı  $v$  olan cismin kinetik enerjisinin,

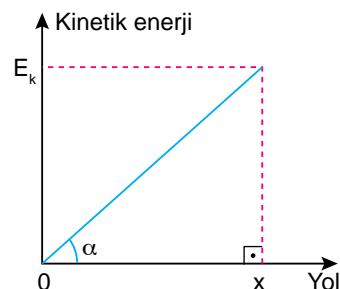
$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

bağıntısı ile hesaplandığını öğrenmiştiniz.

Bu bağlantıya göre cismin hızı 2 katına çıkarsa kinetik enerjisi 4 katına çıkar veya cismin hızı 3 kat azalırsa kinetik enerjisi 9 kat azalır.

Cismin kinetik enerji-yol grafiği Grafik 1.6.3'teki gibi olur. Doğrunun eğimi cisme uygulanan net kuvveti verir.

$$\tan \alpha = \frac{\Delta E}{\Delta x} = F_{net} \text{ tir.}$$



Grafik 1.6.3

### Örnek 4

Sürtünmesi ömensiz düz bir yolda durmakta olan bir cisim etki eden net kuvvetin yola bağlı değişim grafiği Grafik 1.6.4'te verilmiştir.

Buna göre cismin kinetik enerji-yol grafiğini çiziniz.

### Çözüm 4

Net kuvvet-yol grafiğinin altında kalan alan, cismin kinetik enerjisindeki değişime eşittir (Grafik 1.6.5). Cisim başlangıçta durgun hâlde olduğu için, ilk kinetik enerjisi sıfırdır. Net kuvvet-yol grafiğinde  $2x$  yoluna kadar grafiğin alanı pozitif işaretli,  $2x$  ile  $3x$  yolları arasında ise negatif işaretlidir. Dolayısıyla cismin kinetik enerjisi  $2x$  yoluna kadar artar,  $2x$  ile  $3x$  yolları arasında ise kinetik enerjisi azalar.

Kinetik enerjideki artış ya da azalış, grafiğin alanı kadarıdır. Net kuvvet-yol grafiğine göre cisim  $2x$  yolunu aldığında enerjisindeki artış  $F \cdot 2x = 2E$  diyelim.

Bu durumda  $2x - 3x$  arasındaki enerji değişimi

$$-F \cdot x = -E \text{ olur.}$$

Ayrıca kinetik enerji-yol grafiğinin eğimi net kuvveti verdiğiinden, cisme etki eden kuvvet  $0-2x$  yolları arasında sabit ve pozitif olduğundan, kinetik enerji grafiğinde eğimin sabit ve pozitif olması gereklidir.

Benzer şekilde  $2x - 3x$  arasında kuvvetler sabit ve negatif olduğundan, bu aralıklarda kinetik enerji grafiğinin eğimi de sabit ve negatif olması gereklidir.

Bu açıklamalara uygun kinetik enerji-yol grafiği Grafik 1.6.6'daki gibidir.

### Örnek 5

Durmakta olan cisimlere Görsel 1.6.6 gibi kuvvet uygulanmış ve cisimlerin sırası ile  $x$ ,  $x$  ve  $2x$  yer değiştirmeleri sağlanmıştır. Ortamlarda sürtünme ihmal edildiğine göre cisimlerin bu yer değiştirme sonunda kazandıkları kinetik enerjiler arasında nasıl bir ilişki vardır?

### Çözüm 5

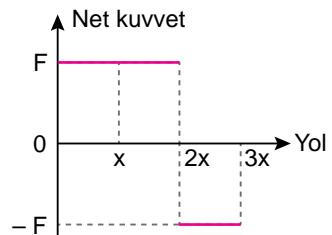
Ortam sürtünmesiz kabul edildiğinden yapılan işin tamamı kinetik enerjiye dönüşür. Bu durumda yapılan işler,

$$\text{I. durumda } W_1 = F \cdot x = E_{k1}$$

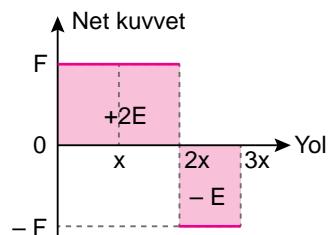
$$\text{II. durumda } W_2 = 2F \cdot x = E_{k2}$$

$$\text{III. durumda } W_3 = 2F \cdot 2x = 4F \cdot x = E_{k3} \text{ olur. Buna göre}$$

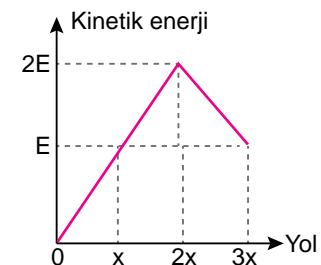
$$E_{k3} > E_{k2} > E_{k1} \text{ dir.}$$



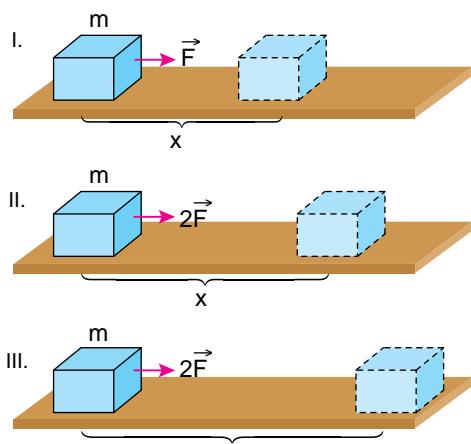
Grafik 1.6.4



Grafik 1.6.5



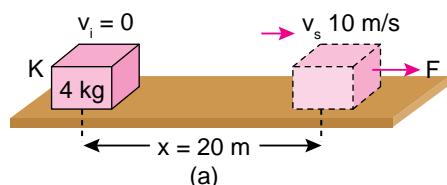
Grafik 1.6.6



Görsel 1.6.6

### Örnek 6

Görsel 1.6.7.a'da sürünlmelerin ihmal edildiği düzlemede durmakta olan 4 kg küteli K cismine yatay ve yola paralel F kuvveti uygulanıp 20 m yer değiştirmesi sağlandığında cismin hızı 10 m/s oluyor. Aynı F kuvveti Görsel 1.6.7.b'de sürünlmesiz düzlemede durmakta olan 2 kg küteli L cismine uygulandığında cismin hızının 10 m/s olduğu anda yer değiştirmesi kaç m olur?



### Çözüm 6

Yapılan iş kinetik enerjideki değişime eşit olduğundan,

$$W = \Delta E$$

$$F \cdot x = \frac{1}{2} m (v_s^2 - v_i^2)$$

$$F \cdot 20 = \frac{1}{2} 4 (10^2 - 0)$$

$$F = 10 \text{ N'dır.}$$

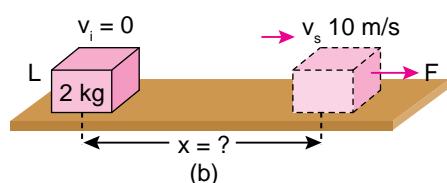
Aynı kuvvet 2 kg küteli cisme uygulanırsa yer değiştirmesi,

$$W = \Delta E$$

$$F \cdot x = \frac{1}{2} m (v_s^2 - v_i^2)$$

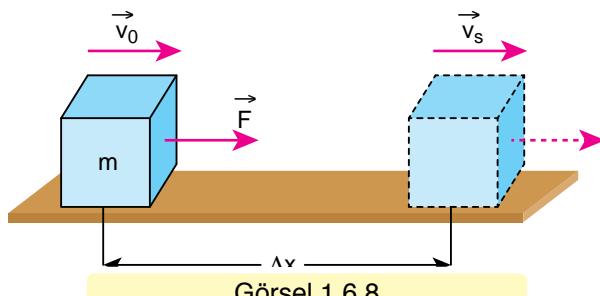
$$10 \cdot x = \frac{1}{2} 2 (10^2 - 0)$$

$$x = 10 \text{ m'dir.}$$



Görsel 1.6.7.a,b

### c) Yapılan İş ile Kinetik Enerji Arasındaki İlişki



Görsel 1.6.8

Sabit bir kuvvet Görsel 1.6.8'deki gibi  $m$  küteli cisme sürünlmesiz yatay düzlemede  $\Delta x$  yolu boyunca uygulansın. Bu süre içerisinde cismin  $v_0$  ilk hızı  $v_s$  son hız değerine ulaşırken cisim, ivmeli hareket yapar. Kuvvet sabit olduğu için cisim,  $\Delta x$  mesafesi boyunca sabit bir  $a = \frac{F}{m}$  ivmesi ile hareket edecektir ve hızı  $v_0$  dan  $v_s$  a kadar çıkacaktır.  $F$  kuvvetinin  $\Delta x$  mesafesi boyunca cismin üzerinde yaptığı toplam iş:

$$\Sigma W = F \cdot \Delta x = (m \cdot a) \cdot \Delta x \text{ olur.}$$

Cisim ilk hızsız düzgün hızlanan hareket yaptığından yer değiştirme,

$$\Delta x = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \text{ kadar olacaktır.}$$

$a = \frac{v_s - v_0}{t}$  (ivme tanımından) bu değerler iş bağıntısında yerine yazılırsa

$$\Sigma W = m \frac{v_s - v_0}{t} \cdot \frac{1}{2} (v_s + v_0) \cdot t = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

bulunur.

Yukarıdaki ifadede cismin  $F$  kuvveti uygulanmadan önceki  $v_0$  hızından dolayı sahip olduğu kinetik enerjiyi ve  $E_{k_i}$ ,  $F$  kuvvetinden sonra  $v_s$  hızından dolayı da sahip olduğu kinetik enerjiyi  $E_{k_s}$  ile gösterirsek bir cismin kinetik enerjisi de  $E_k = \frac{1}{2} m v^2$  olduğundan yapılan net iş, kinetik enerjideki değişimine eşittir:

$$\Sigma W = E_{k_s} - E_{k_i}$$

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

### Örnek 7

K noktasında durmakta olan 4 kg kütleli cisim,  $F$  kuvvetiyle sürüünmesi önemsiz yatay düzlemde itiliyor (Görsel 1.6.9).

Buna göre kuvvet cisme 100 m etki ettiğinde kinetik enerjisi kaç joule olur? ( $\cos 37^\circ = 0,8$ )

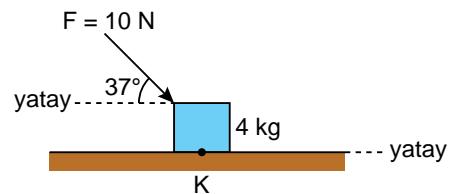
### Çözüm 7

$$F_x = F \cdot \cos \alpha = F \cdot \cos 37^\circ = 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ N}$$

$$W = F \cdot \Delta x = 8 \cdot 100 = 800 \text{ J}$$

$$\Sigma W = \Delta E_k$$

$v_i = 0$  olduğundan başlangıçtaki kinetik enerjisi sıfırdır. Bu na göre son kinetik enerjisi yapılan iş kadar yani 800 J'dür.



Görsel 1.6.9

### Örnek 8

$m = 2 \text{ kg}$  kütleli bir cisme etki eden net kuvvetin alınan yola bağlı grafiği şekilde verilmiştir (Grafik 1.6.7).

$x = 0$  konumundaki hızı  $1 \text{ m/s}$  olduğuna göre  $x = 8$  metrelık yol sonundaki hızı kaç  $\text{m/s}$ 'dir?

### Çözüm 8

Kuvvet-yol grafiğinin altındaki alan, yapılan işi vereceğinden,

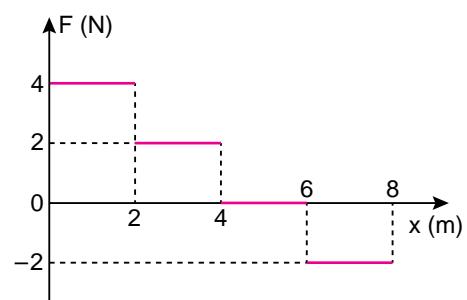
$$\Sigma W = W_1 + W_2 - W_3 \text{ olur.}$$

$$\Sigma W = 2 \cdot 4 + 2 \cdot 2 - 2 \cdot 2 = 8 \text{ J}$$

$$\Sigma W = \Delta E_k = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$8 = \frac{1}{2} 2 v_s^2 - \frac{1}{2} 2 \cdot 1^2$$

$$v_s = 3 \text{ m/s bulunur.}$$



Grafik 1.6.7

## 2. Esneklik Potansiyel Enerjisi

**Potansiyel enerji**, cisimlerin bulundukları fiziksel durumlardan ötürü depolandıkları kabul edilen enerjidir. Örneğin yükseğe kaldırılan bir cisim, barajlarda biriken su, sıkıştırılan veya gerilen yay, potansiyel enerji depolar.

Potansiyel enerji, çekim potansiyel enerjisi ve esneklik potansiyel enerji olmak üzere iki şekilde incelenir. 9. sınıfda çekim potansiyel enerjisini ve nasıl hesaplandığını öğrenmiştimiz. Bir cisim yerden daha yüksek bir noktaya kaldırıldığında yer çekimine karşı bir iş yapılır. Yapılan bu iş, cisimde enerji olarak depolanır ve cismin iş yapabilecek duruma gelmesine neden olur. Bu enerji, **çekim potansiyel enerjisidir**. Potansiyel enerji genel olarak " $E_p$ " ile gösterilir. Yeryüzünden h yüksekliğinde olan m kütlesine sahip olan bir cismin çekim potansiyel enerjisi,

$$E_p = m \cdot g \cdot h \text{ bağıntısı ile hesaplanır.}$$

Acaba esneklik potansiyel enerjisi nasıl hesaplanır? Gündelik yaşamımızda esneklik potansiyel enerjisi ile ilgili hangi örnekleri verebilirsiniz?

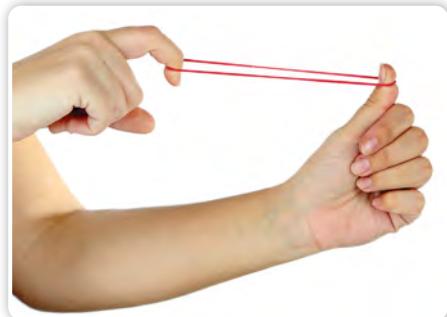
Çevremizde esneklik potansiyel enerjisine birçok örnek verilebilir. Örneğin bir paket lastiği Görsel 1.6.10'daki gibi parmaklar arasında gerilip sonra serbest bırakılırsa lastığın hızla ileri doğru fırladığı gözlemlenir. Paket lastiği gerilirken lastikte esneklik potansiyel enerjisi depolanır. Lastik serbest bırakıldığında bu enerji sayesinde ileri doğru fırlar. Görsel 1.6.11'deki kene benzer kurmalı oyuncaklar ve kurmalı saatler, içlerindeki yayların her kurmada sıkıştırılarak esneklik potansiyel enerjisinin depolanması sayesinde çalışır.

Sırıkla yüksek atlama yapan sporcu esneklik potansiyel enerjisi sayesinde atlayışlarını gerçekleştirir. Sporcu sırikla koşarken kinetik enerjisi vardır. Yüksek atlama sırasında sırik esnekle ve kinetik enerji sırikta esneklik potansiyel enerjiye dönüşür. Sırıkla yükselen sporcu, potansiyel enerji kazanır.

Şimdi, bir cismin sahip olacağı esneklik potansiyel enerjisini bir örnek üzerinde inceleyelim.

Görsel 1.6.12.a'daki gibi kütlesi ihmali edilebilen bir yay ve takoz düşünelim. Takoz sayesinde yay, Görsel 1.6.12.b'deki gibi sıkıştırılırsa yay-takoz sistemi bir potansiyel enerjiye sahip olur. Yayda depolanan, esneklik potansiyel enerjisidir. Yay, Görsel 1.6.12.c'deki gibi serbest bırakılırsa takoz ileri doğru itilir ve v hızı ile yaydan uzaklaşır.

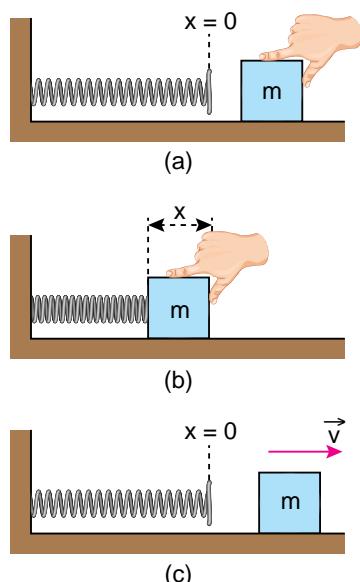
Bir sarmal yay sıkıştırıldığında ya da gerildiğinde yayda esneklik potansiyel enerjisi depolanır. Uygulanan kuvvetle bu enerji arasındaki ilişkiyi incelemek için Etkinlik 1'i yapalım.



Görsel 1.6.10: Gerilmiş paket lastiği



Görsel 1.6.11: Kurmalı oyuncak



Görsel 1.6.12.a, b, c: Sarmal yayın sıkıştırılması ve serbest bırakılması

## Etkinlik - 1

### Ne Kadar Uzar?

### Neler Kullanılır?

Yarıklı ağırlık takımı, döküm ayak, destek çubuğu, cetvel, sarmal yay (2 adet, farklı sertlikte), milimetrik kâğıt, bant

### Nasıl Yapılır?

1. Dörder-beşer kişilik gruplar oluşturunuz.
2. Verilen araç gereçlerle ağırlık takımını yayın ucuna asmadan Görsel 1.6.13'teki düzeneğe benzer bir düzenek kurunuz.
3. Verilerinizi kaydetmek için Çizelge 1.6.1'e benzer bir çizelge hazırlayınız.

Yayın Ucuna Asılı Kütle (kg)	1. Yaydaki Uzama Miktarı (m)	2. Yaydaki Uzama Miktarı (m)
0		
0,05		
0,1		
0,15		

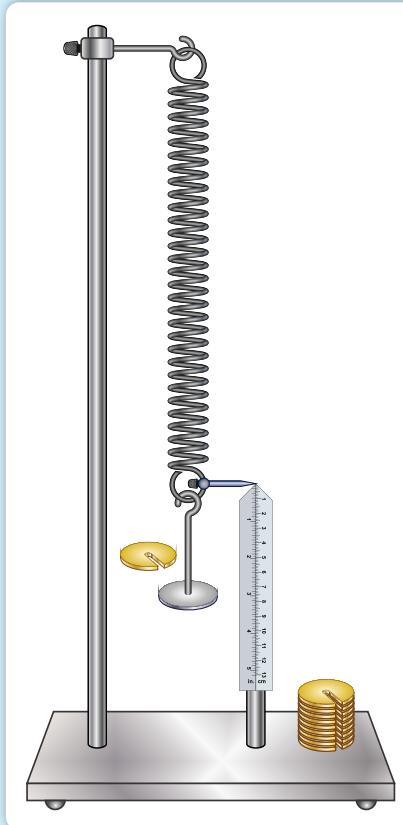
Çizelge 1.6.1

4. Yayın boyunu ölçünüz ve çizelgeye not ediniz.
5. Yayın ucuna sıra ile 50, 100 ve 150 g'lık kütleler asıp her seferinde yaydaki uzama miktarını cetvelden okuyarak Çizelge 1.6.1'e yazınız.
6. İkinci yayı kullanarak 5. adımda yaptıklarınızı tekrarlayınız.
7. Çizelge 1.6.1'deki verilerden yararlanarak yayın ucuna asılan kütle ile yayın uzama miktarı arasındaki grafiği her iki yay için ayrı ayrı milimetrik kâğıda çiziniz.

### Verileri Değerlendirme

1. Yayın ucuna asılan kütle miktarı ile yaydaki uzama miktarı arasında bir ilişki var mı?
2. Kütle-uzama miktarı arasında çizdiğiniz grafiği yorumlayınız. Kuvvet-uzama grafiğinin alanı ile yayda depolanan enerji arasında bir ilişki olabilir mi? Açıklayınız.

Kuvvetin cisimler üzerinde şekil değişikliği oluşturduğunu biliyoruz. Bu değişiklik kalıcı ya da geçici olabilir. Bir cam bardağın düşüp kırılması kalıcı bir şekil değişikliğidir. Oysa bir çelik yay çekilince uzar, bırakılınca ilk durumuna döner. Bu da geçici şekil değişikliğidir.



Görsel 1.6.13: Deney düzeneği

Kuvvet uygulanınca şekli değişen, kuvvet kaldırıldığında önceki durumuna dönebilen cisimlere **esnek cisimler** denir. Bu tür cisimlerdeki şekil değişikliği ile kuvvet arasında belirli bir ilişki vardır. Esnek maddelerin şekil değişiminin matematiksel kökeni, günümüzden yaklaşık 300 yıl kadar önce, İngiliz bilim insanı Robert Hooke'un (Rabırt Huk) yayların davranışını üzerine yaptığı bazı gözlemlerine dayanır (Görsel 1.6.14). Hooke yaptığı deneylerde, bir ucunu tavana astığı farklı uzunluktaki yayların diğer uçlarına aynı ağırlığa sahip yükler asarak yayları daki esneme miktarlarını ölçmüştür. Bulduğu sonuç ise oldukça ilginçtir: Yaylar her ne kadar farklı miktarlarda uzuyor gibi görünse de oluşan uzama miktarları yayların ilk uzunlukları ile oranlandığında bütün yayların aynı kuvvet karşısında aynı oranda uzadığı ortaya çıkmıştır. Örneğin 10 cm uzunluğundaki bir yayın ucuna 100 gramlık bir yük asıldığında uzunluğu 15 cm'ye çıkarken (yani toplam uzunluğu %50 artarken) 16 cm uzunluğundaki bir yayın ucuna aynı miktarda yük asıldığında toplam uzunluğu 24 cm'ye çıkıyor (Uzunluğu yine %50 artıyor.).

Esnek cisimlerin esneklik özelliği sınırsız değildir. Bir çelik tel, çekilince uzar. Kuvvet artırılınca uzama da artar. Fakat kuvvet sürekli artırılınca tel kopar. Buna **esneklik sınırının aşılması** adı verilir.

Görsel 1.6.15'teki gibi sarmal yayın ucuna asılan ağırlık arttıkça yayın boyundaki uzama da aynı oranda artar.

Esneklik sınırı aşılmamak koşulu ile esnek bir cismin şeklindeki değişikliğin miktarı, bu değişikliği yaratan kuvvetle doğru orantılıdır (Grafik 1.6.8).

Bu grafiğin eğimi hesaplanırsa yayın yay sabitini yani birim uzama başına düşen kuvveti bulunur ve  $k$  ile gösterilir.

$$\tan \alpha = \frac{F}{x} = k$$

Yayın ucuna uygulanan  $F$  kuvveti ile oluşan uzama miktarı arasındaki ilişki Hooke tarafından kendi adı ile anılan bir yasa ile ifade edilmiştir.

Hooke Yasası'na göre yay sıkıştırıldığında ya da gerildiğinde ilk konumuna dönmek için uygulanan kuvvette eşit ve zit yönde bir kuvvet uygular. Geri çağrırcı kuvvet olarak adlandırılan bu kuvvet,

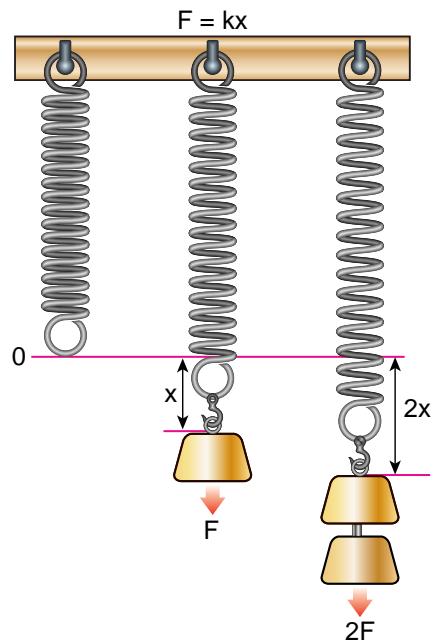
$$\vec{F} = -k \cdot \vec{x}$$

$\vec{x}$  bağıntısı ile hesaplanır.

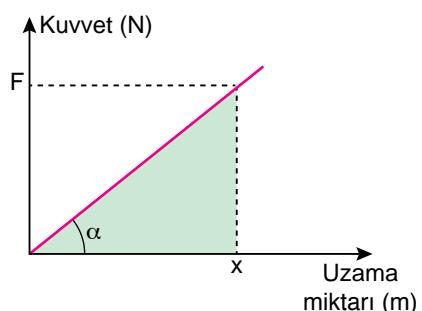
$k$ 'nın değeri yayın kalınlığı, uzunluğu ve yapıldığı malzemeye göre değişir. Aynı kalınlıktaki telden yapılmış ve aynı boydaki iki yaydan sarım çapı büyük olanın kuvvet sabiti küçük olur. Kalın telden yapılmış yayların kuvvet sabiti büyük, ince telden yapılmış yayların kuvvet sabiti ise küçük olur.



Görsel 1.6.14 Robert Hooke'un temsilî resmi



Görsel 1.6.15: Sarmal yaydaki uzamalar



Grafik 1.6.8: Yaydaki uzama miktarı ile kuvvet arasındaki ilişki

Kuvvet uzama miktarı arasındaki grafiğin altındaki alan yayda depolanan enerjiye eşittir.

İş yapılarak yaya potansiyel enerji depollanmış olur. Bir başka deyişle yapılan iş, yayın esneklik potansiyel enerjisine eşittir. Buna göre yapılan iş,

$$W = E_p = F \cdot \frac{x}{2} \text{ olur.}$$

Bu eşitlikte  $F$  yerine,  $F = k \cdot x$  yazılırsa  
yayın potansiyel enerjisi

$$E_p = \frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \text{ bağıntısı ile bulunur.}$$

Potansiyel enerji ile uzama miktarı arasında bir grafik çizilirse grafik parabol olur (Grafik 1.6.9).

Esneklik potansiyel enerjisine ait niceliklerin SI birim sistemindeki birim ve sembollerini, Tablo 1.6.1'de gösterilmiştir.

Yayı terazi ya da el kantarı denilen araç ile diğer kuvvet ölçen araçlar, sarmal yayın esneklik özelliğinden yararlanılarak yapılmıştır.

Bir sarmal yayın ucuna kuvvet uygulanarak sıkışması veya gerilmesi sağlandığında yayda potansiyel enerji depolandığını öğrendiniz. Birden fazla sarmal yay seri ya da paralel bağlanarak oluşturulan sistemlere de kuvvet uygandığında potansiyel enerji depolabilir. Görsel 1.6.16'daki yaylar seri bağlanmıştır. Sisteme  $m$  kütlesi sağlandığında yaylardaki uzama miktarı sırası ile  $x_1$  ve  $x_2$  dir. Yayların ağırlığı göz ardı edilirse yayların her birine aynı kuvvet etki eder. Buna göre

$$F = k \cdot x$$

$$x_1 = \frac{mg}{k_1}, x_2 = \frac{mg}{k_2}$$

Bu durumda toplam uzama miktarı,

$$\frac{mg}{k_{\text{es}}} = \frac{mg}{k_1} + \frac{mg}{k_2} \text{ olur.}$$

Buradan sistemin yay sabiti,

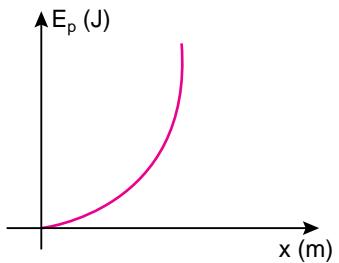
$$\frac{1}{k_{\text{es}}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} \text{ bulunur.}$$

Görsel 1.6.17'deki gibi paralel bağlanmış yaylara ayrı ayrı asılan kuvvetlerin toplamı  $mg$  kadardır. Yayların uzama miktarı eşit olacaktır. Bu durumda,

$$F = F_1 + F_2$$

$$k_{\text{es}} \cdot x = k_1 \cdot x + k_2 \cdot x$$

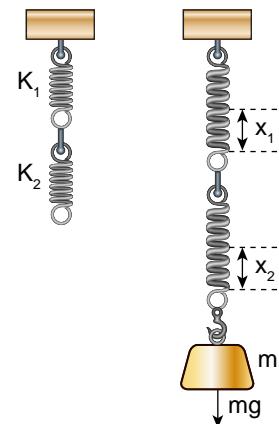
$$k_{\text{es}} = k_1 + k_2 \text{ bulunur.}$$



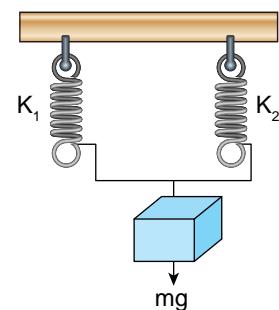
Grafik 1.6.9: Potansiyel enerji ile yaydaki uzama miktarı arasındaki ilişki

Nicelik	Sembol	Birim
Enerji	$E_p$	J
Uzanim	x	m
Yay sabiti	k	N/m

Tablo 1.6.1



Görsel 1.6.16



Görsel 1.6.17

### Örnek 9

Kuvvet-uzama grafiği, Grafik 1.6.10'daki gibi olan A ve B yaylarının,

- Yay sabitleri oranı  $k_A/k_B$  kaçtır?
- Her iki yay da 20 cm sıkıştırılırsa yayların potansiyel enerjilerinin oranı  $E_{PA}/E_{PB}$  ne olur?

### Çözüm 9

a. Kuvvet-sıkışma grafiğinin eğimi, yay sabitini verir (Grafik 1.6.11).

$$\tan \alpha = k_A = \frac{30}{0,3} = 100 \text{ N/m}$$

$$\tan \beta = k_B = \frac{30}{0,5} = 60 \text{ N/m}$$

$$\frac{k_A}{k_B} = \frac{100}{60} = \frac{5}{3} \text{ bulunur.}$$

b.  $E_{PA} = \frac{k_A \cdot x^2}{2}$

$$E_{PA} = \frac{100 \cdot (0,2)^2}{2}$$

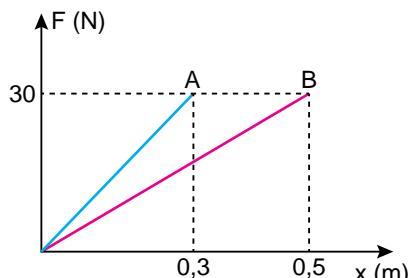
$$E_{PA} = 2 \text{ J}$$

$$E_{PB} = \frac{k_B \cdot x^2}{2}$$

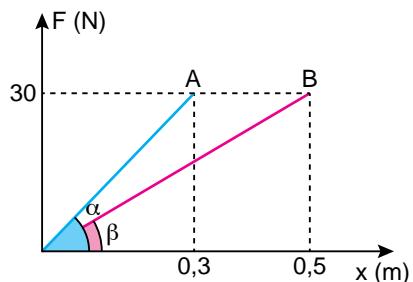
$$E_{PB} = \frac{60 \cdot (0,2)^2}{2}$$

$$E_{PB} = 1,2 \text{ J}$$

$$\frac{E_{PA}}{E_{PB}} = \frac{2}{1,2} = \frac{5}{3} \text{ bulunur.}$$



Grafik 1.6.10



Grafik 1.6.11

### Örnek 10

Görsel 1.6.18'deki gibi yaylardan kurulu düzenekler denede olup X, Y cisimleri özdeşdir. A sisteminde oluşan esneklik potansiyel enerji  $E_A$ , B sisteminde ise  $E_B$  dir.

Buna göre oranı  $\frac{E_A}{E_B}$  nedir?

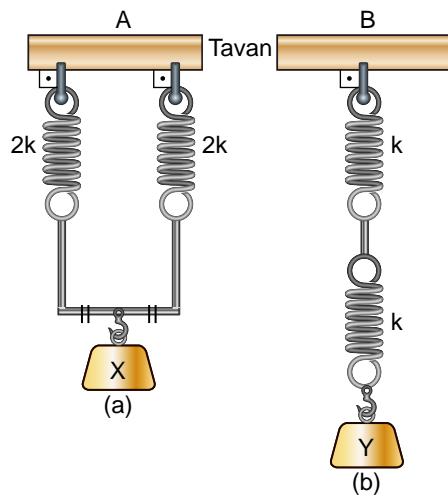
### Çözüm 10

Sistem A paralel bağlanmıştır. Yaylardaki uzama miktarları eşit olur. Yaylarda oluşan gerilme kuvvetlerinin toplamı ise  $mg$ 'dır.

$F = k \cdot x$  ifadesinden yayların toplam uzama miktarlarını bulmak için

$$k_{\text{es}(x)} = 2k + 2k = 4k$$

$$mg = 4k \cdot x_A \text{ ve } x_A = \frac{mg}{4k}$$



Görsel 1.6.18

A sisteminde depolanan enerji,

$$E_A = \frac{1}{2} k_{\text{es}(x)} \cdot X_A^2$$

$$E_A = \frac{1}{2} \cdot 4k \cdot \left(\frac{mg}{4k}\right)^2 = \frac{(mg)^2}{8k}$$

Sistem B seri bağlanmıştır. Yaylar özdeş olduğuna göre uzama miktarları eşittir.

$$\frac{1}{k_{\text{es}(Y)}} = \frac{1}{k} + \frac{1}{k} = \frac{2}{k}$$

$$k_{\text{es}(Y)} = \frac{k}{2}$$

$$mg = k_{\text{es}(Y)} \cdot X_B$$

$$mg = \frac{k}{2} \cdot X_B \text{ ve } X_B = \frac{2mg}{k}$$

B sisteminde depolanan enerji

$$E_B = \frac{1}{2} k_{\text{es}(Y)} \cdot X_B^2$$

$$E_B = \frac{1}{2} \cdot \frac{k}{2} \cdot \left(\frac{2mg}{k}\right)^2$$

$$E_B = \frac{(mg)^2}{k}$$

$$\frac{E_A}{E_B} = \frac{\frac{1}{8k}}{\frac{(mg)^2}{k}} = \frac{1}{8}$$
 bulunur.

### Örnek 11

Kütlesi 4 kg olan cisim Görsel 1.6.19'daki gibi sarmal yayın ucuna asıldığından yayı 0,04 m uzatmaktadır. Bu durumda yayda depolanan enerji 0,8 J'dür. Buna göre

- Yayın yay sabiti kaç N/m'dir?
- Yayın ucundaki kütle yarıya indirilirse yayda depolanan enerji kaç J olur?

### Çözüm 11

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

$$0,8 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot (0,04)^2$$

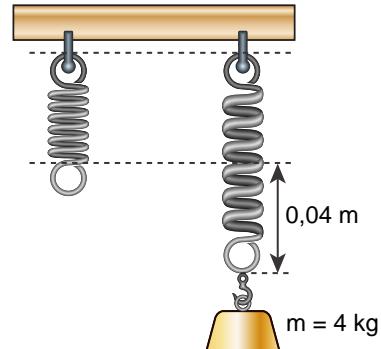
$$k = 1000 \text{ N/m}$$

- Kütle yarıya indirilirse yaydaki uzama miktarı da yarıya iner. Bu durumda yayda depolanan enerji

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

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot (0,02)^2$$

$$E_p = 0,2 \text{ J bulunur.}$$



Görsel 1.6.19

## Yer Çekimi Potansiyel Enerjisi

Bir cisim Görsel 1.6.20'deki gibi yerden belirli bir  $h$  yüksekliğine çıkarılırsa yer çekimine karşı bir iş yapılır ve yapılan iş varlıklar üzerinde enerji olarak depolanır. Daldaki elma, kitaplıktaki kitap, masanın üzerindeki vazo gibi varlıklar bulundukları konumdan dolayı yere göre bir enerjiye sahiptir. Yerden  $h$  yükseklikte tutulan Görsel 1.6.21'deki tuğla çivinin üzerine bırakılırsa tuğla çiviye değdiği andan itibaren çivi tahtanın içine gömülür. Bunun anlamı tuğlanın başlangıçta sahip olduğu enerji ile çivi üzerinde iş yapmasıdır. Varlıkların konumlarından dolayı sahip oldukları enerjiye **yer çekimi potansiyel enerjisi** denir.

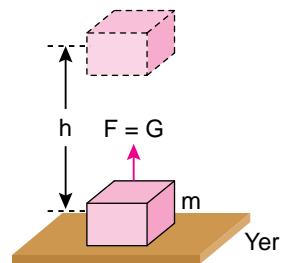
Bu enerji yer çekimi kuvvetinden kaynaklanır.  $m$  kütleli bir cismi yer seviyesinde  $h$  kadar yükseğe sabit hızla çıkarmak için yapılması gereken iş,

$$W = F \cdot h = mg \cdot h$$

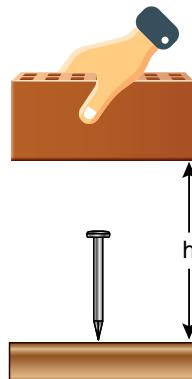
Yapılan işin enerji değişimine eşit olduğunu biliyoruz. Cism sabit hızla çıkarıldığı için kinetik enerji değişmemiştir. O hâlde yapılan iş, cismin potansiyel enerji değişimine eşittir. Bu na göre yerden  $h$  kadar yükseklikte cismin yere göre potansiyel enerjisi,

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

Burada  $h$  yüksekliği, cismin potansiyel enerjisi nereye göre soruluyorsa oraya olan yüksekliktir. Çekim potansiyel enerjisi belirtilen referans düzeyine göre belirlenir. Görsel 1.6.22.a,b'de cismin farklı frekans noktalarına göre çekim potansiyel enerjilerini belirleyelim.

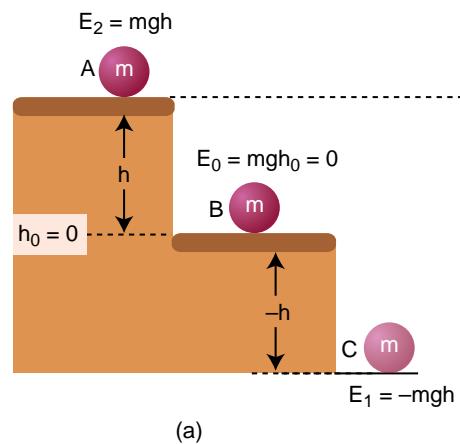


Görsel 1.6.20



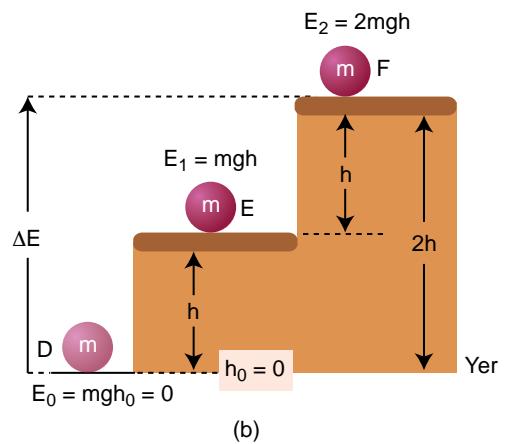
Görsel 1.6.21

Görsel 1.6.22.a'da referans noktası  $h$  yüksekliği olsun. Cisinin seçilen bu noktaya göre A, B ve C noktalarındaki çekim potansiyel enerjileri Görsel 1.6.22.a'daki gibi olur.



Görsel 1.6.22.a

Bu kez referans nokta Görsel 1.6.22.b'deki gibi yer seçilmiş olsun. Cismen D, E ve F noktalarındaki çekim potansiyel enerjileri Görsel 1.6.22.b'deki gibi olur.



Görsel 1.6.22.b

### 3. Mekanik Enerjinin Korunumu

Evrenin en temel yasalarından biri olan Enerjinin Korunuşu Yasası her zaman geçerliliğini sürdürür. Bu yasa “enerji” olarak isimlendirdiğimiz şeyin belirli bir miktarı olduğunu ve doğanın çeşitli değişimlerinde bu miktarın korunduğunu söyler. **Enerji Korunumu Yasası**, enerjinin ne yoktan yaratılabileceğini ne de varken yok edilebileceğini belirtir. Fakat enerji, bir formdan başka bir forma dönüşebilir. Bu, enerji korunumunun en basit tanımıdır. Bir sistemin toplam mekanik enerjisi, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olarak tanımlanır.

$$E = E_K + E_P$$

E: Sistemin toplam mekanik enerjisi

$E_K$ : Kinetik enerji

$E_P$ : Potansiyel enerji

Yerden  $h$  yükseklikteki kaydırının tepesinde Görsel 1.6.23'teki gibi oturan  $m$  kütleli çocuk hareketsiz olduğu için yalnızca yere göre  $E_P = m \cdot g \cdot h$  kadar potansiyel enerjiye sahiptir. Çocuk aşağıya doğru kaymaya başladığında yerden yüksekliği dolayısıyla da potansiyel enerjisi azalır. Havanın direnci ihmali edildiğinde çocuğun sahip olduğu potansiyel enerjinin bir kısmı kinetik enerjiye dönüşür. Çocuk yere ulaştığında potansiyel enerjinin tamamı kinetik enerjiye dönüşür. Kayma sırasında potansiyel enerjideki azalma kinetik enerjideki artışa eşit olduğundan hareket boyunca potansiyel ve kinetik enerjilerin toplamı sabit kalır. Bir sistemin enerjisi, mekanik Enerjinin Korunumu Yasası'na göre

$$E_{\text{ilk}} = E_{\text{son}}$$

$$E_{P(\text{ilk})} + E_{K(\text{ilk})} = E_{P(\text{son})} + E_{K(\text{son})}$$
 yazılabilir.

Yalnızca kütle çekim kuvvetlerinin etkisi altında olan veya sürtünme ve hava direnci gibi enerji kaybına yol açan kuvvetlerin bulunmadığı ya da yok sayılabilecek derecede küçük olduğu ideal bir sistemin mekanik enerjisi sabittir. Yani mekanik enerji korunur.

Şimdi, mekanik enerjinin korunumunu birkaç örnek üzerinde inceleyelim.



Görsel 1.6.23

### Örnek 12

Yerden yüksekliği 1 m olan masa üzerinde durmakta olan 10 kg kütleyeli saksının potansiyel enerjisini;

- masa seviyesine göre
- zemine göre
- kitap rafına göre hesaplayınız.

### Çözüm 12

Görsel 1.6.24'ten yararlanarak,

- Masa seviyesi saksı ile aynı konumdadır. Bu nedenle  $h = 0$  olur.

$g = 10 \text{ N/kg}$  alırsak saksının potansiyel enerjisi,

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

$$E_p = m \cdot g \cdot 0 = 0 \text{ olur.}$$

- Saksi yerden 1 m yükseltedir. Bu nedenle  $h = 1 \text{ m}$  olur. O hâlde saksının yere göre potansiyel enerjisi,

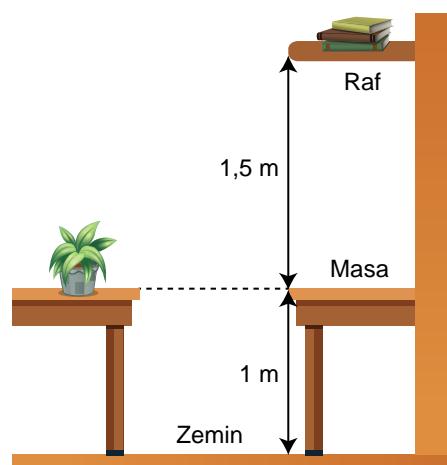
$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

$$E_p = 10 \cdot 10 \cdot 1 = 100 \text{ J olur.}$$

- Saksi raftan 1,5 m aşağıdadır. Bu nedenle  $h = -1,5 \text{ m}$  olur. O hâlde saksının rafa göre potansiyel enerjisi,

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

$$E_p = 10 \cdot 10 \cdot (-1,5) = -150 \text{ J olur.}$$

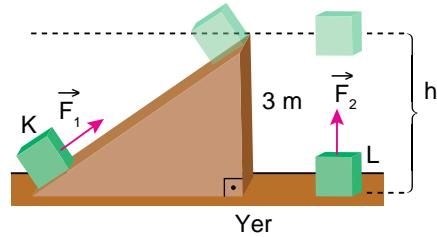


Görsel 1.6.24

### Örnek 13

Aynı ağırlıktaki K ve L cisimleri, Görsel 1.6.25'teki konumlardan,  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetlerinin etkisinde, sabit hızlarla  $h$  yüksekliğine çıkarılıyor.

- K ve L cisimlerinin  $h$  yüksekliğinde yer çekimi potansiyel enerjilerini,
- $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetinin yer çekimi kuvvetine karşı yaptıkları işleri karşılaştırınız.



Görsel 1.6.25

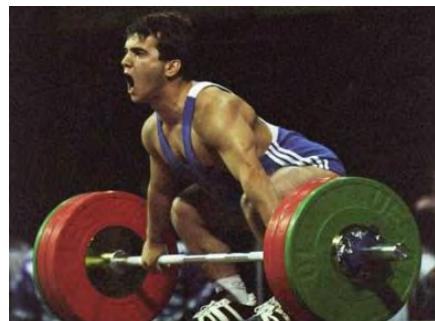
### Çözüm 13

- $E_p = m \cdot g \cdot h$  bağıntısına göre cisimlerin ağırlıkları ve  $h$  yükseklikleri eşit olduğundan yer çekimi potansiyel enerjileri de eşittir.

- Cisimler  $h$  yüksekliğine çıkarıldığında cisimlerin sahip olduğu yer çekimi potansiyel enerjisi, yer çekimine karşı yapılan işe eşit olduğundan  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetinin yaptıkları işler de eşittir.

### Örnek 14

Spor tarihimizde güreşten sonra olimpiyatlarda ülkemize ilk altın madalyayı halterde kazandıran Naim Süleymanoğlu'dur (Görsel 1.6.26) Sporcumuz 1988 yılında "Seul Olimpiyatları"nda koparmada 200 kg kaldırarak dünya rekoru kırmıştır. Naim Süleymanoğlu'nun 200 kg'lık halteri yerden yaklaşık 180 cm yüksekliğe kaldırması için yer çekimi kuvvetine karşı yaptığı iş kaç J'dür? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



Görsel 1.6.26

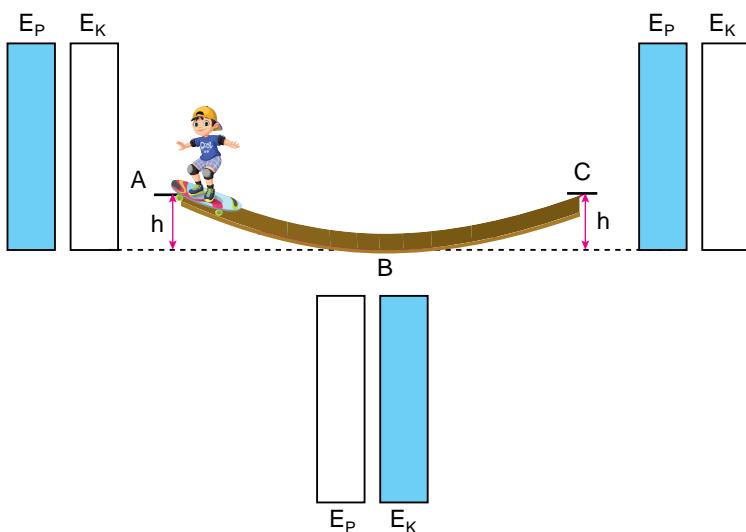
### Çözüm 14

Sporcunun halteri yerden 180 cm yükseğe kaldırırken yer çekimine karşı yaptığı iş,

$$W = m \cdot g \cdot h \text{ dir.}$$

$$W = m \cdot g \cdot h \rightarrow W = 200 \cdot 10 \cdot 1,8 \rightarrow W = 3600 \text{ J olur.}$$

Görsel 1.6.27'deki kaykayçının hareket ettiği zeminin sürtünmesiz olduğunu varsayıyalım. Kaykayçı A noktasından harekete başladığında A ve C noktaları arasında kaykayçının kinetik ve potansiyel enerjisi sürekli birbirine dönüşür. Kaykayçının B noktasındaki hızı en büyük ve yerden yüksekliği en az olduğu için kinetik enerjisi maksimum, potansiyel enerjisi ise minimum değerdedir. Kaykayçının hızı A ve C noktalarında sıfırdır. Bu noktalarda kaykayçının yerden yüksekliği en büyütür. Bundan dolayı A ve C noktalarında kinetik enerji minimum, potansiyel enerji ise maksimumdur.



Görsel 1.6.27: Kaykayçının hareketindeki enerji dönüşümleri

Görsel 1.6.28'deki basketbol topu yukarıya doğru A noktasından atılmış olsun. Top belirli bir hızla atıldığından A noktasında yalnızca kinetik enerjisi vardır. Top yükselirken hızı azalacağından kinetik enerjisi de azalır.

Topun yerden yüksekliği artacağından potansiyel enerjisi de artar. Top C noktasına ulaştığında yerden maksimum yüksekliğe ulaşmış olur. Bu durumda topun yalnızca potansiyel enerjisi vardır. Top, alçalırken hızı artacağından kinetik enerjisi de artar. Topun yerden yüksekliği azalacağından potansiyel enerjisi azalır. Top atıldığı hızla tekrar yere çarpacağında kinetik enerjisi maksimum, potansiyel enerjisi sıfırdır.

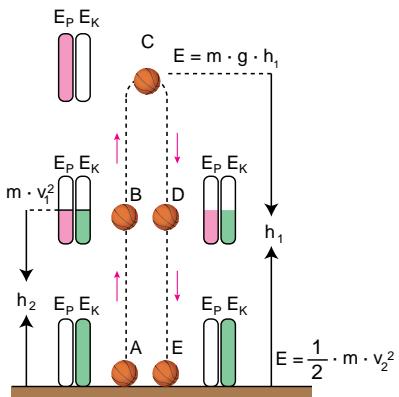
### Örnek 15

Görsel 1.6.29'da 1 kg'lık top  $v_0 = 20 \text{ m/s}$  ilk hızla yukarıya doğru düşey olarak atılıyor. Topun,

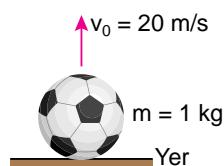
a. Hızı 10 m/s olduğu anda yerden yüksekliği kaç metredir?

b. Çıkabileceği maksimum yükseklik kaç metredir?

(Sürtünmeler ihmal ediliyor.)



Görsel 1.6.28: Topun hareketindeki enerji dönüşümleri



Görsel 1.6.29

### Çözüm 15

a. Top, hızı 10 m/s olduğu anda L noktasında bulunsun (Görsel 1.6.30). Enerjinin korunumuna göre topun K ve L koordinatlarındaki toplam enerjilerinin eşitliği yazılırsa

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

$$\frac{1}{2} m v_0^2 + 0 = \frac{1}{2} m v^2 + m \cdot g \cdot h \text{ elde edilir.}$$

Bilinen değerler yerine yazılırsa

$$\frac{1}{2} 1 \cdot 20^2 = \frac{1}{2} 1 \cdot 10^2 + 1 \cdot 10 \cdot h$$

$$200 = 50 + 10 \cdot h$$

$$h = 15 \text{ m bulunur.}$$

b. Top, M noktasında maksimum yüksekliğe ulaşmış olsun. K noktasındaki kinetik enerjisini tamamı M noktasında potansiyel enerjiye dönüştürmüştür.

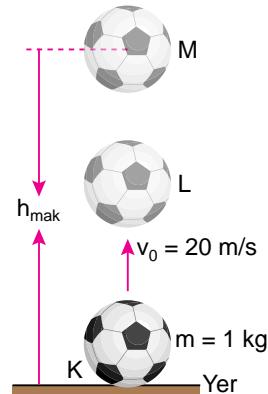
$$E_{k1} = E_{p2}$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v^2 = m \cdot g \cdot h_{\text{mak}}$$

$$\frac{1}{2} 1 \cdot 20^2 = 1 \cdot 10 \cdot h_{\text{mak}}$$

$$200 = 10 h_{\text{mak}}$$

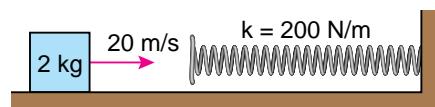
$$h_{\text{mak}} = 20 \text{ m bulunur.}$$



Görsel 1.6.30

### Örnek 16

2 kg kütleyeli tahta blok 20 m/s hızla Görsel 1.6.31'deki gibi yaya çarpıyor. Sürtünmeler ihmali edildiğine göre takozun hızı 10 m/s olunca yay kaç m sıkışmış olur?



Görsel 1.6.31

### Çözüm 16

Başlangıçta takozun kinetik enerjisi vardır. Bu durumda enerjisi  $E_{k_1}$  olsun.

$$E_{k_1} = \frac{1}{2} m v_1^2 \Rightarrow E_{k_1} = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 20^2 \Rightarrow E_{k_1} = 400 \text{ J}$$

Takozun sahip olduğu bu kinetik enerji yaya temas ettiği anda sürtünmeler ihmali edildiğinde yayda potansiyel enerjiye dönüşmeye başlar. Takozun hızı 10 m/s'ye düştüğünde yay bir miktar sıkıştıından toplam enerji, takozun kinetik enerjisi ile yayın potansiyel enerjisinin toplamıdır. Mekanik enerjinin korunumuna göre bu toplam enerji başlangıçtaki  $E_{k_1}$  e eşittir.

$$E_{k_1} = E_{k_2} + E_p$$

$$400 = \frac{1}{2} m \cdot v_2^2 + \frac{1}{2} k \cdot x^2$$

$$400 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 10^2 + \frac{1}{2} \cdot 200 \cdot x^2$$

$$400 = 100 + 100 x^2$$

$$x^2 = 3 \rightarrow x = \sqrt{3} \text{ m bulunur.}$$

### Örnek 17

Görsel 1.6.32'de yer alan elma ağacındaki elmanın yerden yüksekliği 1,8 m ve elmanın kütlesi 0,25 kg'dır. Elma 0,5 m/s hızla yere çarptığına göre hava sürtünmesinden dolayı ısiya dönüsen enerji kaç J'dür?

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

### Çözüm 17

Elma, dalında iken potansiyel enerjisi vardır. Bu enerji,

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

$$E_p = 0,25 \cdot 10 \cdot 1,8 = 4,5 \text{ J olarak bulunur.}$$

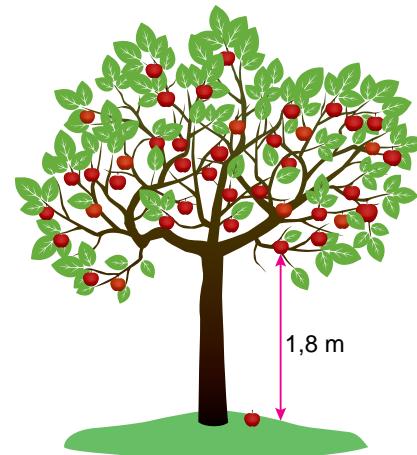
Elma yere çarptığında sürtünme olmasaydı potansiyel enerjinin tamamı kinetik enerjiye dönüşecekti. Sürtünme olduğundan potansiyel enerjinin bir kısmı ısiya dönüşür. Bu durumda enerjinin korunumu yazılırsa

$$E_p = E_k + E_{is}$$

$$4,5 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + E_{is}$$

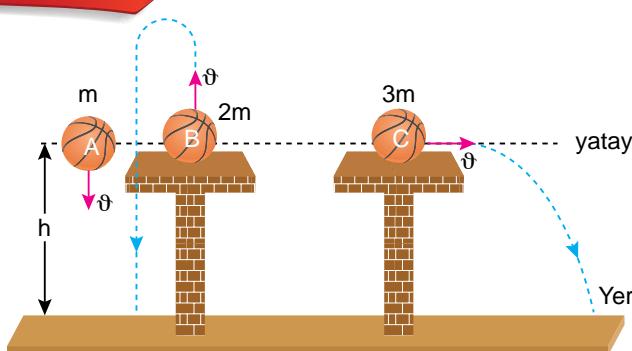
$$4,5 = \frac{1}{2} \cdot 0,25 \cdot 0,5^2 + E_{is}$$

$$E_{is} \approx 4,47 \text{ J bulunur.}$$



Görsel 1.6.32

### Örnek 18



Görsel 1.6.33

Hava direncinin önemsenmediği ortamda Görsel 1.6.33'teki gibi atılan A, B ve C toplarının yere çarptıkları anda kinetik enerjilerinin büyüklükleri arasında nasıl bir ilişki vardır?

### Çözüm 18

Her üç topun da atıldıkları anda hızlarından dolayı kinetik enerjileri, yerden belirli yükseklikte olduklarıdan yere göre potansiyel enerjileri vardır. Mekanik enerjinin korunumuna göre sürtünmeler ihmal edildiğinde topların başlangıçtaki enerjilerinin toplamı yere çarptıkları andaki enerjileri toplamına eşit olmalıdır. Buna göre

$$A \text{ topu için } E_A = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

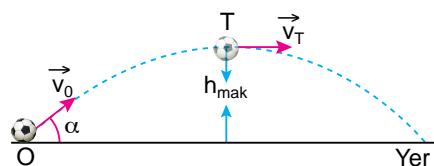
$$B \text{ topu için } E_B = 2 m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot 2 m \cdot v^2$$

$$C \text{ topu için } E_C = 3 m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot 3 m \cdot v^2$$

$E_C > E_B > E_A$  bulunur.

### Örnek 19

Görsel 1.6.34'teki top yatayla  $\alpha$  açısı yapacak şekilde  $v_0$  hızı ile atılıyor. Topun O noktasındaki kinetik enerjisi  $9E$ , T noktasındaki kinetik enerjisi E ise  $\frac{v_0}{v_T}$  oranı kaçtır?



Görsel 1.6.34

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ idi,}$$

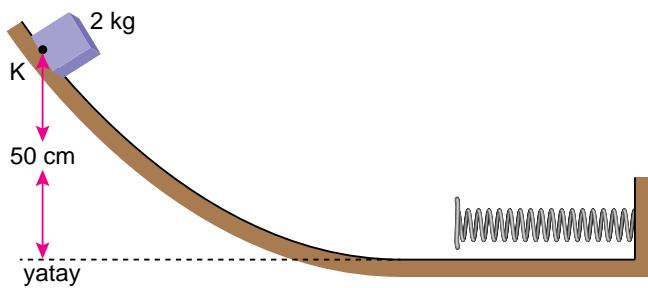
$$O \text{ noktası için } E = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 \Rightarrow 9E = \frac{1}{2} m \cdot v_0^2$$

$$T \text{ noktası için } E = \frac{1}{2} m \cdot v_T^2 \text{ olur. Buradan}$$

$$9 \frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = \frac{1}{2} m \cdot v_T^2$$

$$9v_0^2 = v_T^2 \Rightarrow \frac{v_0}{v_T} = 3 \text{ bulunur.}$$

### Örnek 20



Görsel 1.6.35

Görsel 1.6.35'de sürtünmesi önemsiz düzeneğin K noktasından serbest bırakılan 2 kg kütleli cisim, esnek yayı maksimum 20 cm sıkıştırıyor.

Buna göre yay sabiti kaç N/m'dir? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

### Çözüm 20

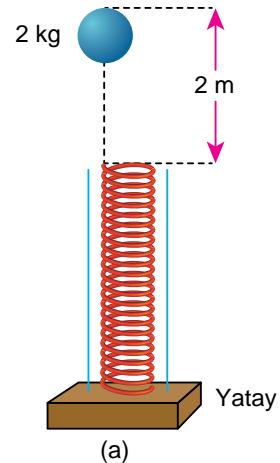
Cismin başlangıcındaki yatay eksene göre olan potansiyel enerjisi, yay potansiyel enerjisine dönüşür.

$$E_P = E_{\text{yay}}$$

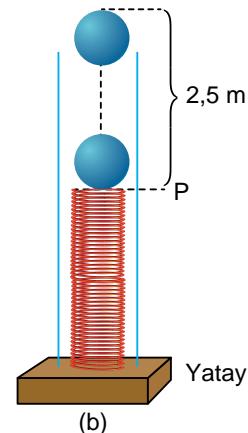
$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} k \cdot x^2 \quad (20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}; 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m})$$

$$2 \cdot 10 \cdot 0,5 = \frac{1}{2} k(0,2)^2$$

$$\frac{20}{0,04} = k \Rightarrow k = 500 \text{ N/m} \text{ bulunur.}$$



(a)



Görsel 1.6.36.a,b

### Örnek 21

2 kg kütleli cisim, hava sürtünmesinin önemsenmediği ortamda esnek yayın 2 m üzerinden Görsel 1.6.36.a'daki gibi serbest bırakılıyor.

Yay maksimum 50 cm sıkışlığına göre yay sabiti kaç N/m'dir? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

### Çözüm 21

Cisim yayı Görsel 1.6.36.b'deki gibi P seviyesine kadar sıkıştırılmış olsun. Cismin başlangıçtaki çekim potansiyel enerjisinin tamamı yayda esneklik potansiyel enerjisine dönüşür.

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} k \cdot x^2$$

$$2 \cdot 10 \cdot 2,5 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^2$$

$$(50 \text{ cm} = \frac{1}{2} \text{ m})$$

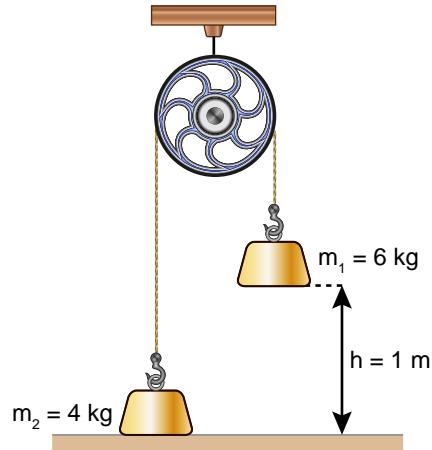
$$50 = \frac{1}{8} k$$

$$k = 400 \text{ N/m}$$

$$k = 400 \text{ N/m}$$

### Örnek 22

Görsel 1.6.37'deki sistem sürtünmesizdir. Sistem serbest bırakıldığında  $m_1$  kütlesi kaç m/s hızla yere çarpar?  
( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )



Görsel 1.6.37

### Çözüm 22

Sistemin serbest bırakılmadan önceki toplam enerjisi  $m_1$  kütlesinin sahip olduğu potansiyel enerjidir.

$$E_P = E_1 = m_1 \cdot g \cdot h$$

$$E_P = 6 \cdot 10 \cdot 1 = 60 \text{ J}$$

Hareket başladıkta sonra  $m_1$  kütlesi yere deðdiği anda her iki cismin kinetik enerjileri ve  $m_2$  kütlesinin potansiyel enerjisi vardır. Enerjinin Korunumu Yasası'na göre

$$E_1 = \frac{1}{2} m_1 \cdot v^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot v^2 + m_2 \cdot g \cdot h \text{ yazılabilir.}$$

$$60 = \frac{1}{2} \cdot 6 \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot v^2 + 4 \cdot 10 \cdot 1$$

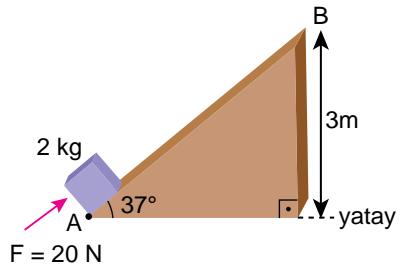
$$v = 2 \text{ m/s olur.}$$

### Örnek 23

A noktasında durmakta olan 2 kg kütleyeli cisim 20 N'lık F kuvveti Görsel 1.6.38'deki gibi eğik düzleme paralel olarak uygulanmaktadır. Cisim B noktasına ulaştığında,

- a. F kuvvetinin yaptığı iş kaç J'dür?
- b. Potansiyel enerjisi kaç J olur?
- c. Kinetik enerjisi kaç J olur?
- ç. Mekanik enerjisi kaç J'dür?
- d. Hızı kaç m/s olur?

( $g = 10 \text{ m/s}^2$  ve  $\sin 37^\circ = 0,6$ ) (Sürtünmeler önemsizdir.)



Görsel 1.6.38

### Çözüm 23

- a. Cisim A noktasından B noktasına ulaştığında F kuvvetinin yaptığı iş,

$$W = F \cdot x$$

$$3 = x \cdot \sin 37^\circ \rightarrow x = 3 / 0,6 = 5 \text{ m}$$

$$W = 20 \cdot 5 = 100 \text{ J bulunur.}$$

- b.  $E_P = m \cdot g \cdot h$

$$E_P = 2 \cdot 10 \cdot 3 = 60 \text{ J}$$

- c. Cisim A noktasından B noktasına ulaştığında F kuvvetinin yaptığı iş, kinetik enerji ve potansiyel enerjiye dönüşür. Cismin mekanik enerjisi korunacağından kinetik enerjisi,

$$W = E_P + E_k$$

$$100 = 60 + E_k \rightarrow E_k = 40 \text{ J olur.}$$

- ç. Yapılan iş mekanik enerjiye eşit olduğundan,

$$W = E_M = 100 \text{ J'dür.}$$

- d. Cismin B noktasındaki hızı,

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

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot v^2 \rightarrow v = 2\sqrt{10} \text{ m/s olur.}$$

### Örnek 24

Başlangıçta yan yana olan Görsel 1.6.39'da m ve 2m küteli K ve L cisimleri serbest bırakılıyor. Kütleler arası uzaklık 2h olduğunda K cisminin hızını bulunuz. (Sürtünmeler ihmal ediliyor.)



Görsel 1.6.39

### Çözüm 24

Sistem serbest bırakıldığında Görsel 1.6.40'daki gibi K cismi yükselirken L cismi aşağı iner. L cisminin kaybettiği potansiyel enerji K cismine kinetik ve potansiyel enerji kazandırırken L'ye de kinetik enerji olarak aktarılır.

K ve L cisimlerinin hız büyüklükleri aynıdır.

$$K \text{ cisminin kinetik enerjisi } E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 = E \text{ ise}$$

$$L \text{ cisminin kinetik enerjisi } E_L = \frac{1}{2} \cdot 2m \cdot v^2 = 2E \text{ dir.}$$

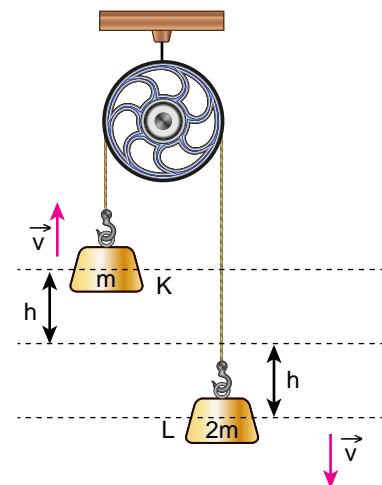
Bu durumda,

$$2m \cdot g \cdot h = m \cdot g \cdot h + E + 2E$$

$$m \cdot g \cdot h = 3E$$

$$E = \frac{m \cdot g \cdot h}{3} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v^2 = \frac{2g \cdot h}{3} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2g \cdot h}{3}} \text{ bulunur.}$$



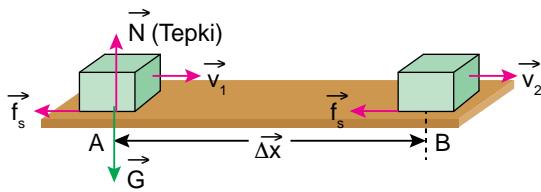
Görsel 1.6.40

### 4. Sürtünme Kuvvetinin Yaptığı İş

Sürtünmelerin olmadığı ideal ortamlarda, dış kuvvetlerin yaptığı iş, cisimlerin ya da sistemlerin enerjilerindeki değişimlere eşit olur. Sürtünme kuvvetlerinin etkin olduğu durumlarda, sürtünme kuvvetleri de iş yapar. Sürtünme kuvvetlerinin yaptığı iş, her zaman cisim ya da sistemlerin enerjilerini azaltır.

Sürtünme kuvveti hareketi engelleyici özelliği olduğu için cisimlerin mekanik enerjilerini azaltıcı etki yapar. Azalan mekanik enerji kadar enerji, ısuya dönüşür. Bundan dolayı sürtünmeli yüzeylerde hareket eden sistemler ısınır. Örneğin hareket hâlindeyken yeni park etmiş bir otomobilin tekerleklerine dokunulursa sıcak olduğu hissedilir.

Sürtünmeden dolayı ısuya dönüslen enerji iki yoldan bulunur.



Görsel 1.6.41

1. Görsel 1.6.41'de A noktasında  $\vec{v}_1$  hızı ile geçen cismin bu noktadaki enerjisi  $E_1$  olsun. Ortam sürtünmeli olduğundan cismin B noktasındaki hızı, dolayısıyla enerjisi azalır. Cismin B noktasındaki hızına  $\vec{v}_2$ , enerjisine  $E_2$  diyalim. A ve B noktaları arasında cismin enerjileri arasındaki fark sürtünme kuvvetinden dolayı ısya dönüßen enerjiye eşittir.

$$E_{\text{ISI}} = E_1 - E_2 \text{ bağıntısı ile hesaplanır.}$$

2. Eğer cisim sürtünmeli bir yüzey üzerinde hareket ederse cisme hareket yönünün tersi yönde bir sürtünme kuvveti ( $F_s$ ) etki eder. Bu durumda sürtünme kuvveti de iş yapar. İlk ve son durumda mekanik enerjiler bilinmiyor fakat sürtünme kuvveti ile yer değiştirme biliniyorsa ısya dönüßen enerji sürtünme kuvvetinin yaptığı işe eşit olur.  $\Delta_x$  yolu boyunca sürtünme kuvvetinin yaptığı iş,

$$E_{\text{ISI}} = W = f_s \cdot \Delta x \text{ dir.}$$

Sürtünme kuvvetinin yüzeyin cisme gösterdiği tepki kuvveti ile doğru orantılı ve yüzeyin cinsine yani sürtünme katsayısına bağlı olduğunu öğrendiniz. Hareket hâlindeki bir cisme uygulanan sürtünme kuvveti  $f_s = k \cdot N$  bağıntısından bulunur.

Cisim Görsel 1.6.41'deki gibi yatay ve sürtünmeli yüzeyde durmakta ise yola paralel sabit  $F$  kuvveti uygulandığında hem  $F$  kuvveti hem de  $f_s$  kuvveti iş yapar. Cismin hareketi yönünde uygulanan  $F$  kuvvetinin yaptığı iş cismin kinetik enerjisini artırır. Cismin hareketine zıt yönlü sürtünme kuvvetinin yaptığı iş, cismin kinetik enerjisinin azalmasına neden olur. Bu durumda net kuvvetin yaptığı iş,

$$W_{\text{net}} = F_{\text{net}} \cdot x = (F - f_s) \cdot \Delta x \text{ olur.}$$

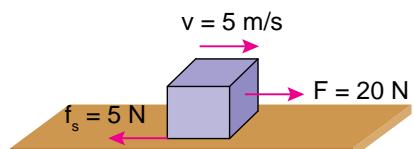
### Örnek 25

Yatay düzlemede Görsel 1.6.42'deki gibi 5 m/s'lik hızla hareket eden 2 kg kütleli bir cisim 20 N'lık sabit bir kuvvet hareket yönünde uygulanmaya başlıyor.

Cisimle yüzey arasındaki sürtünme kuvveti sabit ve 5 N olduğuna göre cismin 5 m'lik yer değiştirmesi sırasında,

a. Sürtünme kuvvetinin yaptığı işi bulunuz.

b. Cismin ulaştığı hızı bulunuz.



Görsel 1.6.42

### Çözüm 25

a. Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş;

$$W_s = f_s \cdot \Delta x = 5.5 = 25 \text{ J olur.}$$

b. Cisim üzerinde yapılan işlerle, cismin kinetik enerji değişimi arasındaki ilişki kullanılarak son hız;

$$\Delta E_k = W_{\text{dış}} - W_s$$

$$E_{k_2} - E_{k_1} = F \cdot \Delta x - W_s$$

$$\frac{1}{2} m \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = F \cdot \Delta x - W_s$$

$$\frac{1}{2} 2 \cdot v_2^2 - \frac{1}{2} 2.5^2 = 20 \cdot 5 - 25$$

$$v_2^2 - 25 = 75$$

$$v_2^2 = 100$$

$$v_2 = 10 \text{ m/s olur.}$$

### Örnek 26

A noktasında hızı  $10 \text{ m/s}$  olan cisim  $\Delta x$  kadar yer değiştirerek B noktasında duruyor (Görsel 1.6.43). Cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısı  $0,2$  ise cisim kaç m yer değiştirdikten sonra durmuştur? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

### Çözüm 26

Cisim A noktasında kinetik enerjiye sahiptir. Sistemde sürtünme kuvvetinden başka kuvvet olmadığına göre cisim sahip olduğu kinetik enerji, sürtünme kuvvetinin yaptığı işe dönüşür.

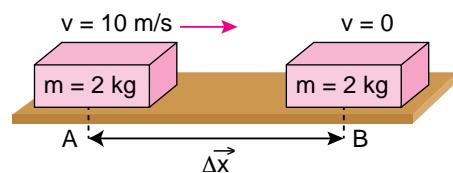
$$W = \Delta E_k$$

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

$$- F_s \cdot \Delta x = \frac{1}{2} m (v_{\text{son}}^2 - v_{\text{ilk}}^2)$$

$$- k \cdot m \cdot g \cdot \Delta x = \frac{1}{2} \cdot 2(0 - 10^2)$$

$$- 0,2 \cdot 2 \cdot 10 \Delta x = - 100 \rightarrow \Delta x = 25 \text{ m'dir.}$$

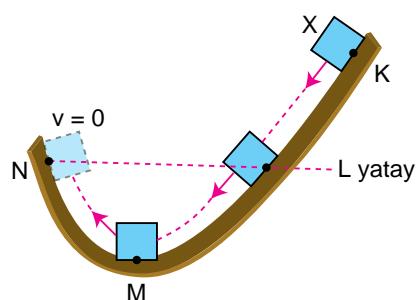


Görsel 1.6.43

### Örnek 27

Düşey kesiti Görsel 1.6.44'te verilen yolun K, L, M noktalarından  $E_K$ ,  $E_L$ ,  $E_M$  kinetik enerjileriyle ayrı ayrı atılan bir X cismi her defasında N noktasına kadar çıkabiliyor.

Yolun yalnız MN arası sürtünmeli olduğuna göre  $E_K$ ,  $E_L$ ,  $E_M$  arasındaki ilişki nedir? (Cisme uygulanan sürtünme kuvveti sabittir.)



Görsel 1.6.44

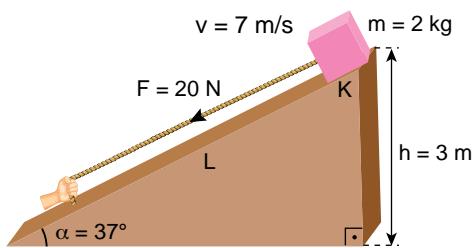
### Çözüm 27

Cisim M noktasına geldikten sonra sahip olduğu kinetik enerjisini bir kısmı MN arasında ısiya dönüşürken geri kalanı da potansiyel enerjiye dönüştür. Dolayısıyla cismin M noktasındaki kinetik enerjisi her defasında eşit olmak zorundadır. X cismi K ve L noktalarından serbest bırakılınca M noktasına gelirken kinetik enerji kazanır. O hâlde atıldığı andaki kinetik enerji M'den atıldığındaki kinetik enerjisinden küçük olmak zorundadır.

Benzer şekilde, K'den atıldığından L'dekine göre kinetik enerjisi küçük olmalı ki M'deki kinetik enerjiler eşitlensin. Buna göre atılma anlarındaki kinetik enerjiler arasında  $E_K < E_L < E_M$  ilişkisi vardır.

### Örnek 28

Görsel 1.6.45'teki eğik düzlem sürtünmeli olup cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısı 0,5'tir. Eğik düzlemin K noktasının hızı 7 m/s olan cisme 20 N'lık sabit kuvvet K noktasından L noktasına kadar uygulanıyor. Buna göre cismin L noktasındaki hızı kaç m/s olur? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$  ve  $\sin 37^\circ = 0,6$ ;  $\cos 37^\circ = 0,8$ )



Görsel 1.6.45

### Çözüm 28

Cisme etki eden kuvvetler Görsel 1.6.46'daki gibidir. Net kuvvetin yapacağı iş sistemin kinetik enerjisinin değişimine eşittir.

$$F^I = m \cdot g \cdot \sin 37^\circ$$

$$F^I = 2 \cdot 10 \cdot 0,6$$

$$F^I = 12 \text{ N}$$

$$f_s = k \cdot m \cdot g \cdot \cos 37^\circ = 0,5 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 0,8 = 8 \text{ N}$$

$$\sin 37^\circ = \frac{h}{\Delta x} \rightarrow 0,6 = \frac{3}{\Delta x} \rightarrow \Delta x = 5 \text{ m}$$

$$F_{\text{net}} = (F^I + F) - f_s$$

$$F_{\text{net}} = 12 + 20 - 8$$

$$F_{\text{net}} = 24 \text{ N}$$

Yapılan iş kinetik enerjideki değişimine eşittir.

$$W = \Delta E_K$$

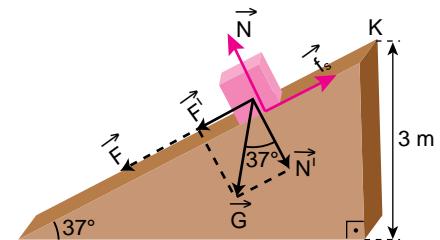
$$F_{\text{net}} \cdot \Delta x = \frac{1}{2} m (v_L^2 - v_K^2)$$

$$24 \cdot 5 = \frac{1}{2} \cdot 2 (v_L^2 - 7^2)$$

$$120 = v_L^2 - 49$$

$$v_L^2 = 169$$

$$v_L = 13 \text{ m/s} \text{ bulunur.}$$

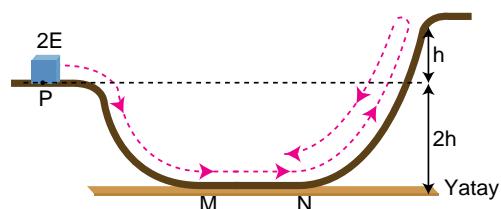


Görsel 1.6.46

### Örnek 29

Düşey kesiti Görsel 1.6.47'de verilen yolun yalnız MN bölümü sürtünmeliydi. P noktasından  $2E$  kinetik enerjisiyle geçen  $m$  küteli cisim T noktasına kadar çıkış geri dönerek M noktasında duruyor.

Buna göre cismin E kinetik enerjisi kaç  $mgh$  dir? ( $g$ : yer çekim ivmesidir.)



Görsel 1.6.47

### Çözüm 29

P noktasından T'ye giderken ısıya dönüşen enerjiye  $W_{ISI}$  diyalim. Enerji konumunu yazacak olursak

$$2E + 2mgh = W_{ISI} + 3mgh \quad ①$$

(P'den  $\rightarrow$  T'ye)

T'den dönüşte, M'ye kadar gittiğinden,

$$3mgh = W_{ISI} \quad ②$$

② yi ① de yerine yazarsak

$$2E + 2mgh = 3mgh + 3mgh$$

$$2E = 6mgh - 2mgh$$

$$E = 2mgh \text{ olur.}$$

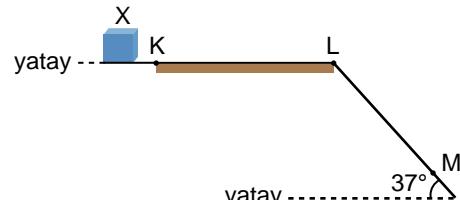
### Örnek 30

Düşey kesiti Görsel 1.6.48'deki gibi olan yolun yalnız KL kesimi sürtünmeli ve k sürtünme katsayısı sabittir. K noktasından  $2v$  büyüklüğündeki hızla geçen X cismi, M noktasından da aynı büyüklükte hızla geçiyor.

$KL = 2LM$  olduğuna göre k kaçtır?

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

- A) 0,1      B) 0,2      C) 0,3      D) 0,4      E) 0,5



Görsel 1.6.48

### Çözüm 30

Cisinin KL arasında sürtünmeden dolayı enerjisi azalır. L noktasından M noktasına gelinceye kadar kaybedilen enerji geri kazanılır. Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş cismin egypt düzlemede kaybettiği potansiyel enerjisine eşittir.

$KL = 2LM$  olduğundan  $LM = 5x \rightarrow KL = 10x$  olur.

$$W_{sür} = E_p$$

$$F_s \cdot x = m \cdot g \cdot h$$

Özel üçgen (3 – 4 – 5) yardımıyla  $h = 3x$  yazılabilir.

$$k \cdot m \cdot g \cdot 10x = m \cdot g \cdot 3x$$

$$k = \frac{3}{10} = 0,3 \text{ bulunur.}$$

### Örnek 31

Görsel 1.6.49'da 10 kg kütleyeli bir sandık, sürtünmeli yola 10 m/s hızla giriyor. Sandık 10 m sonra duruyor. Buna göre sürtünmeli yolun sürtünme katsayısı kaçtır? ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

### Çözüm 31

Sandığa etkiyen sürtünme kuvveti,

$f_s = k \cdot N$  bağıntısıyla bulunur.

$$f_s = k \cdot m \cdot g$$

$$f_s = k \cdot 10 \cdot 10$$

$$f_s = 100 k$$

Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş, kinetik enerjideki değişime eşittir.

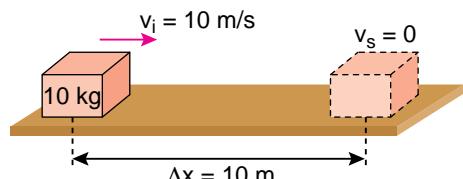
$$W_{\text{sürtünme}} = \Delta E_k$$

$$f_s \cdot \Delta x = \frac{1}{2} m (v_s^2 - v_i^2)$$

$$100 k \cdot 10 = \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot (0^2 - 10^2)$$

$$1000 k = 5 \cdot 100$$

$$k = \frac{5}{10} = 0,5 \text{ bulunur.}$$



Görsel 1.6.49

### Kendi Enerjisini Üreten Kalp Pilinin Mucidi: Dr. Canan Dağdeviren

Haziran 2007'de Hacettepe Üniversitesi Fizik Mühendisliği Biliminden mezun olduktan sonra tam burslu olarak Sabancı Üniversitesi Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Programında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Fizik, elektronik, kimya, malzeme, mekanik ve tip alanlarının kapsamına giren esnek ve katlanabilir, deri üstüne yapıştırılabilir, giyilebilir elektronik aletler üzerinde çalışmalar yaptı.



Görsel 1.6.50

Dr. Canan Dağdeviren, insan vücuduna kalıcı olarak yerleştirilebilecek piller üzerinde çalışıyor. Dağdeviren'in tasarlayıp tamamladığı çalışmada kalbin, akciğerin ve diyaframın hareketinden elektrik enerjisi elde eden ve bu enerjiyi depolayan esnek ve çok ince bir piezoelektrik entegre malzeme geliştirdi (Görsel 1.6.50). İnsan vücuduya uyumlu plastik bir yüzeye tutturulan bu malzemenin kalınlığı bir saç telinin yüzde biri kadar ve kâğıt gibi katlanıp bükülebiliyor. 20 milyon kere katlanıp büküldüğünde dahi mekanik olarak sağlamlığını koruyabilen alet, 3,8 voltluq pile enerji depolayabiliyor. Tamamen esnek, kâğıt gibi katlanabilir ve bükülebilir alet, kıvrımlı hatlara sahip organlara bile uyum gösterebiliyor. Bu sayede enerji verimliliği yüksek ve organların hareketini sınırlamayan bir sistem oluşturulmuş oluyor. Günümüzde kullanılan kalp pillerinin ömrleri 5-7 yıldır. Kalp pilinin işlevini yitirmesi durumunda bütün mekanizmanın riskli bir ameliyatla değiştirilmesi gerekiyor. Geliştirilen cihaz kalp pili için gereken enerjiyi kalp, akciğer veya diyaframdan sağlıyor. Bu sayede kalp pillerinin değiştirilmesi zorunluluğunu ortadan kaldırarak hayatlarını bu pillerle devam ettiren insanların yaşam kalitesini artırmayı hedefliyor.

## BÖLÜMÜ DEĞERLENDİRELİM

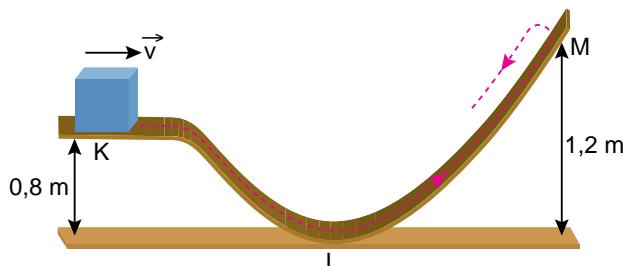
1.



Görsel 1.6.51

Görsel 1.6.51'deki 2 kg kütleli tahta blok, sürtünmelerin ihmali edildiği bir ortamda  $v$  hızı ile yaya çarptığında yayı 0,1 m sıkıştırıyor. Yayın yay sabiti 500 N/m olduğuna göre bloğun yaya çarpmadan önceki  $v$  hızı kaç m/s'dir?

2.



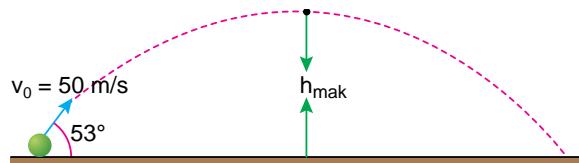
Görsel 1.6.52

Görsel 1.6.52'deki K-M yolunun tamamı sürtünmelidir. Külesi 1 kg olan cisim K noktasından  $v$  hızı ile atıldığından M noktasına kadar çıkış geri dönerken K noktasında durduğuna göre cismin atıldığı  $v$  hızı kaç m/s'dir? ( $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ )

3. Bir top, sürtünmesiz ortamda yay üzerine yerleştirilerek yayı 0,2 m sıkıştırıyor. Yay, Görsel 1.6.53'teki gibi serbest bırakılıyor. Yay sabiti 400 N/m olan yay, serbest bırakılınca top kaç m yükseğe çıkar? ( $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ )

4. Aşağıdan yukarı doğru 50 m/s hızla düşey olarak atılan 1,2 kg kütleli bir topun atıldıktan 2 s sonra toplam enerjisi kaç J olur? ( $g \approx 10 \text{ m/s}^2$ ) (Sürtünmeler ihmali edilecektir.)

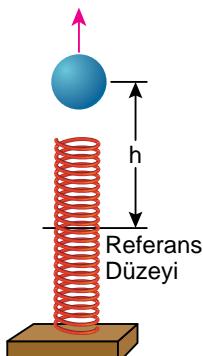
5.



Görsel 1.6.54

Sürtünmenin ihmali edildiği ortamda 2 kg kütleli cisim, Görsel 1.6.54'teki gibi eğik atılıyor. Maksimum yükseklikte cisim sahip olacağı toplam enerji kaç J olur?

$$(\sin 53^\circ = 0,8 \text{ ve } g \approx 10 \text{ m/s}^2)$$

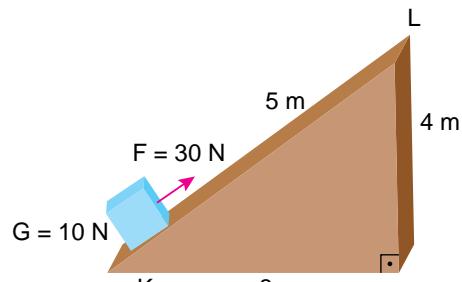


Görsel 1.6.53

6. Sürtünmesiz eğik düzlemde, ağırlığı 10 N olan cisim Görsel 1.6.55'teki gibi  $F = 30$  N'lık kuvvet, K noktasından L noktasına kadar uygulanıyor.

Buna göre

- yer çekim kuvvetine karşı yapılan iş,
- $F$  kuvvetinin yaptığı iş,
- cisinin kazandığı potansiyel enerji,
- cisinin kazandığı kinetik enerji kaç J'dür?

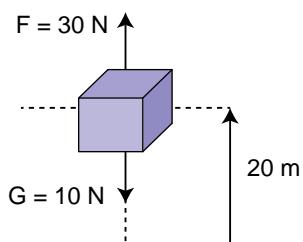


Görsel 1.6.55

7. Ağırlığı 10 N olan cisim, 30 N'lık kuvvet düşey olarak 20 metrelük yol boyunca uygulanıyor (Görsel 1.6.56).

Buna göre

- yer çekim kuvvetinin yaptığı iş,
- $F$  kuvvetinin yaptığı iş kaç,
- cisinin kazandığı potansiyel enerji,
- cisinin kazandığı kinetik enerji kaç J'dür?

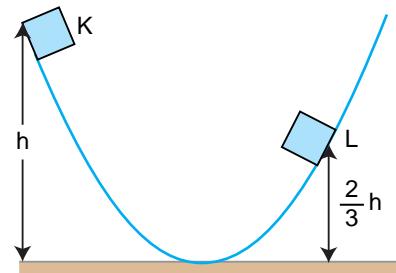


Görsel 1.6.56

8. Görsel 1.6.57 sürtünmesiz düzlemin K noktasındaki potansiyel enerjisi 120 J olan cisim, serbest bırakılıyor.

Cisim, L noktasından geçerken;

- kinetik enerjisi kaç J'dür?
- potansiyel enerjisi kaç J'dür?

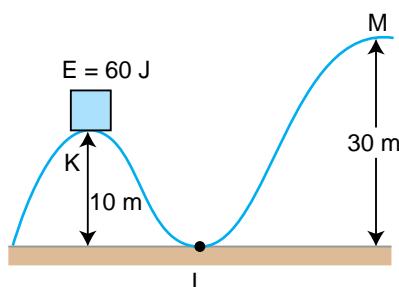


Görsel 1.6.57

9. Görsel 1.6.58'deki sürtünmesiz yolun K noktasından  $E = 60$  J kinetik enerjiyle fırlatılan cisim, M noktasına geldiğinde kinetik enerjisi 10 J oluyor.

Buna göre cisim;

- L noktasındaki kinetik enerjisi kaç J'dür?
- M noktasındaki mekanik enerji kaç J'dür?



Görsel 1.6.58