

# POTANSİYEL ENERJİ VE ENERJİNİN KORUNUMU



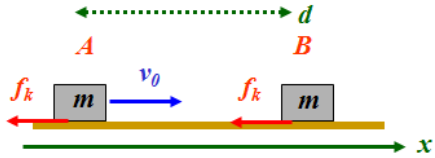
1. Potansiyel enerjisi
2. Korunumlu ve korunumsuz kuvvetler
3. Korunumlu kuvvetler ve Potansiyel enerji
4. Mekanik enerjinin korunumu
5. Korunumsuz kuvvetlerin yaptığı iş
6. Korunumlu kuvvetlerle Potansiyel enerji arasındaki bağıntı
7. Genelde enerjinin korunumu

Arka arkaya çekilen bu resimde sıırıyla atlayıcının enerjisinde sürekli olarak değişim olmaktadır. Yerçekiminden kaynaklanan potansiyel düşey doğrultuda değişmektedir. Sırığın eğilmesinde ise başka bir potansiyel vardır. (© Harold E. Edgerton/Courtesy of Palm Press, inc.)

# POTANSİYEL ENERJİ

- ✓ *Potansiyel enerji* bir sistemin depoladığı, iş yapabilen enerji şeklidir.
- ✓ Uygulanan kuvvetler sisteme kinetik enerji kazandırabilir veya kaybettirebilirler. Fakat sistemin toplam enerjisi her zaman aynıdır. Bu duruma *enerjinin korunumu* denir.
- ✓ *Potansiyel enerji evrende değişik şekillerde olabilir:*  
Kütle çekim, elektromanyetik, kimyasal ve nükleer gibi.
- ✓ Bataryadaki kimyasal enerji elektrik enerjisine dönüşerek bir motoru döndürebilir.
- ✓ Enerjinin bir formdan diğerine dönüşümü fiziğin, kimyanın, mühendisliğin, biyolojinin, jeolojinin ve astronominin önemli kısmını oluştururlar.

## Korunumlu ve Korunumsuz Kuvvetler



Cismin sadece kinetik ve potansiyel enerjileri arasında bir dönüşüme neden oldukları için, yerçekimi kuvveti ve yay kuvveti “**korunumlu**” kuvvetlerdir.

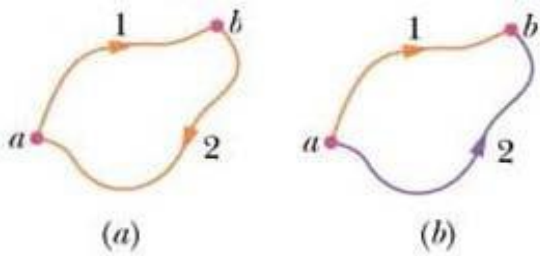
Buna karşın, sürtünme kuvveti “**korunumlu olmayan**” bir kuvvettir.

Sürtünmeli bir yüzey üzerinde A noktasından  $v_0$  ilk hızıyla harekete başlayan bir blok düşünelim. Blok ile zemin arasındaki kinetik sürtünme katsayısı  $\mu_k$  olsun. Blok, kinetik sürtünme kuvveti  $f_k$  etkisiyle  $d$  kadar yol aldıktan sonra B noktasında duracaktır.

A ve B noktaları arasında sürtünme kuvvetinin yaptığı iş  $W_f = -\mu_k mgd$  olacaktır. Sürtünme kuvveti, bloğun tüm kinetik enerjisini “**ısı enerjisi**” ne dönüştürmüştür. Bu enerji tekrar kinetik enerjiye dönüştürülemez ve bu nedenle **sürtünme kuvveti korunumlu bir kuvvet** değildir.

# KORUNUMLU KUVVETLER

1. Bir kuvvetin, iki nokta arasında hareket eden bir parçacık üzerinde yaptığı iş, parçacığın yolundan bağımsızsa **kuvvet korunumludur**.
2. Başlangıç ve bitiş noktaları aynı olan bir yol boyunca (kapalı yol) hareket eden bir parçacık üzerinde yapılan **iş sıfırdır**.



1. Kapalı bir yol boyunca, korunumlu bir kuvvetin bir cisim üzerinde yaptığı net iş sıfırdır (Şekil-a).

$$W_{\text{net}} = 0$$

Yerden yukarı doğru fırlatılan taş ve kütle-yay sistemi buna birer örnektir.  $W_{\text{net}} = W_{ab,1} + W_{ba,2} = 0$

2.  $a$ 'dan  $b$ 'ye giden bir cismin üzerine etki eden korunumlu bir kuvvetin yaptığı iş gidilen yoldan bağımsızdır.

Şekil -  $a'$  dan :  $W_{\text{net}} = W_{ab,1} + W_{ba,2} = 0 \rightarrow W_{ab,1} = -W_{ba,2}$

Şekil -  $b'$  den :  $W_{ab,2} = -W_{ba,2}$

$$W_{ab,1} = W_{ab,2}$$

# KORUNUMLU KUVVETLERE ÖRNEKLER

1. Kütle-çekim kuvveti: Bu kuvvetin yaptığı iş;

$$W_g = mgy_i - mgy_s$$

olduğundan cismin sadece ilk ve son y-koordinatları önemlidir. Yani gidilen yoldan bağımsızdır.

Kapalı yol boyunca hareket ederse;  $y_i = y_s \Rightarrow W_g = 0$

2. Yaya bağlı herhangi bir cisme uygulanan kuvvet:  
Kütle-yay sisteminde yay kuvvetinin yaptığı iş:

$$W_s = \frac{1}{2} kx_i^2 - \frac{1}{2} kx_s^2$$

olduğundan cismin ilk ve son x-koordinatlarına bağlıdır. Ve herhangi bir kapalı yol için sıfırdır.

**Genel olarak korunumlu bir kuvvetin bir cisim üzerinde yaptığı iş:**

$$W_c = U_i - U_s = -\Delta U$$

# Kütle çekim potansiyel enerjisi

Yüksekten bırakılan bir cisim iş yapma potansiyeline sahiptir. Cisim düşerken hız yani kinetik enerji kazanır. Potansiyel enerji cisim düşerken kinetik enerjiye dönüşür.

Kütle çekimi potansiyel enerjisi

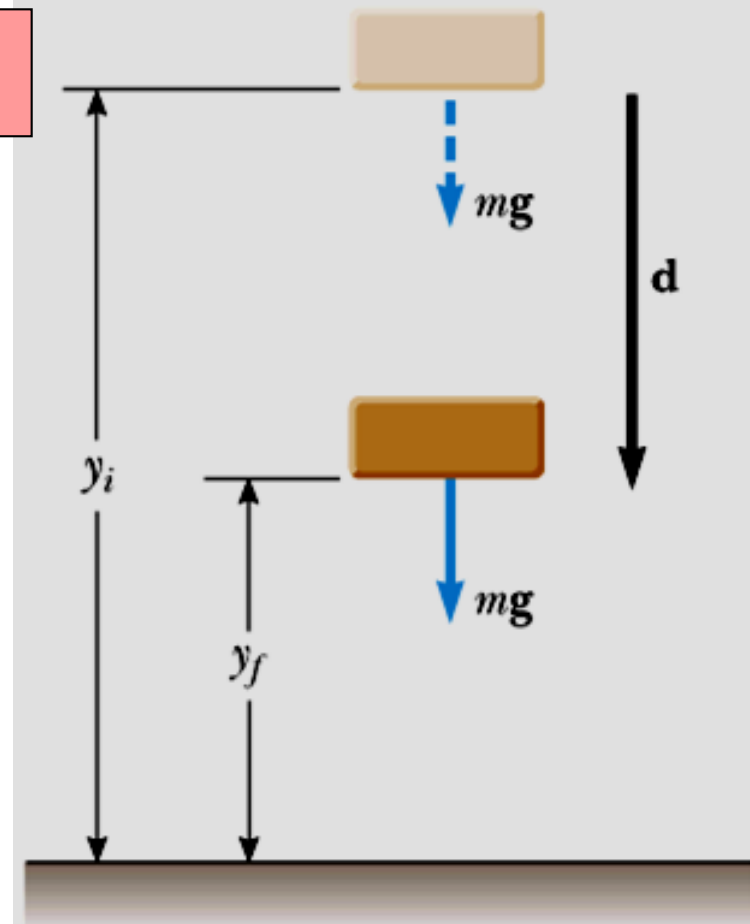
$$U_g \equiv m \cdot g \cdot y$$

m kütleli bir cisim başlangıçta  $y_i$  yüksekliğinden düşerken etkiyen tek kuvvet  $mg$  kütle-çekim kuvvetidir (havanın direnci ihmal)

Aşağı doğru  $d$  yerdeğiştirmesinde çekim kuvvetinin yaptığı iş:

$$W_g = (m\vec{g})\vec{d} = (-mg\hat{j})(y_s - y_i)\hat{j} = mgy_i - mgy_s$$

Potansiyel enerji sadece yüksekliğe ( $y$ ) bağlıdır, yatay mesafeye bağlı değildir ( $x$ ),



# Kütle çekim potansiyel enerjisi

Bir cisim hem yatay hem düşey yerdeğiştirme yaparsa;

$$d = (x_s - x_i)\hat{i} + (y_s - y_i)\hat{j}$$

Kütle çekim kuvvetinin yaptığı iş;  $-mg\hat{j}(x_s - x_i)\hat{i} = 0$  olduğundan

$$W_g = mgy_i - mgy_s$$

Yani Kütle çekim kuvvetinin yaptığı iş yatay yerdeğiştirmeye bağlı değildir, sadece y değişimine bağlıdır. Kütle çekim kuvvetinin yaptığı iş

$$W_g = U_i - U_s = -(U_s - U_i) = -\Delta U_g$$

Kütle çekim potansiyel enerjisinin birimi: Joule (J) ve skaler bir niceliktir.

Potansiyel enerji problemlerini çözerken bir referans noktası seçilmelidir.



# Esneklik potential enerjisi

Sürtünmesiz yatay bir düzlemde yayın bloğa uyguladığı kuvvet

$$F_s = -kx$$

Yayın blok üzerinde yaptığı iş:

$$W_s = \frac{1}{2} kx_i^2 - \frac{1}{2} kx_s^2$$

Buna göre yayda depolanan esneklik potansiyel enerjisi

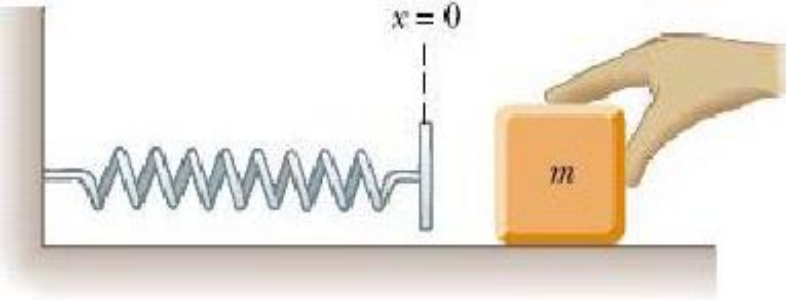
$$U_s \equiv \frac{1}{2} kx^2$$

Sistemin esneklik potansiyel enerjisi sıkıştırılmış veya gerilmiş yayda depolanan enerjidir.

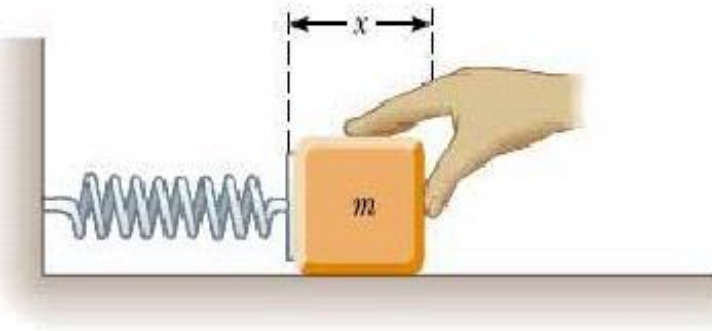
(a) Deforme olmamış bir yay ve sürtünmesiz yüzey.

(b)  $m$  kütleli cisim yayı  $x$  kadar sıkıştırarak şekilde itilir.

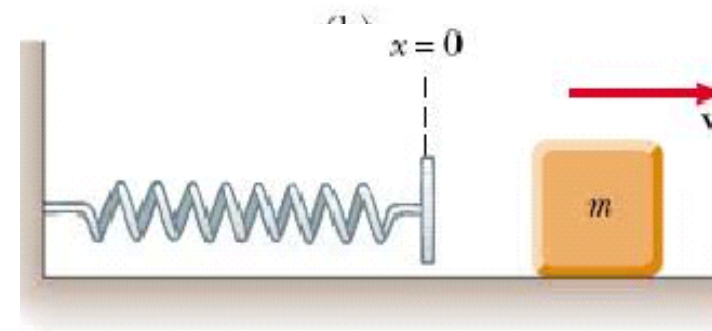
(c) Sıkışmış yay serbest bırakılırsa yayda depolanmış potansiyel enerji bloğa kinetik enerji olarak aktarılır.



(a)



$$U_s = \frac{1}{2} kx^2$$
$$K_i = 0$$



(c)

$$U_s = 0$$
$$K_f = \frac{1}{2} mv^2$$

# KORUNUMSUZ KUVVETLER

Mekanik Enerji:  $E = \text{Kinetik Enerji} + \text{Potansiyel Enerji}$   
Yani;

$$E \equiv K + U$$

Eğer bir **kuvvet** mekanik enerjide bir değişime neden oluyorsa bu **kuvvet korunumsuzdur**.

ÖRNEK: **Kinetik sürtünme kuvveti:**

Sürtünmeli yüzeyde kayan bir cisim için sürtünme kuvveti cismin kinetik enerjisini azaltır. Mekanik enerji değiştiği için **kuvvet korunumsuzdur**.

# KORUNUMLU KUVVETLER VE POTANSİYEL ENERJİ

Korunumlu bir kuvvetin yaptığı iş sistemin potansiyel enerjisindeki azalmaya eşit olsun. Bu kuvvetin yaptığı iş;

$$W_k = \int_{x_i}^{x_s} F_x dx = -\Delta U$$

Bu değişiklik tekrar yazılırsa;

$$\Delta U = U_s - U_i = -\int_{x_i}^{x_s} F_x dx$$

Ya da potansiyel enerji fonksiyonunu yazarsak;

$$U_s(x) = -\int_{x_i}^{x_s} F_x dx + U_i$$

Burada  $U_i$  çoğu kez referans noktası alındığından sıfırdır.

# MEKANİK ENERJİNİN KORUNUMU

Bir sistemin toplam mekanik enerjisi, kinetik ve potansiyel enerjilerinin toplamı olarak tanımlandığından; Toplam Mekanik Enerji:

$$E \equiv K + U$$

Yerden  $h$  yüksekliğinde tutulan cismin kütle-çekim potansiyel enerjisi  $U=mgh$  dır. Cisim bu yükseklikten bırakılırsa düşme sırasında **potansiyel enerjisi azalırken**, cismin sürati dolayısıyla **kinetik enerjisi artar**. Ancak bu sırada mekanik enerji sabit kalır.

Enerjinin korunumu ilkesi:  $E_i = E_s$

$$K_i + U_i = K_s + U_s$$

Yalıtılmış bir sistemin mekanik enerjisi sabittir.

Bu eşitlik sadece sisteme enerji eklenip çıkarılmadığı durumlarda geçerlidir. Ayrıca sistem içinde iş yapan korunumsuz kuvvet bulunmamalıdır.

Bir cisme birden fazla kuvvet etki ederse sistemin mekanik enerjisi;

$$K_i + \sum U_i = K_s + \sum U_s$$

## ÖRNEK 8.2. Serbest Düşen Top

a) Kütlesi  $m$  olan bir top  $h$  yüksekliğinden bırakılıyor. Hava direnci ihmal edilirse, yerden  $y$  yükseklikte iken topun süratini bulalım:

$$K_i + U_i = K_s + U_s$$

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv_s^2 + mgy$$

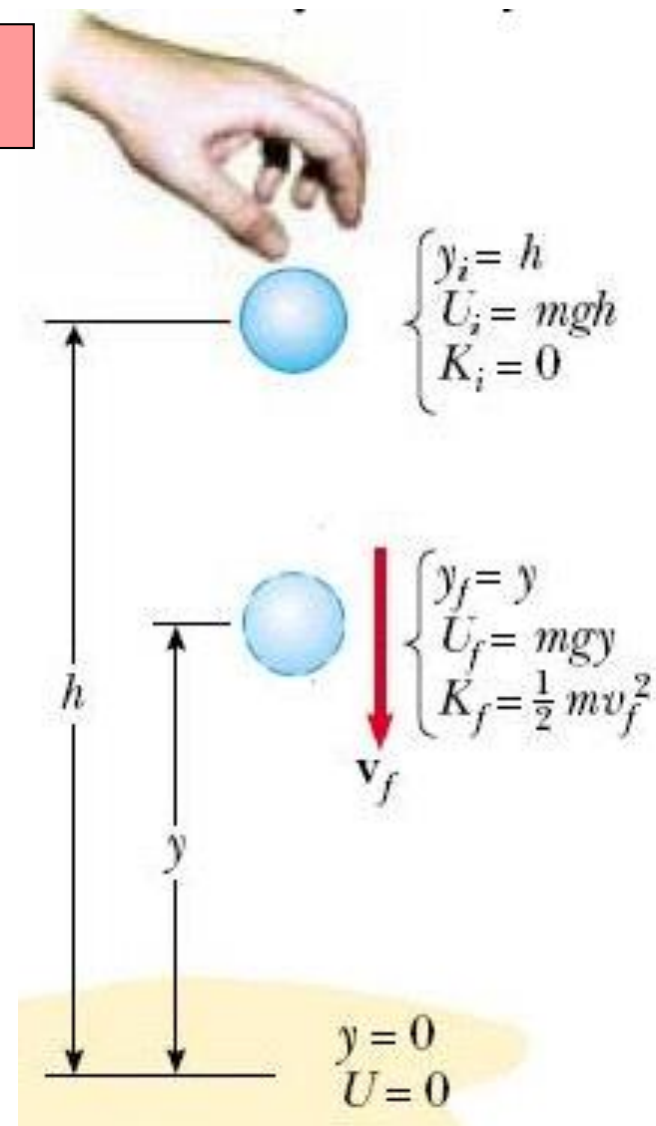
$$v_s^2 = 2g(h - y)$$

$$v_s = \sqrt{2g(h - y)}$$

b) Top  $h$  yüksekliğinde bırakıldığında  $v_i$  ilk süratine sahipse  $y$  yüksekliğinde topun sürati ne olur?

$$\frac{1}{2}mv_i^2 + mgh = \frac{1}{2}mv_s^2 + mgy$$

$$v_s = \sqrt{v_i^2 + 2g(h - y)}$$



## ÖRNEK 8.3. Sarkaç

m kütleli küresel bir cisim  $L$  uzunluklu bir sarkacın ucuna bağlanmıştır. İp düşeyle  $\theta_A$  açısı yaptığında, küre A noktasından bırakılırsa ve P noktası sürtünmesiz ise; **(A)** Cismin sarkacın en alt noktası olan B deki süratini hesaplayınız. **(B)** B noktasında ipteki  $T_B$  gerilmesini hesaplayınız.

**ÇÖZÜM:**

**(A)** P noktasını referans alırsak;

$$y_A = -L \cos \theta_A$$

$$y_B = -L$$

$$U_A = -mgL \cos \theta_A$$

$$U_B = -mgL$$

$$K_A + U_A = K_B + U_B$$

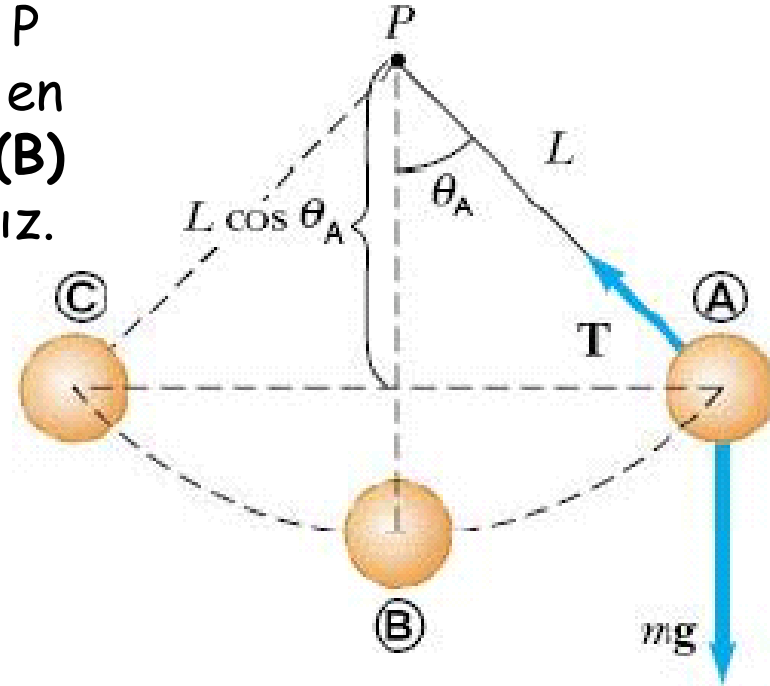
$$0 - mgL \cos \theta_A = \frac{1}{2}mv_B^2 - mgL$$

$$v_B = \sqrt{2gL(1 - \cos \theta_A)}$$

**(B)** Gerilme kuvveti iş yapmadığından (yerdeğiştirmeye daima dik) Newton'un 2. yasasını radyal yöne uygularsak;

$$\sum F_r = T_B - mg = ma_r = m \frac{v_B^2}{r}$$

$$T_B = mg + 2mg(1 - \cos \theta_A) = mg(3 - 2 \cos \theta_A)$$



# KORUNUMSUZ KUVVETLERİN YAPTIĞI İŞ

Cisme **korunumsuz kuvvetler** etki ediyorsa sistemin **mekanik enerjisi sabit kalmaz**.

## ÖRNEK 1: Uygulanan bir kuvvetin yaptığı iş

Bir cismi belli bir yüksekliğe kaldırırsak uyguladığımız kuvvet cisme  $W_{uy}$  işini yapsın. Bu sırada kütle çekim kuvveti de cisim üzerinde  $W_g$  işini yapar. Cisim üzerinde yapılan net iş kinetik enerjideki değişime bağlıdır.

$$W_{uy} + W_g = \Delta K$$

Kütle-çekim kuvveti korunumlu olduğunda yaptığı iş  $W_g = -\Delta U$  olacağından

$$W_{uy} = \Delta K + \Delta U$$

Sistemin toplam mekanik enerjisini uyguladığımız kuvvetle değiştirdiğimiz için uygulanan kuvvet korunumsuzdur. Uygulanan kuvvet sisteme enerji verebilir, alabilir.

## ÖRNEK 2: Kinetik sürtünmeyi içeren durumlar

Kinetik sürtünme korunumsuz kuvvet örneğidir.

Sürtünmeli yatay yüzeyde hareket ettirilen bir cisim kinetik sürtünme kuvveti ile yavaşlatılır ve durdurulur. Başlangıçtaki cismin kinetik enerjisi cisim ile sürtünen yüzeyde iç enerjiye dönüşür. (7. bölümden)

$$\Delta K_{\text{sürtünme}} = -f_k d$$

Cisim sürtünmeli eğik düzlemde hareket ederse;

$$\Delta E = \Delta K + \Delta U = -f_k d$$

Burada;

$$E_i + \Delta E = E_s$$

Problem çözerken buradaki gibi sürtünme kuvveti varsa yani mekanik enerji korunmuyorsa toplam son mekanik enerji ile toplam ilk mekanik enerji arasındaki fark sürtünmeden kaynaklanan iç enerjiye eşittir.



## ÖRNEK 8.7. Yaylı Tüfek

Bir oyuncak tüfeğin atış mekanizması bir yayın sıkıştırılıp serbest bırakılınca önündeki bilyeyi fırlatması şeklinde tasarlanmıştır. Yay sabiti bilinmemektedir. 0.120 m sıkıştırılmış olan yay 35.0 gram kütleli bir bilyeyi 20.0 m yüksekliğe çıkartabilmektedir. **(A)** Bütün direnç kuvvetlerini gözardı edilerek yay sabitini hesaplayınız. **(B)** Bilyenin yayın denge konumundan ( $x_B = 0.120\text{m}$ ) geçerken sahip olduğu sürati hesaplayınız.

$$E_A = E_C \Rightarrow K_A + U_{gA} + U_{sA} = K_C + U_{gC} + U_{sC}$$

$$0 + 0 + \frac{1}{2}kx^2 = 0 + mgh + 0$$

$$\frac{1}{2}k(0.120)^2 = (0.0350)(9.80)(20)$$

$$k = 953 \text{ N/m}$$

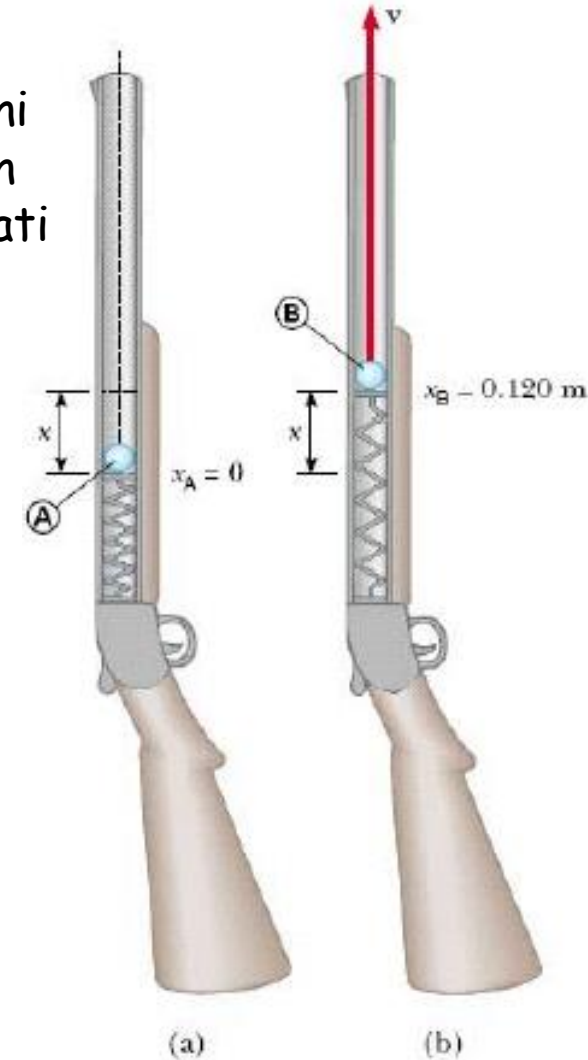
$$E_A = E_B \Rightarrow K_A + U_{gA} + U_{sA} = K_B + U_{gB} + U_{sB}$$

$$0 + 0 + \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}mv_B^2 + mgx_B + 0$$

$$v_B = \sqrt{\frac{kx^2}{m} - 2gx_B} = \sqrt{\frac{(953)(0.120)^2}{0.0350} - 2(9.80)(0.120)}$$

$$v_B = 19.7 \text{ m/s}$$

$$\textcircled{C} \quad x_C = 20.0 \text{ m}$$



# KORUNUMLU KUVVETLER VE POTANSİYEL ENERJİ ARASINDAKİ BAĞLANTI

Önceki kısımlarda **korunumlu bir kuvvet**,  $\Delta x$  yerdeğiştirmesine neden olduğunda **kuvvetin yaptığı iş**, **potansiyel enerjideki değişimin negatifi** idi. Yani;

$$W = F_x \Delta x = -\Delta U$$

Yerdeğiştirme sonsuz küçükse (  **$dx$**  ), sistemin potansiyel enerjisindeki sonsuz küçük  **$dU$**  değişimini yazarsak;

$$dU = -F_x dx$$

Buna göre korunumlu kuvvet;

$$F_x = -\frac{dU}{dx}$$

Yani, bir sistem içindeki bir cisme etkiyen korunumlu bir kuvvet, sistemin potansiyel enerjisinin  **$x$**  'e göre türevinin negatifine eşittir.

Şekli değişmiş yay için;  $U_s = \frac{1}{2} kx^2$  olduğundan

$$F_s = -\frac{dU_s}{dx} = -\frac{d}{dx} \left( \frac{1}{2} kx^2 \right) = -kx$$

olur. Bu ise yayın **geri çağırıcı kuvvetidir**.

**Örnek :** İki boyutlu uzayda bir kuvvetle bağlantılı potansiyel enerji fonksiyonu,  $U(x, y) = 3x^3y - 7x$  ile veriliyor. Cisme etkiyen kuvveti bulunuz.

$$F_x = -\frac{dU}{dx} = -\frac{d}{dx}[3x^3y - 7x] = -[9x^2y - 7]$$

$$F_y = -\frac{dU}{dy} = -\frac{d}{dy}[3x^3y - 7x] = -[3x^3]$$

$$\vec{F} = F_x\hat{i} + F_y\hat{j} = (7 - 9x^2y)\hat{i} - (3x^3)\hat{j}$$

# GENEL OLARAK ENERJİNİN KORUNUMU

Pürüzlü bir yüzeyde kayan cismin kaybettiği mekanik enerji cisimde geçici depolanan **iç enerjiye dönüşür**. Bu cismin sıcaklığındaki artış olarak görülür. Bu iç enerji, atomların denge konumları etrafındaki titreşimleriyle ilişkilidir.

Yalıtılmış bir sistemde toplam enerji korunur. Ancak bir biçimden diğerine dönüştürülebilir.

Toplam enerji daima korunur.

# Problem Çözümünde Enerji Korunumu

1. Koordinat sistemi çizilir ve cismin başlangıç ve bitiş koşulları tanımlanır.

2. Potansiyel enerjileri yazabilmek için referans sistemi seçilir ve sistemdeki her bir korunumlu kuvvet için potansiyel enerjilerin ilk ve son değerlerini veren ifadeler yazılır.

3. İncelenen sistemde sürtünme, hava direnci gibi korunumsuz kuvvetlerin olup olmadığı belirlenir.

4. i) cisme etki eden tüm kuvvetler korunumlu ise mekanik enerjinin korunumundan tanımlarından çözüme ulaşılır.

$$E_i = E_s \quad \text{veya} \quad K_i + U_i = K_s + U_s$$

ii) sürtünme var ise bu durumda

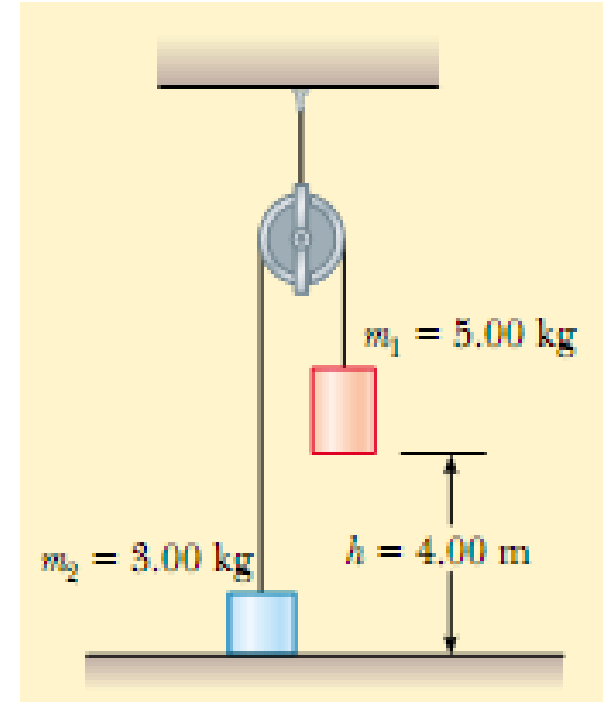
$$\Delta E = \Delta K_{\text{sürt.}} = -f_k \cdot d$$

ifadesi kullanılarak çözüme ulaşılır.

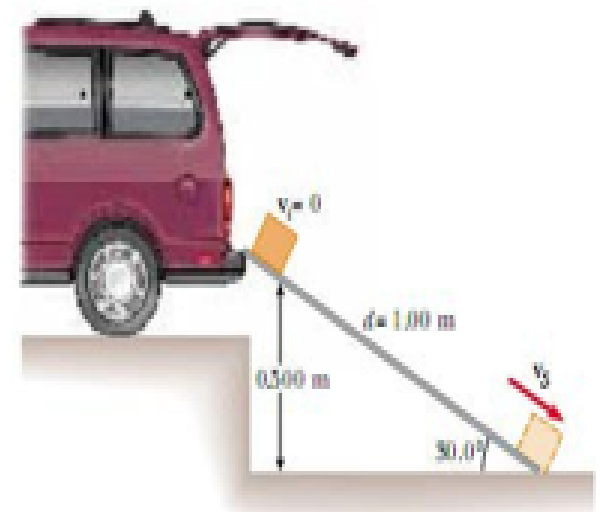
**Örnek :** İki blok hafif bir ipile, ağırlıksız ve sürtünmesiz bir makara üzerinden şekildeki gibi birbirine bağlanmıştır. Sistem durgun halden serbest bırakılıyor. 5,00 kg' lık blok yere çarptığında, 3,00 kg' lık bloğun hızı ne olur?

$$E_i = E_s \rightarrow m_1 gh = m_2 gh + \frac{1}{2} m_2 v^2 + \frac{1}{2} m_1 v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2(m_1 - m_2)gh}{(m_1 + m_2)}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (2) \cdot (9,8) \cdot 4}{8}} = \sqrt{19,6} = 4,43 \text{ m/s}$$



**Örnek :** Uzunluğu 1 m olan  $30^\circ$  lik eğik düzlemin en üst noktasından, kütlesi 3 kg olan bir kutu durgun halden aşağıya doğru kaymaya başlıyor. Kutuya 5 N' luk sabit bir sürtünme kuvveti etkimektedir.



- a) Eğik düzlemin tabanında kutunun hızı ne olur?  
b) Kutunun ivmesi nedir?

$$a) \quad E_i = \cancel{K_i} + U_i = mgh = 3(9.8)(0.5) = 14.7 \text{ J} ; E_s = K_s + \cancel{U_s} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\Delta E = -f_k d = -5(1) = -5 \text{ J}$$

$$E_s - E_i = \frac{1}{2}mv^2 - 14.7 = -5 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2(9.7)}{3}} = 2.54 \text{ m/s}$$

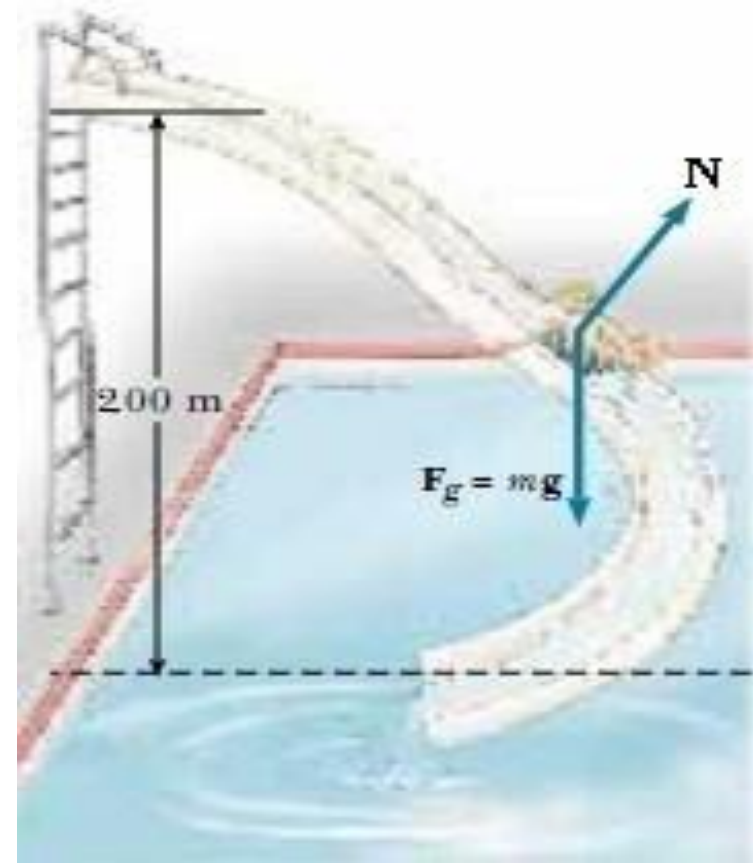
$$b) \quad \sum F_x = mg \sin(30) - f_k = ma \rightarrow a = \frac{3(9.8)(0.5) - 5}{3} = 3.23 \text{ m/s}^2$$

**Örnek :** Kütlesi 20 kg olan bir çocuk, 2 m yüksekliğinde düzgün olmayan bir kaydırağın tepesinden ilk hızsız kaymaya başlıyor.

- a) Sürtünme olmadığını varsayarak, kaydırağın en alt noktasında çocuğun hızı nedir?
- b) Sürtünme olması durumunda, çocuğun en alt noktadaki hızı 3 m/s olduğuna göre sistemin mekanik enerjisindeki kayıp ne kadardır?

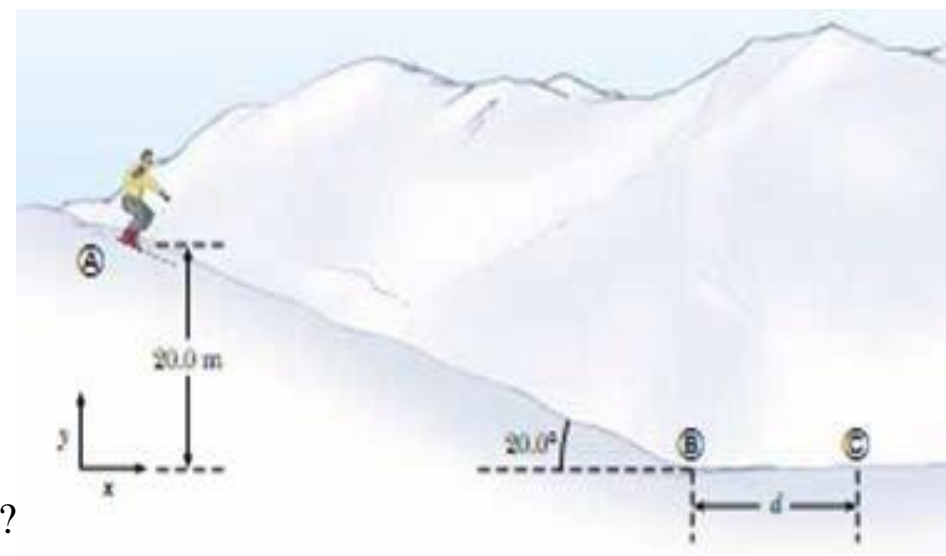
$$a) \quad \cancel{K_i} + \cancel{U_i} = \cancel{K_s} + \cancel{U_s} \rightarrow mgh = \frac{1}{2}mv_s^2$$
$$v_s = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9,8)(2)} = 6,26 \text{ m/s}$$

$$b) \quad \Delta E = E_s - E_i = \frac{1}{2}mv_s^2 - mgh = \frac{1}{2}(20)(3)^2 - 20(9,8)(2) = -302 \text{ J}$$





**Örnek :** Bir kayakçı 20 m yükseklikteki rampadan ilk hızsız kaymaya başlıyor. Rampanın alt ucundan sonra, düz olan bölgede kayakçı ile zemin arasında sürtünme katsayısı 0,21' dir.



- a) Kayakçı, rampanın alt ucundan duruncaya kadar ne kadar yol alır?
- b) Eğik düzlemin kendisi de aynı sürtünme katsayısına sahip olsaydı, (a) şikkının cevabı ne olurdu?

$$a) \cancel{K_i} + \cancel{U_i} = \cancel{K_s} + \cancel{U_s} \rightarrow mgh = \frac{1}{2} mv_B^2 \rightarrow v_B = \sqrt{2gh} = 19,8 \text{ m/s}$$

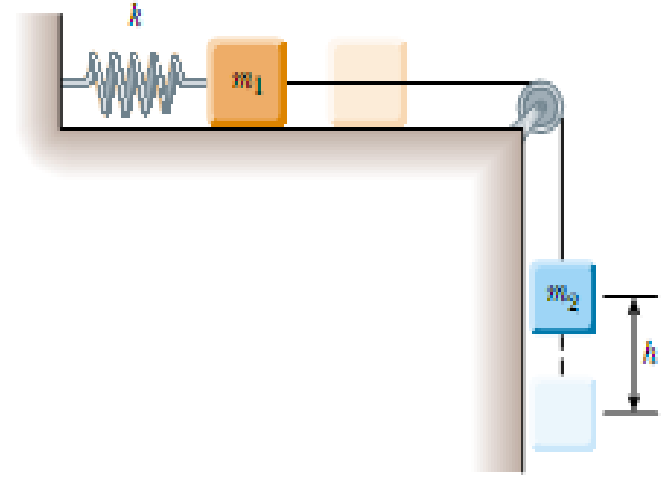
$$\Delta E = E_C - E_B = 0 - \frac{1}{2} mv_B^2 = -\mu_k mgd \rightarrow d = \frac{v_B^2}{2\mu_k g} = 95,2 \text{ m}$$

$$L = \frac{h}{\sin \theta}$$

$$b) mgh - \mu_k mg \cos \theta L = \frac{1}{2} mv_B^2 \rightarrow v_B = \sqrt{2gh[1 - \mu_k \cot(20)]} = 12,9 \text{ m/s}$$

$$d = \frac{v_B^2}{2\mu_k g} = 40,3 \text{ m}$$

**Örnek :** İki blok hafif bir ip, sürtünmesiz ve ağırlıksız bir makara üzerinden birbirine bağlıdır. Yatayda bulunan  $m_1$  kütleli blok, yay sabiti  $k$  olan bir yaya bağlıdır. Yay uzamasız durumda iken sistem serbest bırakılıyor ve  $m_2$  kütleli blok  $h$  kadar düşünce bir an için duruyor.  $m_1$  kütleli blok ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı nedir?

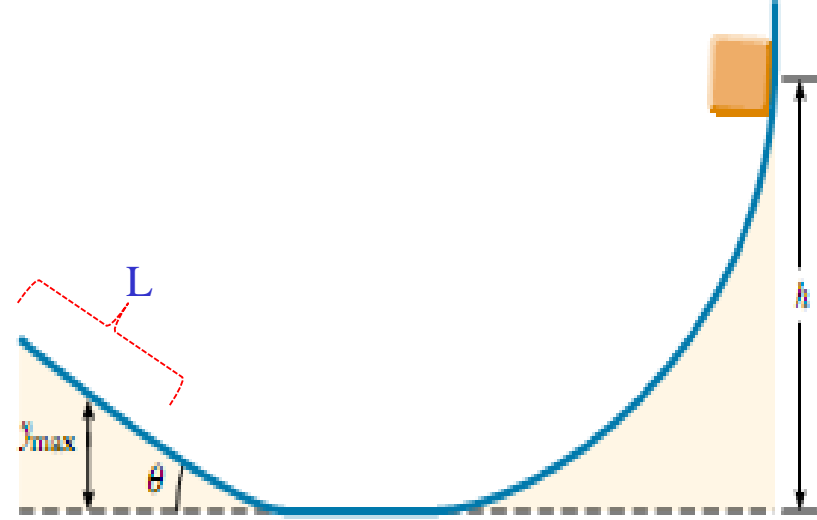


$$\Delta K = 0 \quad \text{ve} \quad \Delta E = \Delta U_g + \Delta U_{\text{yay}} = -\mu_k m_1 g h$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta U_g = U_s - U_i = 0 - m_2 g h \\ \Delta U_{\text{yay}} = \frac{1}{2} k h^2 \end{array} \right\} \rightarrow -\mu_k m_1 g h = \frac{1}{2} k h^2 - m_2 g h$$

$$\mu_k = \left( \frac{m_2 g - \frac{1}{2} k h}{m_1 g} \right)$$

**Örnek :** Bir blok,  $h$  yüksekliğindeki sürtünmesiz bir rampadan ilk hızsız kaymaya başlıyor ve karşıda bulunan ve eğim açısı  $\theta$  olan bir eğik düzlemi tırmanıyor. Blok ile eğik düzlemin arasındaki kinetik sürtünme katsayısı  $\mu_k$  olduğuna göre, blok bu düzlemde ne kadar yükselir?

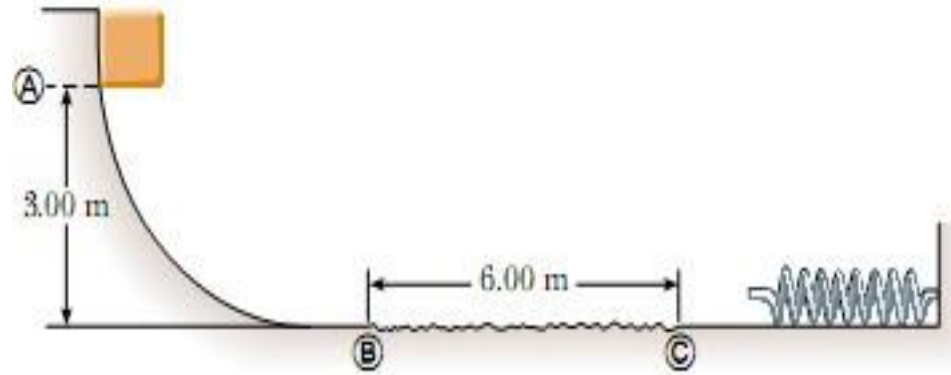


$$\Delta K = 0 \quad ; \quad \Delta E = \Delta U_g = -\mu_k mg \cos \theta (L) \quad ; \quad L = \frac{y_{\max}}{\sin \theta}$$

$$\Delta U_g = U_s - U_i = mgy_{\max} - mgh$$

$$-\mu_k mg \cos \theta \left( \frac{y_{\max}}{\sin \theta} \right) = mgy_{\max} - mgh \rightarrow y_{\max} = \frac{h}{(1 + \mu_k \cot \theta)}$$

**Örnek :** Kütlesi 10 kg olan blok, ilk hızsız olarak A noktasından bırakılıyor. Uzunluğu 6 m olan sürtülmeli bir bölgeyi (BC arası) geçtikten sonra, yay sabiti  $k = 2250 \text{ N/m}$  yaya çarparak 30 cm sıkıştırıyor. BC arası bölgenin sürtünme katsayısını bulunuz.



$$\Delta K = 0 ; \Delta E = \Delta U_g + \Delta U_{\text{yay}} = -\mu_k mgL$$

$$\Delta U_g = U_s - U_i = 0 - mgh ; \Delta U_{\text{yay}} = \frac{1}{2} kx_m^2 - 0$$

$$-\mu_k mgL = \frac{1}{2} kx_m^2 - mgh \rightarrow \mu_k = \frac{mgh - \frac{1}{2} kx_m^2}{mgL} = 0,328$$