

Genel Fizik

Doç. Dr. Hasan H. Esenoğlu

2019

İçerik

1. Fizik ve Ölçme; Temel Büyüklükler; Kütle, zaman ve uzunluk; Birimler ve Boyut Analizi; Büyüklük mertebesi ve anlamlı rakamlar
2. Vektörler; vektörlerin toplanması ve çarpımı
3. Bir boyutta hareket, Yer değiştirme, Hız ve İvme, Serbest düşme
4. İki boyutta hareket , Eğik atış ve dairesel hareket
5. Newton Hareket Yasaları

Vize Haftası

6. Sürtünme kuvvetleri ve Newton yasalarının uygulamaları, İş ve kinetik enerji
7. Potansiyel Enerji ve Enerjinin korunumu, Doğrusal momentum ve çarpışmalar, momentumun korunumu
8. Katı Cismin Sabit Bir Eksen Etrafında Dönmesi, Eylemsizlik momenti
9. Yuvarlanma Hareketi , Dönme Enerjisi, Açısal Momentum ve Tork
10. Statik ve Denge
11. Titreşim Hareketi
12. Akışkanlar Mekaniği

Final Haftası

Ayrıntılı İçerik

Sürtünme kuvvetleri ve Newton yasalarının uygulamaları, İş ve kinetik enerji

İki Cisim Arasındaki Sürtünme Kuvveti

Statik ve Kinetik Sürtünme Kuvvetleri

Sürtünme Kuvvetinin Özellikleri

Statik ve Kinetik Sürtünme Katsayıları

Merkezcil kuvvet açısından düzgün dairesel hareket

Düzgün Dairesel Hareket, Merkezcil Kuvvet

Kinetik Enerji ve İş

Kinetik Enerji

Bir kuvvetin yaptığı iş

İş

İş-Kinetik Enerji Teoremi

Yerçekimi Kuvvetinin Yaptığı İş

Yükseltme Kuvvetinin Yaptığı İş

Alçaltma Kuvvetinin Yaptığı İş

Değişken Kuvvetin Yaptığı İş

Yay Kuvveti

Yay Kuvveti Tarafından Yapılan İş

Üç-Boyutlu Uzayda Kuvvetin Yaptığı İş

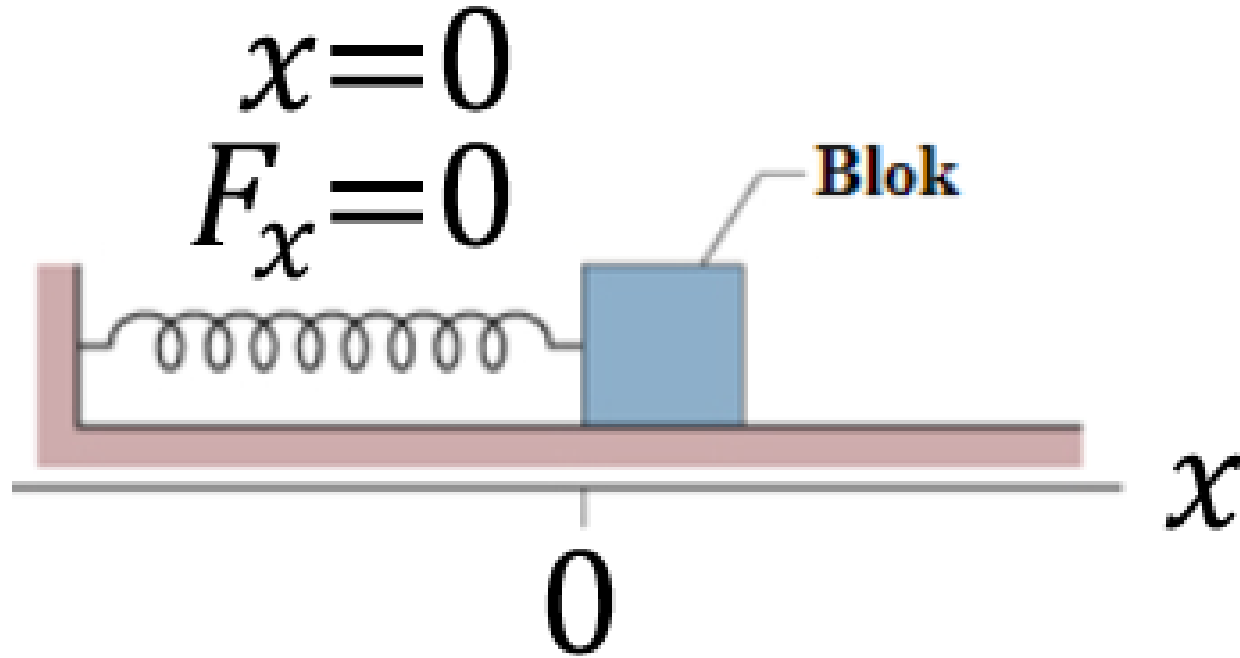
Değişken Kuvvet ve İş-Kinetik Enerji Teoremi

Güç

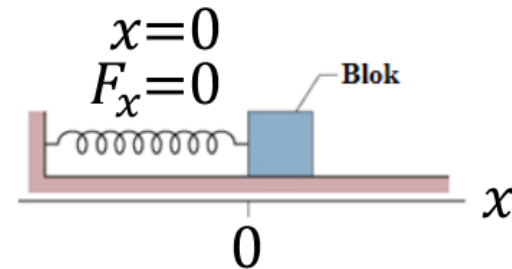
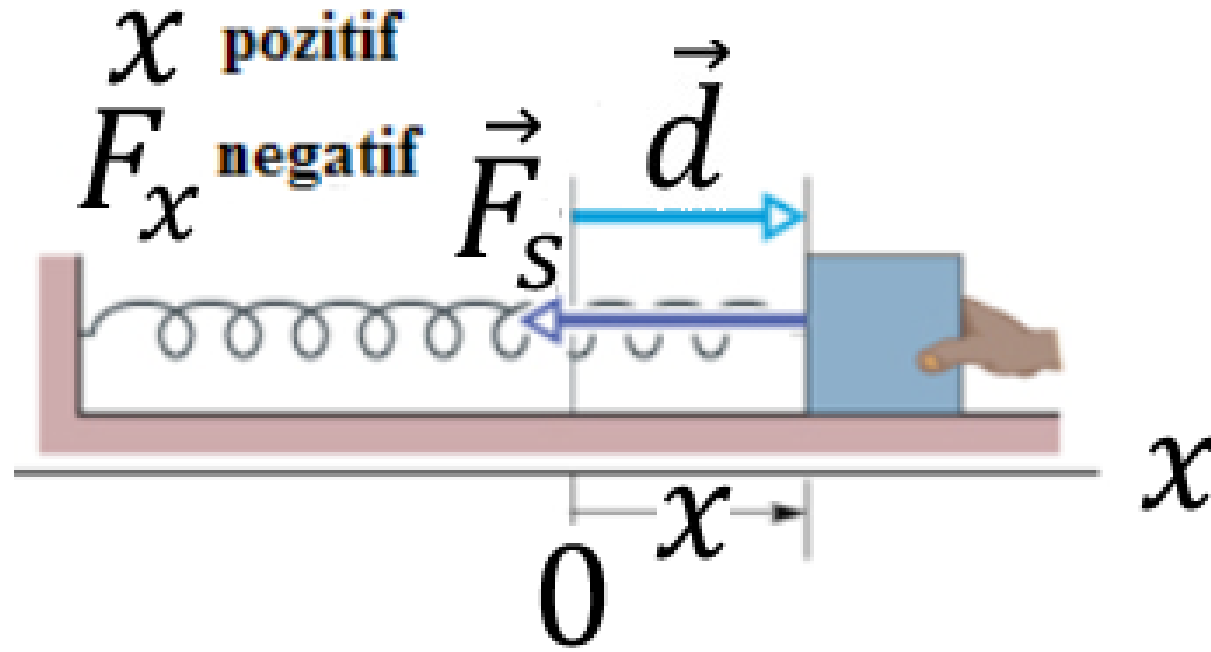
Hıza Bağlı Güç İfadesi

Yay Kuvveti

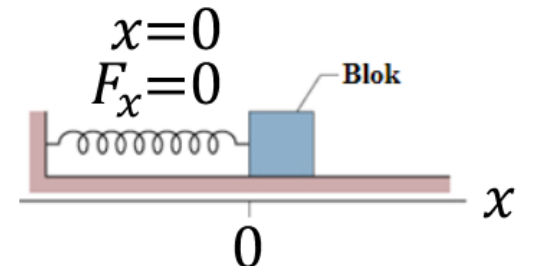
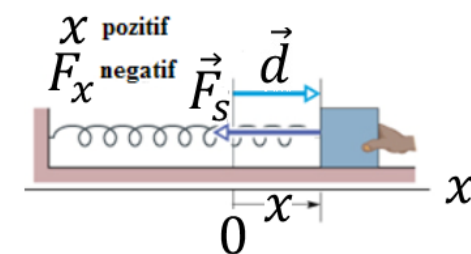
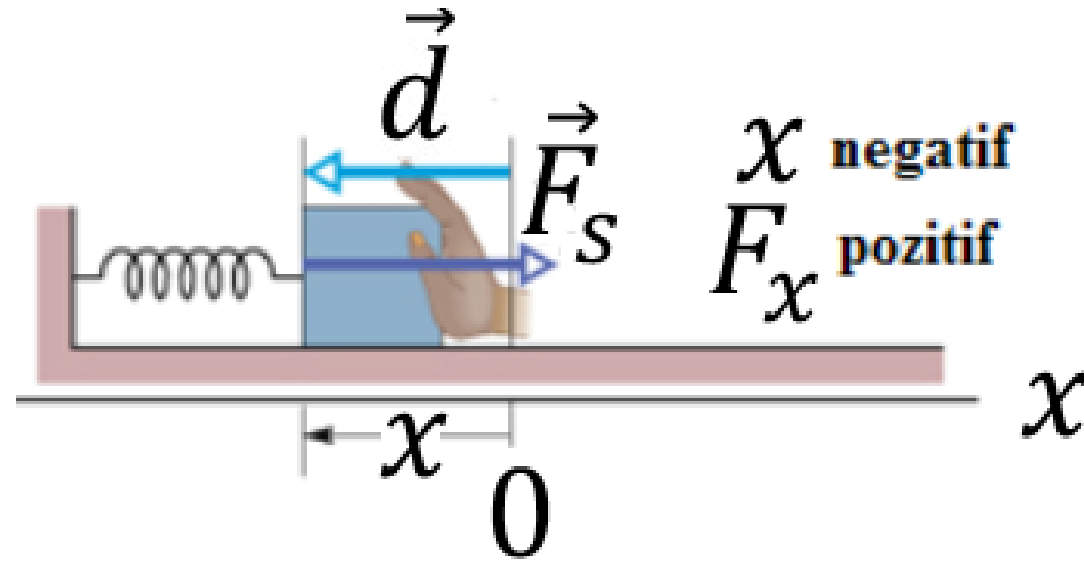
Denge durumundaki bir yaya (uzamamış veya sıkışmamış yay) bir blok bağlı bulunsun.



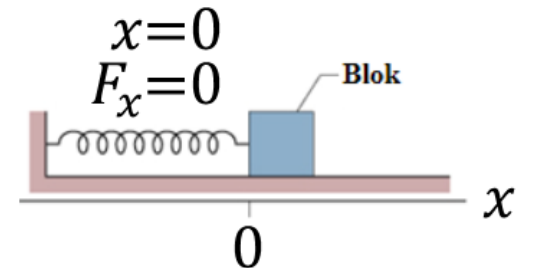
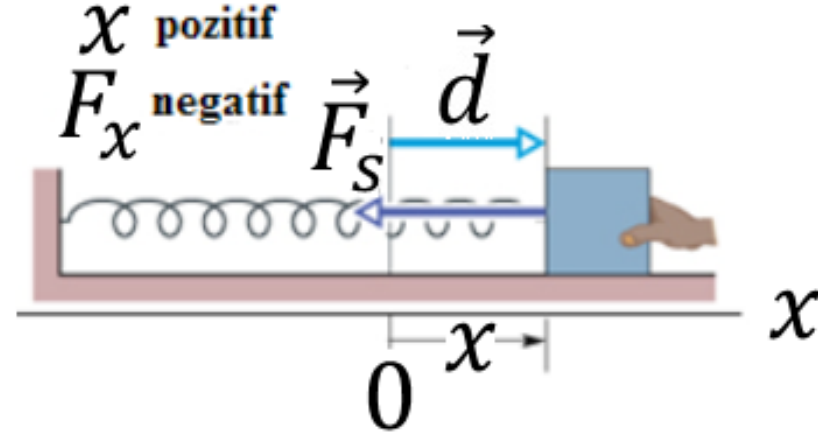
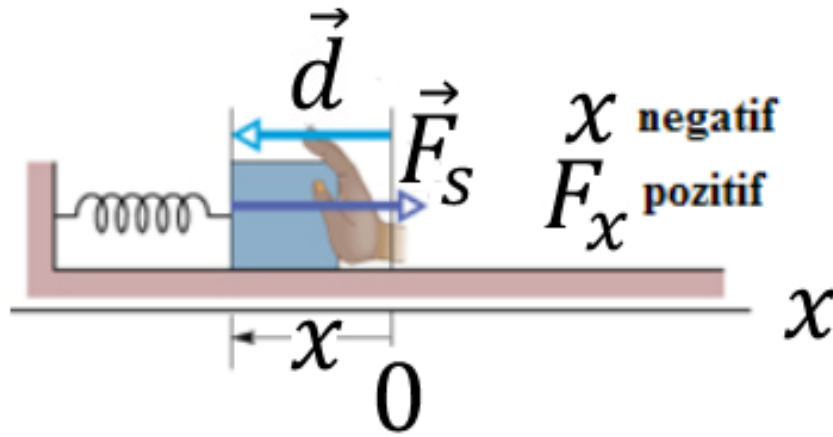
Yayı d kadar gerecek şekilde bloğu sağa doğru bir miktar çekelim.
Yay elimize ters doğrultuda bir **direnç kuvveti** (F) uygular.



Yayı d kadar sıkıştıracak şekilde bloğu sola doğru itersek, yay elimize yine ters doğrultuda bir **direnç kuvveti** (F) uygular.



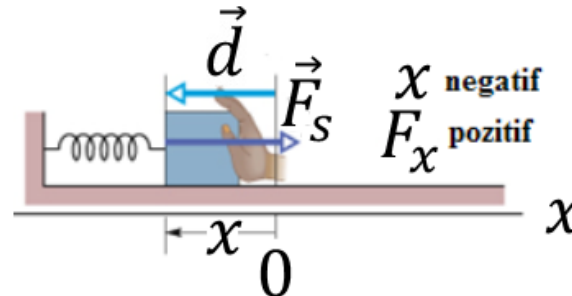
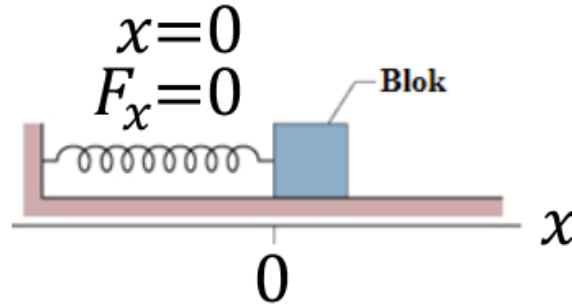
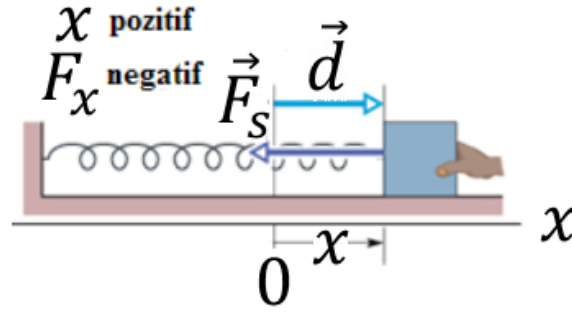
Her iki durumda da, yay tarafından elimize uygulanan F kuvveti yayı doğal uzunluğuna getirecek yönde etkir. **Büyüküğü ise, uzama veya sıkışma miktarı (x) ile orantılıdır.**



Eşitlik olarak

$$F = -kx$$

bağıntısı ile verilir. Bu eşitlik **Hooke yasası**, k ise **yay sabiti** olarak bilinir.

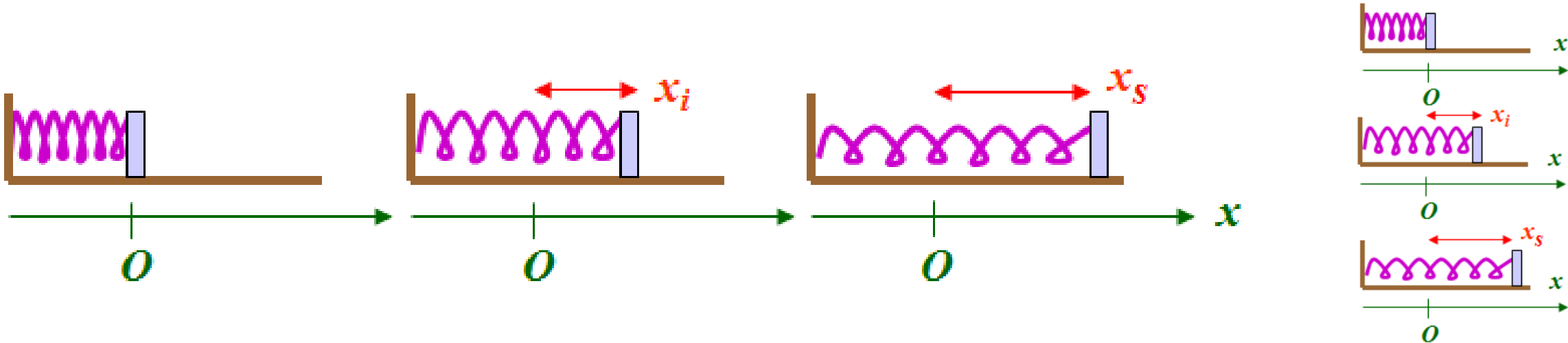


$$F = -kx$$

Yay Kuvveti Tarafından Yapılan İş

Yay sabiti k olan bir yayın boyunu, kuvvet uygulayarak x_i 'den x_s 'ye getirmiş olalım. **Yayın** elimize **uyguladığı kuvvetin yaptığı işi** (W_{yay}) hesaplamak isteyelim.

Yayın kütlesiz olduğunu ve Hooke yasasına uyduğunu varsayalım.



Değişken kuvvetin yaptığı iş bağıntısından,

$$\begin{aligned} W_{yay} &= \int_{x_i}^{x_s} F(x) dx = -k \int_{x_i}^{x_s} x dx = -k \left| \frac{x^2}{2} \right|_{x_i}^{x_s} \\ &= -k \frac{1}{2} (x_s^2 - x_i^2) \end{aligned}$$

bulunur.

$$F = -kx$$

Yay başlangıçta uzamasız durumda ise ($x_i = 0$) ve yayı x kadar germiş veya sıkıştırmış isek ($x_s = \pm x$), yay kuvvetinin yaptığı iş

$$W_{yay} = -k \frac{1}{2} (x_s^2 - x_i^2) \rightarrow W_{yay} = -\frac{1}{2} k x^2$$

olarak bulunur.

$$F = -kx$$

Örnek

Kütlesi 1.6 kg olan bir blok, yay sabiti $k = 1000 \text{ N/m}$ olan yatay bir yaya bağlıdır. Yay 2 cm sıkıştırılıp **durgun halden** serbest bırakılıyor (yüzey sürtünmesizdir).

- a) Blok denge noktasından ($x = 0$) geçerken hızı (v_s) ne olur?
- b) Aynı soruyu, sabit ve 4 N büyüklüğünde bir sürtünme kuvveti olması durumunda tekrar cevaplayınız.

Çözüm

$$(m = 1.6 \text{ kg} ; x = 2 \text{ cm} ; k = 1 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}} ; x = 0 ; v_i = 0 ; v_s = ?)$$

$$\text{a) } W_{yay} = -\frac{1}{2} k x_m^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^3 \times (-2 \times 10^{-2})^2 = 0.2 \text{ J}$$

$$W_{yay} = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 \rightarrow v_s = \sqrt{\frac{2 \times W_{yay}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.2}{1.6}}$$

$$\rightarrow v_s = 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$W_{yay} = -k \frac{1}{2} (x_s^2 - x_i^2)$$

$$W = \Delta K = K_s - K_i = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$W_{yay} = -\frac{1}{2} k x^2$$

Çözüm

$$\left(m = 1.6 \text{ kg} ; x = 2 \text{ cm} ; k = 1 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}} ; f_k = 4 \text{ N} ; x = 0 ; v_i = 0 ; W_{yay} = 0.2 \text{ J} ; v_s = ? \right)$$

$$\text{b) } W_f = -f_k x_m = -4(2 \times 10^{-2}) = -0.08 \text{ J}$$

(sürtünme kuvvetinin yaptığı iş)

$$\Delta K = W_{yay} + W_f = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = 0.2 - 0.08 = \frac{1.6}{2} v_s^2$$

$$\rightarrow v_s = \sqrt{\frac{2 \times 0.12}{1.6}} = 0.39 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$W_f = \vec{f}_k \cdot \vec{d}$$

$$W_{yay} = -\frac{1}{2} k x^2$$

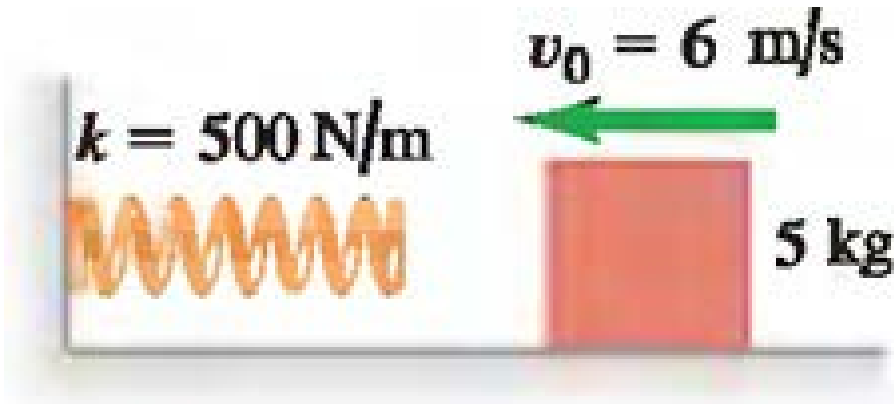
$$\Delta K = W + W_f$$

$$W = \Delta K = K_s - K_i = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

Örnek

Kütlesi 5 kg olan bir blok sürtünmesiz bir yüzeyde, yay sabiti $k = 500 \text{ N/m}$ olan yatay bir yaya $v_i = 6 \text{ m/s}$ hızla çarpıyor ve yayı sıkıştırıyor.

- a) Yaydaki sıkışma (x_m) ne kadardır?
- b) Yay en fazla 15 cm sıkışabiliyorsa, v_i hızı en fazla ne olur?

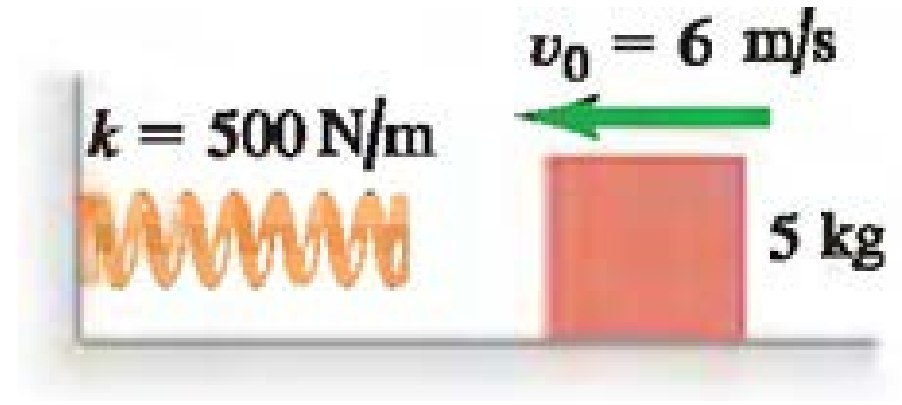


Çözüm

$$\left(m = 5 \text{ kg} ; k = 500 \frac{\text{N}}{\text{m}} ; x_i = 0 ; v_0 = 0 ; v_i = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; x_m = ? ; v_{i,\max} = ? \right)$$

$$\text{a) } W_{\text{yay}} = -k \frac{1}{2} (x_m^2 - x_i^2) = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} k x_m^2 = \frac{1}{2} m v_i^2 \rightarrow x_m = \sqrt{\frac{m}{k}} v_i = \sqrt{\frac{5}{500}} \times 6 = 0.6 \text{ m}$$



$$W_{\text{yay}} = -k \frac{1}{2} (x_s^2 - x_i^2)$$

$$W = \Delta K = K_s - K_i = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

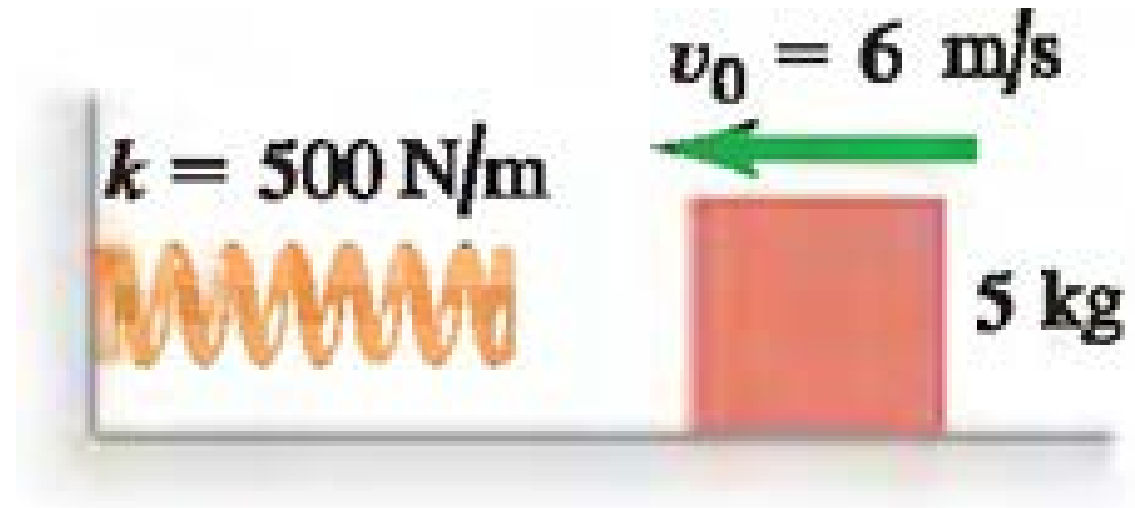
$$W_{\text{yay}} = -\frac{1}{2} k x^2$$

Çözüm

$$\left(m = 5 \text{ kg} ; k = 500 \frac{\text{N}}{\text{m}} ; x_i = 0 ; v_0 = 0 ; v_i = 6 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; x_{m,max} = 15 \text{ m} ; v_{i,max} = ?\right)$$

$$b) \quad x_{m,max} = \sqrt{\frac{m}{k}} v_i \rightarrow v_i = \frac{x_{m,max}}{\sqrt{\frac{m}{k}}} = \frac{0.15}{\sqrt{\frac{5}{500}}} = \sqrt{\frac{500}{5}} \times 0.15 =$$

$$1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$



$$W_{yay} = -k \frac{1}{2} (x_s^2 - x_i^2)$$

$$W = \Delta K = K_s - K_i = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

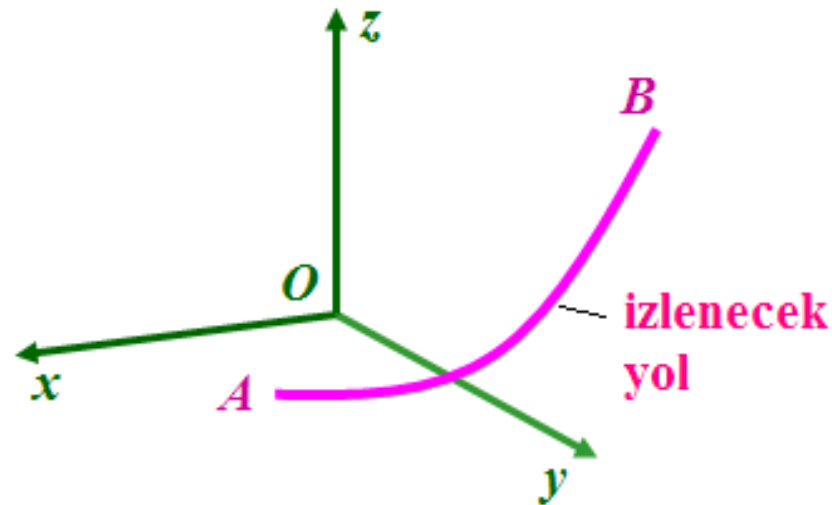
$$W_{yay} = -\frac{1}{2} k x^2$$

Üç-Boyutlu Uzayda Kuvvetin Yaptığı İş

Üç-boyutlu uzayda tanımlı bir kuvveti genel olarak

$$\vec{F} = F_x(x, y, z)\vec{i} + F_y(x, y, z)\vec{j} + F_z(x, y, z)\vec{k}$$

biçiminde tanımlanabilir.

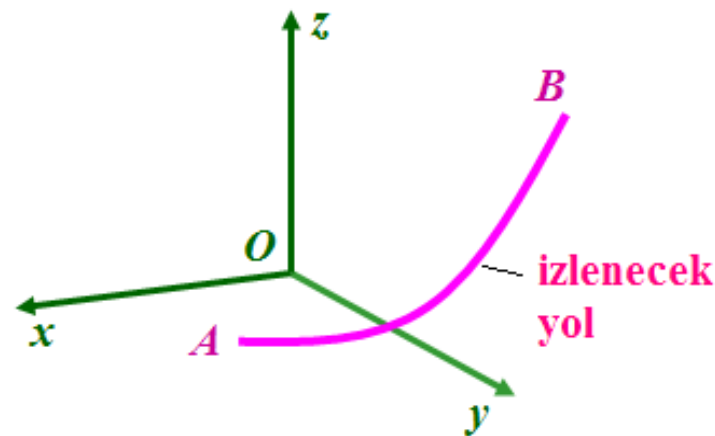


$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

Böylesi bir kuvvetin etkisinde, bir cismi koordinatı (x_i, y_i, z_i) olan A noktasından koordinatı (x_s, y_s, z_s) olan B noktasına, belirli bir yol boyunca, hareket ettirmek için yapılacak iş,

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{r} = F_x dx + F_y dy + F_z dz$$
$$W = \int_A^B dW = \int_{x_i}^{x_s} F_x dx + \int_{y_i}^{y_s} F_y dy + \int_{z_i}^{z_s} F_z dz$$

ile verilir.



$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

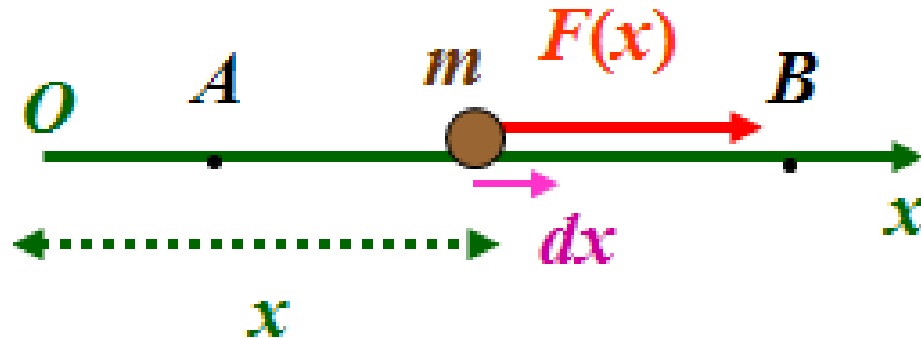
$$\vec{F} = F_x(x, y, z)\vec{i} + F_y(x, y, z)\vec{j} + F_z(x, y, z)\vec{k}$$

Değişken Kuvvet ve İş-Kinetik Enerji Teoremi

Değişken bir $F(x)$ kuvveti yardımıyla kütlesi m olan bir cismi $A(x = x_i)$ noktasından $B(x = x_s)$ noktasına hareket ettirelim. Newton'un ikinci yasasına göre,

$$F = ma = m \frac{dv}{dt}$$

'dir.



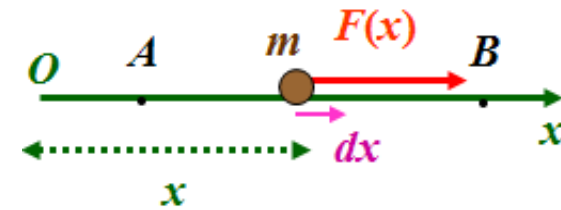
Eşitliğin her iki tarafını dx ile çarpıp x_i ve x_s aralığında integralini alırsak,

$$W = \int_{x_i}^{x_s} F dx = \int_{x_i}^{x_s} m \frac{dv}{dt} dx$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} \rightarrow \frac{dv}{dt} dx = \frac{dv}{dx} \frac{dx}{dt} dx = v dv$$

$$\rightarrow W = m \int_{x_i}^{x_s} v dv$$

$$W = \int_{x_i}^{x_s} F dx$$



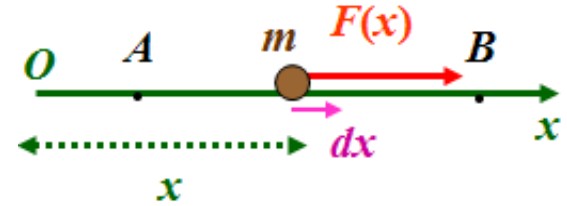
$$F = ma = m \frac{dv}{dt}$$

$$W = \int_{x_i}^{x_s} F dx$$

$$\rightarrow W = m \int_{x_i}^{x_s} v dv$$

$$W = \frac{m}{2} |v^2|_{x_i}^{x_s} = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = K_s - K_i = \Delta K$$

bulunur.



Not: Görüldüğü gibi iş-kinetik enerji teoremi, kuvvetin sabit olduğu durum ile aynıdır.

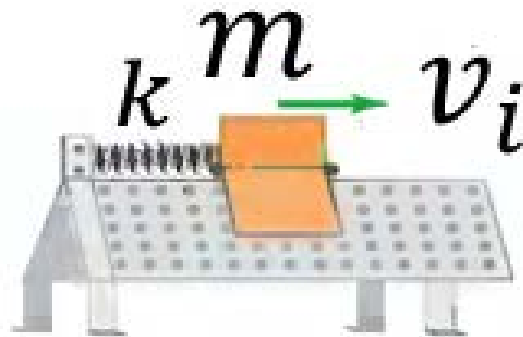
$$W = \Delta K = K_s - K_i = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$F = ma = m \frac{dv}{dt}$$

Örnek

Kütlesi 0.1 kg olan bir blok hava rayı üzerinde yay sabiti $k = 20 \text{ N/m}$ olan yatay bir yaya bağlıdır. Blok **denge noktası**ndan sağa doğru 1.5 m/s (v_i) hızla geçiyor.

- a) Hava rayı sürtünmesiz ise, blok ne kadar sağa gidebilir (x_m)?
- b) Hava rayı sürtünmeli ise ($\mu_k = 0.47$), blok ne kadar sağa gidebilir (x_m)?

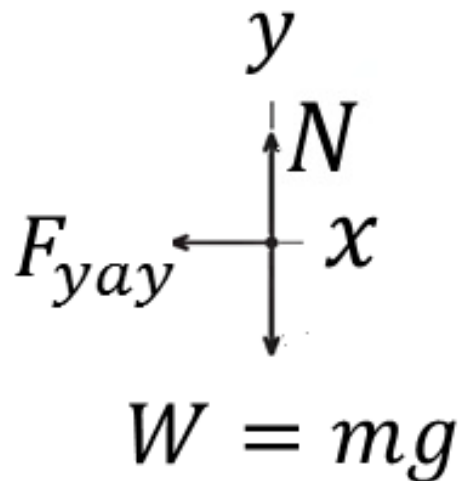
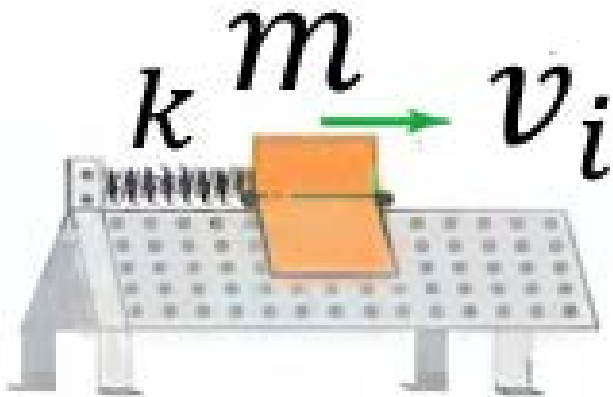


Çözüm

$$\left(m = 0.1 \text{ kg} ; k = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}} ; x_i = 0 ; v_s = 0 ; v_i = 1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; \mu_k = 0.47 ; x_m = ? \right)$$

$$\text{a) } W_{yay} = -k \frac{1}{2} (x_m^2 - x_i^2) = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

$$\rightarrow \frac{1}{2} k x_m^2 = \frac{1}{2} m v_i^2 \rightarrow x_m = \sqrt{\frac{m}{k}} v_i = \sqrt{\frac{0.1}{20}} \times 1.5 = 0.106 \text{ m}$$



$$W_{yay} = -\frac{1}{2} k x^2$$

$$W_{yay} = -k \frac{1}{2} (x_s^2 - x_i^2)$$

$$W = \Delta K = K_s - K_i = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

Çözüm

$$\left(m = 0.1 \text{ kg} ; k = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}} ; x_i = 0 ; v_s = 0 ; v_i = 1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; \mu_k = 0.47 ; x_m = ? \right)$$

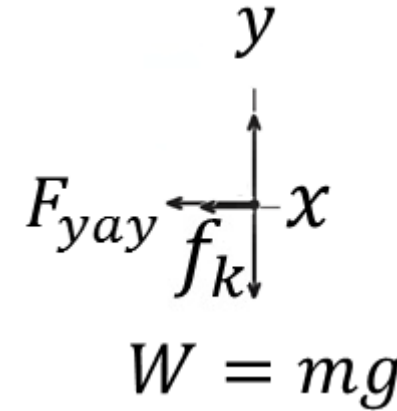
b) $W_f = -f_k x_m = -(\mu_k m g) x_m$ (sürtünme kuvvetinin yaptığı iş)

$$\Delta K = W_{yay} + W_f = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = -\frac{1}{2} m v_i^2$$

$$\rightarrow -k \frac{1}{2} (x_m^2 - x_i^2) - (\mu_k m g) x_m = -\frac{1}{2} m v_i^2$$

$$\rightarrow -\frac{1}{2} k x_m^2 - \mu_k m g x_m = -\frac{1}{2} m v_i^2$$

(İş-kinetik enerji teorimi)



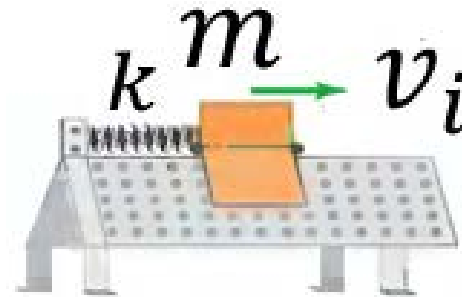
$$f_k = \mu_k F_N$$

$$W_f = \vec{f}_k \cdot \vec{d}$$

$$W_{yay} = -\frac{1}{2} k x^2$$

$$W_{yay} = -k \frac{1}{2} (x_s^2 - x_i^2)$$

$$W = \Delta K = K_s - K_i = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$



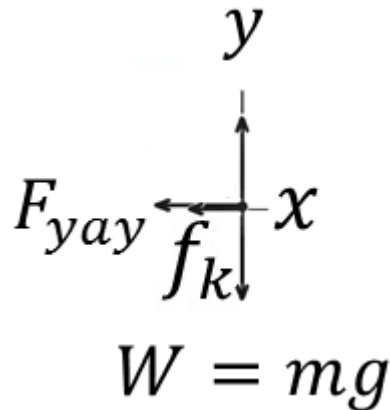
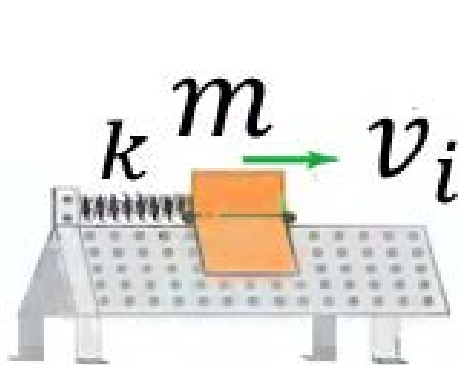
Çözüm

$$\left(m = 0.1 \text{ kg} ; k = 20 \frac{\text{N}}{\text{m}} ; x_i = 0 ; v_s = 0 ; v_i = 1.5 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; \mu_k = 0.47 ; x_m = ? \right)$$

$$-\frac{1}{2} k x_m^2 - \mu_k m g x_m = -\frac{1}{2} m v_i^2$$

$$-\frac{1}{2} \times 20 x_m^2 - 0.47 \times 0.1 \times 9.8 x_m = -\frac{1}{2} \times 0.1 \times 1.5^2$$

$$10 x_m^2 + 0.46 x_m - 0.113 = 0 \rightarrow x_m = 8.6 \text{ cm}$$



$$f_k = \mu_k F_N$$

$$W_f = \vec{f}_k \cdot \vec{d}$$

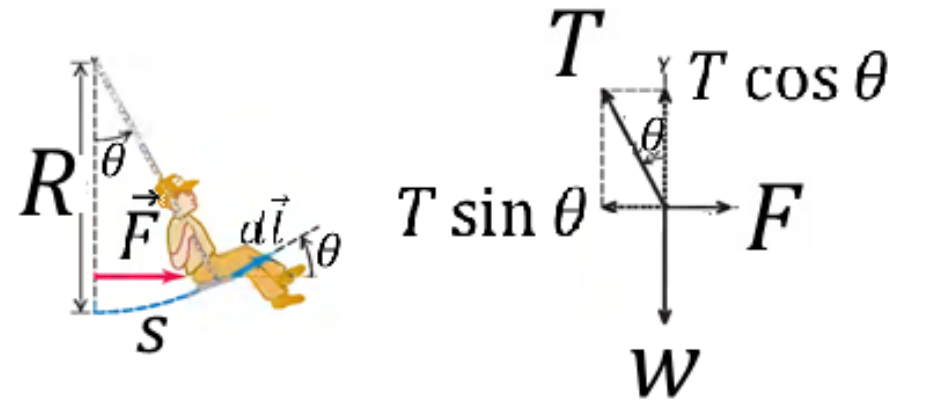
$$W_{yay} = -\frac{1}{2} k x^2$$

$$W_{yay} = -k \frac{1}{2} (x_s^2 - x_i^2)$$

$$W = \Delta K = K_s - K_i = \frac{1}{2} m v_s^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

Örnek

Salıncağa binmiş w ağırlığındaki bir çocuğu, ipler düşeyle θ_0 açısı yapana kadar (burada çocuk durgundur) yatay bir F kuvvetiyle ittiğinizi düşünün. Bunun için uygulamanız gereken kuvveti, sıfırdan başlayarak çocuk dengeye gelene kadar belirli bir maksimum değere kadar artırmanız gerekir. Uyguladığınız F kuvvetinin yaptığı işi bulunuz ($W = ?$).

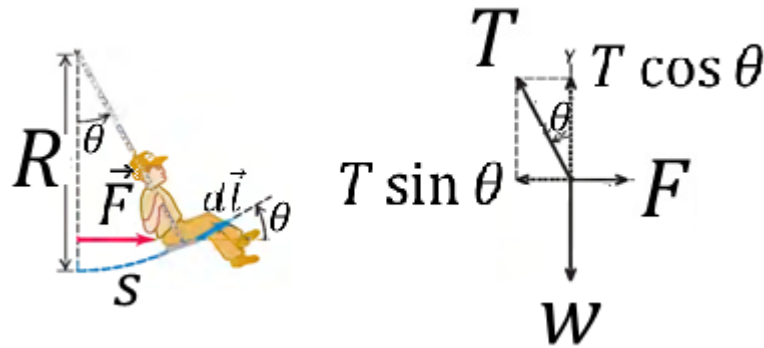


Çözüm ($w = ?$)

Denge durumunda:

$$\sum F_x = F - T \sin \theta = 0 \rightarrow F = T \sin \theta$$

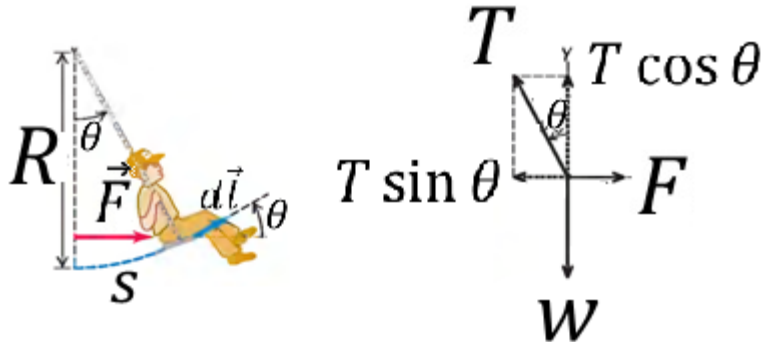
$$\sum F_y = T \cos \theta - w \rightarrow T = \frac{w}{\cos \theta}$$



Çözüm ($w = ?$)

$$T = \frac{W}{\cos \theta}; F = T \sin \theta = \frac{w \sin \theta}{\cos \theta} = w \tan \theta \rightarrow F = w \tan \theta$$
$$\rightarrow F = w \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{l} = \int_0^{\theta_0} F dl \cos \theta = \int_0^{\theta_0} \left(w \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \right) (R d\theta) \cos \theta = wR \int_0^{\theta_0} \sin \theta d\theta = -wR |\cos \theta|_0^{\theta_0} = wR(1 - \cos \theta_0)$$



$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$
$$W = F d \cos \phi$$
$$W = \int_{x_i}^{x_s} F(x) dx$$

Güç (P)

Güç, F kuvveti tarafından **birim zamanda yapılan iş** veya F kuvvetinin **iş yapma hızı** olarak tanımlanır.

F kuvveti Δt zaman aralığında W kadar iş yapmışsa, **ortalama güç**:

$$P_{ort} = \frac{W}{\Delta t}$$

Anlık güç:

$$P = \frac{dW}{dt}$$

SI sistemindeki güç birimi: $\frac{J}{s} = \text{watt}$

SI sistemindeki iş birimi: $\text{kilowatt} - \text{saat} (kW - sa)$

Örnek:

1000 W gücündeki bir motor 1 saat süreyle çalışıyorsa yaptığı iş:

$$W = Pt = 1000 \text{ watt} \times 3600 \text{ s}$$

$$W = 1000 \frac{J}{s} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ}$$

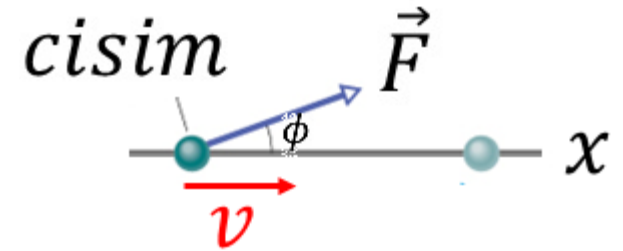
$$P_{ort} = \frac{W}{\Delta t}$$

$$P = \frac{dW}{dt}$$

Hıza Bağlı Güç İfadesi

Hareket eden bir cisme, hareket doğrultusu ile ϕ açısı yapacak şekilde bir F kuvveti uygulayalım.

Uygulanan F kuvvetinin iş yapma hızı:



$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{F \cos \phi dx}{dt} = F \cos \phi \frac{dx}{dt} = F v \cos \phi$$

$$\rightarrow P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

ile verilir.

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

$$W = Fd \cos \phi$$

$$P_{ort} = \frac{W}{\Delta t}$$

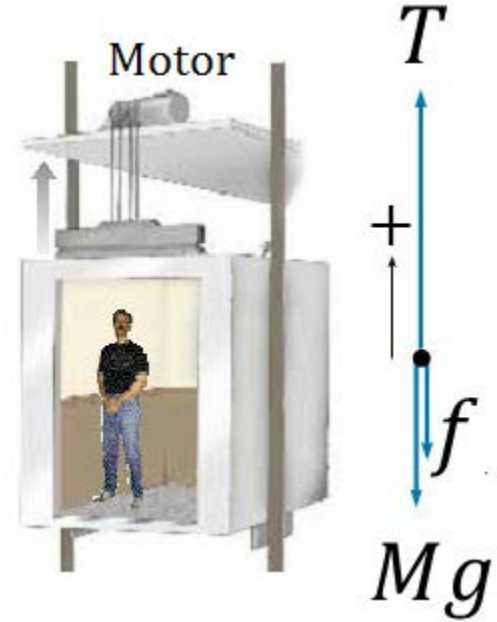
$$P = \frac{dW}{dt}$$

Örnek

Bir asansörün kütlesi 1000 kg 'dır ve toplam 800 kg taşıyabilmektedir. Asansör yukarı çıkarken 4000 N 'luk sabit bir sürtünme kuvveti etkimektedir. Asansör,

- a) 3 m/s 'lik sabit hızla yukarıya ve
- b) 1 m/s^2 'lik ivme ile yukarı

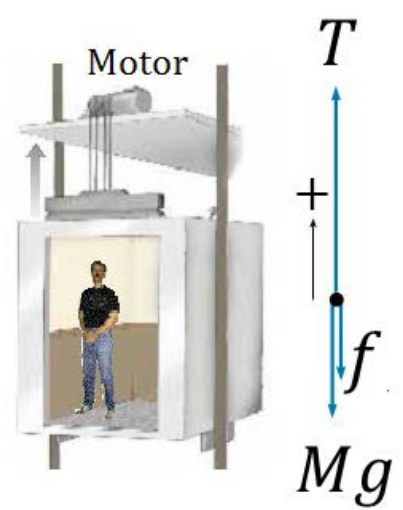
çıkıyorsa, asansör motorunun sağladığı güç ne olur (P)?



Çözüm

$$\left(m = 1000 \text{ ve } 800 \text{ kg} ; f = 4000 \text{ N} ; v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} ; P = ? \right)$$

a) $v = \text{sabit} \rightarrow a = 0$:



$$\sum F_y = T - f - w = 0 \rightarrow T = f + w$$

$$T = 4000 + (1000 + 800) \times 9.8 = 2.16 \times 10^4 \text{ N}$$

$$P = \vec{T} \cdot \vec{v} = T v \cos \phi = 2.16 \times 10^4 \times 3 \times \cos 0$$

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$P = 6.44 \times 10^4 \text{ W}$$

$$P = F v \cos \phi$$

$$\sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 0$$

Çözüm

$$\left(m = 1000 \text{ ve } 800 \text{ kg} ; f = 4000 \text{ N} ; v = 3 \frac{\text{m}}{\text{s}} ; a = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} ; P = ? \right)$$

b) $a \neq 0$:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= T - f - Mg = Ma \rightarrow T = f + Mg + Ma \\ &= f + M(g + a) \end{aligned}$$

$$T = 4000 + 1800(9.8 + 1) = 2.34 \times 10^4 \text{ N}$$

$$P = \vec{T} \cdot \vec{v} = T v \cos \phi = 2.34 \times 10^4 \times v \times \cos 0$$

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

$$P = F v \cos \phi$$

$$P = 2.34 \times 10^4 v (\text{anlık hız}) \text{ watt}$$

$$\sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 0$$

