

BÖLÜM 5

HAREKET KANUNLARI

1. Kuvvet kavramı
2. Newton'un 1. yasası ve eylemsiz sistemler
3. Kütle
4. Newton'un 2. yasası
5. Kütle-çekim kuvveti ve ağırlık
6. Newton'un 3. yasası
7. Newton yasalarının bazı uygulamaları
8. Sürtünme kuvvetleri

Küçük bir bot böyle büyük bir yük gemisini nasıl çekebilir?





Ariane 5 roketi 22 Nisan 2011 de uzay yolculuğuna başlıyor. Avrupa Uzay Birliği (ESA) tarafından geliştirilen bu roket 9.5 ton yükü Dünya'nın çekim kuvvetinden kurtarıp uzaya taşıyarak bir rekor kırmıştır. Hareketi doğuran temel etken kuvvettir. Hareketin, *kuvvet* ve *kütle* gibi kavramlarla ilişkisi tam olarak nedir?

Kuvvet kavramı

Kuvvetle ilgili olarak herkesin günlük yaşamından bir deneyimi vardır. Bu deneyimler sandalyenin kaldırılıp bir yere taşınması, kitabın yerinden kaldırılması veya futbol topuna vurularak onu hareketlendirmek gibi aktivitelerdir. Bunları yaparken cisimlere (kas) kuvveti uygularız. Bazen onların hızlarını değiştiririz. Kuvvet genelde harekete neden olur. Bazen hareket ettiremediğiniz büyüklükte cisimlere de kuvvet uygularız.

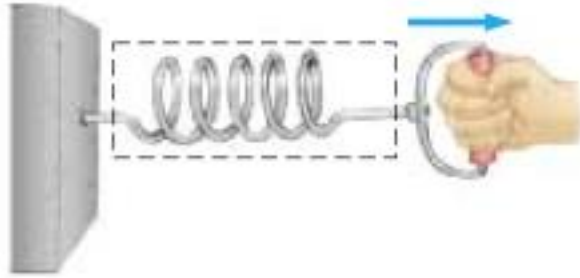
TOPLAM KUVVET

Birden fazla kuvvet bir cisme etki ederse cisim nasıl hareket eder? Eğer cismin hızında değişme oluyorsa hareket eder. Eğer cismin hızında değişme oluyorsa ona bir etki (kuvvet) ediyordur. Net kuvvet toplam kuvvet veya bileşke kuvvet olarak isimlendirilir. Bir cisme etki eden kuvvetler cismin hızını değiştiremiyorsa cisme etki eden toplam kuvvet sıfırdır. Cisim dengededir.

KUVVET KAVRAMI

- ⌚ Bir cismi itmek, bir topa vurmak kuvvet uygulamaktır.
- ⌚ Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet o cismin üzerine uygulanan kuvvetlerin tamamının vektörel toplamıdır.
- ⌚ Net kuvvet sıfırsa, ivme de sıfırdır ve cismin hızı değişmez.
- ⌚ Bir cisim bir dış kuvvet nedeni ile ivmelenir.
- ⌚ Cismin hızı sabit ya da cisim durgun halde ise o cisim dengede deriz.
- ⌚ Bir cismin hızındaki değişim ancak o cisme bir kuvvet uygulanması ile mümkündür. O halde cismin üzerine uygulanan kuvvet ile cismin ivmesi arasında bir ilişki vardır.
- ⌚ Kuvvetler temas kuvvetleri ve alan kuvvetleri olmak üzere ikiye ayrılır.

Temas Kuvvetleri



(a)



(b)

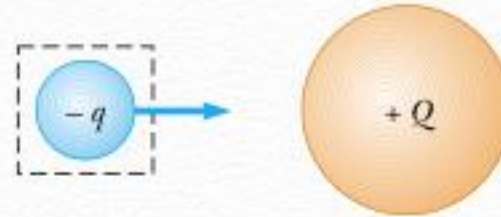


(c)

Alan Kuvvetleri



(d)



(e)



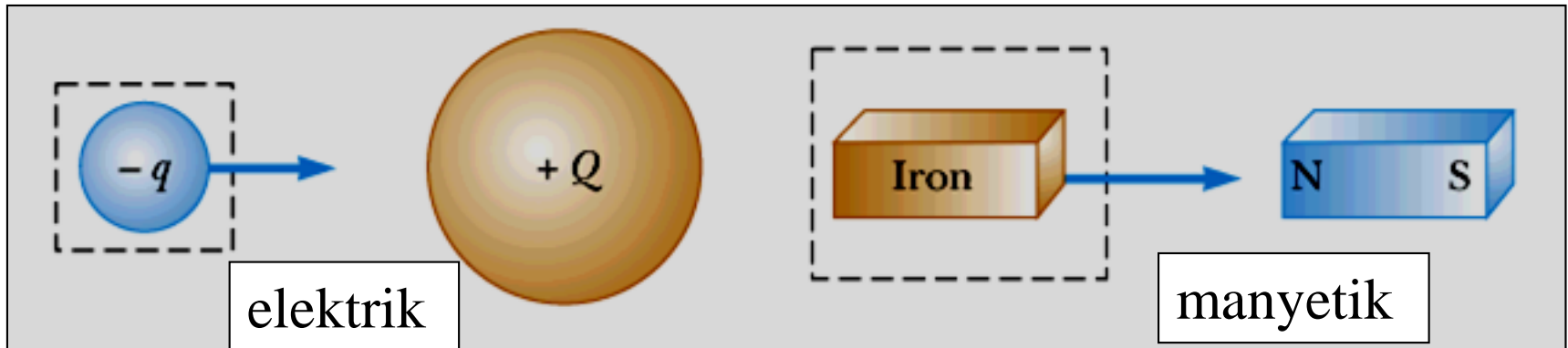
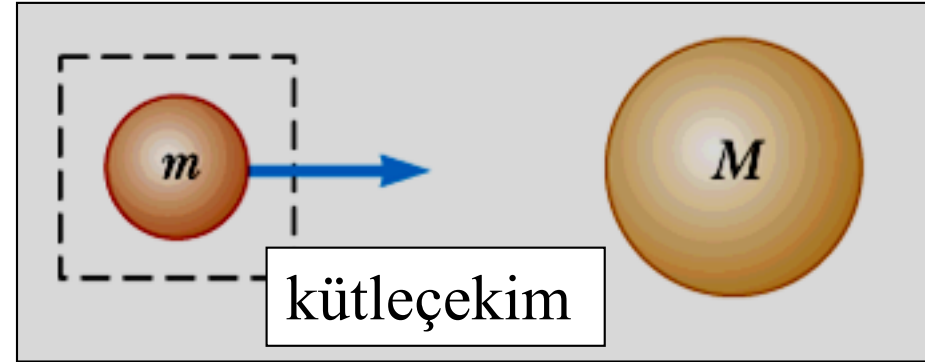
(f)

ALAN KUVVETLERİ

Cisimler arasında fiziksel temas yoktur.

ÖRNEKLER:

- İki cisim arasındaki çekim kuvveti
- Elektrik yüklerinin birbirine uyguladığı kuvvet
- Bir mıknatısın demir çubuğa uyguladığı kuvvet



Temel Kuvvetler

- 1) **Kütle çekim kuvvetleri**; iki cismin kütlelerinden dolayı birbirlerine uyguladıkları çekim kuvvetleri
- 2) **Elektromanyetik kuvvetler**; durgun veya hareketli iki yüklü parçacığın yüklerinden dolayı birbirlerine uyguladıkları itme veya çekme kuvvetleri
- 3) Atom-altı parçacıklar arasında görülen, şiddetleri büyük **çekirdek kuvvetleri**
- 4) **Zayıf nükleer kuvvetler**; belli radyoaktif bozunumlarda ortaya çıkan kuvvetlerdir.

Klasik fizik sadece;

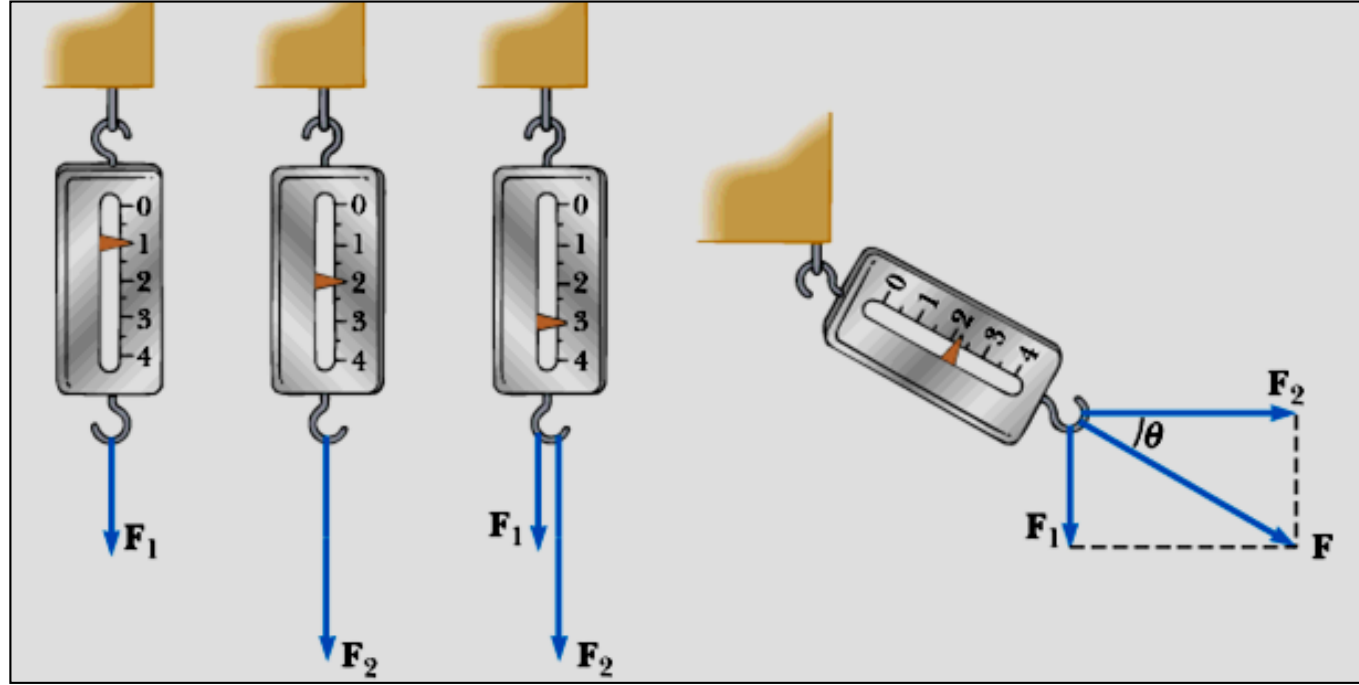
kütle çekim ve

elektromanyetik kuvvetleri

inceler.

Kuvvetlerin ölçülmesi

- Kuvvetler genellikle kalibre edilmiş bir yayın şekil değişimini belirlenmesiyle ölçülür.
- Bir cisme etkiyen bileşke kuvveti bulmak için vektör toplama kuralını uyguluyoruz.



Kuvvetin vektör özelliğini test edelim.

- (a) F_1 kuvveti yayı 1 cm geriyor.
- (b) F_2 kuvveti yayı 2 cm geriyor.
- (c) F_1 ve F_2 nin yönü birbirine şekildeki gibi olursa yaydan okunan

$$F = \sqrt{1^2 + 2^2} = 2.24 \text{ cm}$$

- Kuvvet F büyüklüğü ve yönü belirlenen *vektörel* bir büyüklüktür.
- Durağan bir cisim üzerine etki eden bileşke (net) kuvvet sıfır ise bu cisim hareketsiz kalır.
- Bir cisme uygulanan net kuvvet, ayrı ayrı itme ve çekmelerden oluşan toplam itme ya da çekmeyi ifade eder.

$$\vec{F}_{net} = \sum_i \vec{F}_i \quad 1\text{N} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

SI → 1 Newton (N) = 1 kg.m/s²

CGS → 1 Dyne (din) = 1 g.cm/s²

Nicelik	Kütle	İvme	Kuvvet
Sembol	m	a	F
Birim	kg	m/s ²	kg m/s ²

Tablo 1.1: Birim Tablosu

$$\text{SI} \rightarrow 1 \text{ Newton (N)} = 1 \text{ kg.m/s}^2$$

$$1\text{N}=10^3\text{g}.10^2\text{cm/s}^2=10^5\text{Din}$$

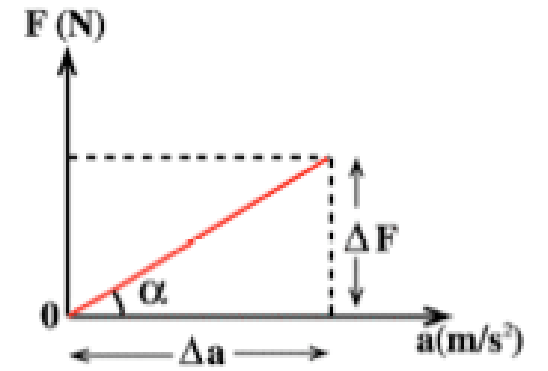
$$1\text{Din}=10^{-5} \text{ N} ; \quad 1\text{N} = 10^5 \text{ Din}$$

*1kg'lık kütleye 1m/s² lik ivme kazandıran kuvvet 1 newton (N) değerindedir.
1 N= 1kg m/s² dir.*

$F = m . a$ bağıntısından ivme birimi m/s² yerine, $a = \frac{F}{m} = \frac{N}{kg}$ da kullanılabilir.

Bir cisme uygulanan F kuvveti ile cismin kazandığı ivmenin değişim grafiğinde,

$$\tan \alpha = \text{eğim} = \frac{\Delta F}{\Delta a} = \text{sabit} = \text{kütledir.}$$



Grafik 1.1:Kuvvet-ivme grafiği

Kuvvet-ivme grafiğinin eğimi cismin kütlesini verir.

1. Newton Yasası

Üzerine net kuvvet etkimeyen bir cisim ya hareketsizdir, yahut da düzgün doğrusal hareket yapar.

$$\vec{F}_{\text{net}} = 0 \quad \Longleftrightarrow \quad \vec{a} = 0$$

- \vec{F}_{net} çok sayıda kuvvetin vektörel toplamı olup, buna **net kuvvet** veya **bileşke kuvvet** denir:

$$\vec{F}_{\text{net}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \cdots = \sum_i \vec{F}_i$$

Cisim üzerine çok sayıda kuvvet etkiyor olabilir, ama bunların bileşkesi sıfırsa, birinci yasa geçerlidir.

- Birinci yasa aslında kuvvetin tanımıdır. **Eğer bir cisim ivmeleniyorsa üzerine net bir kuvvet etkiyor demektir.** İvme, kuvvetin varlığının habercisidir.

Eylemsizlik:

Bir cismin, hızında meydana gelecek değişmeye direnme eğilimine o cismin eylemsizliği denir.

Yani eylemsizlik, bir cismin dış kuvvete nasıl karşı koyacağının (direncinin) bir ölçüsüdür.

Kütle

- Bir cismin kütlesi, cismin ne kadar eylemsizliğe sahip olduğunun bir ölçüsüdür.
- Kütle cismin değişmeyen bir özelliğidir ve skaler bir niceliktir.
- Kütlenin birimi **SI** sisteminde **kg** 'dır.
- Belli bir kuvvet altında, cismin kütlesi büyükse, kazandığı ivme küçüktür. Yani kütle ile kazanılan ivme arasında ters orantı vardır:
- Belli bir kuvvet ile m_1 kütlesine a_1 ivmesi, m_2 kütlesine a_2 ivmesi kazandırılıyorsa:

$$\frac{m_1}{m_2} \equiv \frac{a_2}{a_1}$$

Kütle ve ağırlık farklıdır.

Cismin ağırlığı ona etki eden yerçekimi kuvvetinin büyüklüğüdür.

2. Newton Yasası

Bir cisim, üzerine uygulanan net kuvvetle doğru orantılı ve onunla aynı yönde bir ivme kazanır. Orantı katsayısı cismin kütlesi olur.

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

- İkinci yasa kuvvet birimini belirler. SI sisteminde Newton (kısaca N)
 $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$

- İkinci yasa vektörel bir eşitliktir. Her bileşen için geçerli olmalıdır:

$$\vec{F}_{\text{net}} = m \vec{a} \quad \Longleftrightarrow \quad \begin{cases} F_{x,\text{net}} = m a_x \\ F_{y,\text{net}} = m a_y \end{cases}$$

- İkinci yasa aslında kütlenin tanımıdır. Kütle, cismin ivmelenmeye direncinin bir ölçüsüdür. Buna **eylemsizlik** denir.

- Newton yasaları hangi gözlemciler için geçerlidir?
Newton yasaları birbirine göre duran veya düzgün doğrusal hareket yapan gözlemciler için geçerlidir.

2. Newton Yasası

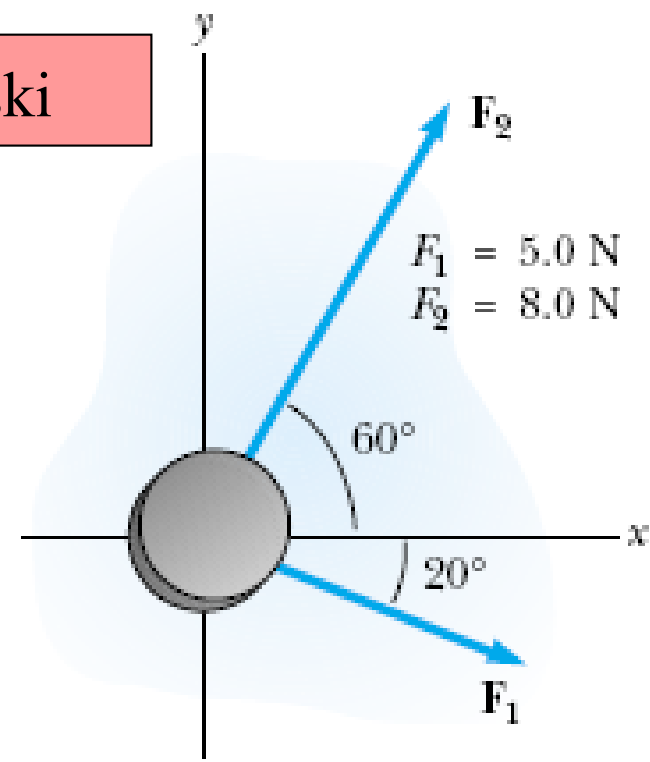
Bir cismin ivmesi, ona etki eden bileşke kuvvet ile doğru orantılı ve kütlesi ile ters orantılıdır.

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$$\sum F_x = ma_x \quad \sum F_y = ma_y \quad \sum F_z = ma_z$$

ÖRNEK 5.1 (s.118) İvmelenen bir hokey diski

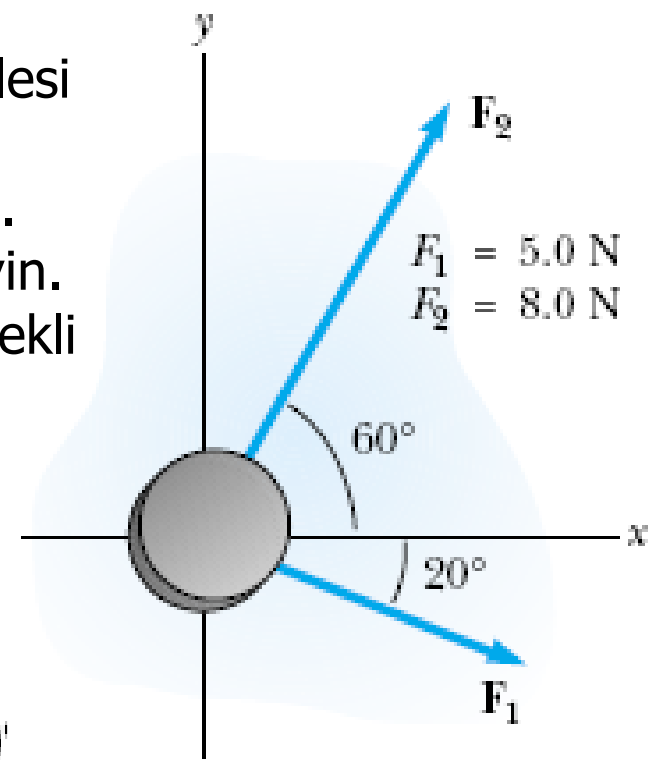
Bir hokey diskine sürtünmesiz bir buz zeminde (kütlesi 0.3 kg), şekildeki gibi iki kuvvet etki ediyor.



- (a) Diske etkiyen net kuvvetin bileşenlerini belirleyin.
- (b) Diskin ivmesinin büyüklüğünü ve yönünü belirleyin.
- (c) Cismin ivmesinin sıfır olabilmesi için etkimesi gerekli üçüncü kuvvet (büyüklüğü ve yönü) ne olmalıdır?

Bir hokey diski ne sürtünmesiz bir buz zeminde (kütlesi 0.3 kg), şekildeki gibi iki kuvvet etki ediyor.

- Diske etkiyen net kuvvetin bileşenlerini belirleyin.
- Diskin ivmesinin büyüklüğünü ve yönünü belirleyin.
- Cismin ivmesinin sıfır olabilmesi için etkimesi gerekli üçüncü kuvvet (büyüklüğü ve yönü) ne olmalıdır?



ÇÖZÜM: a)

x-yönündeki bileşke kuvvet:

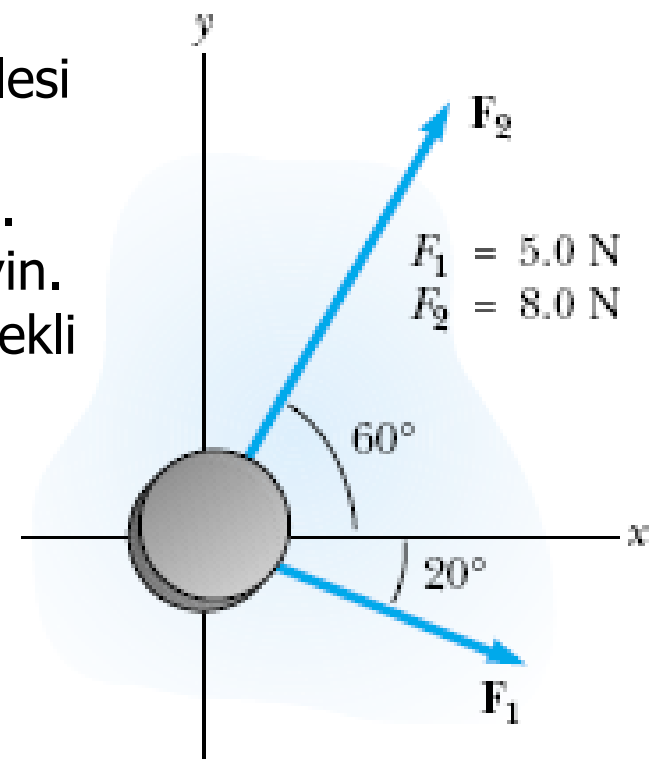
$$\begin{aligned}\sum F_x &= F_{1x} + F_{2x} = F_1 \cos(-20^\circ) + F_2 \cos 60^\circ \\ &= (5.0 \text{ N})(0.940) + (8.0 \text{ N})(0.500) = 8.7 \text{ N}\end{aligned}$$

y-yönündeki bileşke kuvvet:

$$\begin{aligned}\sum F_y &= F_{1y} + F_{2y} = F_1 \sin(-20^\circ) + F_2 \sin 60^\circ \\ &= (5.0 \text{ N})(-0.342) + (8.0 \text{ N})(0.866) = 5.2 \text{ N}\end{aligned}$$

Bir hokey diskine sürtünmesiz bir buz zeminde (kütlesi 0.3 kg), şekildeki gibi iki kuvvet etki ediyor.

- Diske etkiyen net kuvvetin bileşenlerini belirleyin.
- Diskin ivmesinin büyüklüğünü ve yönünü belirleyin.
- Cismin ivmesinin sıfır olabilmesi için etkimesi gerekli üçüncü kuvvet (büyüklüğü ve yönü) ne olmalıdır?



ÇÖZÜM: b) Newton'un 2. yasasını kullanırsak;
x- ve y-yönündeki ivme bileşenleri:

$$a_x = \frac{\Sigma F_x}{m} = \frac{8.7 \text{ N}}{0.30 \text{ kg}} = 29 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \frac{\Sigma F_y}{m} = \frac{5.2 \text{ N}}{0.30 \text{ kg}} = 17 \text{ m/s}^2$$

İvmenin büyüklüğü ve yönü:

$$a = \sqrt{(29)^2 + (17)^2} \text{ m/s}^2 = 34 \text{ m/s}^2 \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{a_y}{a_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{17}{29}\right) = 30^\circ$$

c) Yönü -30° ve bileşenleri;

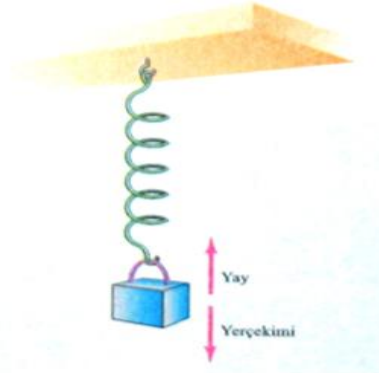
$$F_{3x} = -8.7 \text{ N}, \quad F_{3y} = -5.2 \text{ N}.$$

ÇEKİM KUVVETİ VE AĞIRLIK

- **Çekim kuvveti**, bir cisme dünyanın uyguladığı kuvvettir.
- Yönü dünyanın merkezine doğrudur.
- Bu çekici kuvvet yerçekimi kuvvetidir, (**F_g**).

$$\sum F = ma \Rightarrow \sum F = F_g \Rightarrow a = g$$

$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g}$$



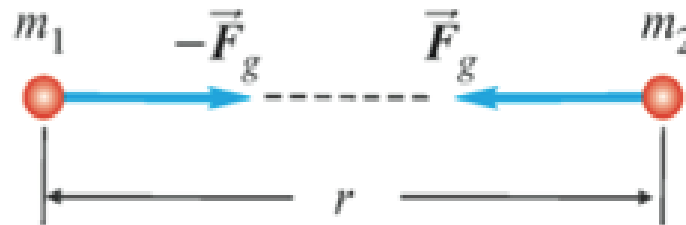
Newton'ın birinci kanun ile gerilmiş bir yayın uyguladığı kuvvet gibi bilinen bir kuvvet kullanılarak diğer kuvvetler ölçülebilir. Bu sistemde ölçülen kuvvet yerçekimi kuvvetidir.

- Bu kuvvetin büyüklüğü cismin ağırlığı olarak adlandırılır.
- Yani bir cismin ağırlığı yerçekimi kuvvetinin büyüklüğüdür. (Bu kuvvet, m kütlesinin yere düşmemesi için gerekli kuvvettir).
- Cismin ağırlığı yerçekimi ivmesinin büyüklüğü ile değişir, ancak cismin kütlesi değişmez; Dünyada 60 N gelen bir cisim Ay'da 10 N gelir.

Newton'un Kütle Çekim Yasası

Evrende her iki cisim arasında, kütlelerin çarpımıyla doğru orantılı ve aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılı bir çekim kuvveti vardır:

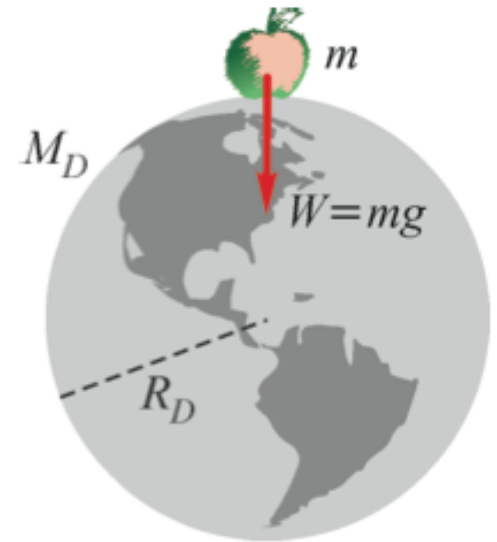
$$F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



- $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ (gravitasyon sabiti)

- Dünya üzerindeki m kütleli bir cisme uygulandığında:

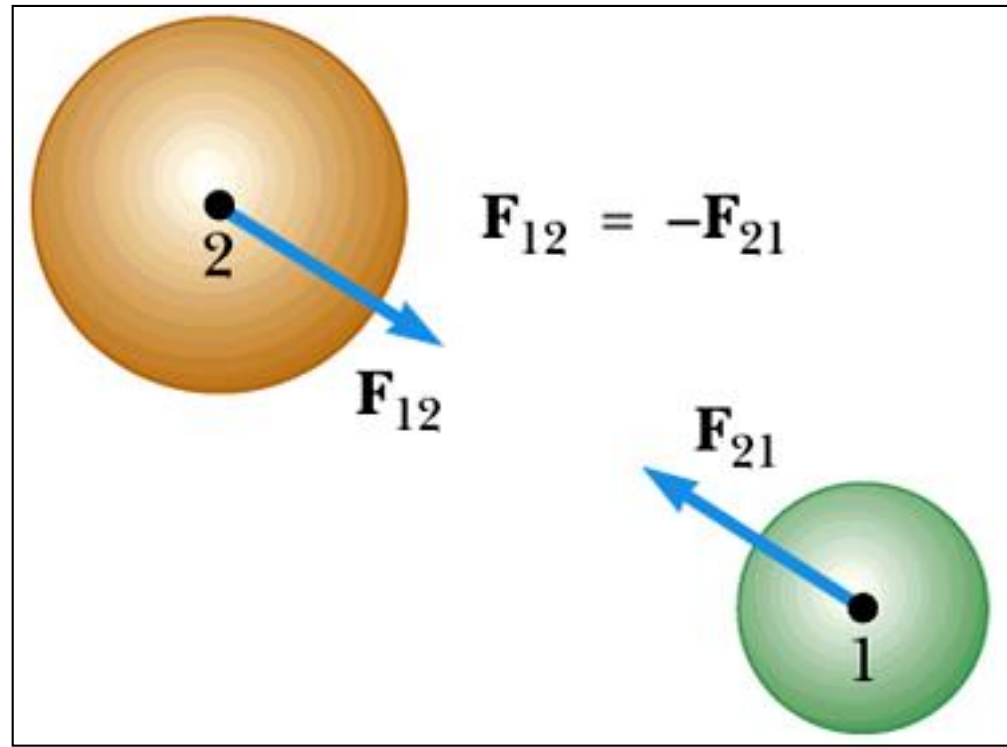
$$F_g = G \frac{mM_D}{R_D^2} = m \underbrace{\left(\frac{GM_D}{R_D^2} \right)}_g$$



Bu özel kuvvete **ağırlık** adı verilir ve büyüklüğü W ile gösterilir:

$$W = F_g = m g \quad \text{ve} \quad g = \frac{GM_D}{R_D^2} = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Newton'un 3. yasası



2 cisim etkileşiyorsa;

2. cismin 1. cisme uyguladığı \mathbf{F}_{21} kuvveti

1. cismin 2. cisme uyguladığı \mathbf{F}_{12} kuvvetine büyüklükte eşit ve zıt yönlüdür.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

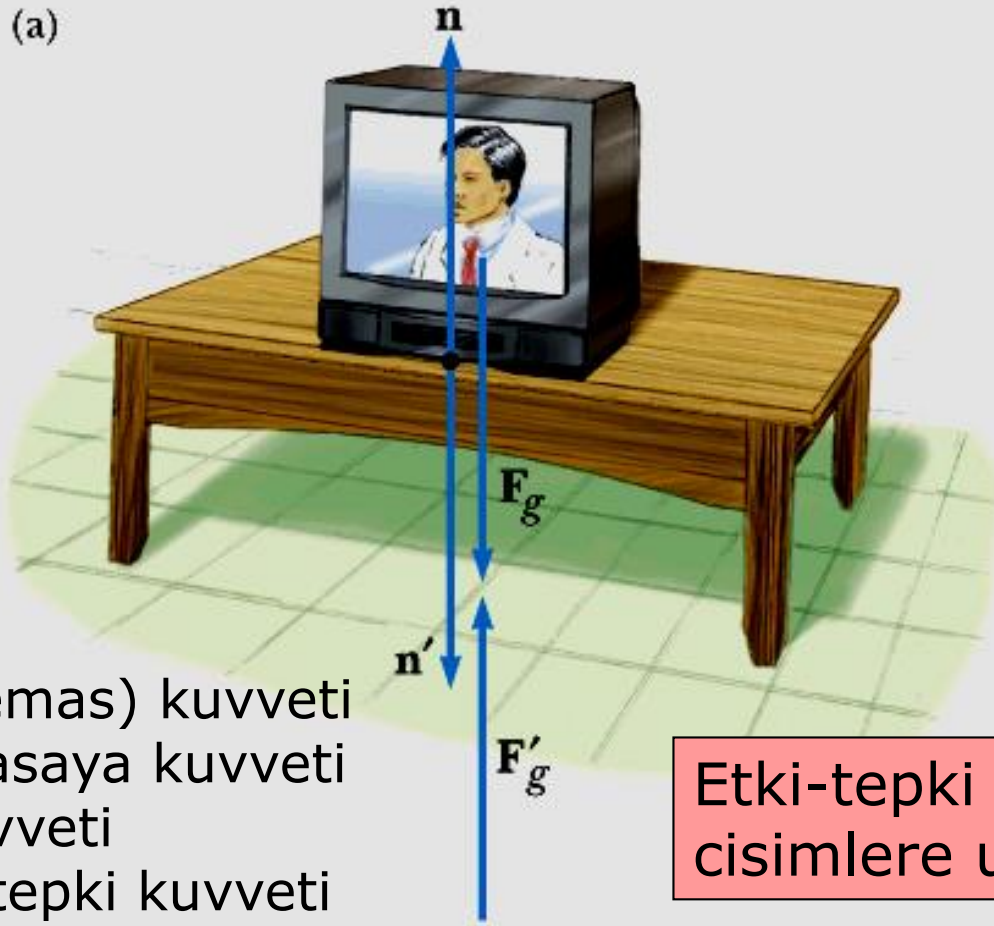
1. cismin 2. cisme uyguladığı kuvvet **etki** kuvveti

2. cismin 1. cisme uyguladığı kuvvet **tepki** kuvvetidir.

Yalıtılmış tek bir kuvvet yoktur, her zaman çiftler halindedir.

Etki ve tepki kuvveti nerede?

(a)



(b)



Etki-tepki çifti FARKLI cisimlere uygulanır

n : normal (temas) kuvveti
n' : cismin masaya kuvveti
F_g : ağırlık kuvveti
F_g' : masanın tepki kuvveti

Normal kuvveti; cismin düşmesini önler, masa kırılıncaya kadar değer alabilir ve cisim masadan kaldırılınca değeri sıfır olur.

F_g ve **n** kuvvetleri etki-tepki çifti değildir çünkü her ikisi de cisme etki eder.

Burada etki-tepki çiftleri: **F_g = - F_g'** ve **n = - n'** dür.

Cisim dengede olduğundan **a=0** dır.

Newton'un 2. yasasına göre: **F_g=n=mg**

Newton kanunlarının bazı uygulamaları

Sadece cisim üzerine etki eden dış kuvvetlerle ilgileneceğiz. Bir cisim düzgün sürtünmesiz bir yüzeyde iple çekiliyor (a). Bir cisme etki eden kuvvetlerin gösterilmesine serbest-cisim diyagramı denir (b). Cisme uygulanan T kuvvetinin büyüklüğüne gerilme denir.

Newton'un 2. yasasından

$$\sum F_x = T = ma_x$$

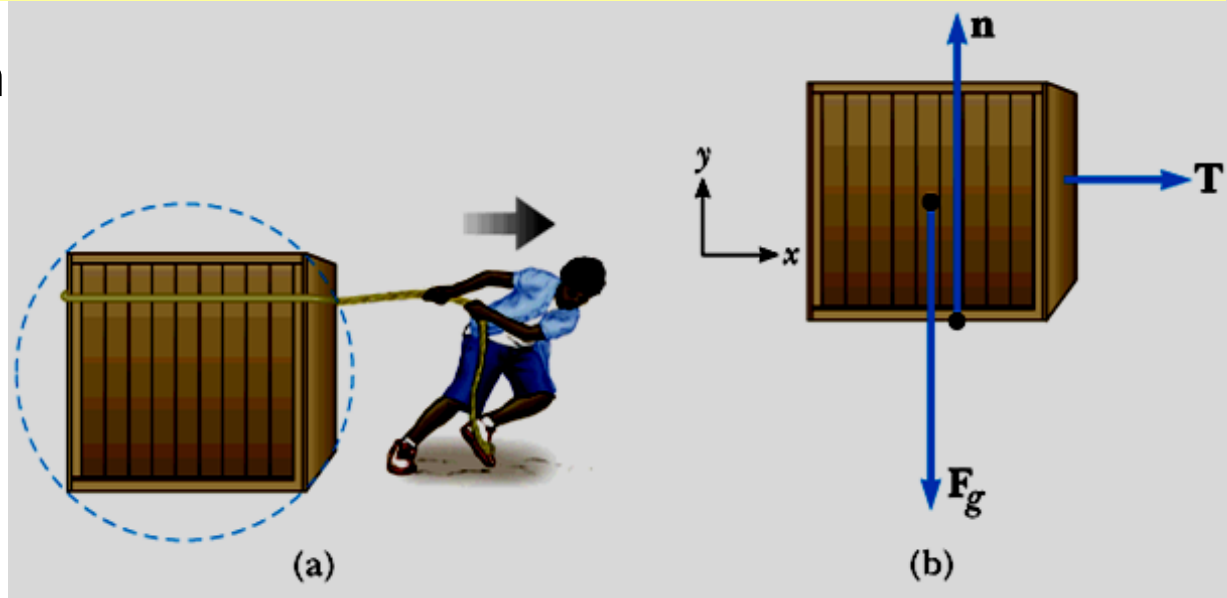
$$a_x = \frac{T}{m}$$

Net kuvvet x-yönünde olduğundan $a_y=0$ dir.

$$n + (-F_g) = 0$$

$$n = F_g$$

Normal kuvvet ağırlığa eşit ve zıt yönlü.



T kuvveti sabitse a_x ivmesi de sabittir. Buradan

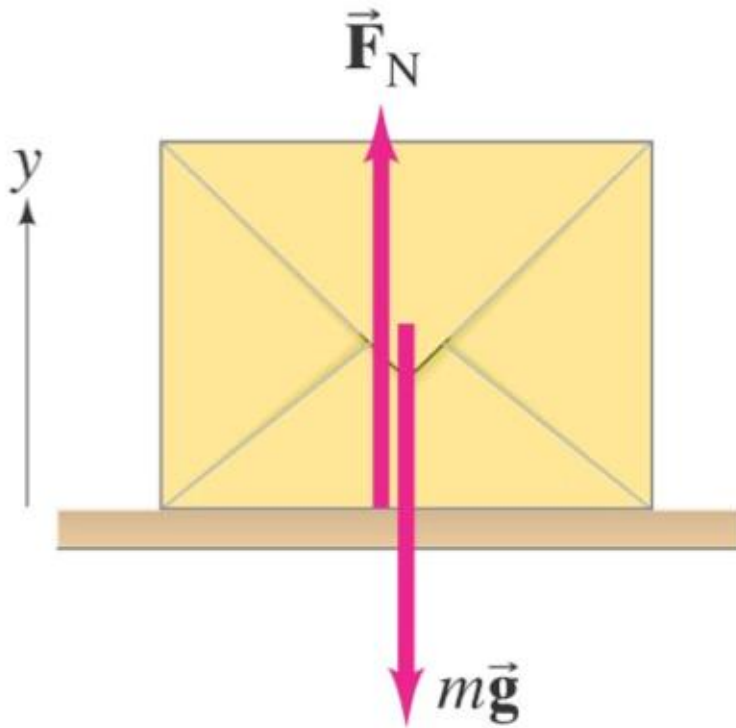
Hız:

$$v_{xs} = v_{xi} + \left(\frac{T}{m} \right) t$$

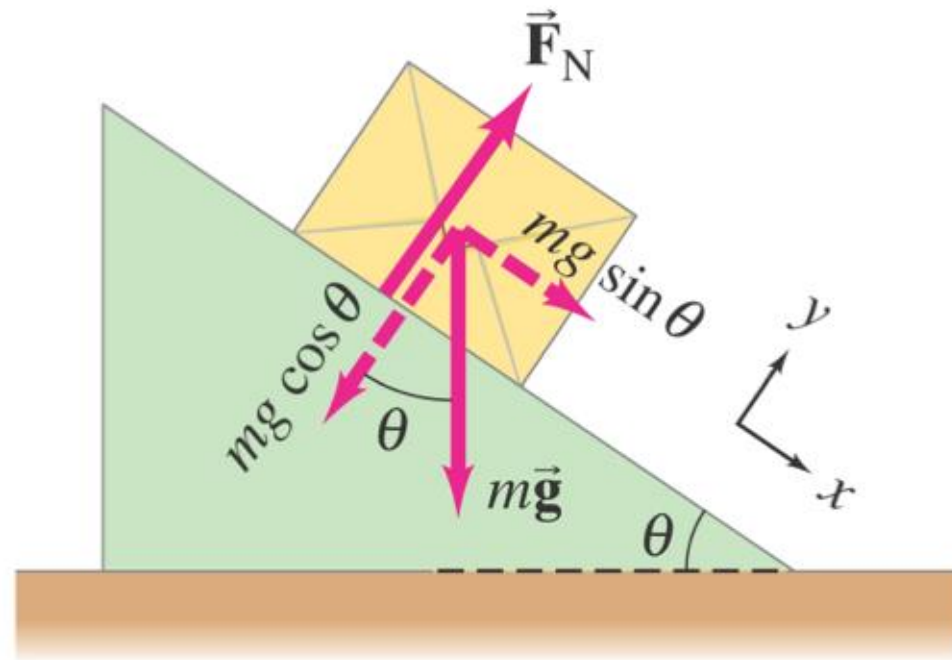
Yerdeğiştirme:

$$\Delta x = v_{xi} t + \frac{1}{2} \left(\frac{T}{m} \right) t^2$$

Kuvvet Şemaları (serbest cisim diyagramları)



(a) $\Sigma F_y = F_N - mg = 0$



(b)

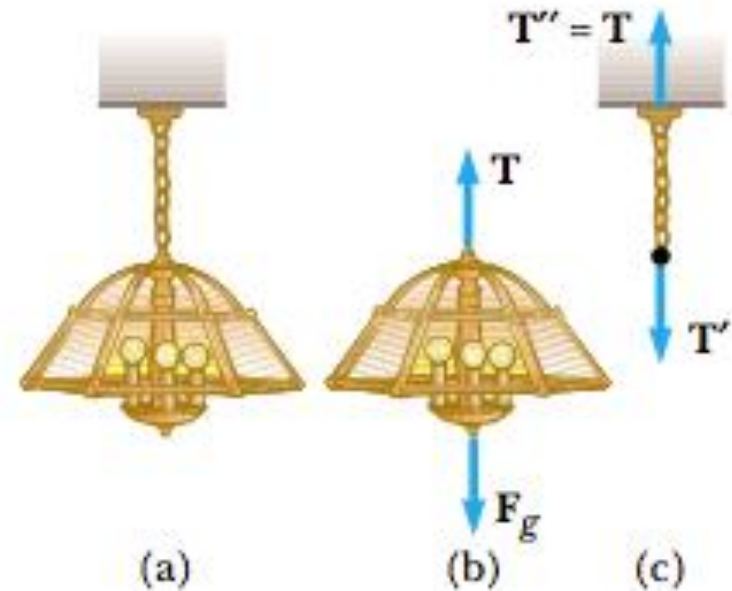
Copyright © 2008 Pearson Education, Inc.

Gerilme Kuvveti

- T ile gösterilen gerilme, esnek halat (ya da tel, kablo veya ip) tarafından cisme uygulanan bir kuvvettir.
- Gerilme, (ihmal edilebilir kütleli) ince iplerde, ip boyunca her noktada aynıdır.



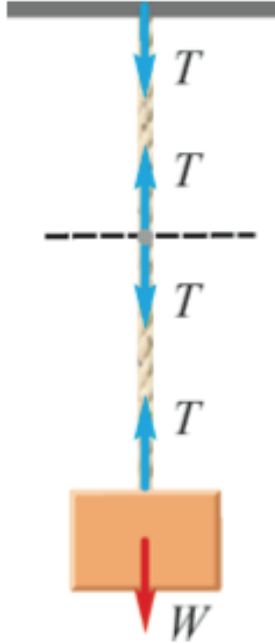
© John Elk III/Stock, Boston Inc./PictumQuest



İplerde Gerilme Kuvveti (T)

İp, kablo veya tel gibi **bükülebilen** cisimlerde **gerilme kuvveti** oluşur.

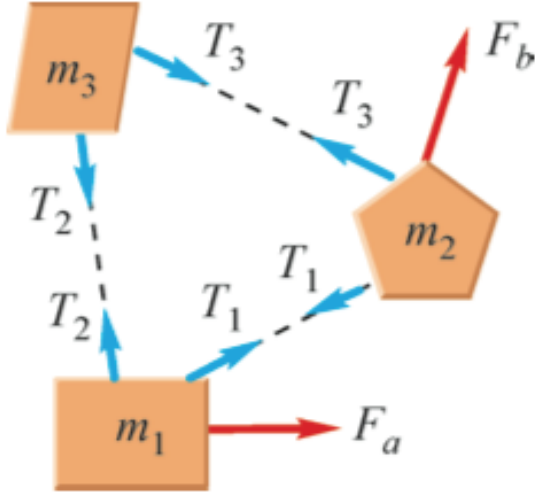
Esnek olmayan bir ipin ucuna asılı m kütlesi.



- Cisim dengede olduğuna göre, altta ağırlığa eşit ve zıt yönde bir T gerilme kuvveti olmalıdır.
- İpin herhangi bir kesitindeki alt ve üst parçalar, 3. yasaya göre, birbirlerini eşit ve zıt bir gerilme kuvvetiyle çekerler.
- İpin kütlesi ihmal edilebiliyorsa, her kesitte aynı T gerilmesi tavana kadar iletilir.

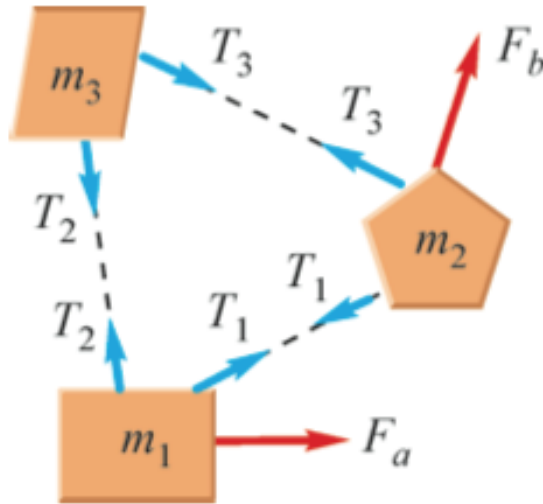
Serbest-Cisim Diyagramları

Dinamik problemlerinde ele alınan sistemi açıkça belirtmek gerekir.



Çok sayıda kütleden oluşan bir sisteme etkiyen kuvvetler iki gruba ayrılırlar:

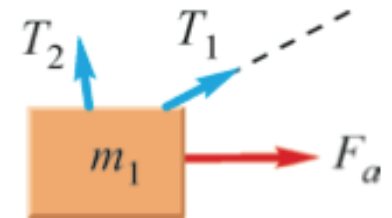
- **İç kuvvetler:** Sistemi oluşturan kütlelerin birbirine uyguladığı kuvvetlerdir. (Şekilde T_1, T_2, T_3)
3. Newton yasasına göre, bu kuvvetler daima çift olarak yer alırlar.
- **Dış kuvvetler:** Sisteme dışardan uygulanan kuvvetlerdir (F_a, F_b).



- Bütün sistem ($m_1 + m_2 + m_3$) incelendiğinde, **sadece dış kuvvetler gözönüne alınır** (F_a, F_b).

(İç kuvvetler \pm işaretli iki kez yeraldığından birbirlerini götürürler).

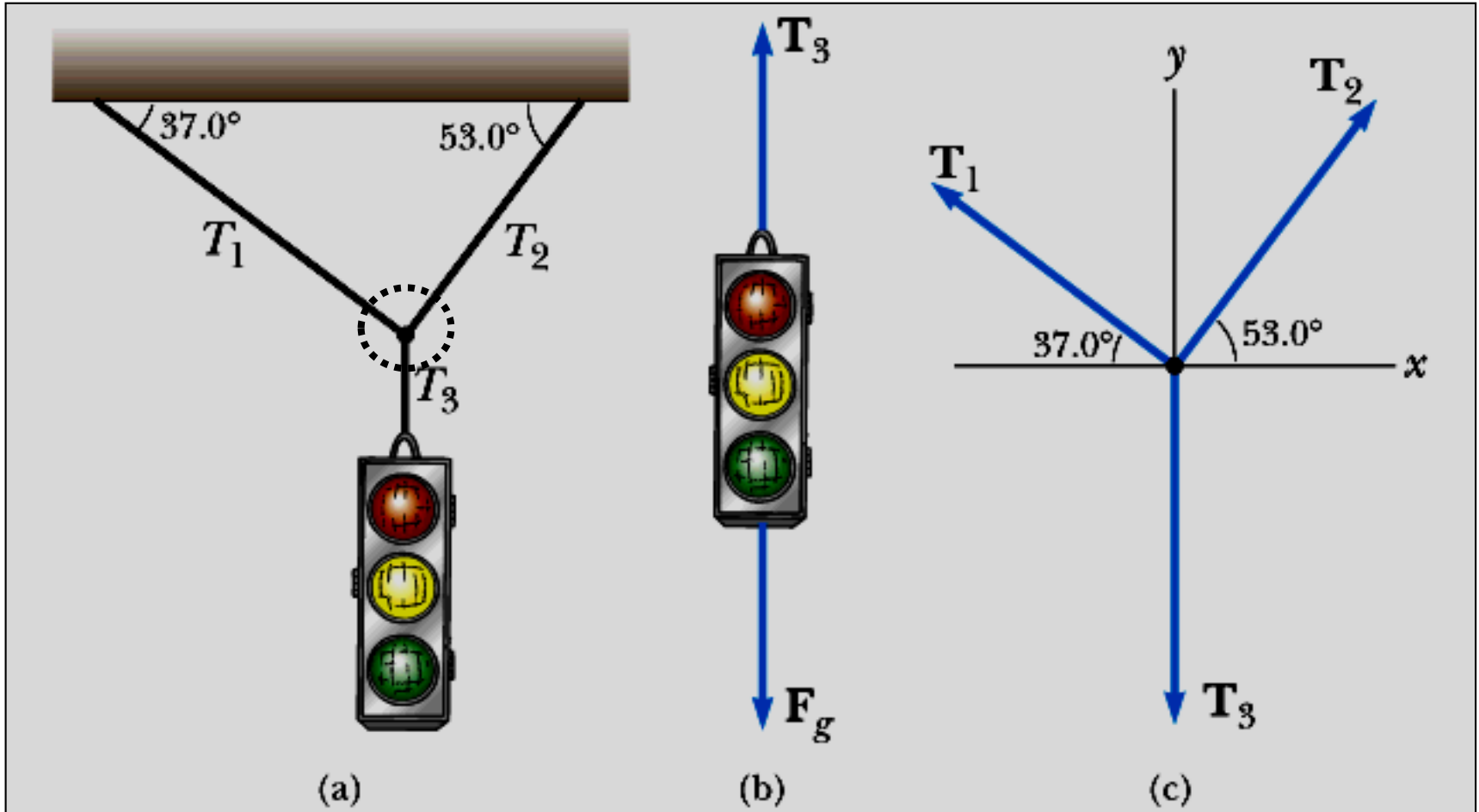
- Sistemin sadece bir parçası inceleniyorsa (örneğin m_1), ona etkiyen **tüm kuvvetler** (iç ve dış) birlikte gözönüne alınırlar.



ÖRNEK 5.4: (s.125) Asılı duran bir trafik lambası

Ağırlığı 122 N olan bir trafik lambası şekildeki gibi desteğe bağlı diğer iki kablo ile tutturulan bir kablo ile bağlansın.

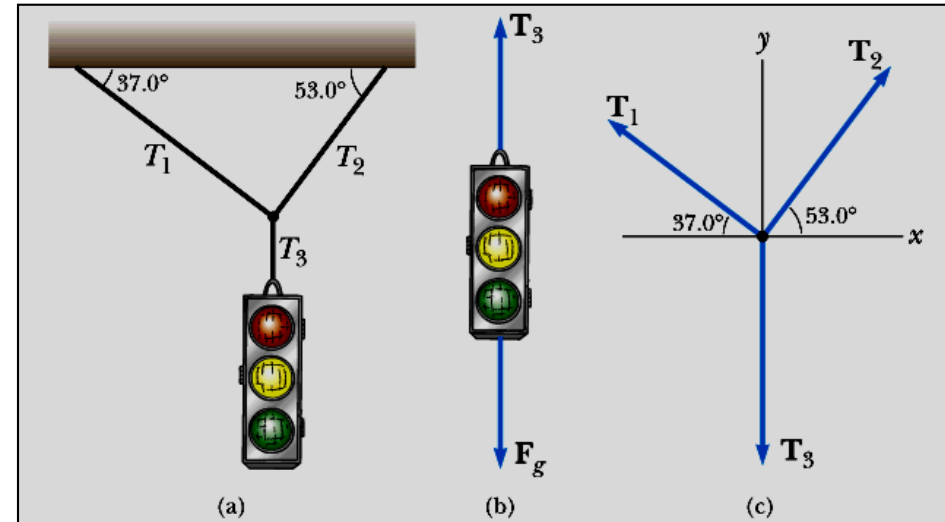
Üç kablodaki gerilimleri bulun.



ÖRNEK 5.4: (s.125) Asılı duran bir trafik lambası

$$T_3 = F_g = 122 \text{ N}$$

Force	x Component	y Component
T_1	$-T_1 \cos 37.0^\circ$	$T_1 \sin 37.0^\circ$
T_2	$T_2 \cos 53.0^\circ$	$T_2 \sin 53.0^\circ$
T_3	0	-122 N



$a=0$ olduğundan aşağıdaki denge eşitliklerini yazabiliriz;

$$(1) \quad \sum F_x = -T_1 \cos 37.0^\circ + T_2 \cos 53.0^\circ = 0$$

$$(2) \quad \sum F_y = T_1 \sin 37.0^\circ + T_2 \sin 53.0^\circ + (-122 \text{ N}) = 0$$

(1) denklemden T_2 yi çeker ve (2) denkleminde yazarsak;

$$T_1 \sin 37.0^\circ + (1.33 T_1) (\sin 53.0^\circ) - 122 \text{ N} = 0$$

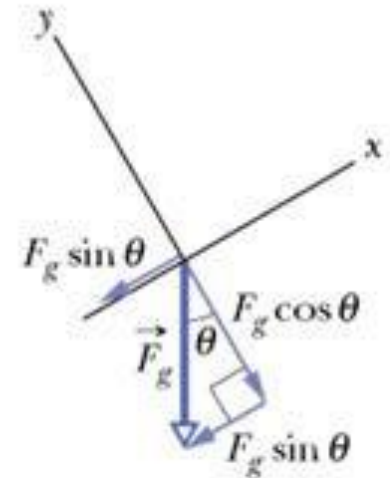
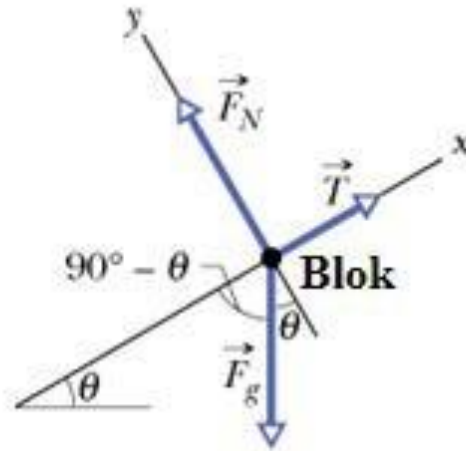
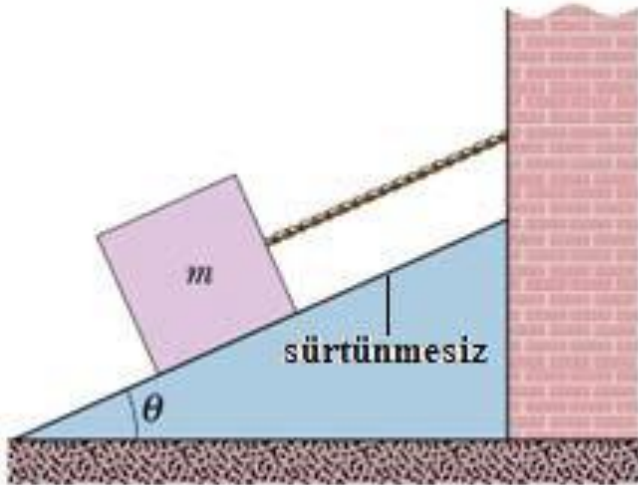
$$T_2 = T_1 \left(\frac{\cos 37.0^\circ}{\cos 53.0^\circ} \right) = 1.33 T_1$$

$$T_1 = 73.4 \text{ N}$$

$$T_2 = 1.33 T_1 = 97.4 \text{ N}$$

Newton yasalarını uygularken takip edilecek yol:

1. İncelenecek sistemin basit bir şeklini çizin.
2. Probleme uygun bir koordinat sistemi seçin.
3. Sistemdeki tüm kuvvetleri belirleyin ve serbest-cisim diyagramı üzerinde gösterin.
4. Newton yasalarını sisteme uygulayın.

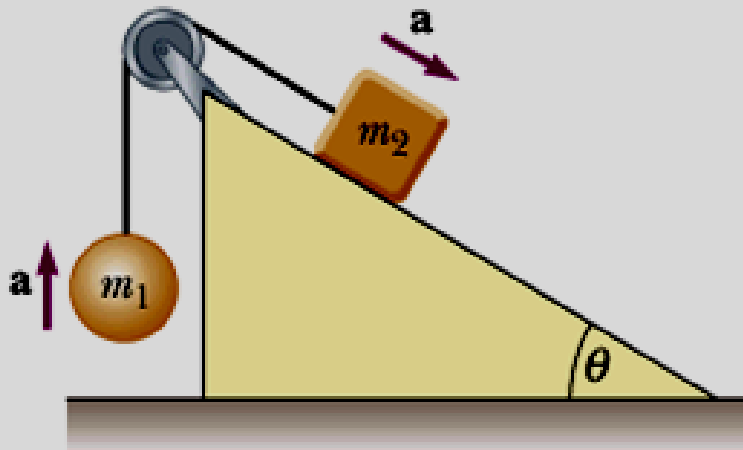


ÖRNEK: (s.130) Birbirine bağlı iki cismin ivmesi

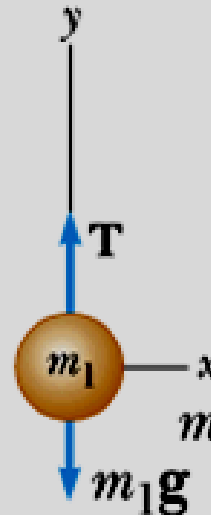
m_1 ve m_2 kütleli iki cisim şekildeki gibi sürtünmesiz bir makaradan geçen hafif bir ip ile bağlıdır ve ok yönünde hareket etmektedirler.

(a) İki cismin ivmesinin büyüklüğünü ve ipteki gerilmeyi belirleyin.

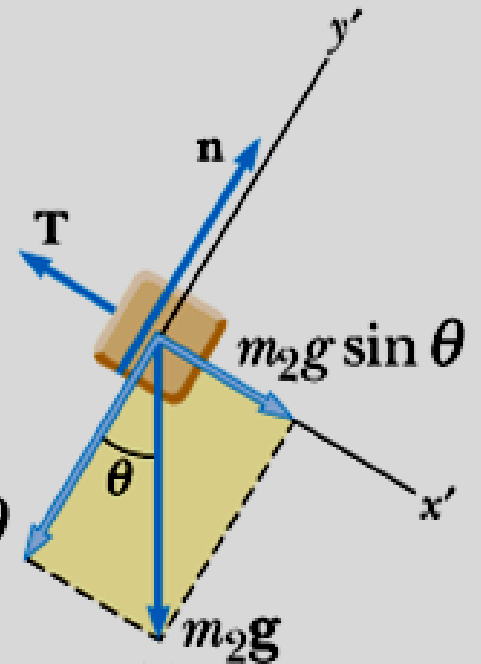
(b) $m_1 = 10.0 \text{ kg}$, $m_2 = 5.00 \text{ kg}$, $\theta = 45^\circ$ ise ivme ve gerilme ne olur?



(a)

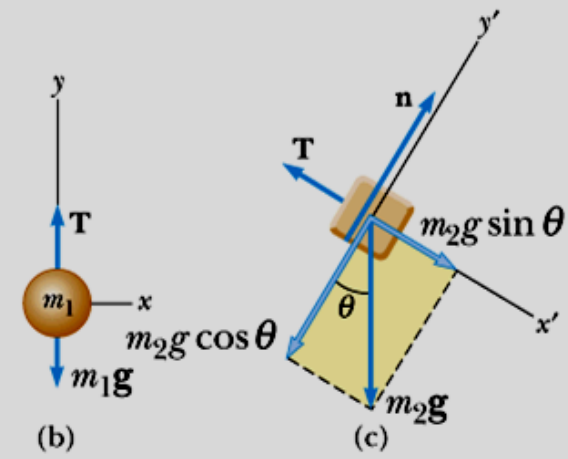
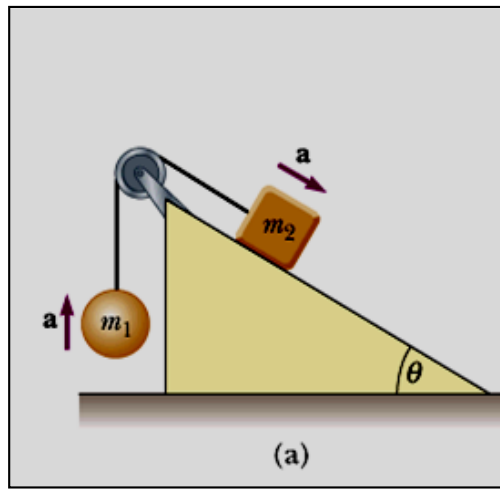


(b)



(c)

m_1 ve **m_2** kütleli iki cisim
 şekildeki gibi sürtünmesiz bir
 makaradan geçen hafif bir
 ip ile bağlıdır ve ok yönünde
 hareket etmektedirler.
 (a) İki cismin ivmesinin
 büyüklüğünü ve ipteki
 gerilmeyi belirleyin.



Bağlı olduklarından aynı ivmeyle hareket ederler. Newtonun 2. yasasından

$$(1) \quad \sum F_x = 0$$

$$(2) \quad \sum F_y = T - m_1 g = m_1 a_y = m_1 a$$

$$(3) \quad \sum F_{x'} = m_2 g \sin \theta - T = m_2 a_{x'} = m_2 a$$

$$(4) \quad \sum F_{y'} = n - m_2 g \cos \theta = 0$$

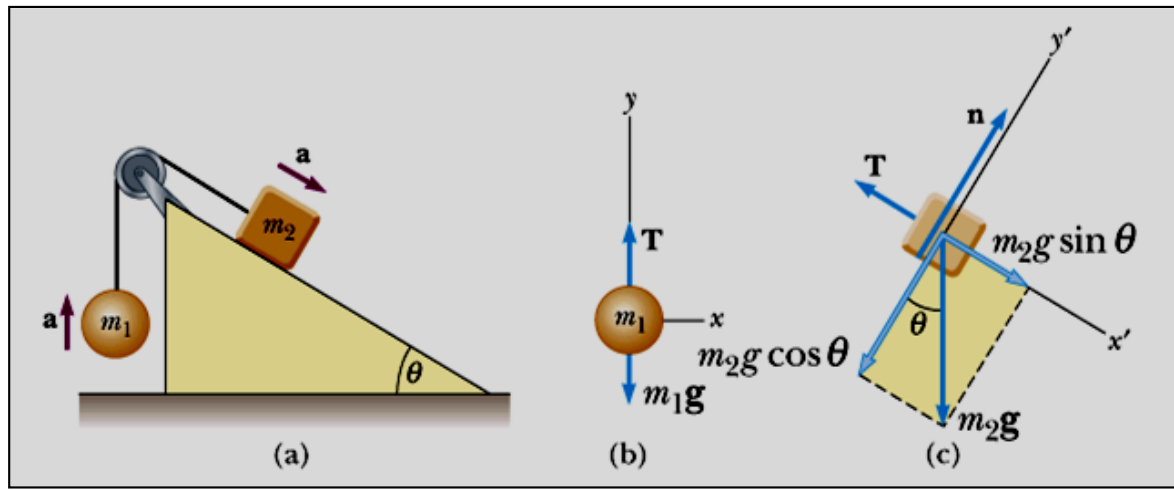
(2) ve (3) eşitliklerinden;

$$a = \frac{m_2 g \sin \theta - m_1 g}{m_1 + m_2}$$

$$T = \frac{m_1 m_2 g (\sin \theta + 1)}{m_1 + m_2}$$

m_1 ve m_2 kütleli iki cisim
şekildeki gibi sürtünmesiz
bir makaradan geçen hafif
bir ip ile bağlıdır ve ok
yönünde hareket
etmektedirler.

(b) $m_1 = 10.0$ kg, $m_2 = 5.00$
kg, $\theta = 45^\circ$ ise ivme ve
gerilme ne olur?



Bu değerleri bulduğumuz eşitliklerde yazarsak;

$$a = \frac{m_2 g \sin \theta - m_1 g}{m_1 + m_2}$$

$$T = \frac{m_1 m_2 g (\sin \theta + 1)}{m_1 + m_2}$$

$a = -4.22$ m/s² ve $T = 55.77$ N.

Negatif işaret şekildeki oka ters yönde hareket olduğunu gösterir.

Sürtünme kuvveti

Pürüzlü bir yüzeyde veya hava, su gibi viskoz bir ortamda cismin hareketine karşı direnme kuvvetidir.

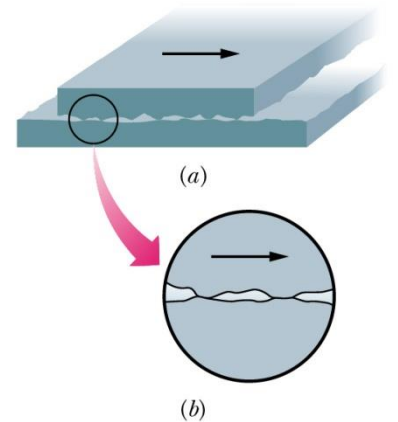
Günlük yaşamımızda son derece önemlidir!!!

Sürtünme kuvveti temas eden kısımlarda kısmen fiziksel engellemeden kısmen de kimyasal bağlardan doğar.

Bir cismi pürüzlü bir yüzeyde mi, kaygan bir yüzeyde mi hareket ettirmek kolay?

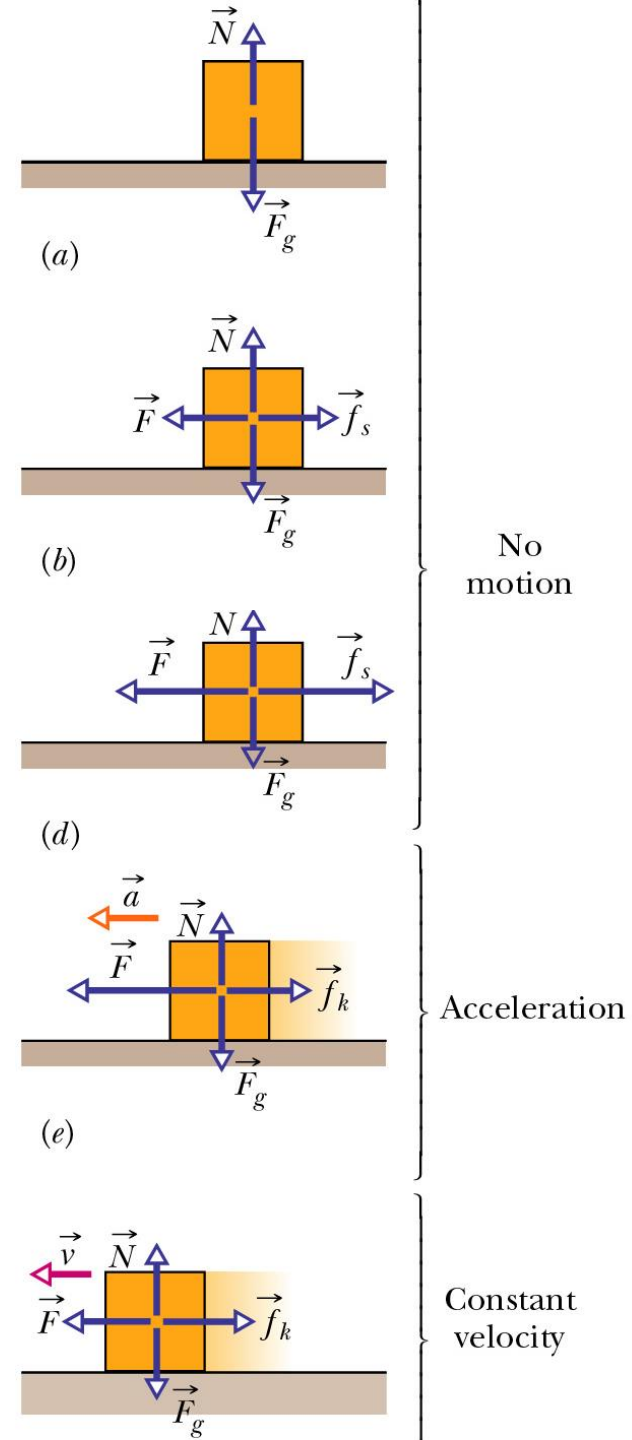
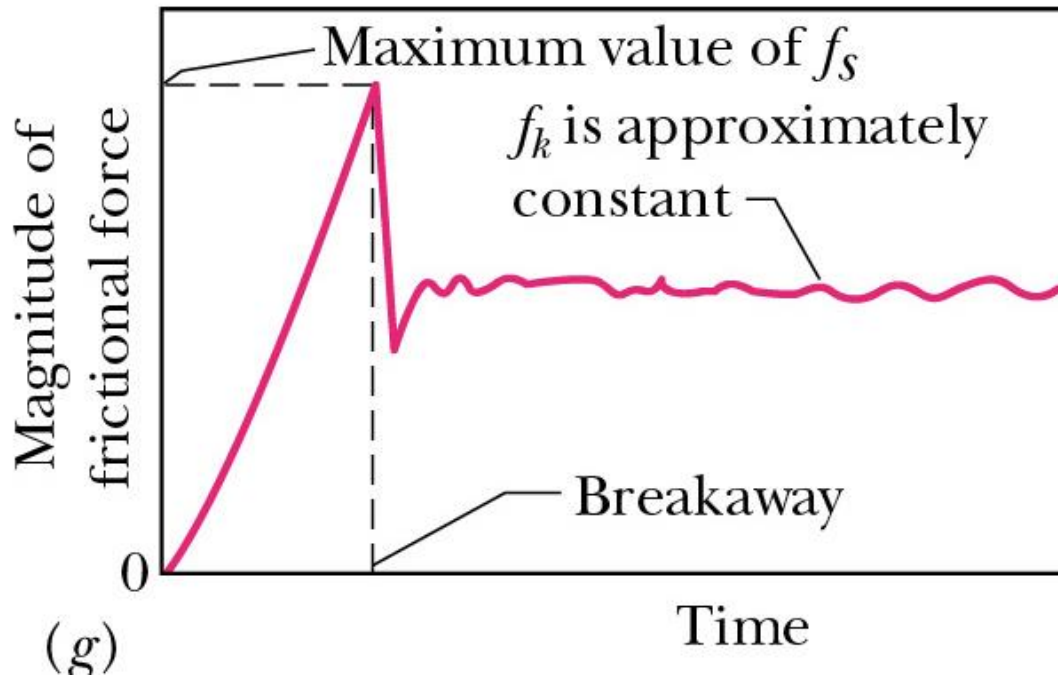
Arabanın durması, yürümemiz nasıl mümkün?

Sürtünme olmasa ne olurdu?



Sürtünme kuvvetleri

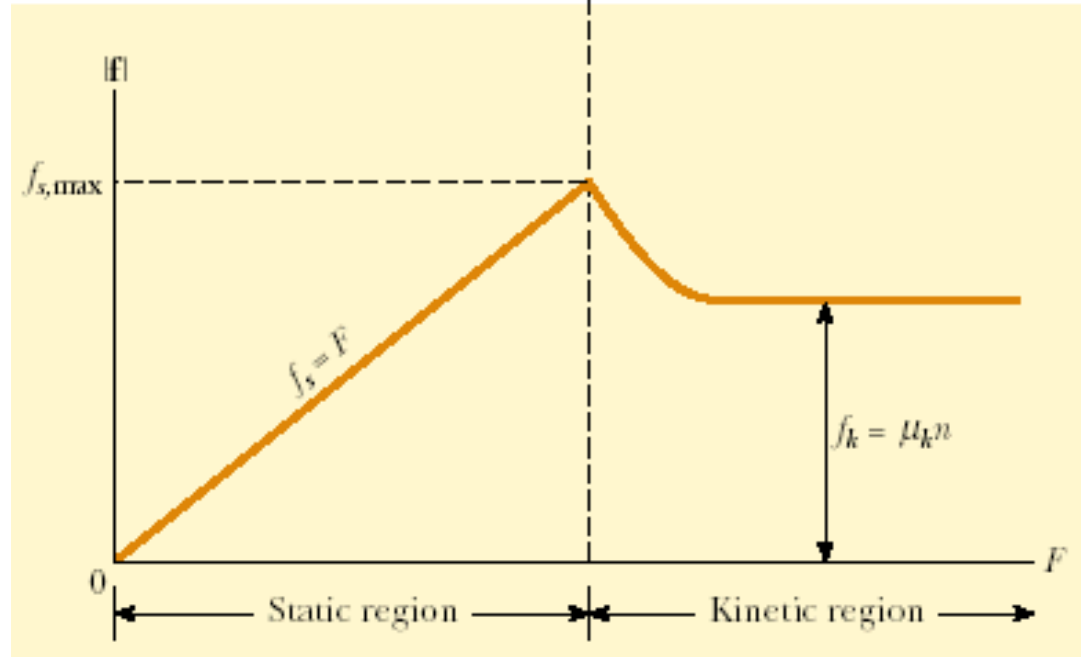
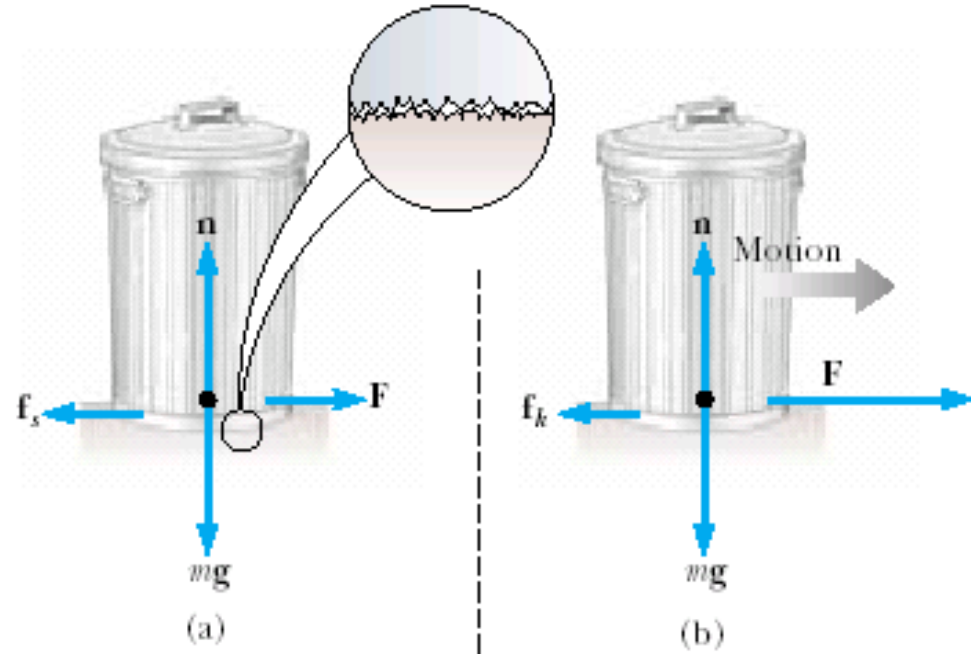
- Statik sürtünme, f_s
- Kinetik sürtünme, f_k



Sürtünme kuvvetleri

(a) Dış bir kuvvet uygulansın uygulanmasın cisim durduğu sürece $f_s = F$ dir.

(b) F kuvvetinin büyüklüğü artırılırsa cisim kaymaya başlar. Kayma sınırında f_s maksimum değerine ulaşır $f_{s,max}$. Cisim hareket ettiğinde sürtünme kuvveti azalır ve **kinetik sürtünme** (f_k) değerine gelir.



$F = f_k$ ise cisim sabit hızlı hareket yapar.

$F > f_k$ ise cisim ivmeli hareket yapar.

$F = 0$ ise, cisim yavaşlar ve durur.

$F_{s(max)}$ ve f_k sürtünme kuvvetleri cisme uygulanan normal kuvvetle orantılıdır.

Sürtünme yasaları

Sürtünme kuvveti (f), normal kuvvetle (n) orantılıdır.

$$f_s \leq \mu_s n$$

1. **Statik sürtünme kuvveti:**

(uygulanan kuvvete zıt yönlüdür)

μ_s : statik sürtünme katsayısı.

Tam kayma sınırında:

$$f_{s(max)} = \mu_s n$$

2. **Kinetik sürtünme kuvveti:**

(harekete zıt yönlüdür)

μ_k : kinetik sürtünme katsayısı (hız ile değişimi ihmal)

$$f_k = \mu_k n$$

3. μ_s ve μ_k değerleri yüzey özelliklerine bağlıdır.

Genellikle:

$$\mu_k \leq \mu_s$$

4. Sürtünme katsayısı temas eden yüzeylerin alanından hemen hemen bağımsızdır.

Sürtünme katsayıları (statik ve kinetik)

	μ_s	μ_k
Çelik üzerinde çelik	0.74	0.57
Çelik üzerinde alüminyum	0.61	0.47
Çelik üzerinde bakır	0.53	0.36
Beton üzerinde kauçuk	1.0	0.8
Tahta üzerinde tahta	0.25-0.5	0.2
Cam üzerinde cam	0.94	0.4
Islak kar üzerinde yağlı tahta	0.14	0.1
Kuru kar üzerinde yağlı tahta	—	0.04
Metal üstünde metal (yağlı)	0.15	0.06
Buz üzerinde buz	0.1	0.03
Teflon üzerinde Teflon	0.04	0.04
Eklem yerleri	0.01	0.003

Statik sürtünme katsayısının ölçülmesi

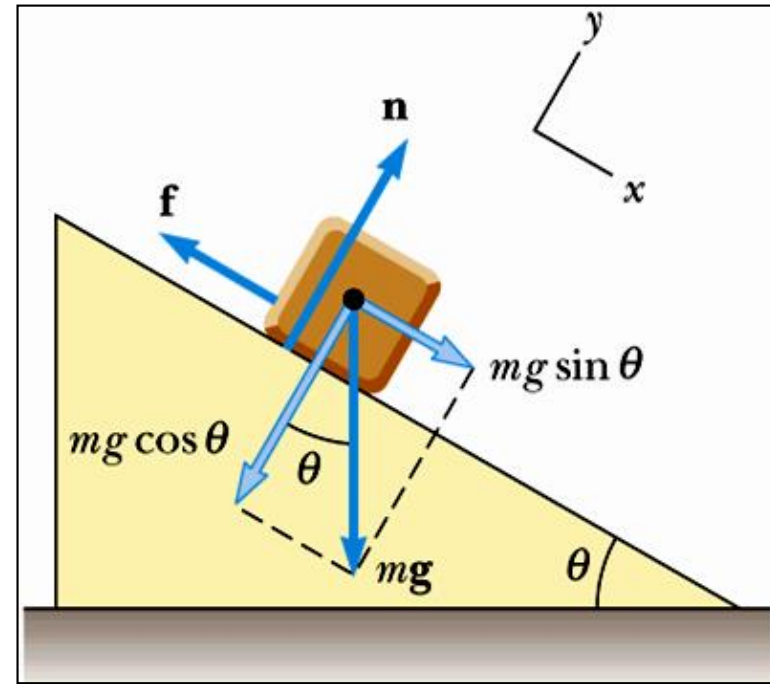
Pürüzlü bir yüzdeki cisim kaymaya başlayıncaya kadar eğim açısı artırılıyor. Tam kaymaya başladığı θ_c kritik açısı ölçülürse; μ_s statik sürtünme katsayısını belirleyin.

$$(1) \quad \sum F_x = mg \sin \theta - f_s = ma_x = 0$$

$$(2) \quad \sum F_y = n - mg \cos \theta = ma_y = 0$$

$$f_s = mg \sin \theta = \left(\frac{n}{\cos \theta} \right) \sin \theta = n \tan \theta$$

$$\mu_s n = n \tan \theta_c \quad \mu_s = \tan \theta_c$$



Kinetik sürtünme katsayısının ölçülmesi

Bir hokey diskine **20.0 m/s** lik bir ilk hız verilsin ve durana kadar **115 m** kaysın. Hokey ve buz arasındaki **kinetik sürtünme katsayısını** (μ_k) belirleyin.

ÇÖZÜM:

$$(1) \sum F_x = -f_k = ma_x \quad (2) \sum F_y = n - mg = 0 \quad (a_y = 0)$$

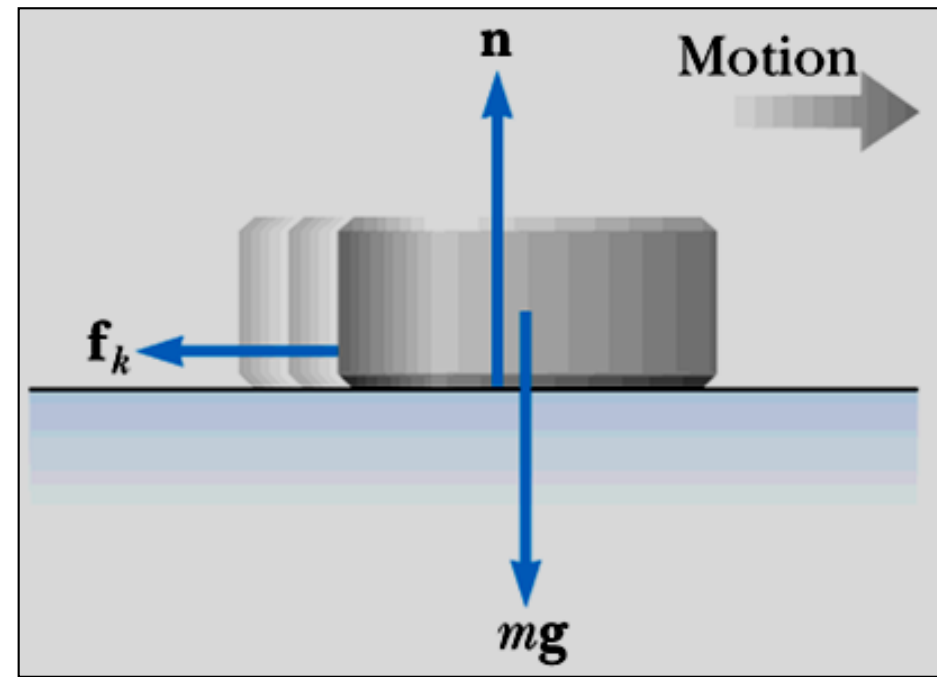
$$f_k = \mu_k n \quad \text{ve} \quad n = mg$$

$$-\mu_k n = -\mu_k mg = ma_x \quad a_x = -\mu_k g$$

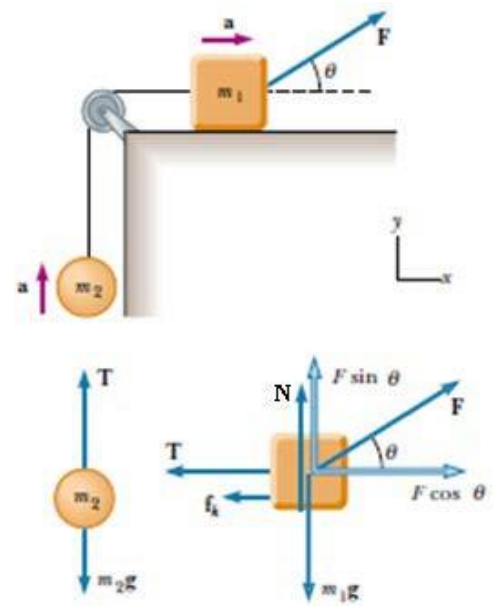
$$v_{xs}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_s - x_i) \quad x_i = 0 \quad \text{ve} \quad v_{xs} = 0$$

$$v_{xi}^2 + 2a_x x_s = v_{xi}^2 - 2\mu_k g x_s = 0$$

$$\mu_k = \frac{v_{xi}^2}{2gx_s} = \frac{20^2}{2(9.8)(115)} = 0.117$$



Örnek : Pürüzlü bir yüzey üzerindeki m_1 kütleli blok, hafif bir iple sürtünmesiz ve kütlesi ihmal edilebilir bir makara üzerinden m_2 kütleli küresel cisme bağlanmıştır. m_1 bloğuna şekildeki gibi yatayla θ açısı yapan bir F kuvveti uygulanıyor. Blok ile zemin arasındaki kinetik sürtünme katsayısı μ_k ise, sistemin ivmesini bulunuz.



$$m_1 \text{ bloğu: } \sum F_x = F \cos \theta - T - f_k = m_1 a \quad (1)$$

$$\sum F_y = N + F \sin \theta - m_1 g = 0 \rightarrow N = m_1 g - F \sin \theta$$

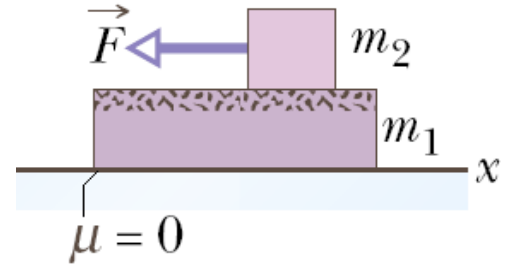
$$f_k = \mu_k N = \mu_k (m_1 g - F \sin \theta)$$

$$m_2 \text{ bloğu: } \sum F_y = T - m_2 g = m_2 a$$

Bu ifadeleri (1) denkleminde yerine koyarsak,

$$a = \frac{F(\cos \theta + \mu_k \sin \theta) - g(m_2 + \mu_k m_1)}{(m_2 + m_1)}$$

Örnek : Kütlesi 40 kg olan bir kalas sürtünmesiz yatay düzlemde, üzerinde 10 kg' lık blok ile birlikte hareketsiz durmaktadır. Blok ile kalas arasındaki statik ve kinetik sürtünme katsayıları sırasıyla 0.6 ve 0.4' tür. Bloğa 100



N' luk bir \vec{F} kuvveti şekildeki gibi uygulanmaktadır. Bloğun ve kalasın ivmelerini bulunuz.

Eğer iki kütle arasındaki sürtünme kuvvetinin maksimum değeri 100 N' dan küçük ise m_2 bloğu kalas üzerinde sola doğru hareket edecektir.

$$f_{s,\max} = \mu_s N' = \mu_s m_2 g = 0.6(10)(9.8) = 58.8 \text{ N}$$

$F > f_{s,\max}$ olduğuna göre, iki kütle arasındaki sürtünme kuvveti kinetiktir.

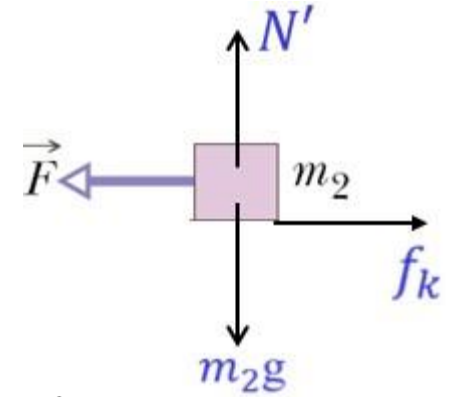
Şimdi her bir kütlenin serbest cisim diyagramını çizerek hareketlerini inceleyelim:

m_2 bloğu:

$$N' = m_2 g = 10 \cdot 9,8 = 98 \text{ N}$$

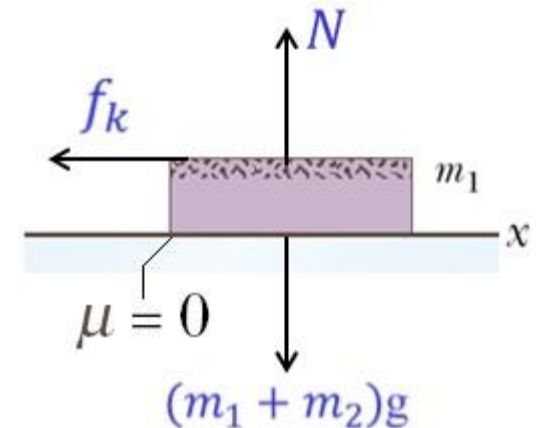
$$f_k = \mu_k N' = 0,4 \cdot 98 = 39,2 \text{ N}$$

$$F - f_k = m_2 a_2 \Rightarrow a_2 = \frac{100 - 39,2}{10} = \frac{60,8}{10} = 6,08 \text{ m / s}^2$$



m_1 kalası:

$$f_k = m_1 a_1 \Rightarrow a_1 = \frac{39,2}{40} = 0,98 \text{ m / s}^2$$



SEÇİLMİŞ PROBLEMLER

Problem 11

Bir elektron 9.1×10^{-31} kg kütle ve 3×10^5 m/s lik ilk hıza sahiptir. Elektron doğru bir yol boyunca hareket etmektedir ve 5 cm lik mesafe içinde hızı 7×10^5 m/s değerine kadar artmıştır. Elektronun ivmesinin sabit olduğunu kabul ederek (a) Elektronu etki eden kuvveti bulunuz (b) Bu kuvveti çoğu zaman ihmal ettiğimiz elektronun ağırlığı ile karşılaştırınız.

ÇÖZÜM:

$$(a) \quad \sum F = ma \text{ and } v_f^2 = v_i^2 + 2ax_f \text{ or } a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2x_f}.$$

$$\sum F = m \frac{(v_f^2 - v_i^2)}{2x_f}$$

$$\sum F = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg} \frac{[(7.00 \times 10^5 \text{ m/s}^2)^2 - (3.00 \times 10^5 \text{ m/s}^2)^2]}{2(0.0500 \text{ m})} = \boxed{3.64 \times 10^{-18} \text{ N}}$$

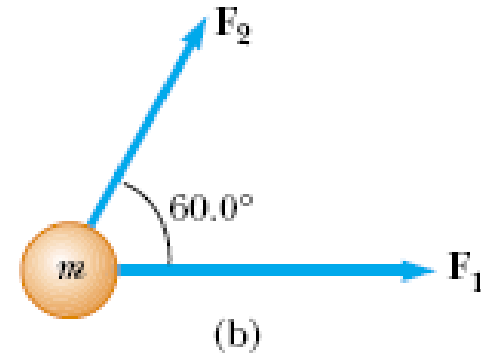
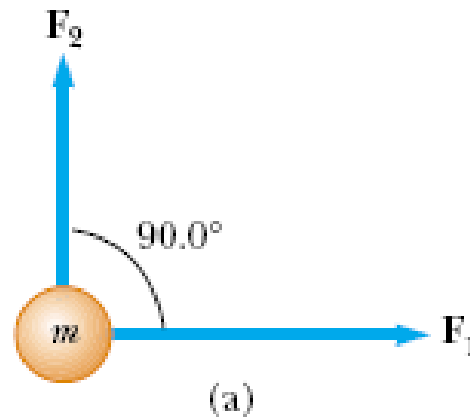
$$b) \quad F_g = mg = (9.11 \times 10^{-31} \text{ kg})(9.80 \text{ m/s}^2) = 8.93 \times 10^{-30} \text{ N}$$

Hızlanma kuvveti elektronun ağırlığından 4.08×10^{11} kattır.

Problem 15

Şekildeki \mathbf{F}_1 ve \mathbf{F}_2 kuvvetleri aynı anda 5 kg kütleli bir cisme

uygulanıyor. $F_1=20$ N, $F_2=15$ N ise (a) ve (b) şekilleri için cismin ivmesini bulunuz.



ÇÖZÜM:

$$(a) \quad \sum \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = (20.0\hat{\mathbf{i}} + 15.0\hat{\mathbf{j}}) \text{ N}$$

$$\sum \mathbf{F} = m\mathbf{a}: \quad 20.0\hat{\mathbf{i}} + 15.0\hat{\mathbf{j}} = 5.00\mathbf{a}$$

$$\mathbf{a} = (4.00\hat{\mathbf{i}} + 3.00\hat{\mathbf{j}}) \text{ m/s}^2 \quad \boxed{a = 5.00 \text{ m/s}^2 \text{ at } \theta = 36.9^\circ}$$

$$(b) \quad F_{2x} = 15.0 \cos 60.0^\circ = 7.50 \text{ N}$$

$$F_{2y} = 15.0 \sin 60.0^\circ = 13.0 \text{ N}$$

$$\mathbf{F}_2 = (7.50\hat{\mathbf{i}} + 13.0\hat{\mathbf{j}}) \text{ N}$$

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = (27.5\hat{\mathbf{i}} + 13.0\hat{\mathbf{j}}) \text{ N} = m\mathbf{a} = 5.00\mathbf{a}$$

$$\mathbf{a} = \boxed{(5.50\hat{\mathbf{i}} + 2.60\hat{\mathbf{j}}) \text{ m/s}^2 = 6.08 \text{ m/s}^2 \text{ at } 25.3^\circ}$$

Problem 22

3 kg kütleli bir cisim, x ve y koordinatları $x = 5t^2 - 1$ ve $y = 3t^3 + 2$ olacak şekilde bir düzlemde hareket ediyor. x, y metre ve t saniye cinsindendir. 2 s sonra kütleye etki eden net kuvvetin büyüklüğünü bulunuz.

ÇÖZÜM:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = 10t, \quad v_y = \frac{dy}{dt} = 9t^2$$
$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = 10, \quad a_y = \frac{dv_y}{dt} = 18t$$

$$\text{At } t = 2.00 \text{ s, } a_x = 10.0 \text{ m/s}^2, \quad a_y = 36.0 \text{ m/s}^2$$

$$\sum F_x = ma_x: 3.00 \text{ kg}(10.0 \text{ m/s}^2) = 30.0 \text{ N}$$

$$\sum F_y = ma_y: 3.00 \text{ kg}(36.0 \text{ m/s}^2) = 108 \text{ N}$$

$$\sum F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \boxed{112 \text{ N}}$$

Problem 24

325 N luk bir çimento torbası şekildeki gibi üç tel yardımıyla asılmıştır. Sistem dengede iken $\theta_1=60^\circ$ ve $\theta_2=25^\circ$ olarak verilmişse, tellerdeki gerilmeleri bulunuz.

$$T_3 = F_g \quad (1)$$

$$T_1 \sin \theta_1 + T_2 \sin \theta_2 = F_g \quad (2)$$

$$T_1 \cos \theta_1 = T_2 \cos \theta_2 \quad (3)$$

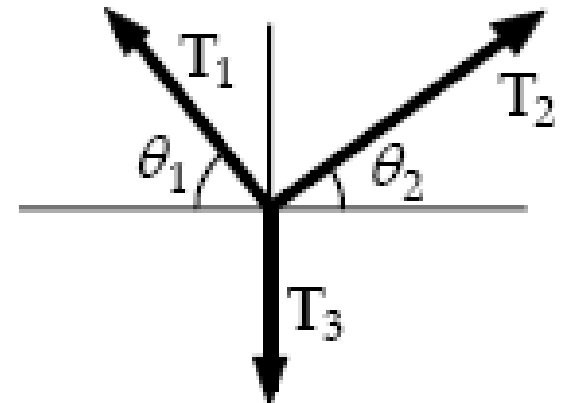
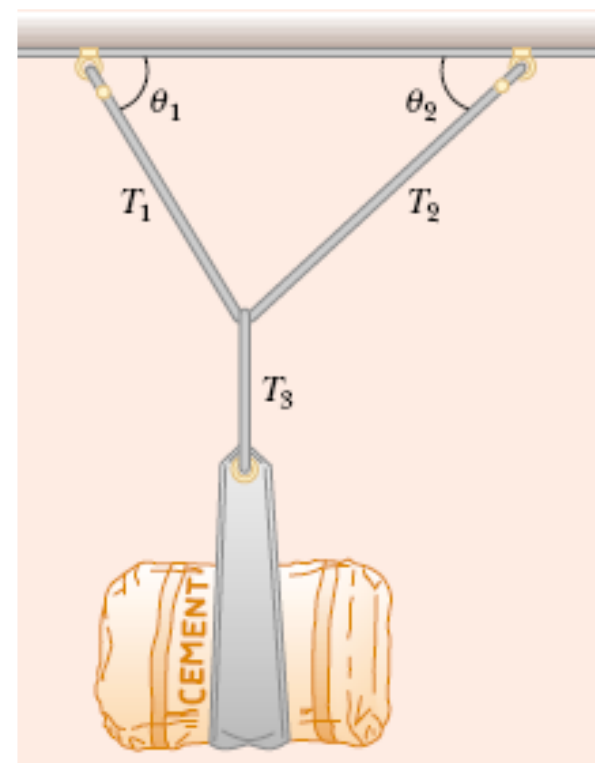
Eliminate T_2 and solve for T_1

$$T_1 = \frac{F_g \cos \theta_2}{(\sin \theta_1 \cos \theta_2 + \cos \theta_1 \sin \theta_2)} = \frac{F_g \cos \theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)}$$

$$T_3 = F_g = \boxed{325 \text{ N}}$$

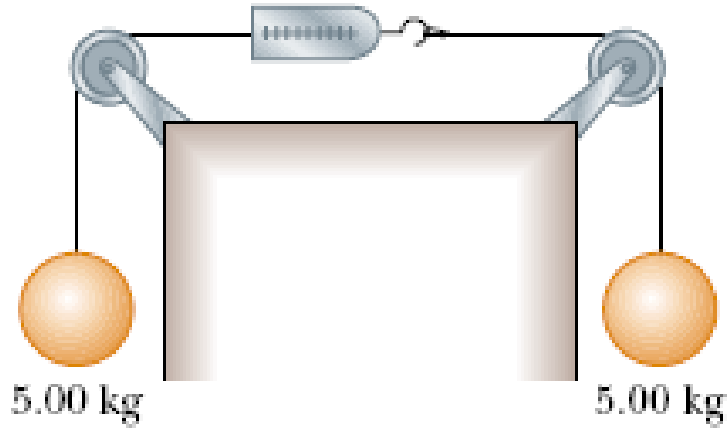
$$T_1 = F_g \left(\frac{\cos 25.0^\circ}{\sin 85.0^\circ} \right) = \boxed{296 \text{ N}}$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right) = 296 \text{ N} \left(\frac{\cos 60.0^\circ}{\cos 25.0^\circ} \right) = \boxed{163 \text{ N}}$$

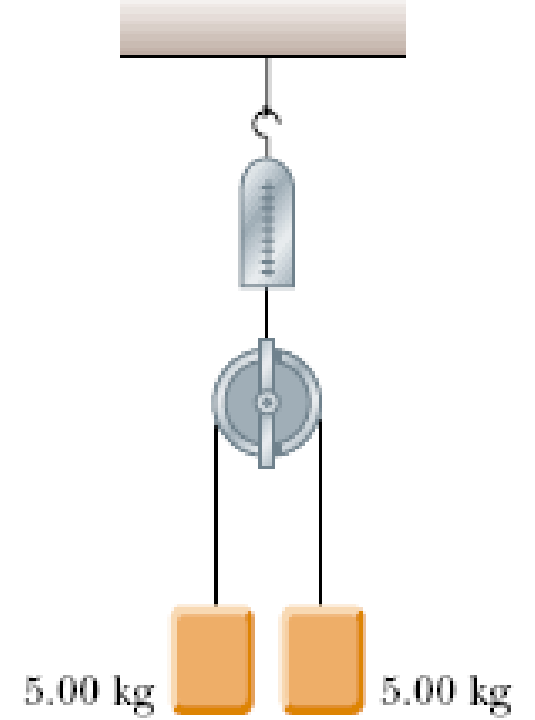


Problem 27

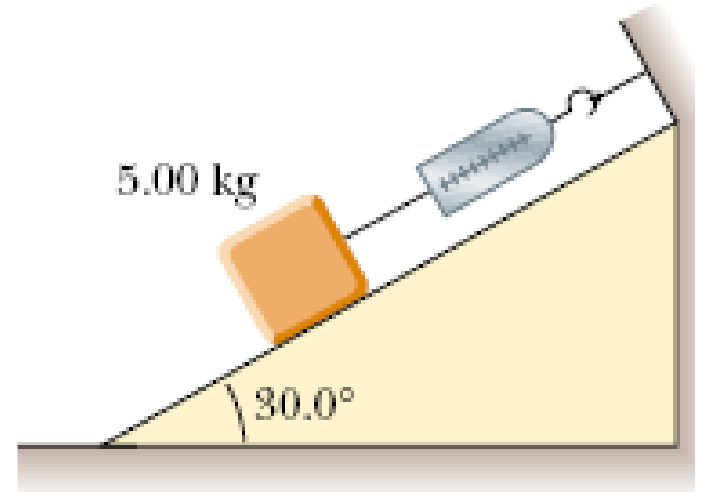
Şekilde görülen sistemler denge durumundadır. Yaylı kantar N cinsinden ölçeklenmiş ise, her bir durumda hangi kuvvetleri gösterir? (Makara ve ipin kütlesi ihmal ediliyor, düzlem sürtünmesizdir).



(a)



(b)



(c)

Problem 27

Şekilde görülen sistemler denge durumundadır. Yaylı kantar N cinsinden ölçeklenmiş ise, her bir durumda hangi kuvvetleri gösterir? (Makara ve ipin kütlesi ihmal ediliyor, düzlem sürtünmesizdir).

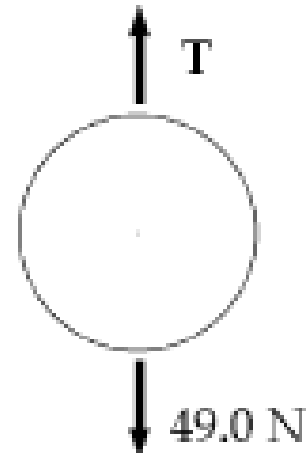
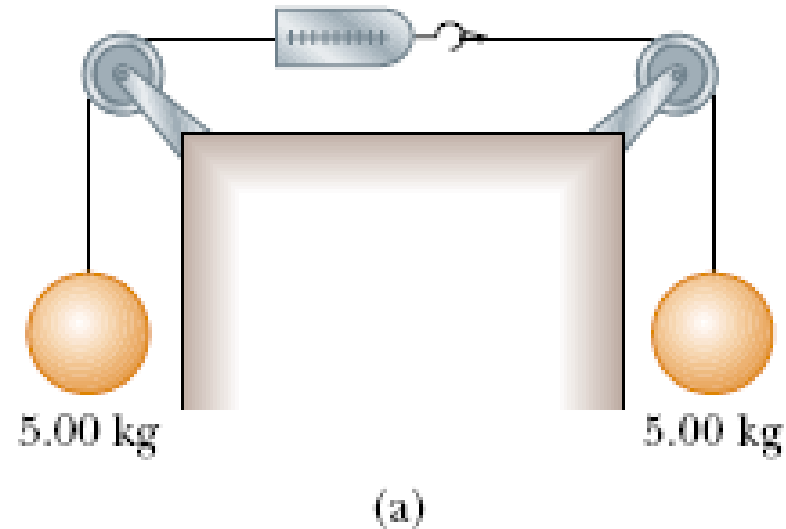
ÇÖZÜM:

a)

$$T + mg = ma = 0$$

$$|T| = |mg|.$$

$$T = mg = 5.00 \text{ kg}(9.80 \text{ m/s}^2) = \boxed{49.0 \text{ N}}$$



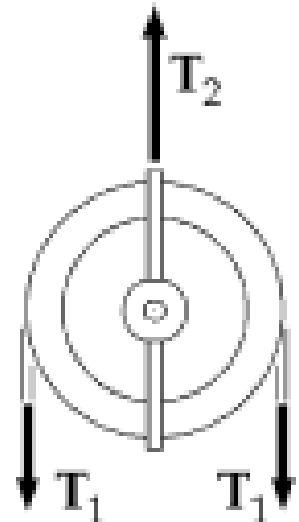
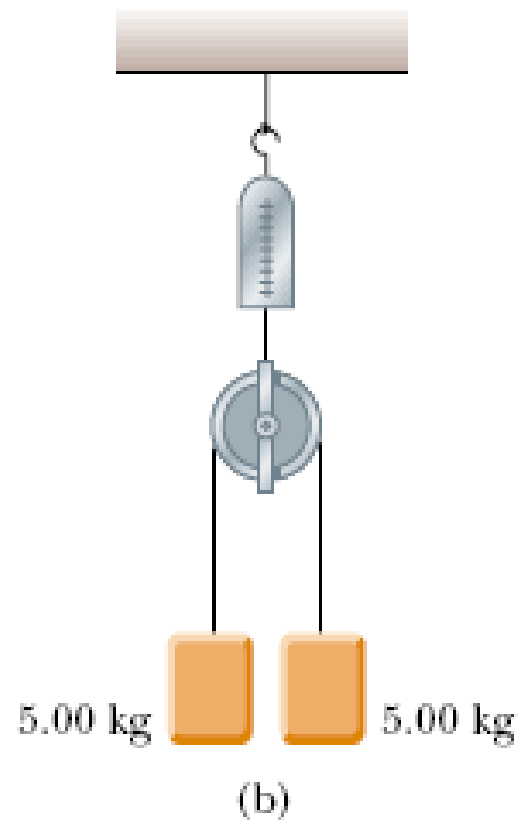
Problem 27

Şekilde görülen sistemler denge durumundadır. Yaylı kantar N cinsinden ölçeklenmiş ise, her bir durumda hangi kuvvetleri gösterir? (Makara ve ipin kütlesi ihmal ediliyor, düzlem sürtünmesizdir).

ÇÖZÜM:

b) $T_2 + 2T_1 = 0$

$$T_2 = 2|T_1| = 2mg = \boxed{98.0 \text{ N}}$$



Problem 27

Şekilde görülen sistemler denge durumundadır. Yaylı kantar N cinsinden ölçeklenmiş ise, her bir durumda hangi kuvvetleri gösterir? (Makara ve ipin kütlesi ihmal ediliyor, düzlem sürtünmesizdir).

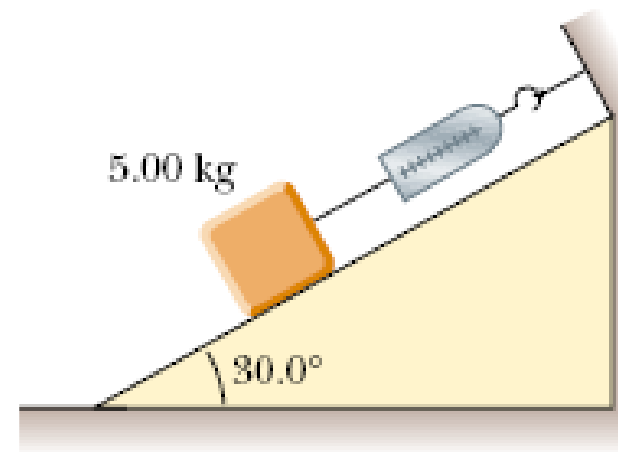
ÇÖZÜM:

$$(c) \quad \sum \mathbf{F} = \mathbf{n} + \mathbf{T} + m\mathbf{g} = 0$$

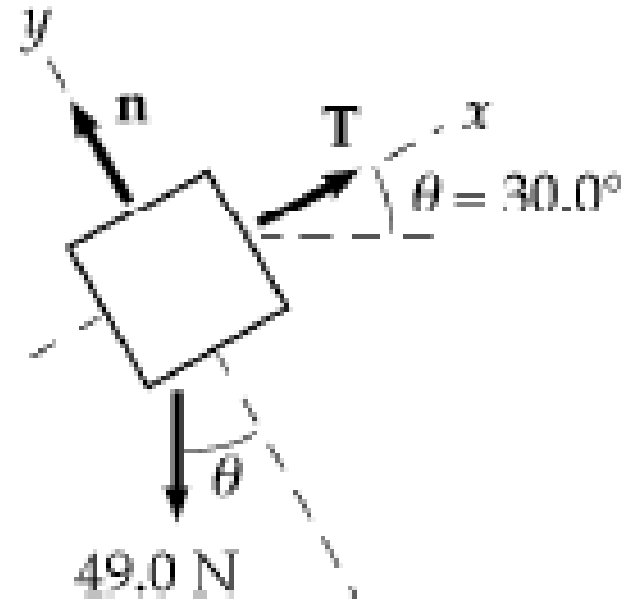
$$\mathbf{n}_x + \mathbf{T}_x + m\mathbf{g}_x = 0$$

$$0 + T - mg \sin 30.0^\circ = 0$$

$$T = mg \sin 30.0^\circ = \frac{mg}{2} = \frac{5.00(9.80)}{2} \\ = \boxed{24.5 \text{ N}}.$$



(c)



Problem 34

Şekildeki gibi hafif bir ip ile bağlanan iki kütle, sürtünmesiz bir makaradan geçirilmiştir. Eğik düzlem sürtünmesiz ve $m_1=2$ kg, $m_2=6$ kg ve $\theta=55^\circ$ ise (a) kütlelerin ivmesini bulunuz. (b) İpteki gerilmeyi bulunuz (c) Durgun halden harekete geçtiklerini kabul ederek 2 s sonra her kütlenin hızını bulunuz.

ÇÖZÜM:

$$m_1 = 2.00 \text{ kg}, m_2 = 6.00 \text{ kg}, \theta = 55.0^\circ$$

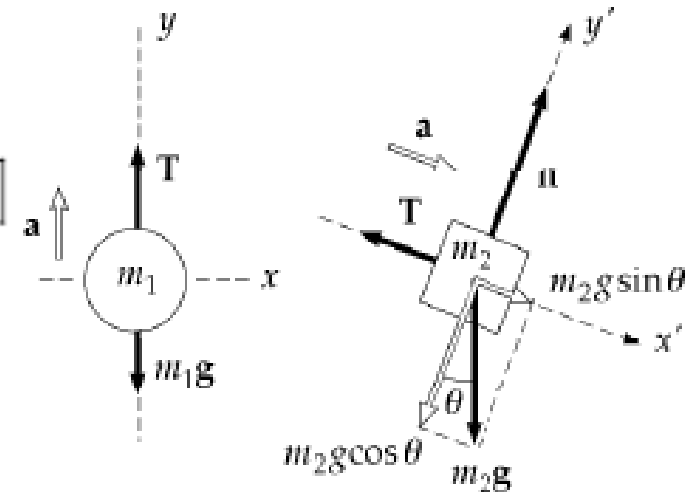
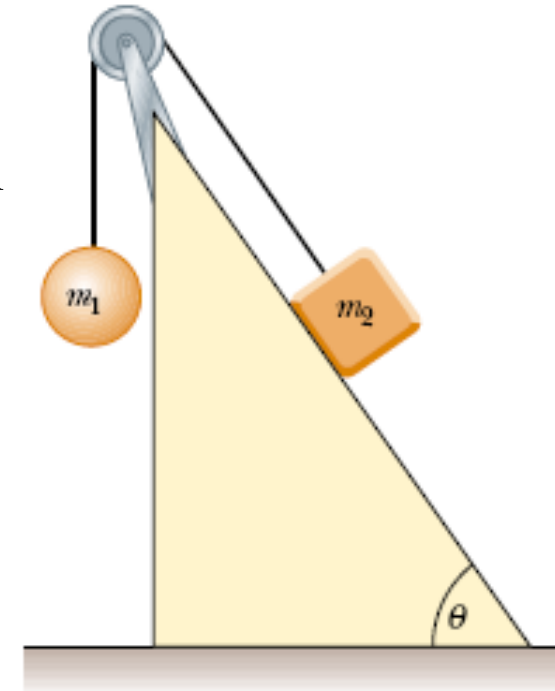
$$(a) \quad \sum F_x = m_2 g \sin \theta - T = m_2 a$$

$$T - m_1 g = m_1 a$$

$$a = \frac{m_2 g \sin \theta - m_1 g}{m_1 + m_2} = \boxed{3.57 \text{ m/s}^2}$$

$$(b) \quad T = m_1(a + g) = \boxed{26.7 \text{ N}}$$

$$(c) \quad \text{Since } v_i = 0, v_f = at = (3.57 \text{ m/s}^2)(2.00 \text{ s}) = \boxed{7.14 \text{ m/s}}$$



Problem 41

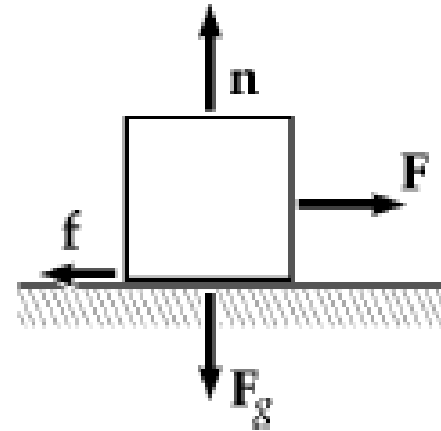
25 kg lık bir blok, pürüzlü yatay bir yüzeyde başlangıçta hareketsiz durmaktadır. Bloğu harekete geçirmek için 75 N yatay kuvvet gerekmektedir. Harekete geçtikten sonra bloğun sabit hızla yoluna devam edebilmesi için 60 N luk yatay kuvvet yeterli olmaktadır. Bu bilgilerden statik ve kinetik sürtünme katsayılarını bulunuz.

ÇÖZÜM:

Denge için; $f = F$ and $n = F_g$. Also, $f = \mu n$ i.e.,

$$\mu = \frac{f}{n} = \frac{F}{F_g}$$
$$\mu_s = \frac{75.0 \text{ N}}{25.0(9.80) \text{ N}} = \boxed{0.306}$$

$$\mu_k = \frac{60.0 \text{ N}}{25.0(9.80) \text{ N}} = \boxed{0.245}.$$

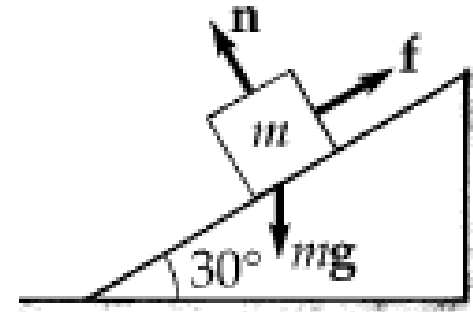


Problem 45

3 kg lık bir blok 30° lik eğimli bir eğik düzlemin tepesinden, durgun halden kaymaya başlıyor ve 1.5 s de 2 m kayıyor. (a) Bloğun ivmesini bulunuz (b) Eğik düzlem ile blok arasındaki kinetik sürtünme katsayısını bulunuz (c) Blok üzerine etki eden sürtünme kuvvetini bulunuz (d) 2 m kaydıldıktan sonra bloğun hızı ne olur?

ÇÖZÜM:

$$m = 3.00 \text{ kg}, \theta = 30.0^\circ, x = 2.00 \text{ m}, t = 1.50 \text{ s}$$



$$(a) \quad x = \frac{1}{2}at^2:$$

$$2.00 \text{ m} = \frac{1}{2}a(1.50 \text{ s})^2$$

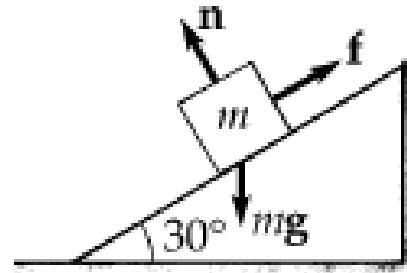
$$a = \frac{4.00}{(1.50)^2} = \boxed{1.78 \text{ m/s}^2}$$

Problem 45

3 kg lık bir blok 30° lik eğimli bir eğik düzlemin tepesinden, durgun halden kaymaya başlıyor ve 1.5 s de 2 m kayıyor. (a) Bloğun ivmesini bulunuz (b) Eğik düzlem ile blok arasındaki kinetik sürtünme katsayısını bulunuz (c) Blok üzerine etki eden sürtünme kuvvetini bulunuz (d) 2 m kaydıldıktan sonra bloğun hızı ne olur?

ÇÖZÜM:

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{n} + \mathbf{f} + m\mathbf{g} = m\mathbf{a} :$$



$$\text{Along } x: \quad 0 - f + mg \sin 30.0^\circ = ma$$

$$f = m(g \sin 30.0^\circ - a)$$

$$\text{Along } y: \quad n + 0 - mg \cos 30.0^\circ = 0$$

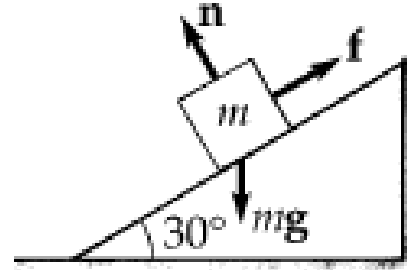
$$n = mg \cos 30.0^\circ$$

$$(b) \quad \mu_k = \frac{f}{n} = \frac{m(g \sin 30.0^\circ - a)}{mg \cos 30.0^\circ}, \quad \mu_k = \tan 30.0^\circ - \frac{a}{g \cos 30.0^\circ} = \boxed{0.368}$$

Problem 45

3 kg lık bir blok 30° lik eğimli bir eğik düzlemin tepesinden, durgun halden kaymaya başlıyor ve 1.5 s de 2 m kayıyor. (a) Bloğun ivmesini bulunuz (b) Eğik düzlem ile blok arasındaki kinetik sürtünme katsayısını bulunuz (c) Blok üzerine etki eden sürtünme kuvvetini bulunuz (d) 2 m kaydıldıktan sonra bloğun hızı ne olur?

ÇÖZÜM:



$$(c) \quad f = m(g \sin 30.0^\circ - a), \quad f = 3.00(9.80 \sin 30.0^\circ - 1.78) = \boxed{9.37 \text{ N}}$$

$$(d) \quad v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

$$x_f - x_i = 2.00 \text{ m}$$

$$v_f^2 = 0 + 2(1.78)(2.00) = 7.11 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$v_f = \sqrt{7.11 \text{ m}^2/\text{s}^2} = \boxed{2.67 \text{ m/s}}$$