

BÖLÜM-5

Kuvvet ve Hareket I

Şu ana kadar hareketli bir cismin konum, hız ve ivmesini tanımladık.

Cismin Hareketine neyin sebep olduğuyla ilgilenmedik.

Bu ve sonraki bölümde ise, klasik mekaniğin temeli olan ve geniş bir aralıkta pek çok fiziksel olguyu açıklayan Newton yasalarını öğreneceğiz.

Örneğin, yıldız ve gezegenlerin hareketleri Newton yasalarına uyar. Ancak, aşağıdaki iki koşulda bu yasaların geçersiz olduğunu akılda tutmak gerekir.

1. Cisimlerin hızlarının ışık hızına çok yakın olduğu durumlarda (% 99 veya üzeri). O zaman Einstein'ın özel görelilik teorisini (1905) kullanmamız gerekecek.
2. İncelenen cismin boyutlarının çok küçük olduğu durumlarda (elektron, proton, nötron veya atom). O zaman da, Kuantum mekaniğini (1926) kullanmamız gerekecek.

Newton'un Birinci Yasası = Eylemsizlik Yasası

Newton' dan önce, bir cismin sabit bir hızla hareket etmesi için bir kuvvetin etkimesi gerektiği düşünülüyordu. Bir cismin durgun olması onun “**doğal durumu**” olarak biliniyordu. Ancak bu hata, “**sürtünme**” nin de bir kuvvet olduğunun anlaşılmasından önceydi.

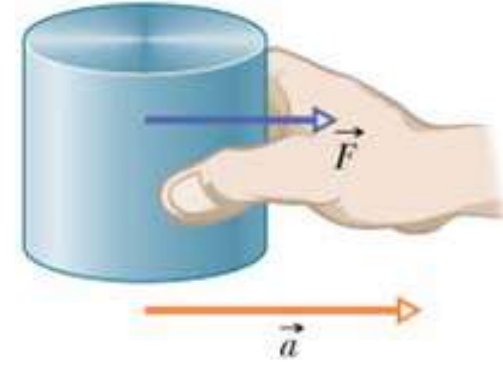
Örneğin, bir cisim pürüzlü yatay bir düzlemde v_0 ilk hızıyla harekete başlarsa bir süre sonra duracaktır.

Diğer yandan, aynı cisim aynı ilk hızla daha pürüzsüz bir yüzeyde harekete başlarsa çok daha sonra duracaktır.

Newton bu fikri ay ve gezegenlerin hareketlerine uyguladı. Uzayda sürtünme olmadığı için, doğruluğu kesin olan “**Newton' un birinci yasası**” ortaya çıkmış oldu. Buna göre,

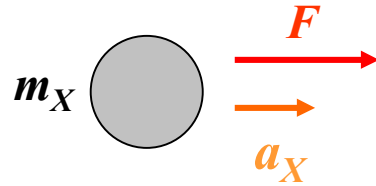
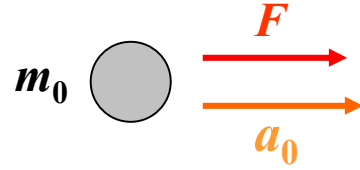
Bir cisme net bir kuvvet etkimiyorsa, cisim durumunu korur. Durgunsa durmaya, hareketliyse aynı hızla düzgün doğrusal hareketine devam eder.

Kuvvet: Bir cisme etkiyen kuvvet, sebep olduğu ivmenin ölçülmesi ile belirlenebilir.



Sürtünmesiz bir yüzey üzerine kütlesi $m = 1$ kg olan bir cisim koyalım ve uygulanan bir F kuvvetinin oluşturduğu a ivmesini ölçelim.

Kuvvet, cismin ivmesi $a = 1$ m/s² olacak şekilde ayarlanırsa, uygulanan kuvvet, $F = 1$ newton (N)' dir denir.



Kütle: Cisme özgü bir sabittir ve cisimdeki madde miktarının bir ölçüsüdür. Bir cismin kütlesi, cisme etki eden F kuvveti ile bu kuvvetin sebep olduğu a ivmesini birbirine bağlayan cisme özgü bir niceliktir.

Kütlesi $m_0 = 1$ kg olan bir cisme $F = 1$ N kuvvet uygulayalım. Bu kuvvet cisme $a_0 = 1$ m/s² ivmesini kazandırır.

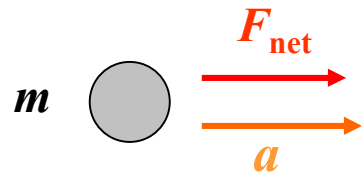
Aynı kuvveti, kütlesi m_X olan bir cisme uyguladığımızda cisme kazandıracak ivme de a_X olsun. Bu durumda,

$$\frac{m_X}{m_0} = \frac{a_0}{a_X} \rightarrow m_X = m_0 \frac{a_0}{a_X}$$

bulunur. Böylece, a_X ivmesi ölçülerek herhangi bir cismin m_X kütlesi belirlenebilir.

Newton'un İkinci Yasası

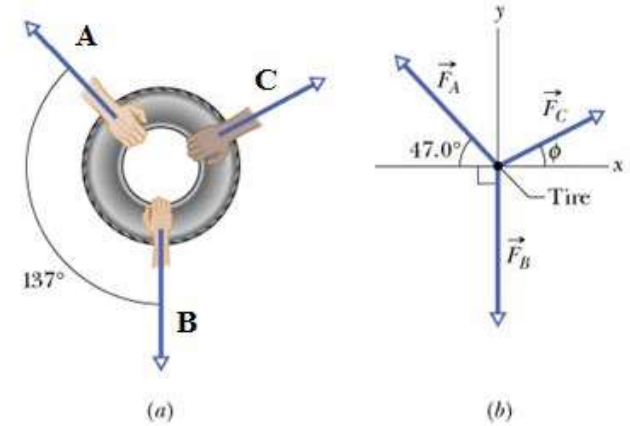
Bir cisme etki eden net kuvvet (F_{net}), bu kuvvetin cisme kazandırdığı ivme (a) ve cismin kütlesi (m) arasındaki ilişki “**Newton’un ikinci yasası**” olarak adlandırılır ve şöyle tanımlanır:



Bir cisme etkiyen net kuvvet ile cisme kazandırdığı ivme doğru orantılıdır ve orantı sabiti de o cismin kütlesine eşittir.

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

Not : Cisme $\vec{F}_A$, $\vec{F}_B$ ve $\vec{F}_C$ gibi çok sayıda kuvvet etkiyorsa, net kuvvet bunların vektörel toplamıdır ve $\vec{F}_{\text{net}} = \vec{F}_A + \vec{F}_B + \vec{F}_C$ ile verilir.

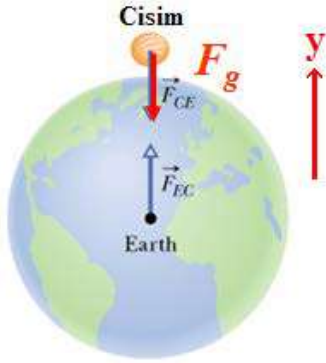


Üç boyutlu uzayda (xyz-koordinat sistemi) bileşenleri cinsinden Newton’ un ikinci yasası:

$$F_{\text{net},x} = ma_x ; F_{\text{net},y} = ma_y ; F_{\text{net},z} = ma_z$$

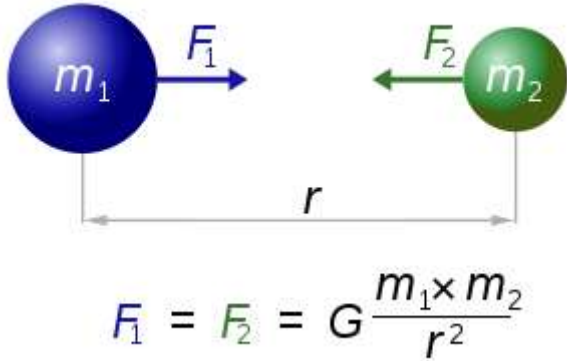
(5-5)

Mekanik Problemlerinde Çok Sıklıkla Karşılaşacağımız Kuvvetler ve Bunların Özellikleri:



Yer-çekimi Kuvveti: Bir cisme Dünya tarafından uygulanan kuvvettir. Dünyanın merkezine doğrudur ve Newton' un ikinci yasasına göre şöyle verilir.

$$\vec{F}_g = m\vec{a} = -mg\hat{j} \quad \rightarrow \quad |\vec{F}_g| = mg$$

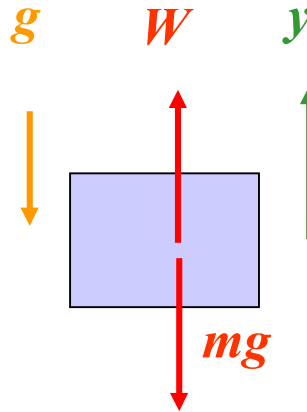


G , kütle çekim sabitidir.

Newton'un evrensel kütle çekim yasasının mekanizması; bir nokta kütle (m_1) diğer bir nokta kütle (m_2), iki kütlenin çarpımı ile doğru, aralarındaki (r) uzaklığının karesi ile ters orantılı olacak büyüklükteki bir F kuvveti ile çeker.

Kütlelerden ve bu kütlelerin aralarındaki uzaklıktan bağımsız olarak $|F_1|$ ve $|F_2|$ kuvvetlerinin büyüklükleri her zaman birbirine eşittir.

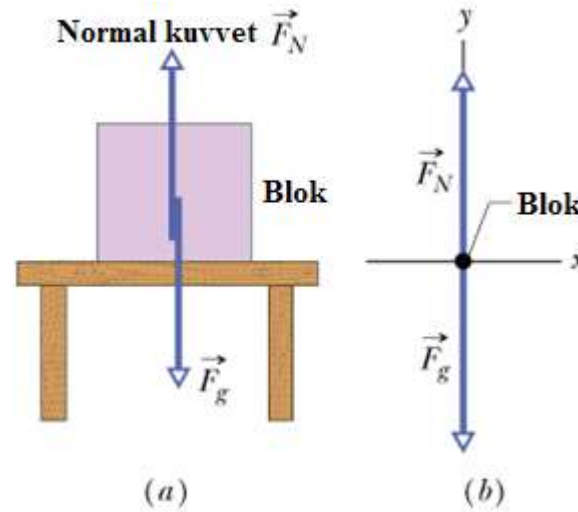
Ağırlık: Bir cismin ağırlığı, cismin serbest düşmesini engelleyecek kuvvetin büyüklüğü olarak tanımlanır.



$$F_{\text{net},y} = ma_y = W - mg = 0 \rightarrow W = mg$$

Not: Ağırlık ve kütle farklı niceliklerdir. Yer-çekiminin farklı olduğu yerlerde (örneğin ayda, $g_m = 1.7 \text{ m/s}^2$), kütle değişmezken ağırlık değişir.

Değme Kuvveti: İsminden de anlaşılacağı gibi, bu kuvvetler birbirleriyle temas halindeki yüzeyler arasında oluşur. İki tür temas kuvveti vardır. Birincisi temas yüzeyine dik yöndeki “**normal kuvvet**”, ikincisi de temas yüzeyine paralel olan “**sürtünme kuvveti**” dir.



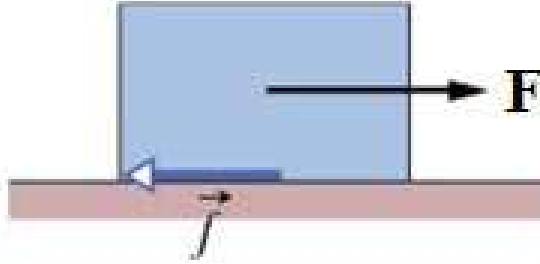
Normal Kuvvet: Bir cisim bulunduğu yüzeye bir baskı uygularsa, yüzey deforme olur ve cisme, temas yüzeyine dik yönde, ismine “normal kuvvet” diyeceğimiz bir kuvvet uygular. Bir masa üzerinde duran kütlesi m olan bir blok düşünelim.

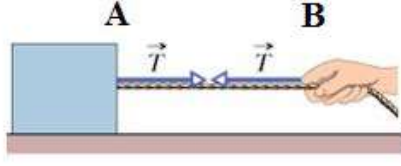
$$F_{\text{net},y} = ma_y = F_N - mg = 0 \rightarrow F_N = mg$$

bulunur.

(5-8)

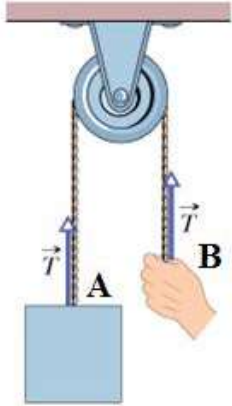
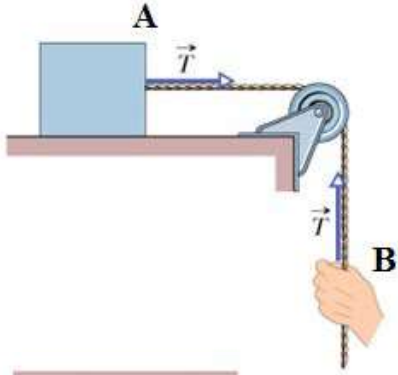
Sürtünme kuvveti: Bir cismi bulunduğu yüzey üzerinde harekete zorlarsak bir dirençle karşılaşırız. Bu direnç “sürtünme” olarak bilinir ve kayma eğilimine ters yöndedir.





Gerilme: Bir cisme bağı olan ipde oluşan bir kuvvettir ve şu özelliklere sahiptir:

1. Her zaman ip boyunca yönelir.
2. Her zaman cismi çekecek yöndedir.
3. İp üzerinde A ve B noktalarında aynı büyüklüktedir.

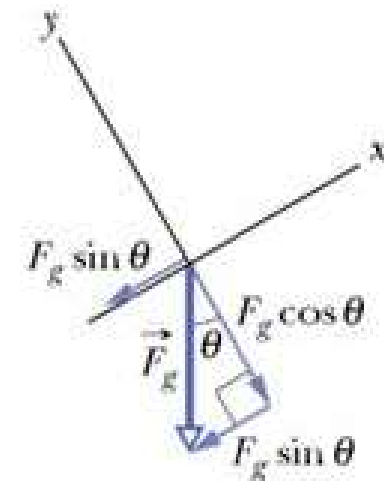
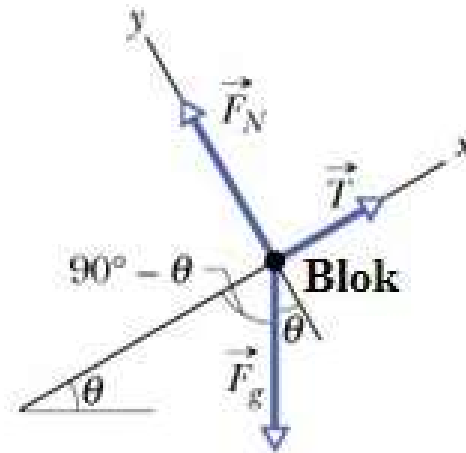
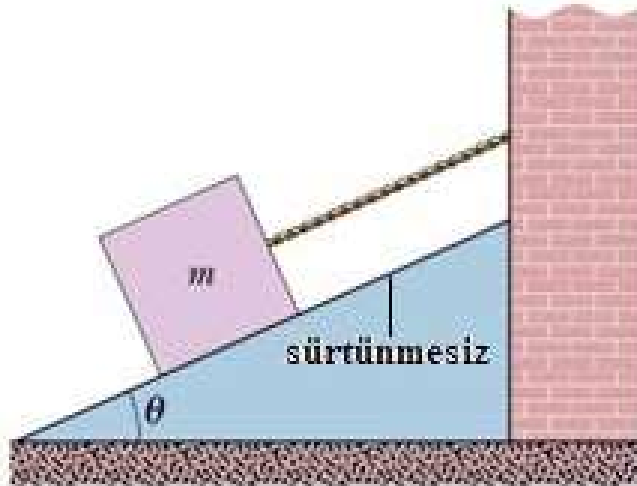


Şu kabullenmeler yapılacaktır:

- a. İpin kütlesi, bağı oldukları cisimlerin kütlesine göre çok küçüktür.
- b. İp uzamasızdır.
- c. Makara kullanılması durumunda, makara sürtünmesizdir ve kütlesi ihmal edilebilir.

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 : Kütlesi 0.3 kg olan bir hokey diski sürtünmesiz bir yüzey üzerinde kaymaktadır. Diske, şekildeki gibi $F_1 = 5 \text{ N}$ ve $F_2 = 8 \text{ N}$ luk iki kuvvet etmektedir.

a-) Diskin ivmesinin büyüklüğünü ve yönünü bulunuz.

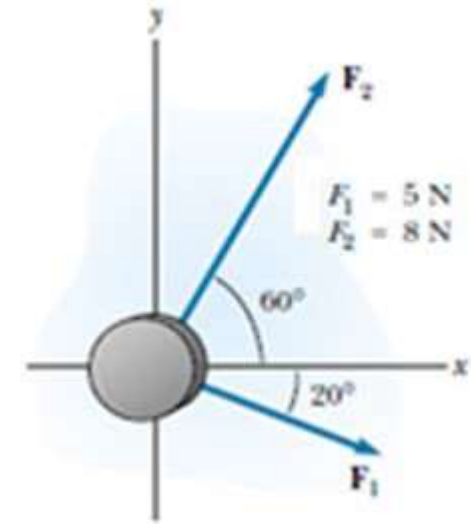
b-) Diskin ivmesini sıfır yapacak üçüncü kuvvet ne olmalıdır?

$$a-) a_x = \frac{\sum F_x}{m} = \frac{5 * \cos(20) + 8 * \cos(60)}{0.3} = 29 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = \frac{\sum F_y}{m} = \frac{-5 * \sin(20) + 8 * \sin(60)}{0.3} = 17.4 \text{ m/s}^2$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \sqrt{(29)^2 + (17.4)^2} = 33.8 \text{ m/s}^2$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{17.4}{29}\right) = 31^\circ$$



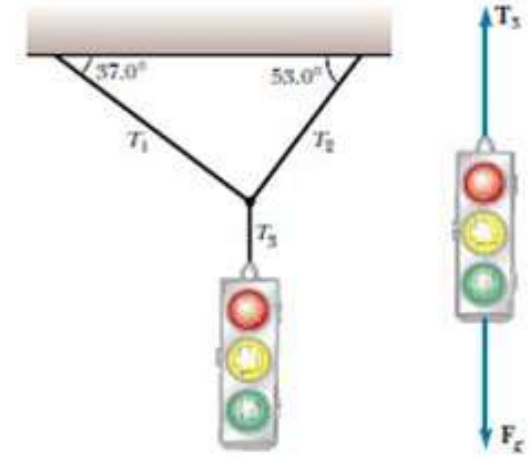
$$b-) \vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} = 0 \rightarrow \sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 0 \rightarrow F_{3x} = -5 * \cos(20) - 8 * \cos(60) = -8.7 \text{ N}$$

$$\sum F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 0 \rightarrow F_{3y} = 5 * \sin(20) - 8 * \sin(60) = -5.2 \text{ N}$$

$$\vec{F}_3 = F_{3x} \hat{i} + F_{3y} \hat{j} = -8.7 \hat{i} - 5.2 \hat{j} \text{ N}$$

(5-12)

Örnek : Ağırlığı 125 N olan trafik ışıkları şekildeki gibi iplerle asılı durmaktadır. Üstteki kabloların yatayla yaptıkları açılar 37° ve 53° olduğuna göre, her üç ipteki gerilme kuvvetlerini hesaplayınız. Hangi durumda $T_1 = T_2$ olur?



Sistem dengede olduğuna göre, $T_3 = F_g = 125 \text{ N}$ bulunur.

$$\sum F_x = -T_1 \cos(37) + T_2 \cos(53) = 0 \quad (\text{Eş-1})$$

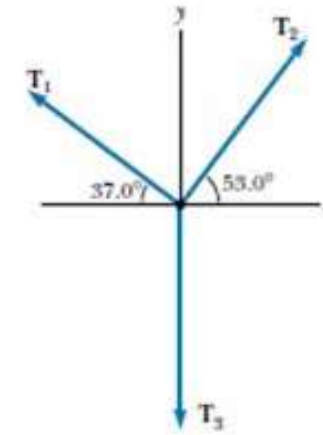
$$\sum F_y = T_1 \sin(37) + T_2 \sin(53) - T_3 = 0 \quad (\text{Eş-2})$$

$$\text{Eş-1' den: } T_1 = -\frac{\cos(53)}{\cos(37)} T_2 = \frac{0.8}{0.6} T_2 \text{ bulunur.}$$

$$\text{Bunu Eş-2' de yerine koyarsak: } T_1(0.6) + \frac{0.6}{0.8} T_1 - 125 = 0 \rightarrow T_1 = 75.1 \text{ N}$$

$$T_2 = \frac{0.6}{0.8} T_1 = 99.9 \text{ N bulunur.}$$

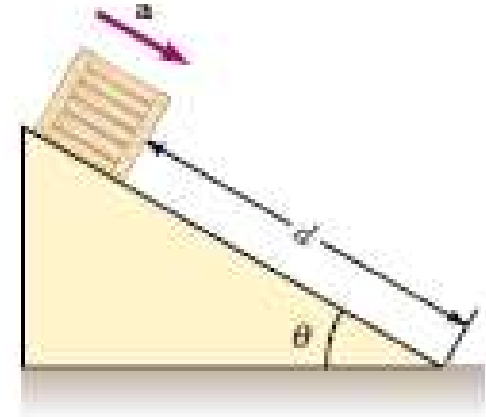
Eş-1' e göre, iplerin yatayla yaptıkları açılar aynı olsaydı, $T_1 = T_2$ olurdu.



Örnek : Kütlesi m olan bir sandık, eğim açısı θ olan sürtünmesiz eğik bir düzlem üzerinden serbest bırakılıyor.

a-) Sandığın ivmesini bulunuz.

b-) Sandık eğik düzlemin tabanına ne kadar sürede ulaşır ve bu anda hızı ne olur?

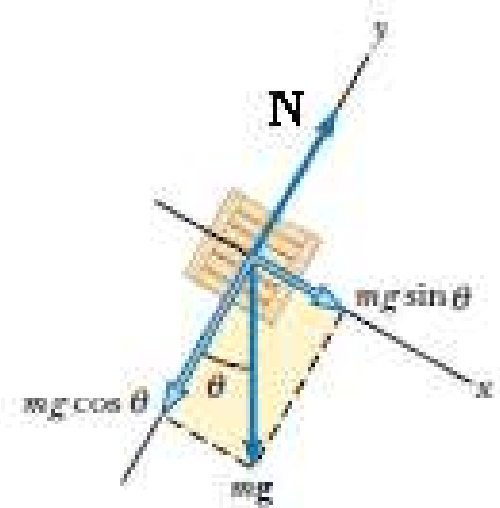


$$a-) \sum F_x = mg \sin \theta = ma_x \rightarrow a_x = g \sin \theta$$

$$\sum F_y = N - mg \cos \theta = 0$$

$$b-) x - x_0 = \frac{1}{2} a_x t^2 \rightarrow t = \sqrt{\frac{2d}{g \sin \theta}} \text{ bulunur.}$$

$$v_s^2 = v_i^2 + 2a_x \Delta x \rightarrow v_s = \sqrt{2g \sin \theta d} \text{ olur.}$$

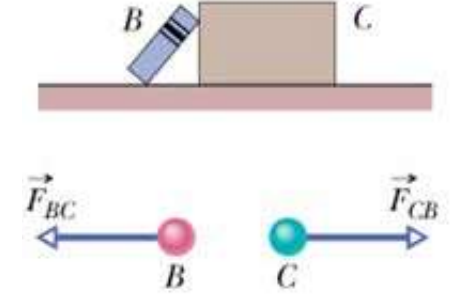


Newton'un Üçüncü Yasası: Etki-Tepki Yasası

İki cisim arasındaki etkileşme kuvvetlerinin büyüklükleri aynı, doğrultuları ters yöndedir.

Şekildeki gibi C bloğuna yaslanmış bir B cismi düşünelim.

C bloğunun B cisminde uyguladığı kuvveti $\vec{F}_{BC}$, benzer şekilde B cisminin C bloğuna uyguladığı kuvveti de $\vec{F}_{CB}$ ile gösterelim.



Newton' un üçüncü yasası gereği, $\vec{F}_{BC} = -\vec{F}_{CB}$ olur.



İkinci bir örnek ise yandaki şekilde verilmiştir.

Newton' un üçüncü yasası gereği,

$$\vec{F}_{CE} = -\vec{F}_{EC} \quad \text{olur.}$$

Newton Yasalarının Uygulanması/Serbest-Cisim Diyagramları:

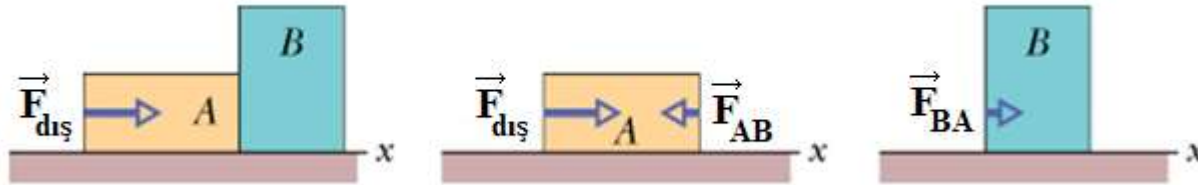
Newton yasalarını uygulayarak mekanik problemlerinin çözümü serbest-cisim diyagramını çizmekle başlar.

Bu, incelenen sistem bir bütün olarak veya her cisim için ayrı ayrı yapılır.

Daha sonra her cisim için uygun bir koordinat sistemi seçilir.

Aşağıda verilen örneği gözönüne alalım. Sürtünmesiz bir sistem

A ve B gibi iki blok ve A bloğuna etkiyen bir $\vec{F}_{\text{dış}}$ kuvveti içermektedir.



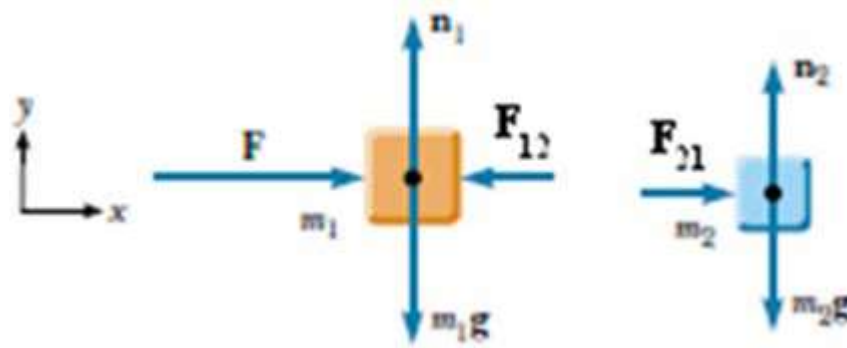
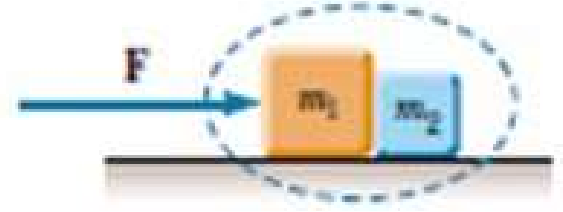
Şöyle "sistem" ler düşünebiliriz:

- Sistem = blok A + blok B . Yatay kuvvet $\vec{F}_{\text{dış}}$.
- System = blok A . Cisme etkiyen iki yatay kuvvet vardır: $\vec{F}_{\text{dış}}$ ve $\vec{F}_{AB}$.
- System = blok B . Cisme etkiyen yatay kuvvet $\vec{F}_{BA}$.

Örnek : Kütleleri m_1 ve m_2 olan iki blok yatay sürtünmesiz bir düzlemde temas halindedir. m_1 kütlesine sabit bir F kuvveti uygulanıyor.

a-) Blok sisteminin ivmesini bulunuz.

b-) Bloklar arasındaki temas kuvvetini bulunuz.



$$a-) \sum F_x(\text{sistem}) = F = (m_1 + m_2)a_x \rightarrow a_x = \frac{F}{m_1 + m_2}$$

b-) m_2 bloğu için Newton' un ikinci yasasından:

$$\sum F_x = F_{21} = m_2 a_x \rightarrow F_{21} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} F = F_{12} \text{ bulunur.}$$

Örnek : Bir kişi elindeki m kütleli balığı asansörün içinde tavana asılı yaylı bir terazi ile tartmak istiyor. Asansör ister yukarı ister aşağı doğru ivmelensin, balığın gerçek kütesinden daha farklı bir değer ölçer. İspatlayınız.

Asansör yukarı doğru ivmelensin:

$$\sum F_y = T - mg = ma \rightarrow T = m(g + a)$$

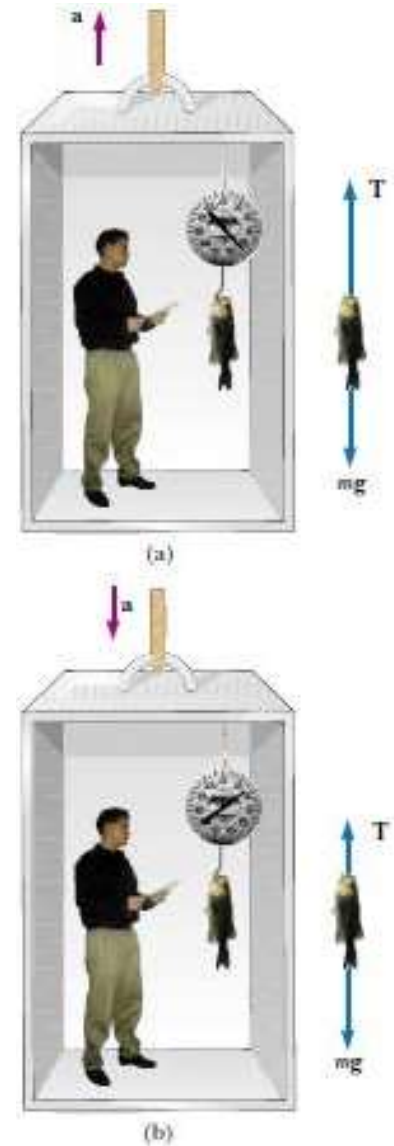
Asansör aşağı doğru ivmelensin:

$$\sum F_y = T - mg = -ma \rightarrow T = m(g - a)$$

Asansör sabit hızla hareket etsin:

$$\sum F_y = T - mg = 0 \rightarrow T = mg$$

Görüldüğü gibi, ivmeli hareket durumunda balığın ağırlığı (T), gerçek ağırlığından farklı ölçülür.



Örnek : Kütleleri farklı iki cisim, ağırlığı ihmal edilebilir sürtünmesiz bir makara üzerinden bir iple şekildeki gibi asılmıştır. Bu sisteme "**Atwood düzeneği**" diyoruz. Sistem serbest bırakıldığında, kütlelerin ivmesi ve ipteki gerilme kuvveti ne olur?

$m_2 > m_1$ olduğunu kabul edelim:

m_1 ve m_2 için Newton' un ikinci yasası, sırasıyla:

$$\sum F_y = T - m_1 g = m_1 a \quad (\text{Eş-1})$$

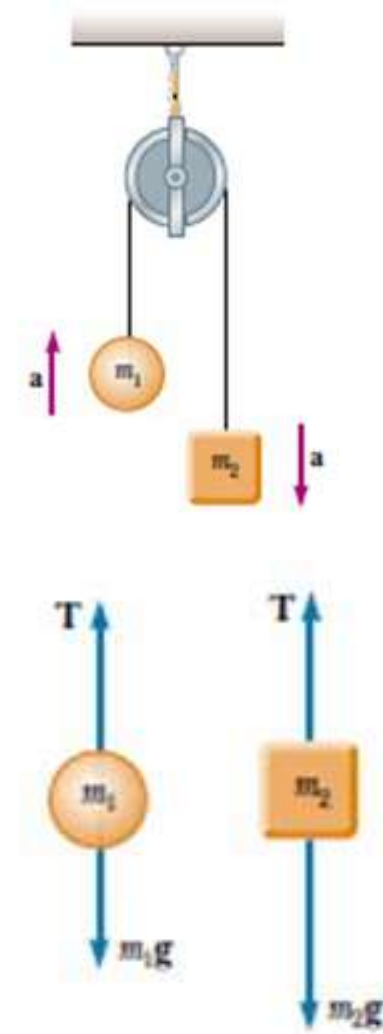
$$\sum F_y = T - m_2 g = -m_2 a \quad (\text{Eş-2})$$

Bu iki denklemden T yi yok edersek ivme,

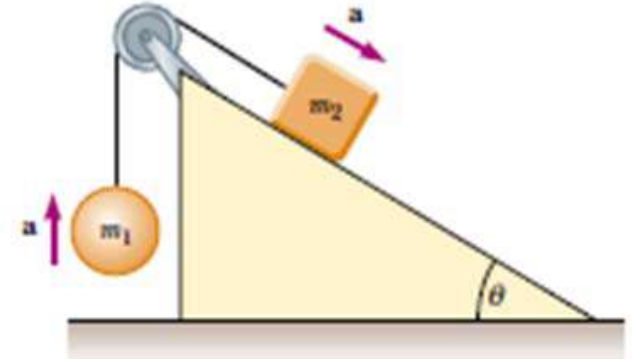
$$a = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} \right) g \text{ bulunur. Bunu da Eş-1' de yerine koyarsak,}$$

$$T = m_1 (a + g) = m_1 \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} + 1 \right) g = \left(\frac{2m_1 m_2}{m_2 + m_1} \right) g \text{ bulunur.}$$

(5-19)



Örnek : Kütleleri m_1 ve m_2 olan iki blok, sürtünmesiz ve ağırlıksız bir makara üzerinden ağırlıksız bir iple birbirine bağlıdır. m_2 bloğu, eğim açısı θ olan sürtünmesiz eğik düzlem üzerindedir. Sistem serbest bırakıldığında m_2 bloğu eğik düzlemde aşağıya doğru kaydığına göre, hareketin ivmesini ve ipte oluşan gerilme kuvvetini bulunuz.



m_1 ve m_2 için Newton' un ikinci yasası, sırasıyla:

$$\sum F_y = T - m_1 g = m_1 a \quad (\text{Eş-1})$$

$$\sum F_{x'} = m_2 g \sin \theta - T = m_2 a \quad (\text{Eş-2})$$

$$\sum F_{y'} = N - m_2 g \cos \theta = 0 \quad (\text{Eş-3})$$

Eş-1 ve Eş-2 denklemlerinden T yi yok edersek ivme,

$$a = \left(\frac{m_2 \sin \theta - m_1}{m_2 + m_1} \right) g \text{ bulunur.}$$

Bunu da Eş-1' de yerine koyarsak, $T = \frac{2m_1 m_2 (1 + \sin \theta)}{m_2 + m_1} g$ bulunur.

