

## 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?

## 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

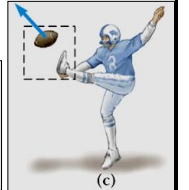
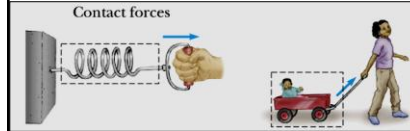
- Bir cismi itmek, bir topa vurmak kuvvet uygulamaktır.
- Bir cismin üzerine etki eden net kuvvet o cismin üzerine uygulanan kuvvetlerin tamamının vektörel toplamıdır.
- Net kuvvet sıfırsa, ivme de sıfırdır ve cismin hızı değişmez.
- Bir cisim bir dış kuvvet nedeni ile ivmelenir.
- Cismin hızı sabit ya da cisim durgun halde ise o cisim dengededir.

## TEMAS KUVVETLERİ

Fiziksel temas sonucu ortaya çıkarlar

ÖRNEKLER:

- Çekilen yayın gerilmesi
- El arabasının sürtünme kuvvetini yenecek bir kuvvetle itilmesiyle veya çekilmesi hareketi
- Futbol topuna vurulması; top hem şekil değiştirir hem de hareket eder.
- Kapalı kaptaki gazın çeperlere uyguladığı kuvvet
- Ayaklarımızın yere uyguladığı kuvvet

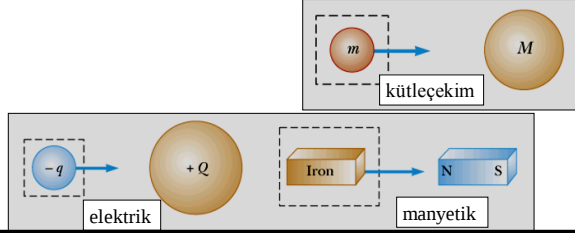


## ALAN KUVVETLERİ

Cisimler arasında fiziksel temas yoktur.

ÖRNEKLER:

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



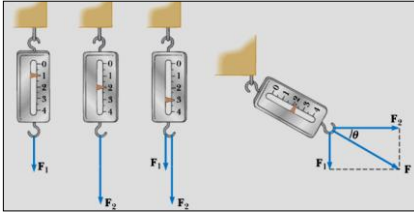
## Temel Kuvvetler

- (1) Cisimler arası **kütle çekim** (gravitasyonel) kuvvetler,
- (2) Elektrik yükleri arasındaki **elektromanyetik** kuvvetler,
- (3) Atom altı parçacıklar arası **nükleer** kuvvetler,
- (4) Radyoaktif parçalanmalar esnasındaki **zayıf** kuvvetler,

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.

- $F_1$  kuvveti yayı 1 cm geriyor.
- $F_2$  kuvveti yayı 2 cm geriyor.
- $F_1$  ve  $F_2$  nin yönü birbirine şekildedeki gibi olursa yaydan okunan

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

## Newton' un 1. yasası:

Bir dış (bileşke) kuvvet etkisi yoksa (net kuvvet yoksa):

- Cisim durgun ise durgun kalacak
- Cisim hareketli ise sabit hızla doğrusal hareketine devam edecektir.

## Eylemsizlik:

Bir cismin, hızında meydana gelecek değişmeye direnme eğilimine o cismin eylemsizliği denir. Yani eylemsizlik, bir cismin dış kuvvete nasıl karşı koyacağıının (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  $m_1$  kütlelerine  $a_1$  ivmesi,  $m_2$  kütlelerine  $a_2$  ivmesi kazandırılıyorsa:

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

### Kütle ve ağırlık farklıdır.

Cismin ağırlığı ona etki eden yerçekimi kuvvetinin büyüklüğüdür.

## Newton'un 2. yasası

### Bir cismin ivmesi;

- ona etki eden bileşke kuvvetle doğru orantılı
- kütlesi ile ters orantılıdır.

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

### Kuvvet birimi; SI sisteminde Newton (N)'dur:

1 Newton, 1 kg kütleli cisme uygulandığında ona 1 m/s<sup>2</sup> lik ivme kazandıran kuvvettir. 1 N = 1 kgm/s<sup>2</sup>

Eşitlik vektörel olduğundan bileşenler için de geçerlidir.

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

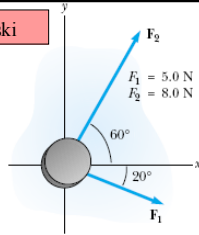
$$F_{net,x} = m \cdot a_x$$

$$F_{net,y} = m \cdot a_y$$

$$F_{net,z} = m \cdot a_z$$

### ÖRNEK 5.1 (s.118) İvmelenen bir hokey diski

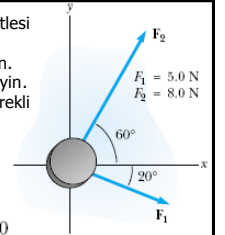
Bir hokey diskine sürtünmesiz bir buz zeminde (kütlesi 0.3 kg), şekildeki gibi iki kuvvet etki ediyor.



- 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?

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: a)

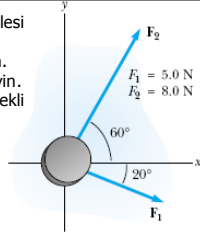
x-yönündeki bileşke kuvvet:

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

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), şekildedeki gibi iki kuvvet etki ediyor.  
a) Disk etkiye net kuvvetin bileşenlerini belirleyin.  
b) Diskin ivmesinin büyüklüğünü ve yönünü belirleyin.  
c) Cismnin 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  $-30^\circ$  ve bileşenleri;

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

## ÇEKİM KUVVETİ VE AĞIRLIK

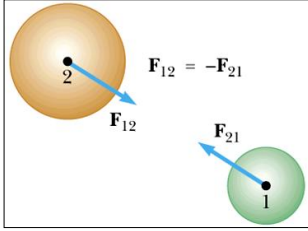
- Çekim kuvveti, bir cisme dünyanın uyguladığı kuvvettir.
- Yönü dünyanın merkezine doğrudur.
- Bu çekici kuvvet yerçekimi kuvvetidir, ( $F_g$ ).

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

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

- 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 3. yasası



2 cisim etkileşiyorsa;

2. cismin 1. cisme uyguladığı  $F_{21}$  kuvveti

1. cismin 2. cisme uyguladığı  $F_{12}$  kuvvetine büyüklükte eşit ve zıt yönlüdür.

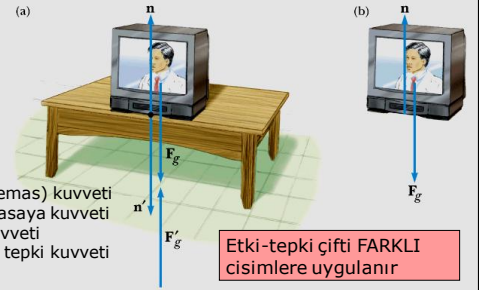
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

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?



n: normal (temas) kuvveti

n': cismin masaya kuvveti

$F_g$ : ağırlık kuvveti

$F'_g$ : masanın tepki kuvveti

Normal kuvveti; cismin düşmesini önler, masa kırılınca 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  $n = -n'$  dir.

Cisim dengede olduğundan  $a=0$  dir. 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

$$\sum F_x = T = ma_x$$

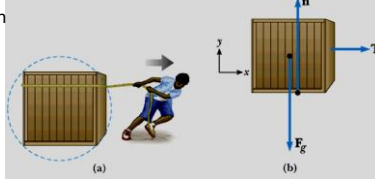
$$a_x = \frac{T}{m}$$

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: Yerdeğiştirme:

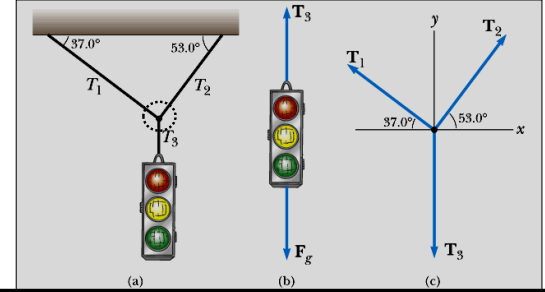
$$v_{xs} = v_{xi} + \left(\frac{T}{m}\right)t$$

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

### 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.

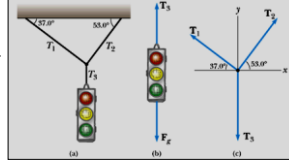
Üç kablodaki gerilmeleri bulun.



### 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;

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

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

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

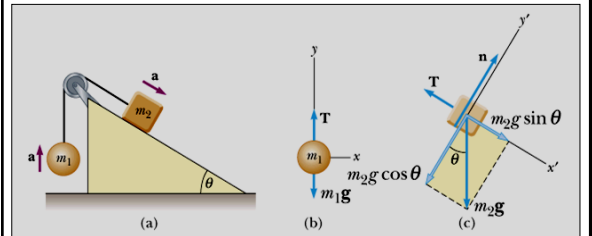
$$T_2 = 1.33 T_1 = 97.4 \text{ N}$$

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

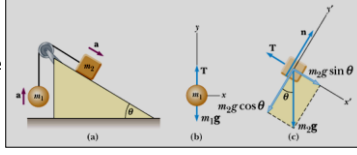
$m_1$  ve  $m_2$  kütleli iki cisim şekildeki gibi sürtünmesiz bir makaradan geçen hafif bir ipe bağlıdır ve ok yönünde hareket etmektedirler.

(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?



$m_1$  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.



Bağılı olduklarından aynı ivmeyle hareket ederler. Newtonun 2. yasasından

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

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

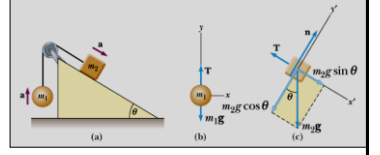
$$(3) \quad \sum F_{x'} = m_2 g \sin \theta - T = m_2 a_{x'} = m_2 a$$

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

(2) ve (3) eşitliklerinden;

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

$m_1$  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;

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

$a = -4.22 \text{ m/s}^2$  ve  $T = 55.77 \text{ N}$ .

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.

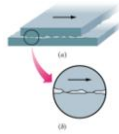
Günlük yaşamımızda son derece önemlidir!!!

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?

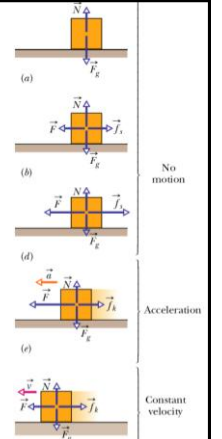
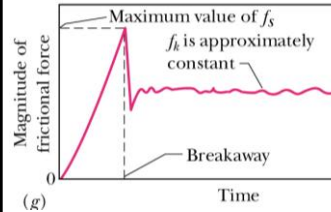
Arabanın durması, yürümemiz nasıl mümkün?

Sürtünme olmasa ne olurdu?



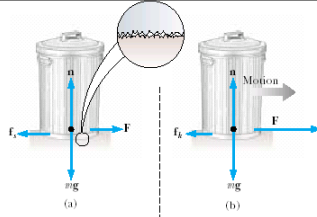
## Sürtünme kuvvetleri

- Statik sürtünme,  $f_s$
- Kinetik sürtünme,  $f_k$

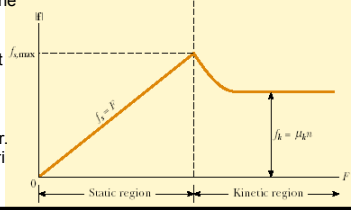


## Sürtünme kuvvetleri

- (a) Dış bir kuvvet uygulansın uygulanmasın cisim durduğu sürece  $f_s = F$  dir.  
 (b) F kuvvetinin büyüklüğü artırılsa 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.**

1. Statik sürtünme kuvveti:

(uygulanan kuvvete zıt yönlüdür)

$\mu_s$ : statik sürtünme katsayısı.

Tam kayma sınırında:

$$f_s \leq \mu_s n$$

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

2. Kinetik sürtünme kuvveti:

(harekete zıt yönlüdür)

$\mu_k$ : kinetik sürtünme katsayısı (hız ile değişimi ihmal)

$$f_k = \mu_k n$$

3.  $\mu_s$  ve  $\mu_k$  değerleri yüzey özelliklerine bağlıdır. Genellikle:

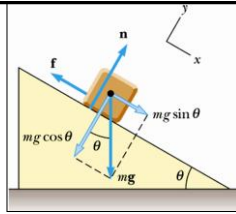
$$\mu_k \leq \mu_s$$

|                             | $\mu_s$  | $\mu_k$ |
|-----------------------------|----------|---------|
| Steel on steel              | 0.74     | 0.57    |
| Aluminum on steel           | 0.61     | 0.47    |
| Copper on steel             | 0.53     | 0.36    |
| Rubber on concrete          | 1.0      | 0.8     |
| Wood on wood                | 0.25-0.5 | 0.2     |
| Glass on glass              | 0.94     | 0.4     |
| Waxed wood on wet snow      | 0.14     | 0.1     |
| Waxed wood on dry snow      | —        | 0.04    |
| Metal on metal (lubricated) | 0.15     | 0.06    |
| Ice on ice                  | 0.1      | 0.03    |
| Teflon on Teflon            | 0.04     | 0.04    |

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

## Statik sürtünme katsayısının ölçülmesi

Pürüzlü bir yüzdeki cisim kaymaya başlayıncaya kadar eğim açısı artırılıyor. Tam kaymaya başladığı  $\theta_c$  kritik açısı ölçülürse;  $\mu_s$  statik sürtünme katsayısını belirleyin.



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

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

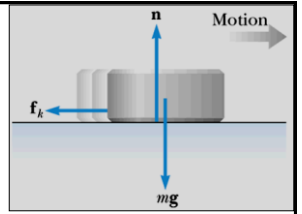
$$f_s = mg \sin \theta = \left( \frac{n}{\cos \theta} \right) \sin \theta = n \tan \theta$$

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

$$\mu_s = \tan \theta_c$$

## Kinetik sürtünme katsayısının ölçülmesi

Bir hokey diskine 20.0 m/s'lık bir ilk hız verilsin ve durana kadar 115 m kaysın. Hokey ve buz arasındaki kinetik sürtünme katsayısını belirleyin.



ÇÖZÜM:

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

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

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

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

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

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