

3. EĞİK DÜZLEMDE HAREKET

AMAÇ

1. Sürtünmeli eğik düzlemde hareket eden tahta bir blok için ivmeli hareketi gözlemlemek ve bu hareket için yol-zaman ilişkisini incelemek.
2. Statik ve kinetik sürtünme katsayılarını bulmak.

ARAÇLAR

Eğik düzlem, tahta blok, cetvel, kronometre.

GİRİŞ

Bir cismin ortalama hızı onun birim zamanda aldığı yol olarak tanımlanır. Yani cisim bir Δt süresince Δx kadar yer değiştirmiş ise ortalama hızı

$$v_{ort} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (1)$$

olarak tanımlanır. Hızın sabit olduğu bir harekette yol-zaman grafiği Şekil 1' de görüldüğü gibi bir doğrudur. Bu doğrunun eğimi cismin sabit v hızını verir.

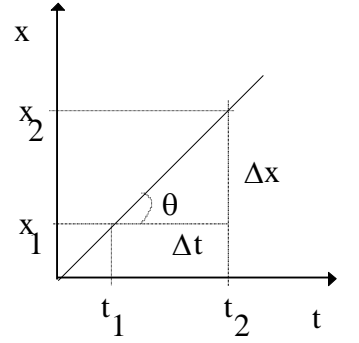
$$v = \tan \theta = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (2)$$

Böylece hızın sabit olduğu bir hareket için yol-zaman grafiğinin denklemi

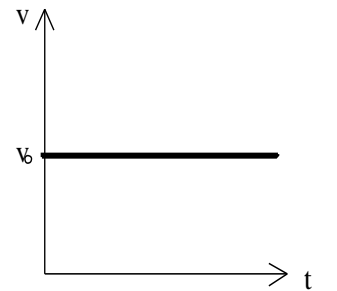
$$x = vt \quad (3)$$

olacaktır.

Hızın sabit olduğu durumdaki hız zaman grafiği ise Şekil 2' deki gibi zaman eksenine paralel bir doğru olacaktır. Bu grafik bize hızının zamanla değişmediğini, sabit kaldığını anlatmaktadır.



Şekil 1. Sabit hızla hareket eden cismin yol-zaman grafiği.



Şekil 2. Sabit hızla hareket eden cismin hız-zaman grafiği.

Hızın sabit olmadığı, zamanla değiştiği, hareketlere ivmeli hareketler denilmektedir. Eğer bir cismin hızı zamanla doğrusal olarak artıyor ya da azalıyorsa cismin bu hareketine sabit ivmeli hareket denilmektedir. Böylece ivme birim zamandaki hız değişimi, yani

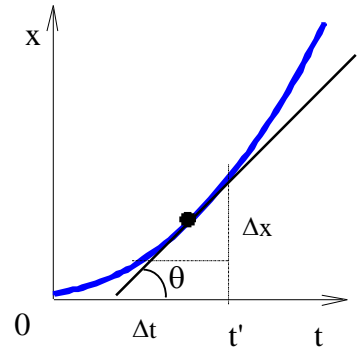
$$a_{ort} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (4)$$

olarak tanımlanmaktadır. Eğer hız zamanla azalıyorsa bu durumda cisim negatif ivmeli bir hareket yapıyordur.

Sabit ivmeli bir harekette yol-zaman grafiği eğer ilk hız sıfır ise Şekil 3' deki gibi bir parabol olur. Bu parabolün denklemi

$$x = \frac{1}{2} at^2 \quad (5)$$

biçimindedir. Görüldüğü gibi burada alınan yol zamanla doğrusal olarak değil zamanın karesiyle orantılı olarak artmaktadır. Dolayısıyla $x-t^2$ grafiği doğrusal bir grafikdir.



Şekil 3. Sabit ivmeli hareket yapan bir cismin yol-zaman grafiği

Eğer cismin herhangi bir andaki hızını (anlık hız veya ani hız) bulmak istersek, yol-zaman eğrisinde göz önüne aldığımız, bu zamana karşılık gelen noktadaki “teğetin eğimini” hesaplamamız gerekir. Böylece Şekil 3' deki t' anı için ani hız

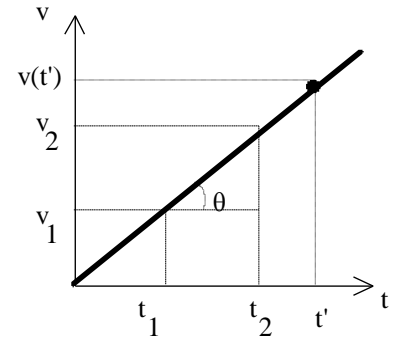
$$v(t') = \tan \theta = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (6)$$

bağıntısından hesaplanır.

İlk hızın sıfır olduğu bir ivmeli harekette hız-zaman grafiği ise hız zamanla doğrusal olarak arttığından Şekil 4' deki gibi bir doğru olur. Bu doğrunun denklemi

$$v = at \quad (7)$$

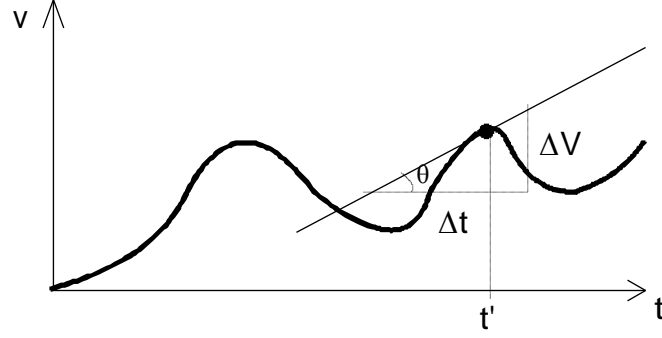
biçimindedir. Bir t anındaki anlık hız $v(t')$ grafikten doğrudan bulunabilmektedir. Bu doğrunun eğimi de bize hareketin ivmesini verecektir.



Şekil 4. Sabit ivmeli hareket yapan cismin hız-zaman grafiği.

$$a = \tan \theta = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (8)$$

Hızın zamanla doğrusal olarak değişmediği hareketlerde vardır. Bu tür hareketlere değişken ivmeli hareketler denilmektedir. Şekil 5’ deki hız-zaman grafiği değişken ivmeli bir harekete aittir.



Şekil 5. Değişken ivmeli bir hareket için hız-zaman grafiği.

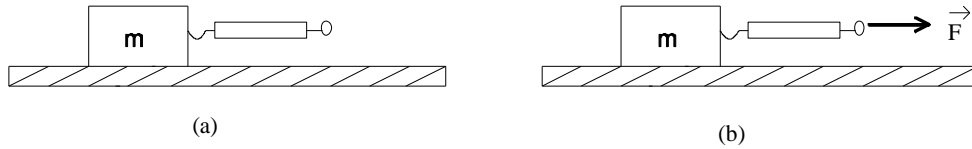
Burada herhangi bir t' anındaki ivme (ani ivme) t' anına karşılık gelen noktadaki teğetin eğiminin hesaplanmasıyla bulunur. Yani

$$a(t') = \tan \theta = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (9)$$

olur.

STATİK SÜRTÜNME KUVVETİ VE KİNETİK SÜRTÜNME KUVVETİ

Sürtünme kuvvetinin daha iyi anlaşılabilmesi için basit bir deney yapılabilir. Bunun için bir



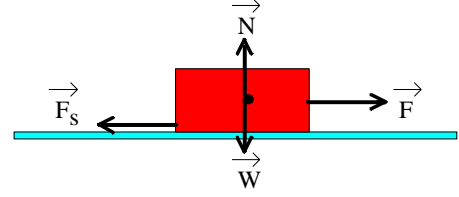
Şekil 6a-6b. Statik sürtünme kuvvetinin belirlenmesi

tahta bloğu, tahta zemin üzerine yerleştiriniz. Tahta bloğa bir dinamometreyi tutturunuz (Şekil 6a). Dinamometrenin ucundan yavaşça çekiniz, uyguladığınız kuvvetin bloğu harekete geçirmede göreceksiniz. Newton'un ikinci yasasına göre bir cisim, uygulanan kuvvetin etkisi ile ivmeli hareket yapmalıdır. Bu durumda cisim hareket etmediğine göre cisme etki eden net kuvvet sıfırdır (eylemsizlik prensibi). Ancak görünen tek kuvvet sizin uyguladığınız kuvvettir. Burada cismin hareketini engelleyen ve uygulanan kuvvete zıt yönde yönelmiş bir kuvvetin varlığı söz konusudur. İşte bu kuvvete sürtünme kuvveti denir. Sürtünme kuvveti her zaman hareketi engelleyici yöndedir. Yatay bir yüzey üzerinde duran bir cismi harekete geçirmek için üzerinde bulunduğu yüzeye paralel doğrultuda uygulanması gereken minimum kuvvet statik sürtünme kuvvetine eşit olmalıdır. Bu tanımlara göre statik sürtünme kuvvetini

kolayca ölçebilirsiniz. Bunun için cisme uyguladığınız kuvveti arttırınız. Cismin harekete başladığı andaki kuvveti dinamometreden okuyunuz. Ölçtüğünüz kuvvet statik sürtünme kuvvetin en büyük değerine eşittir. Böylece tahta yüzeyin cisim üzerine uyguladığı sürtünme kuvvetini bulmuş olursunuz. Yapılan deneyler sürtünme kuvvetinin, sürtünen yüzeyleri sıkıştıran normal kuvvetle orantılı ve yüzeylerin cinsine ve fiziksel durumuna bağlı olduğunu göstermişlerdir. Statik sürtünme katsayısı μ_s , normal kuvvet N olmak üzere statik sürtünme kuvveti;

$$F_{s, \max} = \mu_s N \quad (10)$$

dir. Şekil 7' ye göre $N=W=mg$ ve $F=F_s$ olduğundan cismin kütlesi biliniyorsa sürtünme katsayısı kolayca bulunabilir. Eşitlik (10)' da görüldüğü gibi sürtünme kuvveti sürtünen yüzeylerin büyüklüğüne bağlı değildir. Bunu görebilmek için cismin farklı bir yüzeyini tahta düzleme oturtunuz ve yaptığınız işlemleri tekrarlayarak, statik sürtünme kuvvetini ve katsayısını bulunuz. Elde ettiğiniz değerlerin birbirlerine yakın olduğunu göreceksiniz. Uygulanan F kuvveti, belli bir eşik değere ulaştığında, hareket başlar ve sandık sağa doğru ivmelenir. Sandık harekete başladıktan sonra, sandıkla zemin arasındaki kuvvet artık kinetik sürtünme kuvveti, F_k verir.



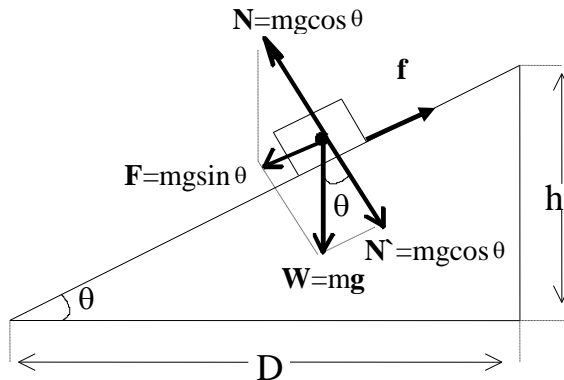
Şekil 7. Sürtülmeli yüzey üzerindeki cisme etkiyen kuvvetlerin gösterimi

$$F_k = \mu_k N \quad (11)$$

Burada μ_k kinetik sürtünme katsayısıdır ve kinetik sürtünme katsayısı, statik sürtünme katsayısından daima küçüktür, $\mu_k < \mu_s$. Çünkü bir cismi harekette tutan kuvvet, onu harekete geçiren kuvvetten her zaman küçüktür.

SÜRTÜNME Lİ EĞİK DÜZLEM

Şekil 8' deki sürtülmeli eğik düzlemi göz önüne alalım.



Şekil 8. Sürtülmeli eğik düzlemde bir cismin serbest cisim diyagramı.

m kütleli bir blok sürtünmeli eğik bir düzlem üzerindedir. Eğim açısı θ , blok hareket edinceye kadar artırılabilir. Bloğun kaymaya başladığı sınır açısı θ_s olduğuna göre, zeminle blok arasındaki statik sürtünme katsayısı μ_s nedir? Burada m kütleli cisim hareket ettiren kuvvet onun $\mathbf{W}=m\mathbf{g}$ ağırlığının düşey bileşeni olan

$$F = mg \sin \theta \quad (12)$$

kuvvetidir. $\mathbf{W}=m\mathbf{g}$ ağırlığının yatay bileşeni olan $N'=mg \cos \theta$ kuvveti ise sadece cismi yüzeye bastırmaya çalışır, yani harekete bir etkisi yoktur. $N=mg \cos \theta$ kuvveti, bu kuvveti dengeleyen bir tepki kuvveti olarak ortaya çıkar. O halde hareket denklemleri

$$mg \sin \theta - f_s = 0 \quad \text{ve} \quad N - mg \cos \theta = 0 \quad (13)$$

şeklindedir. Buradan mg 'yi yok edersek, $f_s = N \tan \theta$ olur. O halde tam kaymaya başlamadan hemen önce $f_{s,\max} = N \tan \theta_s = \mu_s N$ olacağı için statik sürtünme katsayısı

$$\mu_s = \tan \theta_s = \frac{h}{D} \quad (14)$$

olarak bulunur. Böylece eğik düzlemi yeni açısı $\theta_{yeni} > \theta_s$ olacak şekilde ayarlayarak bloğun ilk hızsız ivmeli bir hareket yapmasını sağlayabiliriz. Bu durumda cismi harekete geçiren net kuvvet artık

$$mg \sin \theta - f_k = ma \quad (15)$$

kuvvetidir. Çünkü sürtünme kuvveti harekete daima zıt yönlüdür ve idealize edilmiş şekliyle sadece normal kuvvete ve birbiri üzerinde kayan maddelerin cinsine bağlıdır. O halde

$$N = mg \cos \theta \quad \text{ve} \quad f_k = \mu_k N = \mu_k mg \cos \theta \quad (16)$$

bağıntılarını kullanarak kinetik sürtünme katsayısını denklem 15' den

$$\mu_k = \frac{g \sin \theta - a}{g \cos \theta} \quad (17)$$

olarak hesaplarız. Eğer eğik düzlemde sürtünme sıfır ise

$$a = g \sin \theta \quad (18)$$

ifadesi bulunur. Görüleceği gibi kayma ivmesi a daima g yerçekimi ivmesinden küçük olmaktadır. Çünkü $\sin \theta$ daima 1' den küçüktür.

DENEYİN YAPILIŐI

1. Sınır Açısı ve Statik Sürtünme Katsayısının Bulunması:

Tahta bloğu eğik düzlemin üzerinde bir konuma yerleştiriniz. Eğik düzlemi yavaşça yükseltiniz. Tahta bloğun tam kaymaya başladığı anda vidayı sıkınız ve h ve D değerlerini kaydediniz. Bu işlemleri dört defa daha tekrarlayınız. Burada önemli olan tahta bloğu her ölçüm için eğik düzlemin farklı noktalarına yerleştirmenizdir, çünkü sürtünme katsayısı eğik düzlem üzerinde her noktada farklı olabilir.

2. Alınan Yolun Zamana Bağımlılığının İncelenmesi ve Kinetik Sürtünme Katsayısının Bulunması:

Eğik düzlemin eğim açısını birinci kısımda hesapladığınız sınır açısından büyük bir değere ayarlayınız. Tahta bloğu daha önceden belirlenmiş $x = 0,20-0,40-0,60-0,80-1,00$ m beş farklı konumdan ilk hızsız kaymaya bırakınız ve kronometre yardımı ile her nokta için dört kez iniş sürelerini ölçünüz ve kaydediniz.

VERİLERİN ÇÖZÜMLENMESİ

1. Ölçtüğünüz farklı yükseklik değerleri h ile bu yükseklik değerlerine karşılık gelen taban uzunlukları D için sınır açısını ve statik sürtünme katsayısını hesaplayınız.
2. Ölçtüğünüz t değerleri için $x-t^2$ grafiğini çiziniz. Grafiğin eğiminden tahta bloğun ivmesini hesaplayınız. Gerekli bağıntılardan yararlanarak kinetik sürtünme katsayısını bulunuz ve $\mu_k < \mu_s$ şartının sağlanıp, sağlanmadığını gösteriniz.

KAYNAKLAR

1. D. Halliday -R. Resnick, Temel **Fizik** (çeviri)
2. Richards Sears, Werh Zemansky, **Modern Üniversite Fiziği** (çeviri)
3. İsmet Ertaş, Denel **Fizik Dersleri**, Ege Üni. Basımevi
4. Enis Erdik, **Mekanik ve Maddenin Özellikleri**, Ank. Üni. Fen Fak. Yayınları

Hazırlayanlar:

Arş. Grv. M. ERYÜREK

Arş. Grv. H. TAŐKIN