

2. BÖLÜM

DÖNEREK ÖTELEME HAREKETİ

Konular

- 1.2.1. Öteleme ve Dönme Hareketi Arasındaki İlişki
- 1.2.2. Eylemsizlik Momenti
- 1.2.3. Dönme ve Dönerek Öteleme Hareketi Yapan Cismin Kinetik Enerjisinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Anahtar Kavramlar

- Eylemsizlik momentini



- Bir cisim dönme ve öteleme hareketini aynı anda yapabilir mi?
- Öteleme ve dönme hareketi arasındaki farklılıklar nelerdir?

Bu bölümde, öteleme ve dönme kavramları tanımlanarak hareketler karşılaştırılacaktır. Cisimlerin dönme hareketine karşı gösterdikleri direncin nedenleri ve bu direncin hangi değişkenlere bağlı olduğu incelenecektir. Dönme ve dönerek öteleme hareketi yapan cisimlerin kinetik enerjilerinin bağlı olduğu değişkenler belirlenecektir.

1.2.1. Öteleme ve Dönme Hareketi Arasındaki İlişki

Hareket, fizik biliminin önemli bir konusu olmasının yanında günlük hayatın da vazgeçilmez bir parçasıdır. Çevredeki canlıların, araçların ya da nesnelerin hareketleri özelliklerine göre öteleme, dönme veya titreşim hareketi olarak adlandırılır.

Doğrusal yörüngede hareket eden bir uçağın, yürüyen merdivenin üzerindeki insanların (Görsel 1.8), bir fabrika bandında taşınan kolilerin yaptığı hareket öteleme hareketidir.

Öteleme hareketi yapan bir cismin tüm noktaları hareket düzlemine paralel olacak şekilde hareket eder ve cisim üzerindeki tüm noktaların hızı aynıdır.

Rüzgâr enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde kullanılan türbindeki pervane hareketi (Görsel 1.9) ve çamaşır makinesindeki tamburun hareketi gibi sabit bir eksen etrafında gerçekleşen hareketler dönme hareketidir.



Görsel 1.8: Yürüyen merdiven



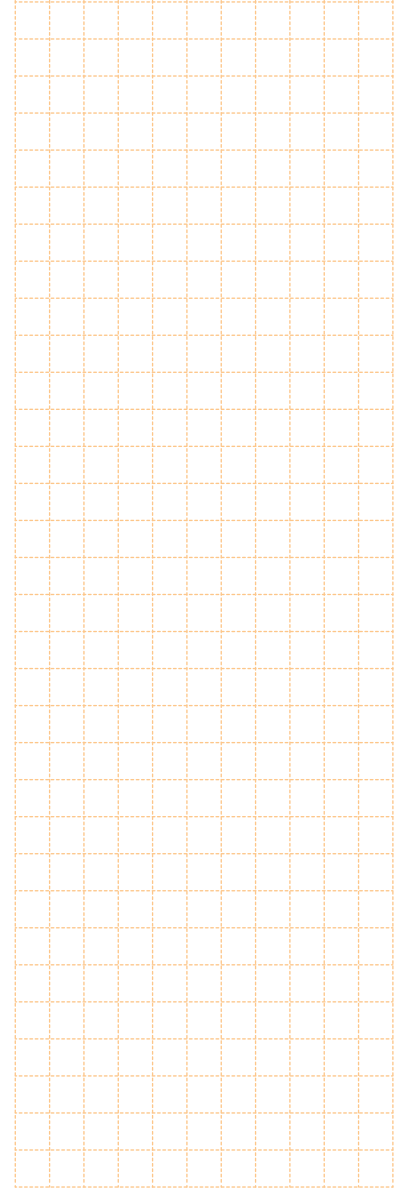
Görsel 1.9: Rüzgâr türbini

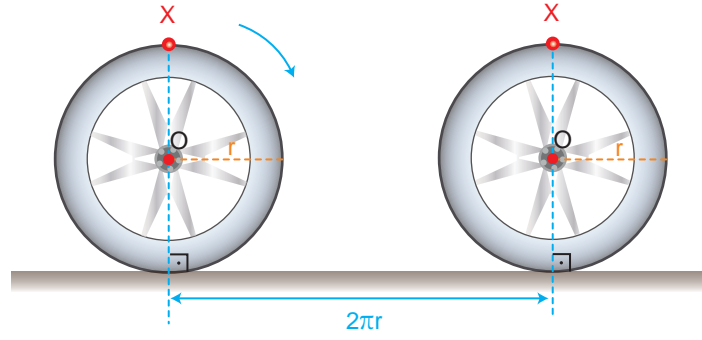
Sabit bir eksen etrafında dönen bir cismin üzerindeki tüm noktalar, çembersel hareket yaparken sadece dönme eksenini üzerinde kalan noktalar olduğu yerde döner. Hareket hâlindeki araçların tekerlekleri dönme ve öteleme hareketini aynı anda gerçekleştirir.



Görsel 1.10: Hareket hâlindeki araç

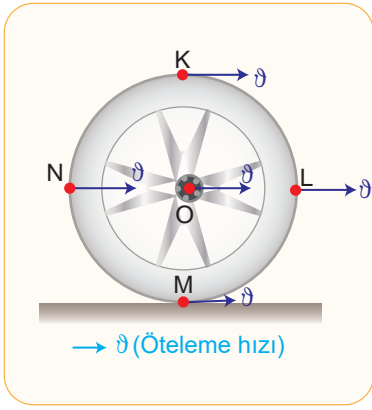
Araç ve sürücü öteleme hareketi yaparken aracın tekerlekleri hem dönme hem de öteleme hareketi yapar (Görsel 1.10). Tekerleklerin yapmış olduğu bu harekete **dönerek öteleme hareketi** denir.



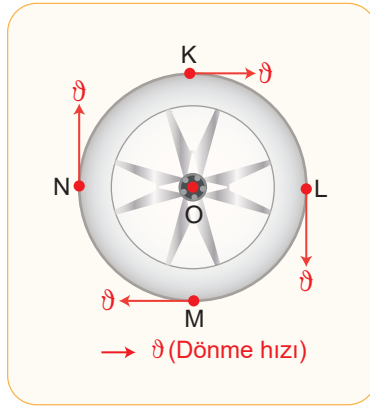


Şekil 1.10: Dönerek öteleme hareketi yapan tekerlek

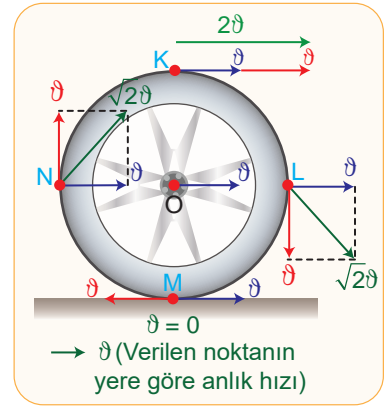
Dönerek öteleme hareketi yapan tekerleğin üzerindeki bir X noktası, tekerlek 1 tur attığında çevresi kadar ($2\pi r$) yol alır (Şekil 1.10). Tekerleğin merkezinin (O noktası) yer değiştirmesi ile X noktasının yer değiştirmesi birbirine eşittir. Buna bağlı olarak tekerleğin yere temas ettiği yüzey üzerindeki bir noktanın öteleme hızının büyüklüğü aynı zamanda dönme hızının büyüklüğüne eşittir.



Şekil 1.11: a) Doğrusal bir yörüngede sabit büyüklükte hızla hareket eden tekerlek üzerinde seçilen noktaların anlık öteleme hızlarının büyüklüğü



Şekil 1.11: b) Sabit bir eksen (O noktası) etrafında dönen tekerlek üzerinde seçilen noktaların anlık dönme hızlarının büyüklüğü



Şekil 1.11: c) Dönme ve öteleme hareketi yapan tekerleğin üzerinde seçilen noktaların yere göre anlık hızlarının büyüklüğü



Sadece öteleme hareketi yapan tekerleğin üzerindeki her noktanın hızının büyüklüğü ve yönü aynıdır (Şekil 1.11: a).

Sabit bir eksen etrafında dönen tekerleğin merkezinin çizgisel hızı sıfırdır (Şekil 1.11: b). Merkeze eşit uzaklıktaki tüm noktaların çizgisel hızlarının büyüklüğü eşittir. Ancak hızlarının yönleri ve doğrultuları sürekli değişmektedir.

Dönerek öteleme hareketi yapan (Şekil 1.11: c) bir tekerleğin hareketi, dönme ve öteleme hareketinin birleşimidir. Tekerlek merkezinin yere göre sadece öteleme hızı, tekerlek üzerindeki diğer noktaların ise yere göre hem öteleme hem de dönme hızları vardır.

Bu noktaların yere göre anlık hızlarının büyüklüğü dönme ve öteleme hızlarının vektörel toplamına eşittir.

- O noktasının yere göre hızının büyüklüğü: $v_O = v$
- K noktasının yere göre hızının büyüklüğü: $v_K = 2v$
- L ve N noktalarının yere göre hızının büyüklüğü: $v_L = v_N = \sqrt{2}v$
- M noktasının yere göre hızının büyüklüğü: $v_M = 0$

Örnek

Dönerek öteleme hareketi yapan bir bisiklet tekerleğinin K, O ve M noktalarının yere göre anlık hızlarının büyüklüğü v_K , v_O ve v_M dir.

Buna göre v_K , v_O ve v_M arasındaki ilişki nedir?

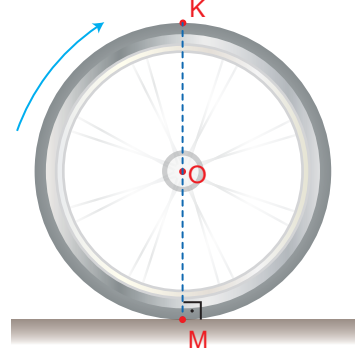
Çözüm

Cismin öteleme hızının büyüklüğü v kabul edilirse K noktasının yere göre anlık hızı $v_K = v + v = 2v$ bulunur.

O noktası dönme hareketinin merkezi olduğundan dönme hızı sıfırdır. Bu durumda O noktasında sadece öteleme hızı bulunur ve $v_O = v$ olur.

M noktasında dönme ve öteleme hızlarının büyüklükleri eşit ve zıt yönlüdür. Dönen tekerleklerin zemine temas eden noktalarının yere göre anlık hızları sıfırdır. Bu durumda $v_M = 0$ olur.

$$v_K > v_O > v_M \text{ bulunur.}$$



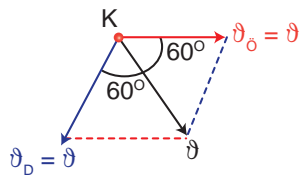
Örnek

Dönerek öteleme hareketi yapan çemberin merkezinin hızı \vec{v} dir.

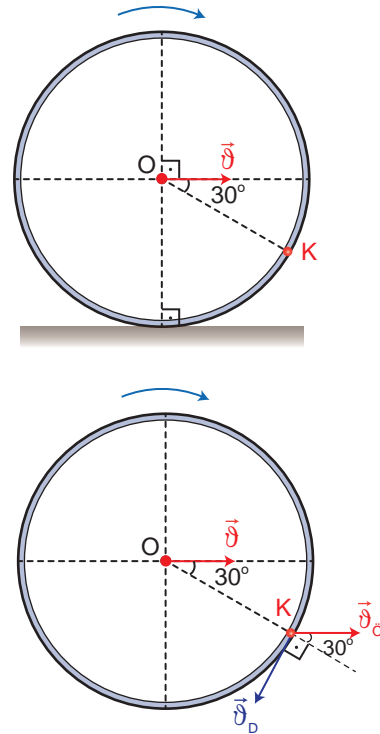
Buna göre K noktasının yere göre anlık hızının büyüklüğü kaç v 'dir?

Çözüm

K noktasının öteleme hızı \vec{v}_O çemberin merkezinin hızına eşittir. Çember yüzeyindeki noktaların dönme hızı öteleme hızının büyüklüğüne eşit olduğu için K noktasının dönme hızı \vec{v}_D nin büyüklüğü, öteleme hızının büyüklüğüne eşittir. Eşit büyüklükte iki vektör arasındaki açı 120° olduğundan bileşke hız vektörünün büyüklüğü bileşenlerinden birinin büyüklüğüne eşit olur.



Bu nedenle K noktasının yere göre anlık hızının büyüklüğü $v_K = v$ bulunur.



Sıra Sizde - 6

Görsellerdeki hareket çeşitlerini belirleyerek, hareketin çeşidini alttaki kutucuklara işaretleyiniz.



Görsel 1.11: İtilen tekerlekli alışveriş sepetindeki ürünlerin hareketi

Öteleme hareketi

Dönme hareketi

Dönerek öteleme hareketi



Görsel 1.12: Dönen topaç

Öteleme hareketi

Dönme hareketi

Dönerek öteleme hareketi

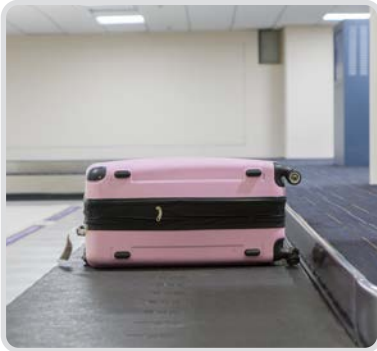


Görsel 1.13: Sahada yuvarlanan futbol topu

Öteleme hareketi

Dönme hareketi

Dönerek öteleme hareketi



Görsel 1.14: Hareketli taşıma bandı üzerindeki valiz

Öteleme hareketi

Dönme hareketi

Dönerek öteleme hareketi



Görsel 1.15: Hamur açma sırasında kullanılan merdanenin hareketi

Öteleme hareketi

Dönme hareketi

Dönerek öteleme hareketi



Görsel 1.16: Çalışan vantilatör pervanesi

Öteleme hareketi

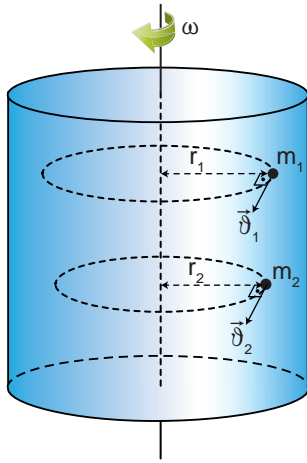
Dönme hareketi

Dönerek öteleme hareketi

1.2.2. Eylemsizlik Momenti

Doğadaki tüm cisimler var olan durumlarını koruma eğilimindedir. Duran cisimler durmaya devam etmek isterken, hareket hâlindeki cisimler de hareketini sürdürmek ister. Cisimlerin hareket durumları bir etkiyle değiştirilmek istendiğinde bu değişikliğe karşı cisimlerin direnç göstermeleri bu sebeptendir. Cisimlerin hareket durumunu koruma isteğine **eylemsizlik** denir. Bu konu Newton'ın Hareket Yasaları'nda ifade edilmiştir.

Duran ya da öteleme hareketi yapan cisimler kütleleriyle, dönmeye zorlanan cisimler de eylemsizlik momentleriyle etkiye karşı direnç gösterir. Dönen cisimlerin dönmeye karşı gösterdikleri dirence **eylemsizlik momentini** denir.



Şekil 1.12: Dönen silindir

Merkezinden geçen düşey eksen etrafında döndürülen (Şekil 1.12) içi dolu silindir, üzerindeki r_1 ve r_2 yarıçaplı, kütleleri m_1 ve m_2 olan iki noktanın toplam kinetik enerjisi

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 \cdot \vartheta_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot \vartheta_2^2 \text{ bağıntısıyla bulunur.}$$

Çizgisel hız için $\vartheta = \omega \cdot r$ değeri yerine yazılırsa denklem

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 \cdot \omega^2 \cdot r_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot \omega^2 \cdot r_2^2 \text{ hâline dönüşür.}$$

Denklem yeniden düzenlendiğinde

$$E_k = \frac{1}{2} \omega^2 \cdot (m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2) \text{ bulunur.}$$

Buradaki $m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2$ ifadesi, seçilen noktasal cisimlerin eylemsizlik momentini verir. Eylemsizlik momentini I sembolüyle gösterilir. SI'da birimi $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ dir.

Bu bağıntıya göre eylemsizlik momentini

- Cismin kütlesine
- Cismi oluşturan her parçacığın dönme eksenine olan dik uzaklığına
- Cismin geometrik şekline bağlıdır.

Araştırınız



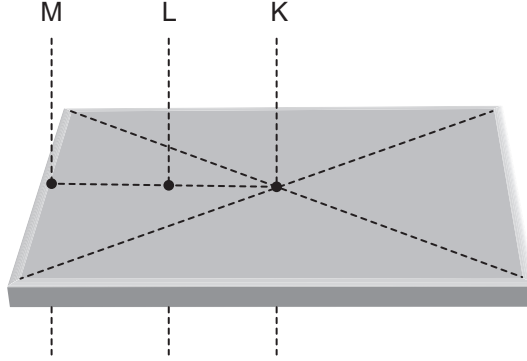
Görsel 1.17: İpte yürüyen adam

İpte yürüyen adam elinde uzun bir çubuk kullanır. Bunun nedenini araştırınız.

Grid area for research notes.

Örnek

Türdeş bir dikdörtgen levha sırasıyla K, L ve M noktalarından geçen dik eksenler etrafında ayrı ayrı döndürülüyor. Bu durumda levhanın eylemsizlik momenti seçilen eksenlere göre I_K , I_L ve I_M oluyor.



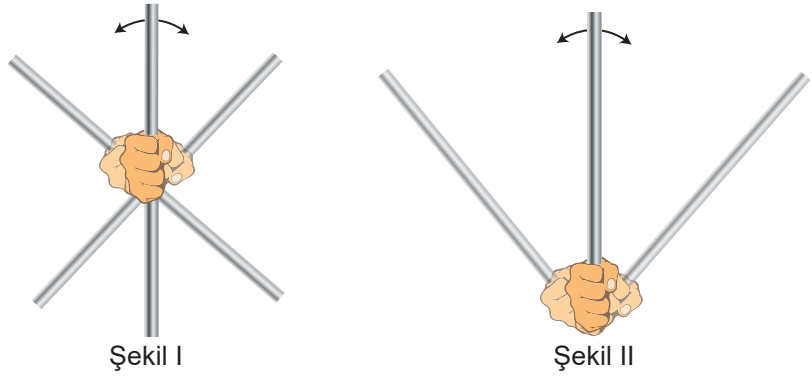
Buna göre I_K , I_L ve I_M arasındaki ilişki nedir?

Çözüm

Cismi oluşturan her parçacığın dönme eksenine olan dik uzaklığı arttıkça eylemsizlik momenti de artar.

Bu durumda $I_M > I_L > I_K$ bulunur.

Sıra Sizde - 7



Ortasından tutularak sağa sola hareket ettirilen Şekil I'deki çubuk, Şekil II'deki gibi ucundan tutularak sağa sola gibi hareket ettirildiğinde hareketin zorlanılarak yapıldığı görülür.

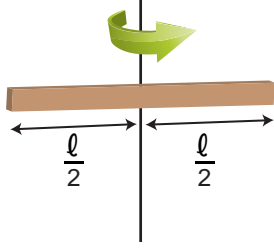
Bu zorlanmanın sebebini açıklayınız.

Çözüm

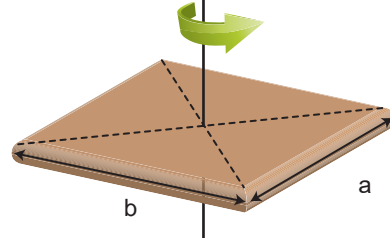
--

Bazı katı cisimlerin eylemsizlik momenti, dönme eksenlerine göre Tablo 1.1'de verilmiştir.

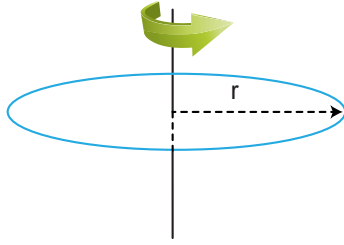
Tablo 1.1: Bazı Düzgün Geometrik Şekilli Katı Cisimlerin Eylemsizlik Momenti



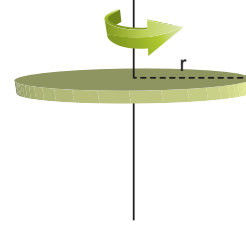
Uzunluğu l , kütlesi m olan bir çubuğun eylemsizlik momenti: $I = \frac{1}{12} \cdot m \cdot l^2$



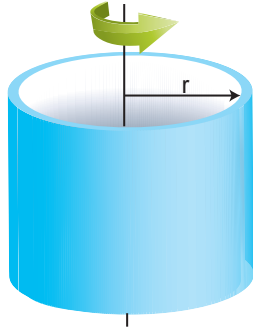
Kenar uzunlukları a ve b , kütlesi m olan bir dikdörtgen levhanın eylemsizlik momenti: $I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (a^2 + b^2)$



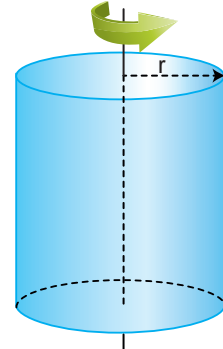
Yarıçapı r , kütlesi m olan bir çemberin eylemsizlik momenti: $I = m \cdot r^2$



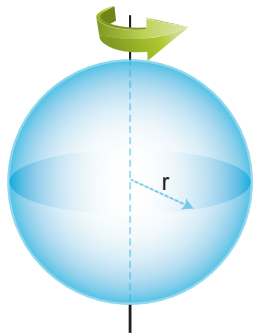
Yarıçapı r , kütlesi m olan bir diskin eylemsizlik momenti: $I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$



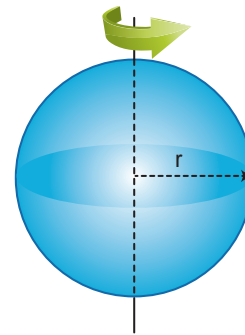
İnce çeperli delik silindirin eylemsizlik momenti: $I = m \cdot r^2$



Yarıçapı r , kütlesi m olan içi dolu silindirin eylemsizlik momenti: $I = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$



İçi boş kürenin eylemsizlik momenti: $I = \frac{2}{3} \cdot m \cdot r^2$



Yarıçapı r , kütlesi m olan bir kürenin eylemsizlik momenti: $I = \frac{2}{5} \cdot m \cdot r^2$

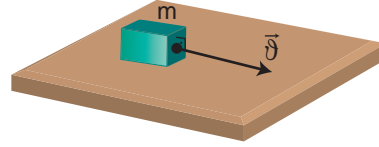
1.2.3. Dönme ve Dönerek Öteleme Hareketi Yapan Cismın Kinetik Enerjisinin Bağlı Olduğu Değişkenler

Öteleme hareketi yapan m kütleli bir cismin (Şekil 1.13) öteleme kinetik enerjisi

$$E_{\text{Öteleme}} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 \text{ ifadesiyle bulunur.}$$

m : Ötelenen cismin kütlesi (kg)

v : Ötelenen cismin hızı ($\frac{m}{s}$)



Şekil 1.13: Öteleme hareketi yapan cisim

Cisimlerin dönme hareketlerinden dolayı sahip olduğu kinetik enerjiye **dönme kinetik enerjisi** denir. Bir eksen etrafından ω açısal hızıyla dönen ve eylemsizlik momenti I olan cismin dönme kinetik enerjisi

$$E_{\text{Dönme}} = \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 \text{ ifadesiyle bulunur.}$$

I : O noktasının etrafında dönen cismin eylemsizlik momenti ($kg \cdot m^2$)

ω : Dönerek hareket eden cismin açısal hızı ($\frac{rad}{s}$)

Sabit bir eksen etrafında dönme hareketi yapan cismin sahip olduğu dönme kinetik enerjisi, eylemsizlik momentine ve açısal hızının büyüklüğüne bağlıdır.

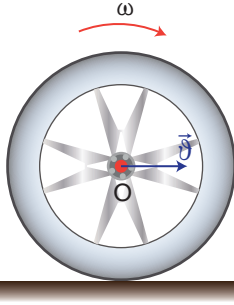
Dönerek öteleme hareketi yapan tekerleğin (Şekil 1.14) dönme hareketinden dolayı dönme kinetik enerjisi, öteleme hareketinden dolayı da öteleme kinetik enerjisi bulunur. **Cismin toplam kinetik enerjisi**

$$E_K = E_{\text{Öteleme}} + E_{\text{Dönme}} \text{ kadardır.}$$

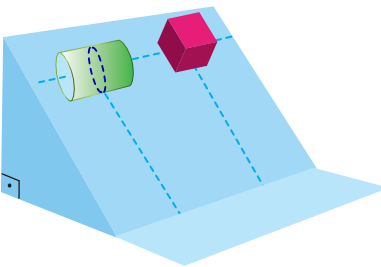
Cismin sahip olduğu toplam kinetik enerji

$$E_K = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + \frac{1}{2} I \cdot \omega^2 \text{ ifadesiyle bulunur.}$$

Sürtünmelerin önemsiz olduğu eğik düzlem üzerinde aynı yükseklikten serbest bırakılan eşit kütleli silindir ile küp şeklindeki cisimlerin yatay zemine ulaşma süresi ve ulaşma anındaki hızları farklıdır (Şekil 1.15). Küp sadece öteleme hareketi yaptığı için potansiyel enerji, öteleme kinetik enerjisine dönüşürken silindir dönerek öteleme hareketi yaptığı için potansiyel enerji hem dönme hem de öteleme kinetik enerjisine dönüşür. Bu nedenle cisimler yatay düzleme ulaştığında küpün öteleme hızı silindirin öteleme hızından büyük olur.

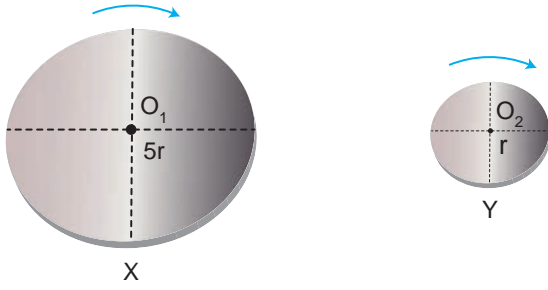


Şekil 1.14: Dönerek ötelenen tekerlek



Şekil 1.15: Eğik düzlemde dönerek ötelenen cisimle öteleme hareketi yapan cisim

Örnek



Sabit O_1 ve O_2 noktaları etrafında şekildeki gibi dönen X ve Y disklerinin periyotları eşittir. X'in eylemsizlik momenti $I_X = 2I$ ve Y'nin eylemsizlik momenti $I_Y = I$ dir.

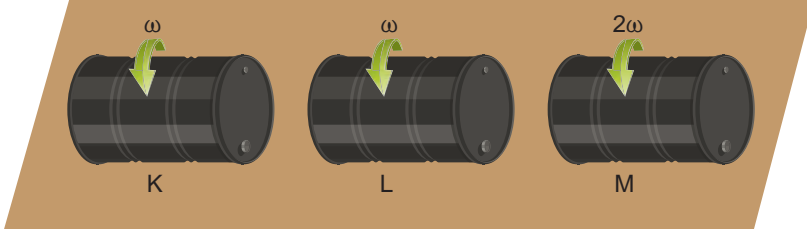
Buna göre disklerin dönme kinetik enerjileri sırasıyla E_X ve E_Y ise $\frac{E_X}{E_Y}$ oranı kaçtır?

Çözüm

Cisimlerin periyotları eşitse açısal hızları $\omega = \frac{2\pi}{T}$ den eşit olur. Bu durumda $\frac{E_X}{E_Y} = \frac{\frac{1}{2}I_X \cdot \omega^2}{\frac{1}{2}I_Y \cdot \omega^2} = \frac{2I}{I} = 2$ bulunur.

Sıra Sizde - 8

Özdeş varillerden K boş, L ve M aynı miktarda suyla doludur. K ve L varilleri ω açısal hızıyla M varili 2ω açısal hızıyla kaymadan dönerek öteleniyor.



Varillerin dönme kinetik enerjileri E_K , E_L ve E_M olduğuna göre bu enerjiler arasındaki büyüklük ilişkisi nedir?

Çözüm

Grid area for the solution of the problem.