

Serway • Beichner

Çeviri Editörü

Prof. Dr. Kemal Çolakoğlu

Fen ve Mühendislik İçin

FİZİK

Mekanik - Mekanik Dalgalar - Termodinamik

Beşinci Baskıdan Çeviri

1

PALME YAYINCILIK

Bu ders, Pamukkale Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü tarafından diğer fakültelerde ortak okutulan Genel Fizik-I dersi için hazırlanmıştır.

Ana kaynak kitap olarak resimdeki ders kitabı takip edilecektir.



@PauFizik



<https://www.pau.edu.tr/fizik>

BÖLÜM-6

Dairesel Hareket ve Newton Kanunlarının Diğer Uygulamaları

Bu bölümde;

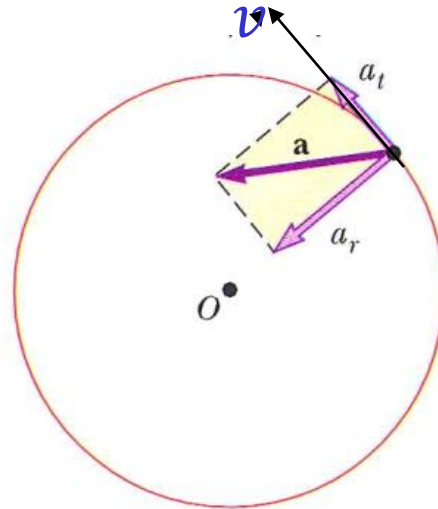
1. **Düzgün dairesel harekete, merkezci kuvvet açısından tekrar bakılacaktır,**
2. **Düzgün olmayan dairesel harekete, merkezci kuvvet açısından tekrar bakılacaktır.**

Çembersel Hareket

Çembersel bir yörüngede hareket eden bir parçacığın ivmesi

$\vec{a} = \vec{a}_r + \vec{a}_t$ ile verilir.

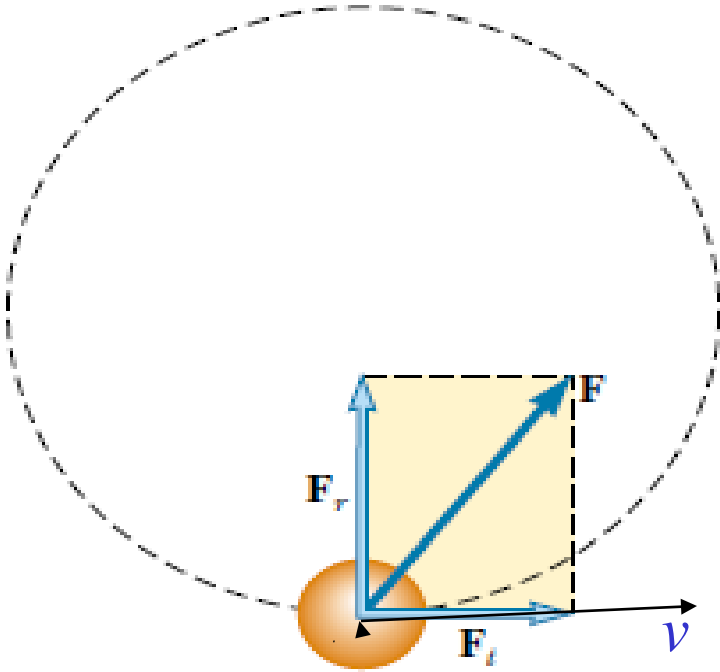
- Burada \vec{a}_r radyal ivmedir ve hız vektörünün yönünün değişmesinden kaynaklanır. Büyüklüğü $a_r = \frac{v^2}{r}$ ve yönü merkeze doğrudur.
- Burada a_t ise teğetsel ivmedir ve hız vektörünün büyüklüğünün değişmesinden kaynaklanır. Büyüklüğü $a_t = dv/dt$ ve yönü yarıçap doğrultusuna diktir.



Böylece parçacık bu ivmelere neden olan $\vec{F}_r = m\vec{a}_r$ radyal kuvvet ve buna dik olan $\vec{F}_t = m\vec{a}_t$ teğetsel kuvvet etkisi altında hareket eder.

Parçacığa etki eden toplam kuvvet ise

$$\vec{F} = \vec{F}_r + \vec{F}_t = m\vec{a} \text{ olur.}$$

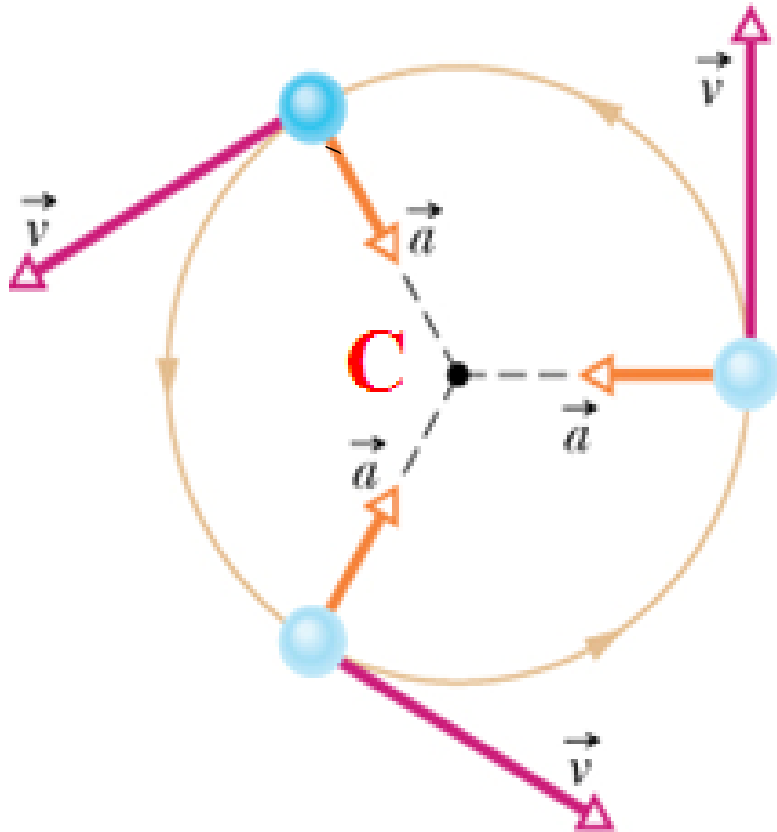


- **Düzgün dairesel harekette $\vec{F}_t = 0$** dır ve bu nedenle parçacığın hızının büyüklüğü sabit olur. Fakat yönü sürekli değişir.

Böylece parçacık sadece $\sum F_r = \frac{mv^2}{r}$ merkezci kuvvetine sahiptir.

- **Düzgün olmayan dairesel harekette hem $\vec{F}_r \neq 0$ hem de $\vec{F}_t \neq 0$** olur ve parçacığın hızının yönüyle birlikte büyüklüğü de sürekli değişir.

Düzgün Dairesel Hareket ve Merkezci Kuvvet



Düzgün dairesel hareket yapan bir cismin herhangi bir andaki ivmesi

$$\vec{a} = \vec{a}_r = -\frac{v^2}{r} \hat{r} = -\omega^2 \hat{r}$$

ivmesinin büyüklüğü

$$|\vec{a}| = a_r = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

Newton'nun ikinci yasasına göre, düzgün çembersel hareket yapan bir cisme etki eden **net kuvvetin** büyüklüğü

$$\sum F_r = \frac{mv^2}{r}$$

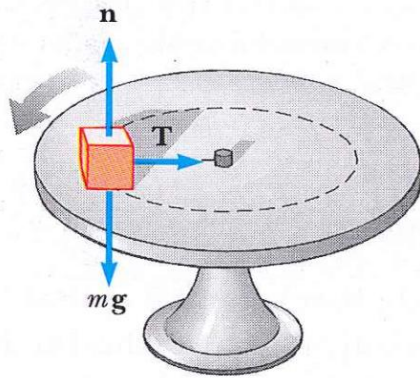
ifadesi ile verilen ve yönü de dairenin merkezine doğru olan **merkezcil kuvvettir**. Merkezcil kuvvet yeni bir kuvvet değildir, sadece C noktası etrafında dönen cisme etkiyen **net kuvvettir**.

Merkezcil kuvvet, duruma göre **bazen sürtünme, bazen normal kuvvet, bazen de yerçekimi kuvveti** olabilir.

Not: Bazı kaynaklar düzgün çembersel hareketi anlatılırken, gerçek olan **merkezcil kuvvet** yerine, hayali olan **merkezkaç kuvveti** kullanır. Bu aslında dönen cisme hangi noktadan bakıldığıyla ilgilidir. Örneğin bir ipe bağlanarak döndürülen bir cismin hareketi, duran bir kişiye göre (eylemsiz gözlemciye göre) incelenir. Burada eylemsiz gözlemci; cisimden döndürme noktasına doğru **gerçek bir merkezcil kuvvet olduğunu görür**. Fakat eylemli, yani cismin üzerindeki bir gözlemci, bu ipteki gerilmeyi dengeleyen, cismi dışarı doğru iten hayali bir **merkezkaç kuvveti hisseder**. Bu kuvvet **hayalidir**, çünkü eylemli gözlemci cismi duruyor gördüğü için, cismi iten kuvvetin kaynağını, açıklayamaz. **Newton kanunları, eylemsiz yani ivmesiz gözlemciye göre yazılmış kanunlardır**. İvmeli gözlemci için geçerli değildir.

İvmesiz(eylemsiz) gözlemciye göre

$$F_{\text{merkezcil}} = T = m \frac{v^2}{r}$$

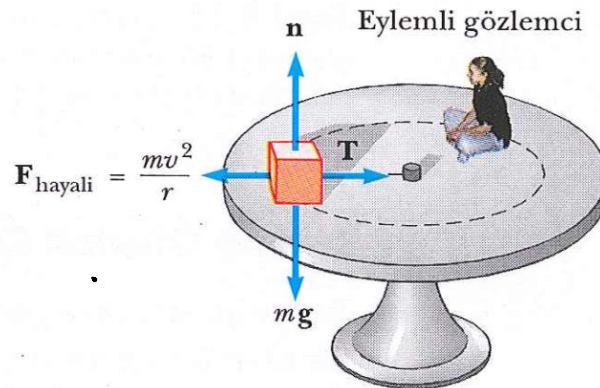


(a)

Eylemsiz gözlemci

İvmeli(eylemli) gözlemciye göre

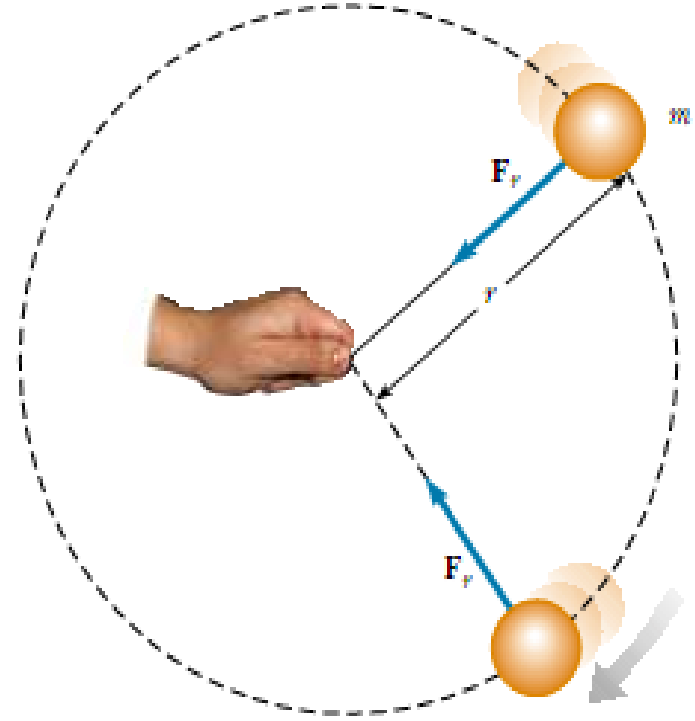
$$T - F_{\text{merkezkaç}} = 0$$



(b)

Örnek 6-2:

Kütlesi 0,5 kg olan bir taş, 1,5 m uzunluğundaki bir ipin ucuna bağlanarak **yatay bir düzlemde** döndürülmektedir. Taşın bağlı olduğu ip en fazla 50 N'luk bir kuvvete dayanabildiğine göre, ipin kopmadan hemen önceki hızı ne olur?



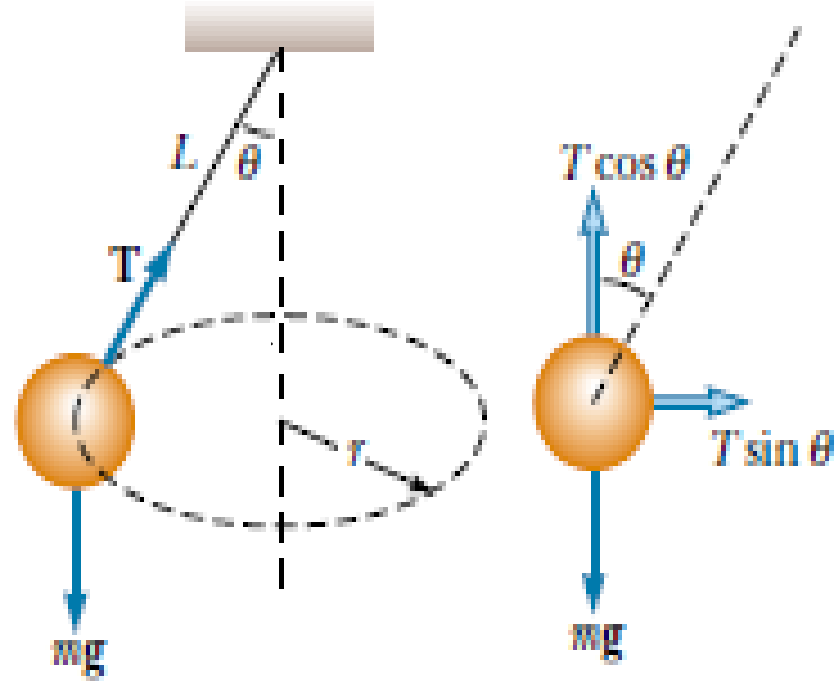
Çözüm 6-2:

$$\sum F_r = T = m \frac{v^2}{r} \quad \Rightarrow \quad v_{maks} = \sqrt{\frac{r T_{maks}}{m}}$$

$$v_{maks} = \sqrt{\frac{(1,5m)(50N)}{(0,5kg)}} = 12,2 \text{ m/s}$$

Örnek 6-3:

Kütlesi m olan bir cisim, L uzunluğundaki bir ipin ucunda
şekildeki gibi yatayda r yarıçaplı
çembersel bir yörüngede v hızı ile
dönmektedir (**Konik sarkaç**).
Cismin hızını bilinen nicelikler
cinsinden ifade ediniz.



Çözüm 6-3:

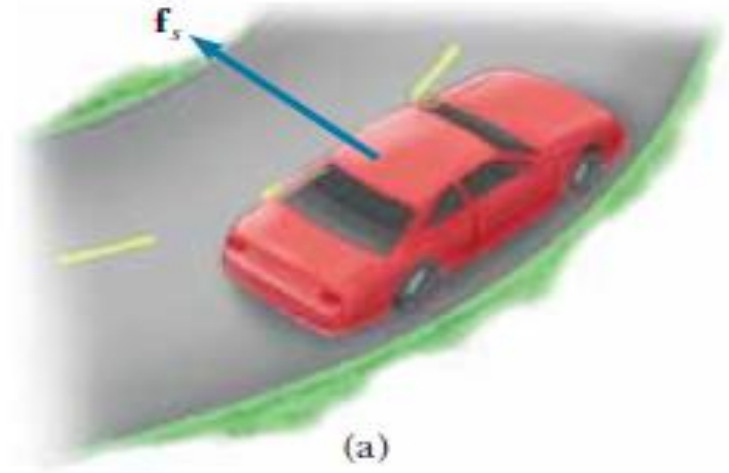
$$\left. \begin{aligned} T \sin \theta &= m \frac{v^2}{r} \\ T \cos \theta &= mg \end{aligned} \right\} \Rightarrow \tan \theta = \frac{v^2}{gr} \Rightarrow v = \sqrt{gr \tan \theta}$$

$r = L \sin \theta$ olduğundan

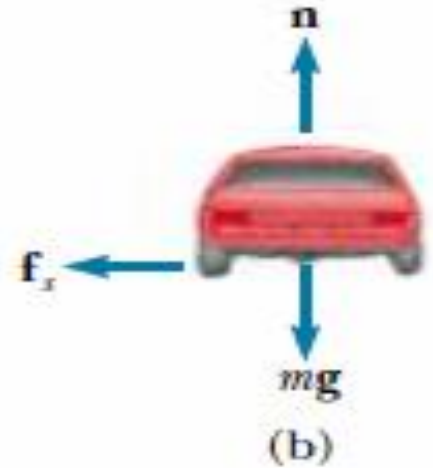
$$v = \sqrt{gL \sin \theta \tan \theta}$$

Örnek 6-4:

1500 *kg* kütleli bir araba şekildeki gibi 35 *m* yarıçaplı bir virajdan sabit süratle dönmektedir. Yol ile tekerlekler arasındaki statik sürtünme katsayısı kuru zemin için 0,50 ise, arabanın emniyetli olarak dönebileceği maksimum hızı bulunuz.



(a)



(b)

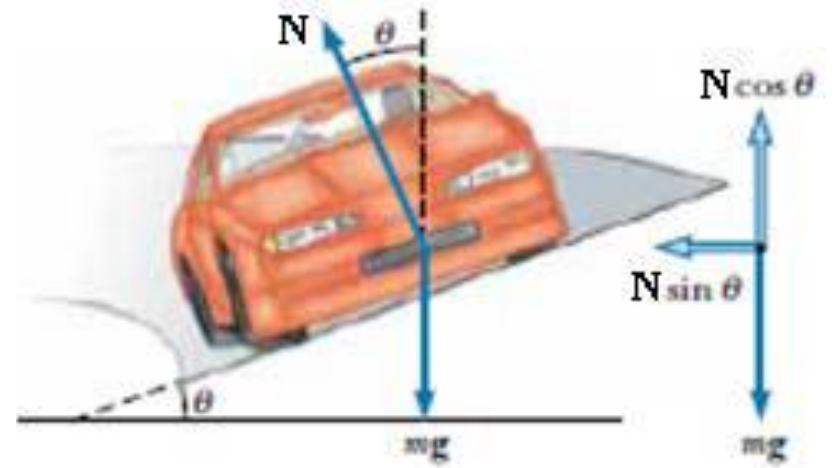
Çözüm 6-4:

$$f_s = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow v_{maks} = \sqrt{\frac{r f_s^{maks}}{m}} \\ = \sqrt{\frac{r \mu_s m g}{m}} = \sqrt{r \mu_s g}$$

$$v_{maks} = \sqrt{(35m)(0,50)(9,8 \text{ m/s}^2)} = 13,1 \text{ m/s}$$

Örnek 6-5:

Bir arabanın tamamen buzla kaplı (sürtünmesiz), 50 m yarıçaplı bir virajı 13,4 m/s hızla geçebilmesi için, yolun eğim açısı kaç derece olmalıdır?



Çözüm 6-5:

$$\sum F_r = N \sin \theta = m \frac{v^2}{r}$$

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

Bu iki denklemden N yok edilirse

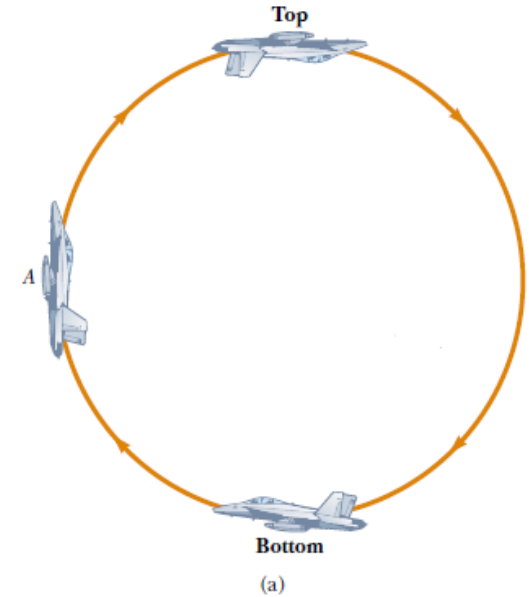
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{v^2}{gr} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{(13,4 \text{ m/s})^2}{(9,8 \text{ m/s}^2)(50 \text{ m})} \right) = 20,1^\circ$$

Örnek 6-7:

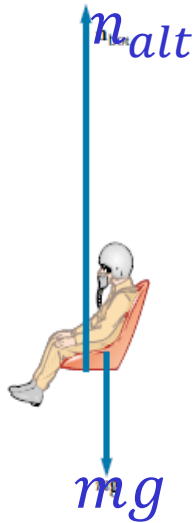
m kütleli bir pilot, şekilde görüldüğü gibi bir uçakla $2,70 \text{ km}$ yarıçaplı bir çember etrafında düşey düzlemde 225 m/s 'lik **sabit bir hızla** dönmektedir. Koltuğun pilota uyguladığı kuvveti;

a) Dairesel yörüngenin en alt kısmında

b) Dairesel yörüngenin en üst kısmında hesaplayınız
(Sonucu pilotun mg ağırlığı cinsinden bulunuz).



Çözüm 6-7: a)



$$\sum F_r = n_{alt} - mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$n_{alt} = mg + m \frac{v^2}{r} = mg \left(1 + \frac{v^2}{gr} \right)$$

$$n_{alt} = mg \left(1 + \frac{(225 \text{ m/s})^2}{\left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)(2700 \text{ m})} \right) = 2,91mg$$

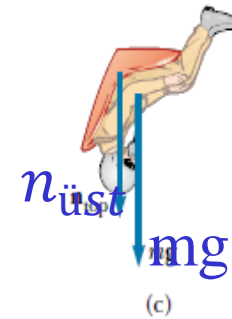
b)

$$\sum F_r = n_{\ddot{u}st} + mg = m \frac{v^2}{r}$$

$$n_{\ddot{u}st} = m \frac{v^2}{r} - mg$$

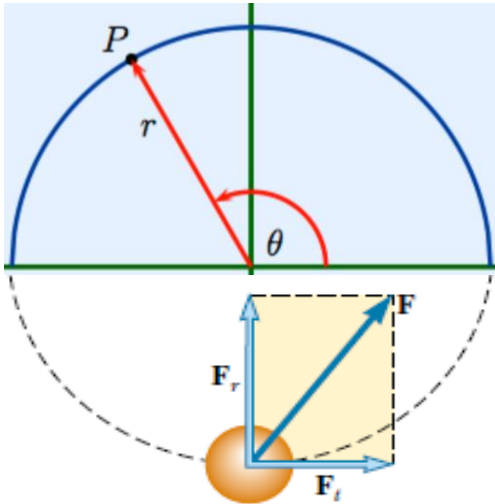
$$n_{\ddot{u}st} = mg \left(\frac{v^2}{gr} - 1 \right)$$

$$n_{\ddot{u}st} = mg \left(\frac{(225 \text{ m/s})^2}{(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2})(2700 \text{ m})} - 1 \right) = 0,913mg$$



Düzgün Olmayan Çembersel Hareket

Düzgün olmayan çembersel harekette, parçacığın hızının yönü ve büyüklüğü (sürati) sürekli değişir. Bu nedenle, parçacığın, $a_r = \frac{v^2}{r}$ merkezci ivmesinin yanında, $a_t = dv/dt$ büyüklüğünde bir de teğetsel ivmesi vardır. Böylece bu parçacık \vec{F}_r merkezci kuvvet ve buna dik olan \vec{F}_t teğetsel kuvvet bileşenine sahiptir. Parçacığa etki eden toplam kuvvet $\vec{F} = \vec{F}_r + \vec{F}_t$ olur.



$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_r = \frac{dv}{dt} \hat{\theta} - \frac{v^2}{r} \hat{r}$$

$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_r = m \frac{dv}{dt} \hat{\theta} - m \frac{v^2}{r} \hat{r}$$

Örnek 6-8:

Şekildeki gibi m kütleli küçük bir küre, R uzunluğunda bir ipin ucuna bağlanarak düşey düzlemde bir O noktası etrafında dairesel yörüngede döndürülüyor. Cismin hızının v olduğu ve ipin düşeyle θ açısı yaptığı bir anda, ipteki gerilme kuvvetini bulunuz.

Çözüm 6-8:

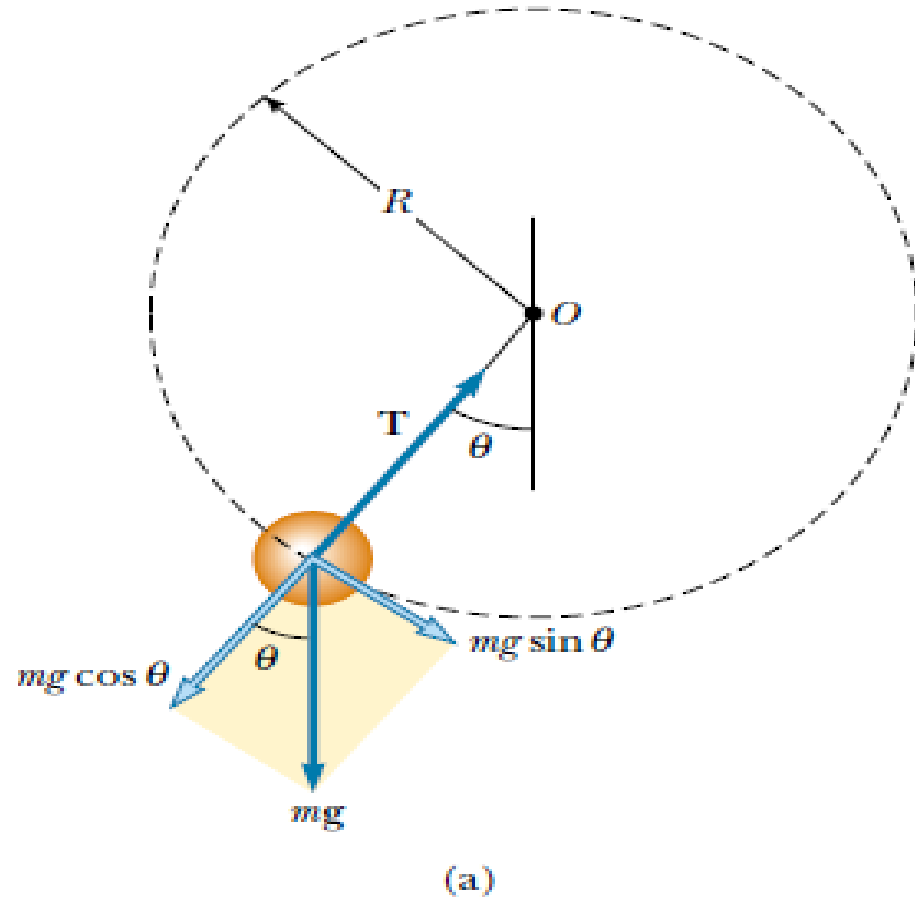
Bu örnekte, hız değiştiği için teğetsel ivme bileşeni vardır. Ağırlığın teğet bileşeni, teğetsel ivmeyi oluşturur.

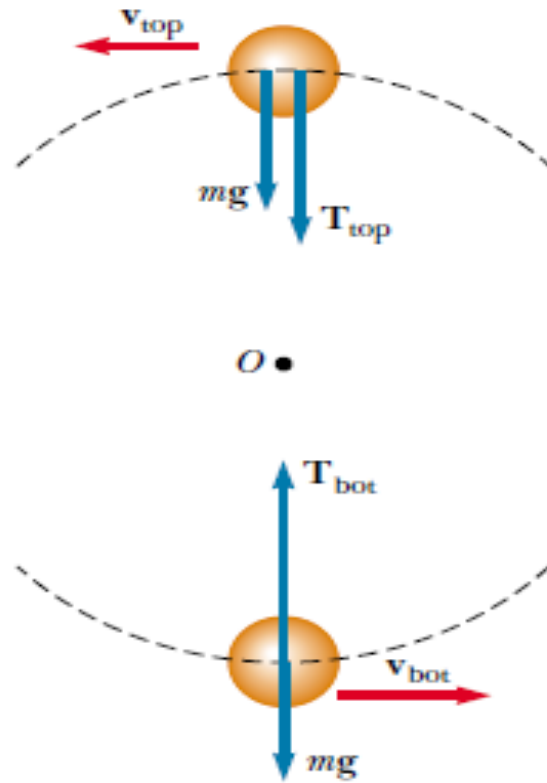
$$\sum F_t = mg \sin \theta = ma_t$$

$$\Rightarrow a_t = g \sin \theta$$

$$\sum F_r = T - mg \cos \theta = ma_r$$

$$\Rightarrow T = m \left(\frac{v^2}{r} + g \cos \theta \right)$$





Özel durumlar;

Üst noktada minimum gerilme vardır;

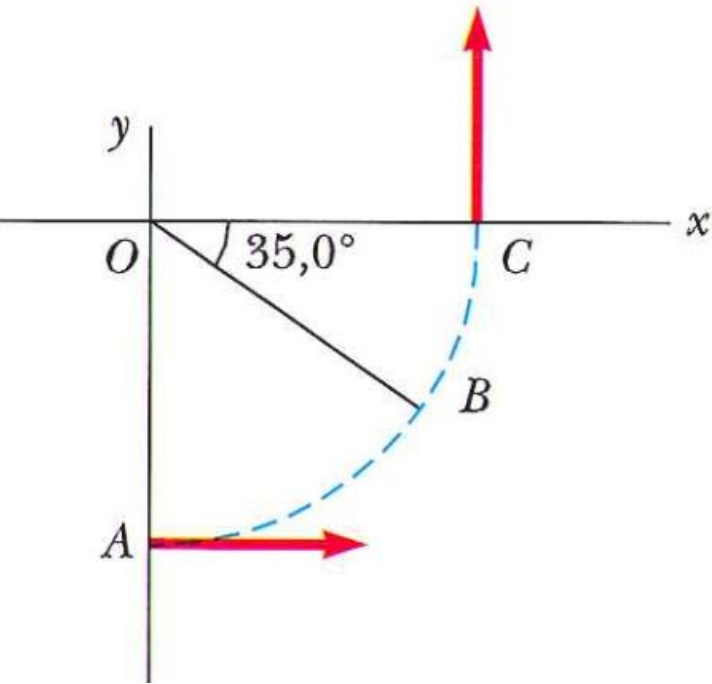
$$(\theta = 180^0) \Rightarrow T_{üst} = m \left(\frac{v_{üst}^2}{R} - g \right)$$

Alt noktada maksimum gerilme vardır;

$$(\theta = 0^0) \Rightarrow T_{alt} = m \left(\frac{v_{alt}^2}{R} + g \right)$$

Bölüm Sonu Problemleri

Problem 6-12: Bir araba şekilde görüldüğü gibi önce doğuya doğru giderken, **sabit bir sürat ile**, bir dairesel yörüngeyi takip ederek kuzeye doğru dönüyor. ABC yayının uzunluğu $235m$ dir ve araba dönüşünü $36s$ de tamamlamaktadır.



a) 35^0 'lik açı ile gösterilen B noktasında arabanın ivmesi nedir? Cevabınızı \hat{i} ve \hat{j} birim vektörleri cinsinden ifade ediniz.

b) $36s$ sonunda arabanın ortalama sürati nedir?

c) $36s$ sonunda arabanın ortalama ivmesi nedir?

Çözüm 6-12:

a) $|\vec{a}| = a_r = \frac{v^2}{r}$

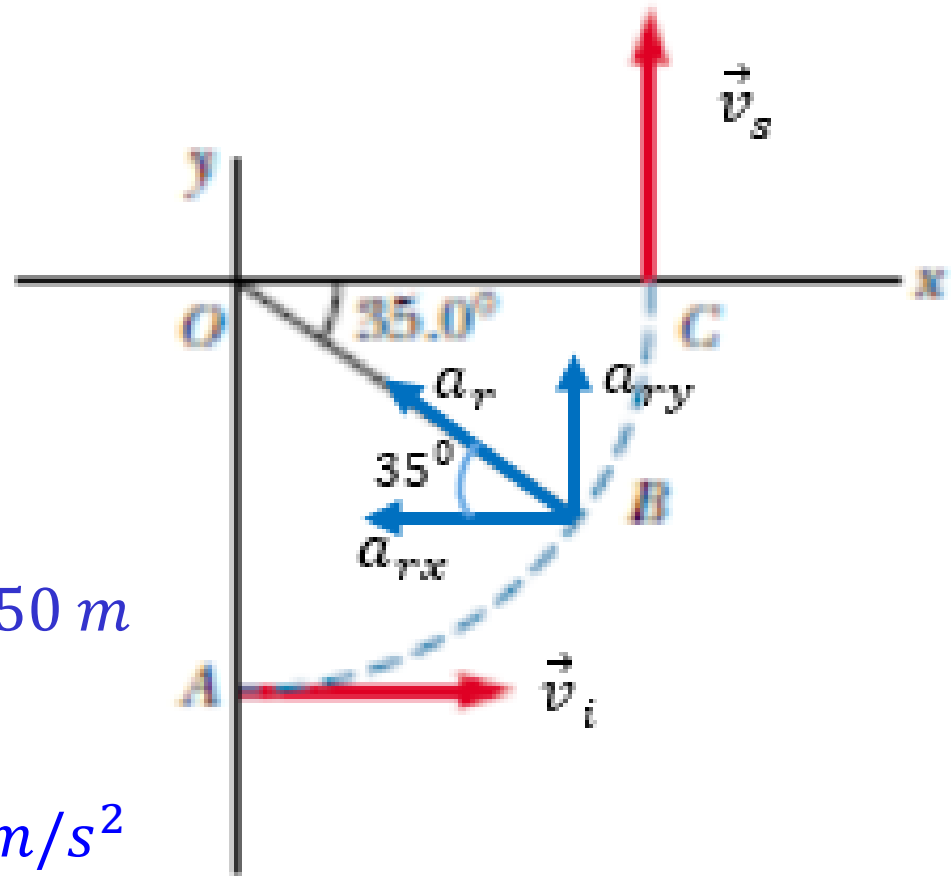
$$v = \frac{235 \text{ m}}{36,0 \text{ s}} = 6,53 \text{ m/s} \quad (\text{b})$$

$$2\pi r = 4 \times 235 \text{ m} \Rightarrow r = 150 \text{ m}$$

$$a_r = \frac{(6,53 \text{ m/s})^2}{(150 \text{ m})} = 0,285 \text{ m/s}^2$$

$$\vec{a} = (0,285 \text{ m/s}^2)(-\cos 35,0^\circ)\hat{i} + (0,285 \text{ m/s}^2)(\sin 35,0^\circ)\hat{j},$$

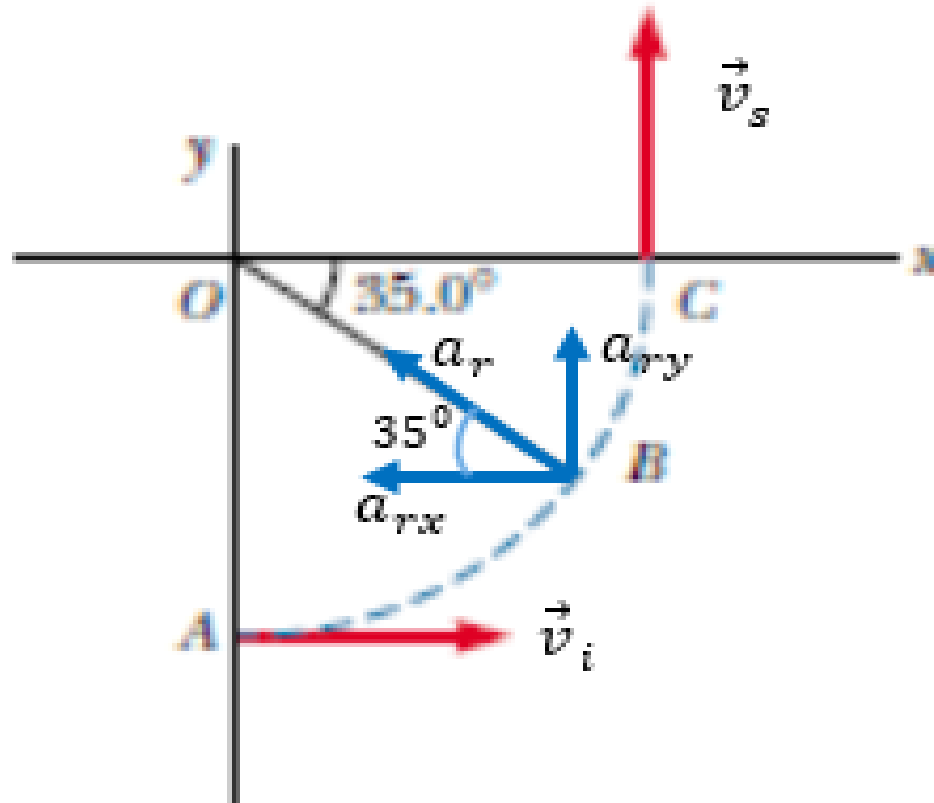
$$\vec{a} = (-0,233\hat{i} + 0,163\hat{j}) \text{ m/s}^2,$$



c) $\vec{v}_i = 6,53 \hat{i} \text{ m/s}$ ve $\vec{v}_s = 6,53 \hat{j} \text{ m/s}$ ise

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_s - \vec{v}_i}{\Delta t} = \frac{(6,53 \hat{j} - 6,53 \hat{i}) \text{ m/s}}{36,0 \text{ s}}$$

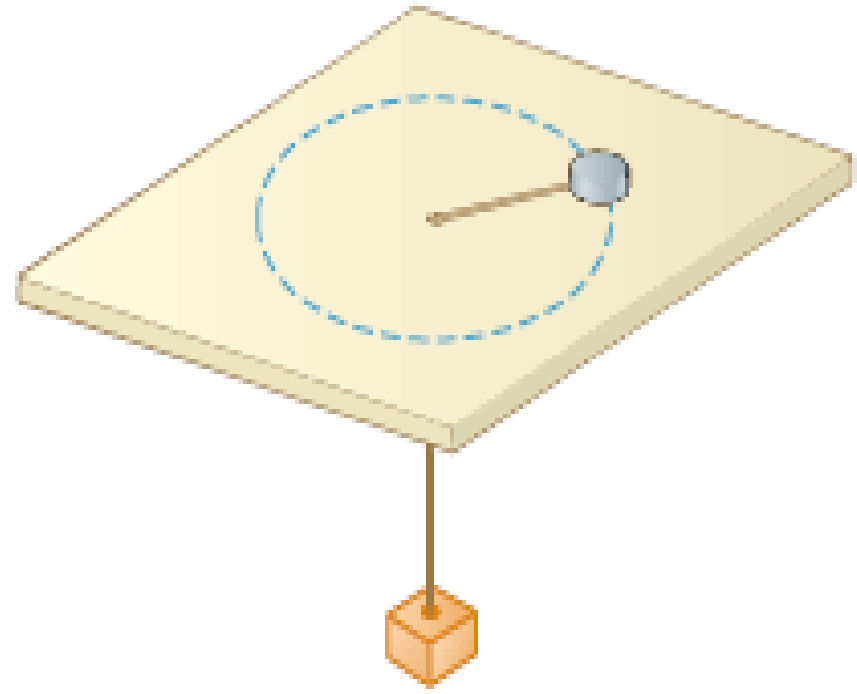
$$\vec{a} = (-0,181 \hat{i} + 0,181 \hat{j}) \text{ m/s}^2$$



Problem 6-51:

0,25 kg kütleli bir hava diski, 1,0 m uzunluğunda bir ipin ucuna bağlanarak sürtünmesiz yatay bir masada döndürülmektedir. İpin diğer ucu masanın ortasındaki bir delikten geçirilip ucuna, 1,0 kg kütle asılıyor ve disk masa üzerinde dönerken, 1,0 kg'lık kütle dengede kalıyor.

- a) İpteki gerilme kuvvetini bulunuz.
- b) Diske etki eden merkezci kuvvet nedir?
- c) Diskin hızı nedir?



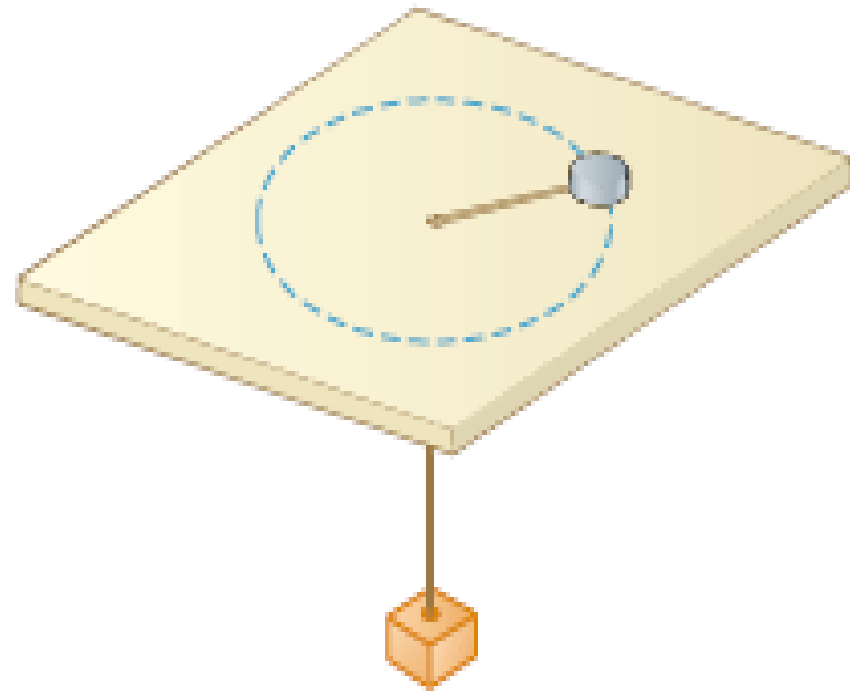
Çözüm 6-51:

- a) 1,0 kg'lık bir kütle dengede olduğundan, ipteki gerilme kuvveti

$$T = mg = (1,00 \text{ kg}) \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 9,80 \text{ N}$$

b) Merkezci kuvvetin sorumlusu
ipteki gerilme kuvvetidir.

$$F_r = T = 9,80 \text{ N}$$



c)

$$F_r = \frac{m_{disk} v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{r F_r}{m_{disk}}} = \sqrt{\frac{(1,00 \text{ kg})(9,80 \text{ m/s}^2)}{(0,250 \text{ kg})}} = 6,26 \text{ m/s}$$

Problem 6-60: Bir uzay istasyonu, 120m çaplı büyük bir tekerlek şeklindedir ve içinde oturan şahıslara, $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ 'lık «suni çekim» oluşturacak şekilde dönmektedir. Bu suni çekim etkisini oluşturmak için tekerleğin dönüş frekansı (dakikada devir cinsinden) ne olmalıdır?

Çözüm 6-60: Çemberin iç çeper yüzeyi üzerinde bulunan her kişi, çeper tarafından uygulanan bir normal kuvvetin varlığını hisseder. İçeri yönelik olan bu kuvvet, $3 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ merkezci ivmeyi meydana getiren merkezci kuvvettir

$$|\vec{a}_r| = \frac{v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{a_r r} = \sqrt{(3,00 \text{ m/s}^2)(60,0 \text{ m})} = 13,4 \text{ m/s}$$

Dönme periyodunu bulmak için $v = \frac{2\pi r}{T}$ ifadesini kullanalım

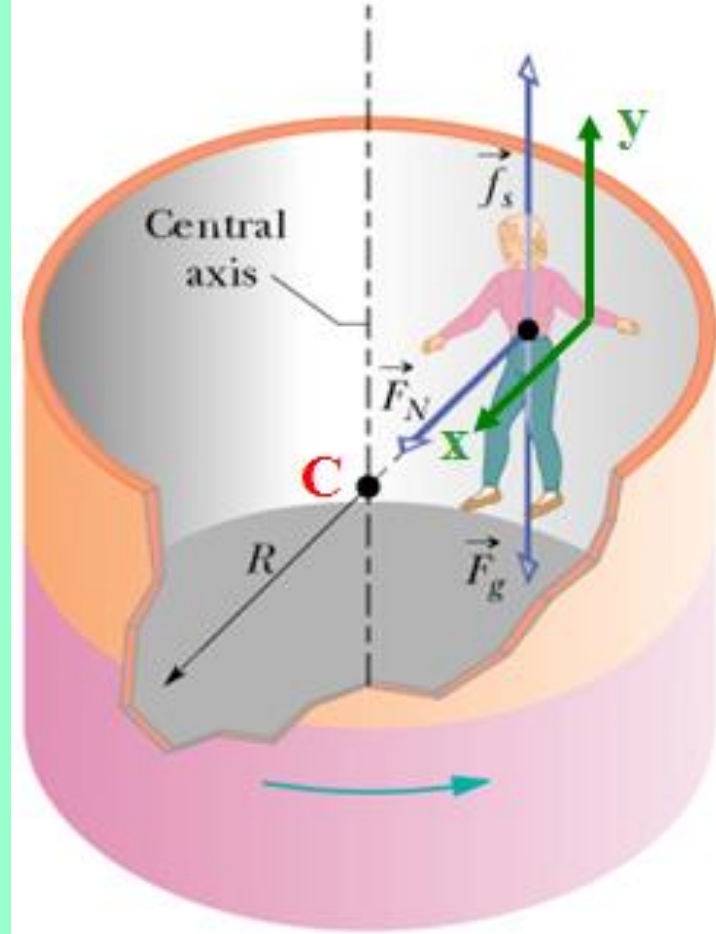
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(60,0 \text{ m})}{13,4 \text{ m/s}} = 28,1 \text{ s}$$

olur. Buradan dönme frekansı;

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{28,1 \text{ s}} \left(\frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dak}} \right) = 2,14 \text{ devir/dak}$$

Problem 6-63:

Rotor olarak isimlendirilen eksenini etrafında v hızıyla dönen R yarıçaplı içi boş bir silindirin içinde, kütlesi m olan bir çocuk, sırtı silindirin iç duvarına yaslanmış bir şekilde ayakta iken bu silindir dönmeye başlıyor. Önceden belirlenmiş bir hız değerine ulaştığında, silindirin tabanı aniden düşmesine rağmen, çocuk silindirin duvarında hareketsiz kalıyor. Rotor duvarıyla çocuk arasındaki statik sürtünme katsayısı μ_s olduğuna göre, rotorun minimum hızı ne olmalıdır?



Çözüm 6-63:

Çocuk için serbest-cisim diyagramı çizilirse, normal kuvveti N 'nin merkezci kuvvet olduğu görülür.

$$\sum F_x = N = m \frac{v^2}{R}$$

$$\sum F_y = f_s - mg = 0,$$

$$\Rightarrow f_s = mg = \mu_s N$$
$$mg = \mu_s m \frac{v^2}{R}$$

$$\Rightarrow v^2 = \frac{Rg}{\mu_s} \Rightarrow v_{min} = \sqrt{\frac{Rg}{\mu_s}}$$

