

BÖLÜM 4. HAREKET KANUNLARI

4.1. KUVVET KAVRAMI

Klasik mekaniğin amacı, bir cismin hareketi ile cisim üzerine etki eden kuvvetlerin arasındaki ilişkiyi kurmaktır. Klasik mekaniğin ilgi alanını, büyüklükleri atom boyutlarıyla ($\sim 10^{-10}$ m) karşılaştırıldığında çok büyük ve hızları da ışık hızından ($3 \cdot 10^8$ m/s) çok küçük olan cisimler oluşturur.

Kuvvetleri iki sınıfa ayırabiliriz: *temas kuvvetleri*, *alan kuvvetleri*. Temas kuvvetleri, iki cisim arasındaki fiziksel temas sonucu ortaya çıkan kuvvetlerdir. Bu kuvvetlere örnek, kapalı kaptaki bir gazın çeperlere uyguladığı kuvvetler, ayakkabımızın tabana uyguladığı kuvvetlerdir. Alan kuvvetleri ise, iki cismin boş uzayda etkileşmesinden ortaya çıkan kuvvetlerdir. Buna örnek olarak, iki cismin arasındaki kütle çekim kuvveti, elektrik yüklerinin birbirlerine uyguladıkları kuvvetler verilebilir.

Doğada var olan temel kuvvetler:

- 1) Kütle çekim kuvvetleri; iki cismin kütlelerinden dolayı birbirlerine uyguladıkları çekim kuvvetleri.
- 2) Elektromanyetik kuvvetler; durgun veya hareketli iki yüklü parçacığın yüklerinden dolayı birbirlerine uyguladıkları itme veya çekme kuvvetleri.
- 3) Atom altı parçacıklar arasında görülen, şiddetleri büyük çekirdek kuvvetleri.
- 4) Zayıf nükleer kuvvetler (zayıf etkileşmeler olarak ta adlandırılır); belli radyoaktif bozunmalarda ortaya çıkan kuvvetlerdir.

4.2. NEWTON'UN BİRİNCİ KANUNU VE EYLEMSİZ SİSTEMLER

Newton'un birinci hareket yasası;

Bir cisme bir dış kuvvet (bileşke kuvvet) etki etmedikçe, cisim durgun ise durgun kalacak, hareketli ise sabit hızla doğrusal hareketine devam edecektir.

Daha basit bir ifade ile bir cisme etki eden net kuvvet sıfır ise ivmesi de sıfırdır diyebiliriz. Bu da $\Sigma \mathbf{F} = 0$ olduğu zaman $\mathbf{a} = 0$ olur demektir.

Newton'un birinci yasasına bazen eylemsizlik yasası da denir. O halde, eylemsiz referans sistemi, Newton'un birinci yasasının geçerli olduğu bir sistemdir.

4.3. EYLEMSİZLİK KÜTLESİ

Eylemsizlik, bir maddenin durgun ise durmaya devam etme, sabit hızla gidiyorsa aynı hızla yoluna devam etme eğilimi ile ilgili bir özelliktir. Örneğin, aynı hacimli biri çelik diğeri ağaçtan yapılmış iki silindiri, yatay pürüzsüz bir düzlemde itersek, çelik silindiri yuvarlamak daha zordur. Böylece çelik silindirin ağaçtan yapılmış silindire göre daha büyük bir eylemsizliğe sahip olduğu söylenir.

Kütle, eylemsizliği ölçmek için kullanılan bir terimdir ve SI birim sisteminde birimi kilogramdır. Cismin kütlesi ne kadar büyükse, uygulanan belli bir kuvvetin etkisi altında o kadar daha az ivme kazanır.

m_1 kütleli bir cisme bir kuvvet uygulandığında bir a_1 ivmesi kazanır. Aynı kuvvet m_2 kütlesine uygulandığında a_2 ivmesi kazanır. Bu iki kütlenin oranı kuvvetin kazandırdığı ivmelerin büyüklüklerinin tersi olarak tanımlanır.

$$m_1 / m_2 = a_2 / a_1 \quad (4.1)$$

4.4. NEWTON'UN İKİNCİ KANUNU

Newton'un ikinci hareket kanunu;

Bir cismin ivmesi, ona etki eden bileşke kuvvetle doğru orantılı, kütlesi ile ters orantılıdır.

O halde Newton'un ikinci kanununun matematiksel ifadesi

$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a} \quad (4.2)$$

ile verilir. (4.2) vektörel bir eşitlik olduğundan üç bileşene sahiptir.

$$\Sigma F_x = ma_x \quad \Sigma F_y = ma_y \quad \Sigma F_z = ma_z \quad (4.3)$$

SI birim sisteminde kuvvet birimi Newton'dur. 1 kg kütleli bir cisim üzerine uygulandığında ona 1 m/s²'lik ivme kazandıran kuvvet bir Newton'dur.

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg.m/s}^2 \quad (4.4)$$

c.g.s birim sisteminde kuvvet birimi dyne'dir ve 1 g kütleli bir cisme 1 cm/s²'lik ivme kazandıran kuvvete eşittir.

$$1 \text{ dyne} = 1 \text{ g.cm/s}^2 \quad (4.5)$$

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne} \quad (4.6)$$

4.5. AĞIRLIK

Bir cisme dünyanın uyguladığı kuvvet, cismin ağırlığı olarak adlandırılır ve **W** ile gösterilir. Bu kuvvet dünyanın merkezine doğru yönelmiştir.

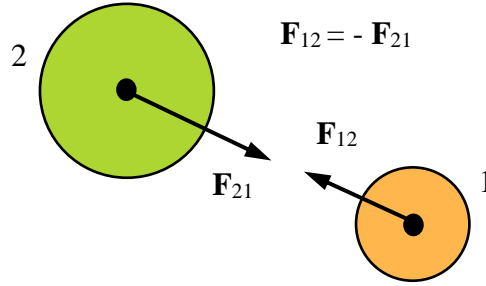
$$\mathbf{W} = m\mathbf{g} \quad (4.7)$$

Ağırlık **g**'ye bağlı olduğundan, bir cismin yükseklerdeki ağırlığı, deniz seviyesine göre daha az olur. Bunun nedeni **g**'nin dünyanın merkezinden uzaklaştıkça küçülmesidir.

4.6. NEWTON'UN ÜÇÜNCÜ KANUNU

Newton'un üçüncü kanunu, iki cisim etkileşiyorsa, 2 cisminin 1 cismine uyguladığı kuvvetin, 1 cisminin 2 cismine uyguladığı kuvvete eşit ve zıt yönlü olduğunu ifade eder.

$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21} \quad (4.8)$$



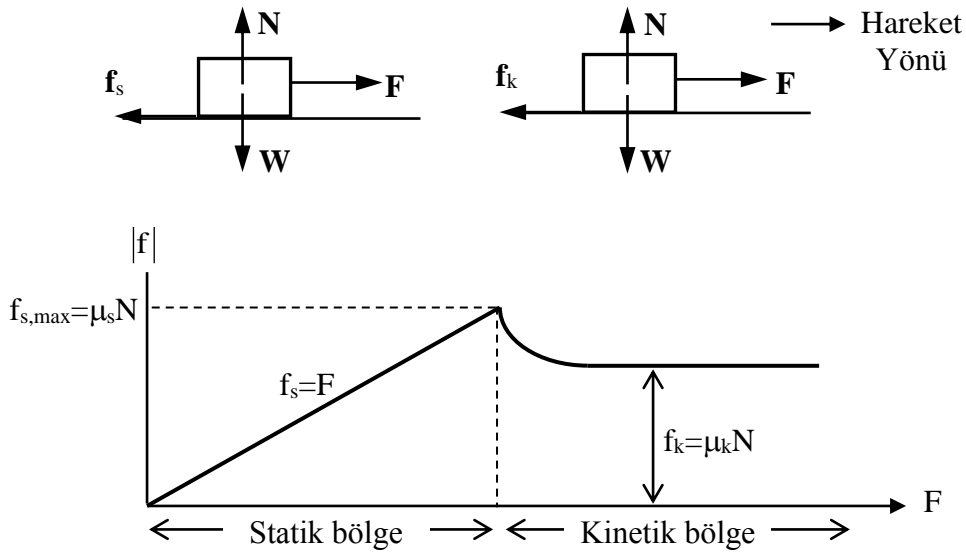
Şekil 4.1. Newton'un üçüncü yasası. 1 cisminin 2 cismine uyguladığı kuvvet, 2 cisminin 1 cismine uyguladığı kuvvete eşit ve zıt yönlüdür.

Bu kanun Şekil 4.1'de gösterildiği gibi kuvvetin her zaman çiftler halinde bulunduğunu veya yalıtılmış tek bir kuvvetin bulunamayacağını ifade eder. 1 cisminin 2 cismine uyguladığı kuvvet etki kuvveti, 2 cisminin 1 cismine uyguladığı kuvvete ise tepki kuvveti denir. Etki kuvveti büyüklükçe tepki kuvvetine eşit ve onunla zıt yönlüdür. Bütün durumlarda etki ve tepki kuvvetleri farklı cisimlere uygulanır. Örneğin çekicin çivi üzerine uyguladığı kuvvet, çivinin çekice uyguladığı tepki kuvvetine zıt yönlü olarak eşittir.

4.7. SÜRTÜNME KUVVETLERİ

Bir cisim pürüzlü bir yüzeyde yahut hava veya su gibi viskoz bir ortam içinde hareket ediyorsa, çevresi ile arasındaki etkileşmeden dolayı harekete karşı bir direnme doğar. Böyle bir direnmeyi sürtünme kuvveti olarak adlandırırız.

Şekil 4.2'deki gibi, yatay masa üzerindeki bir bloğa sağa doğru bir \mathbf{F} kuvveti uygulandığında \mathbf{F} kuvvetinin büyüklüğü yeterli değilse blok hareket etmeyecektir. Bloğun hareketini önleyen, sola doğru etki eden kuvvet \mathbf{f} ile gösterilir ve sürtünme kuvveti olarak adlandırılır.



Şekil 4.2. Pürüzlü bir yüzeyle blok arasında doğan sürtünme kuvveti, uygulanan F kuvvetine zıt yönlüdür.

Blok dengede olduğu sürece, kararlı olduğundan, bu durumdaki sürtünme kuvveti \mathbf{f}_s ile gösterilir ve statik sürtünme kuvveti olarak adlandırılır.

\mathbf{F} kuvvetinin büyüklüğü artırıldığında blok harekete başlar. Blok tam kayma sınırında iken \mathbf{f}_s statik sürtünme kuvveti maksimum değere sahip olur. Blok harekete başladıktan sonra \mathbf{f}_s maksimum değerinden daha düşük değerdeki bir sürtünme kuvvetine sahip olur. Bu, kinetik sürtünme kuvveti olarak adlandırılır ve \mathbf{f}_k ile gösterilir.

x doğrultusundaki $\mathbf{F} - \mathbf{f}_k$ kuvveti sağa doğru bir ivme oluşturur. $\mathbf{F} = \mathbf{f}_k$ ise blok sağa doğru sabit hızla hareket yapar. Uygulanan kuvvet kaldırılırsa, bloğa sola doğru etki eden sürtünme kuvveti yavaşlatıcı bir ivme oluşturarak cismi durdurur.

Sürtünme yasalarını şöyle özetleyebiliriz:

1. Birbiriyle temas halinde olan iki yüzey arasındaki statik sürtünme kuvveti uygulanan kuvvetle zıt yönlüdür ve aşağıda verilen değere sahiptir:

$$f_s \leq \mu_s N \quad (4.9)$$

Burada, μ_s boyutsuz olan statik sürtünme katsayısı, N normal kuvvetidir. Bu denklemin eşit olması, blok tam kayma sınırında olduğu zaman gerçekleşir.

2. Hareket eden bir cisme etki eden kinetik sürtünme kuvveti, daima cismin hareketinin zıt yönünde doğar ve

$$f_k = \mu_k N \quad (4.10)$$

değerine sahiptir. Burada, μ_k kinetik sürtünme katsayısıdır.

3. μ_s ile μ_k değerleri yüzey özelliklerine bağlıdır. Fakat μ_k genellikle μ_s 'den küçüktür.

4.8. NEWTON'UN İKİNCİ KANUNUNUN DÜZGÜN DAİRESEL HAREKETE UYGULANMASI

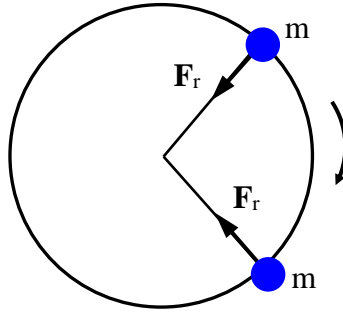
r yarıçaplı dairesel bir yörüngede sabit v hızıyla hareket eden bir parçacık

$$a_r = \frac{v^2}{r}$$

büyükliğünde bir ivmeye sahiptir.

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi, m kütleli bir parçacığın r uzunluğunda bir ipin ucuna bağlandığını ve yatay düzlemdeki dairesel yörüngede sabit hızla döndürüldüğünü varsayalım. Parçacığın eylemsizliği, hareketin doğrusal bir yol boyunca kalmasını sağlarken, ipin parçacığa uyguladığı kuvvet dairesel yörüngede kalmasını sağlar. Bu kuvvet, ip boyunca ve merkeze yönelmiş bir merkezci kuvvettir. Bu cisim için Newton'un ikinci yasasını yarıçap doğrultusu boyunca uygularsak merkezci kuvveti bulunur:

$$\Sigma F_r = ma_r = m \frac{v^2}{r} \quad (4.11)$$



Şekil 4.3. Dairesel yörüngede dolanan bir top.

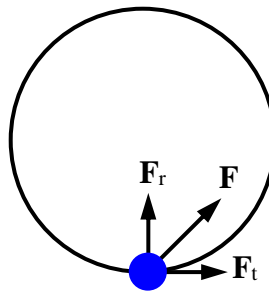
Merkezcil ivmeye benzer şekilde merkezcil kuvvette parçacığın çizdiği daireSEL yörüngenin merkezine doğru etki eder. Merkezcil kuvvete örnek olarak, ipin ucuna bağlanarak döndürülen top durumunda ipteki gerilme, dünya etrafında daireSEL yörüngede dönen bir uydu için, kütle çekim kuvvetini verebiliriz.

4.9. DÜZGÜN OLMAYAN DAİRESEL HAREKET

Dairesel bir yörüngede, hızının şiddeti değişerek hareket eden parçacığın merkezcil ivmesinin yanında, dv/dt büyüklüğünde bir teğetsel ivmesi de vardır. Böylece parçacığa etki eden kuvvetin hem merkezcil hem de teğetsel bileşeni olmalıdır. Yani, toplam ivme $\mathbf{a} = \mathbf{a}_r + \mathbf{a}_t$ olduğundan, parçacığa etki eden toplam kuvvet

$$\mathbf{F} = \mathbf{F}_r + \mathbf{F}_t$$

ile verilir. Bu kuvvetin \mathbf{F}_r bileşeni dairenin merkezine doğru yönelmiştir ve merkezcil ivmeyi oluşturur. \mathbf{F}_t bileşeni ise yörüngeye teğettir ve teğetsel ivmeyi oluşturur. Parçacığın hızının zamanla değişmesine sebep olur.



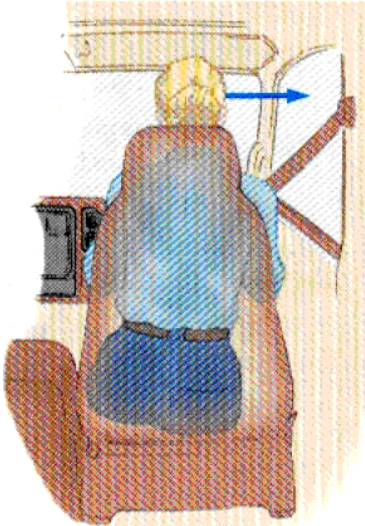
Şekil 4.4. Parçacığa etkiyen kuvvetin yörüngeye teğet bileşeni \mathbf{F}_t , hızın büyüklüğünü değiştirir. Bu durumda parçacığa uygulanan toplam kuvvet, teğet doğrultudaki ve yarıçap doğrultusundaki kuvvetlerin vektörel toplamıdır. Yani $\mathbf{F} = \mathbf{F}_r + \mathbf{F}_t$.

4.10. İVMELİ SİSTEMLERDE HAREKET

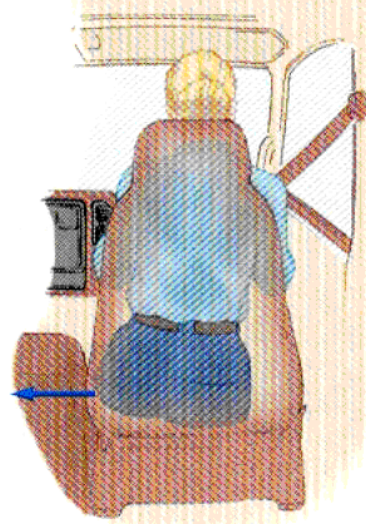


(a)

Doğrusal bir yörüngeden saparak eğrisel bir yörüngeye giren arabada yolculara uygulanan merkezci kuvvet yeterince büyükse yolcular araba ile birlikte eğrisel yörüngede hareket ederler.



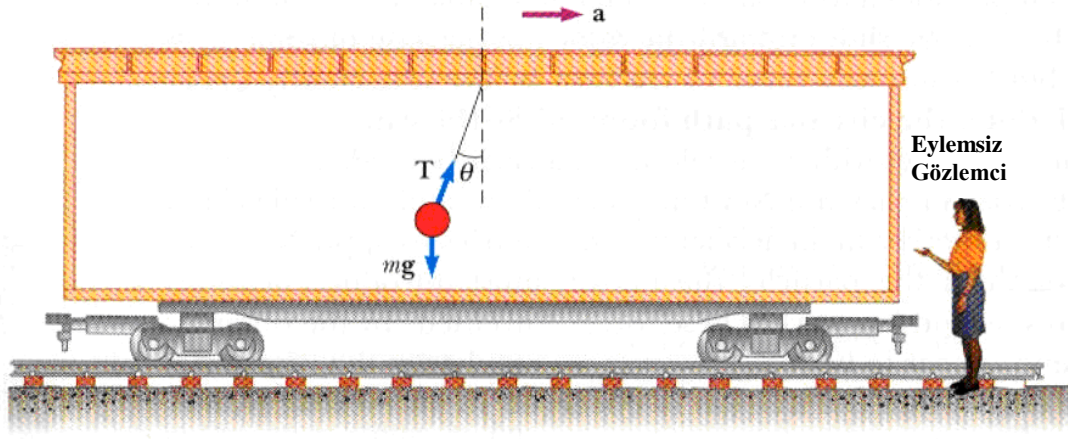
(b)



(c)

Bu merkezci kuvvetin kaynağı yolcularla araba koltukları arasındaki sürtünme kuvvetidir. Sürtünme kuvveti yeterince büyük değilse yolcular arabanın dönüşü devam ettiği sürece koltuğun karşı tarafına doğru kayacaklardır. Burada yolcular kapıya doğru sihirli kuvvetler ile kaymazlar. Bunun kaymanın nedeni; yolcuya, arabanın takip ettiği eğrisel yolu takip etmesine yetecek kadar merkezci kuvvet uygulanmamasıdır.

Örnek: Doğrusal Harekette Hayali Kuvvetler

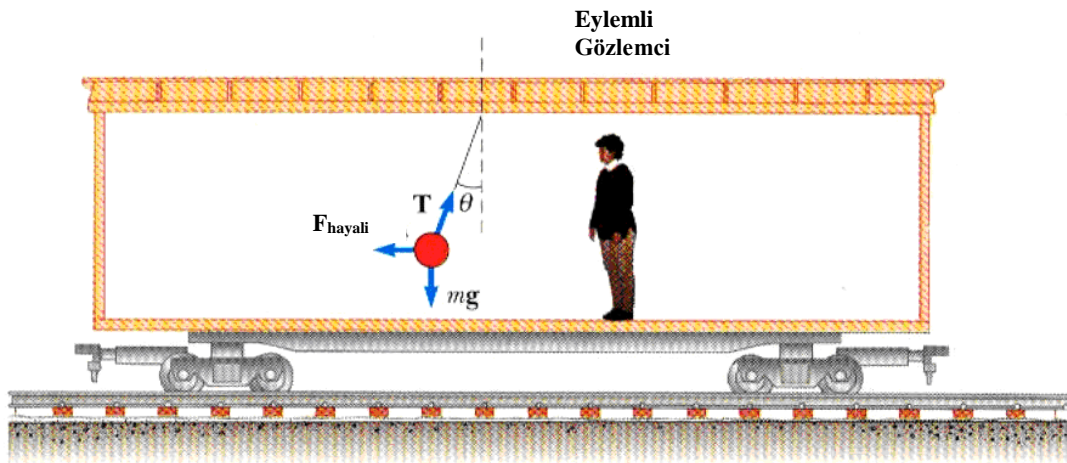


Eylemsiz Gözlemci İçin:

$$\Sigma F_x = T \sin \theta = ma$$

$$\Rightarrow a = g \tan \theta$$

$$\Sigma F_y = T \cos \theta - mg = 0$$



Eylemli Gözlemci İçin:

$$\Sigma F_x' = T \sin \theta - F_{\text{hayali}} = 0 \quad \Rightarrow \quad F_{\text{hayali}} = ma_{\text{hayali}} = ma$$

$$\Sigma F_y' = T \cos \theta - mg = 0$$

4.11. PROBLEMLER

Problem 1: Newton'un İkinci Kanunu

5 kg'lık bir mermi 320 m/s'lik hızla tüfeğin namlusundan çıkıyor. 0,82 m uzunluğundaki tüfek namlusunu terk edinceye kadar mermiye etki eden kuvvet nedir? Merminin ivmesinin sabit olduğunu varsayınız.

Çözüm:

$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2} = (320+0)/2 \quad \bar{v} = 160 \text{ m/s}$$

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad t = 0,82/160$$

$$t = 0,0051 \text{ s}$$

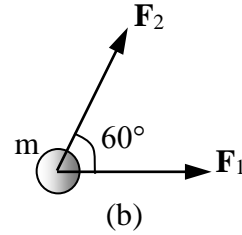
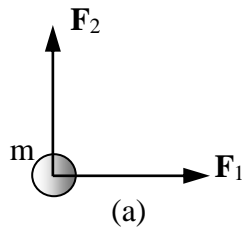
$$\bar{F} = m\bar{a} = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$\bar{F} = 5 \cdot \frac{320}{0,0051}$$

$$\bar{F} = 314 \text{ N}$$

Problem 2: Newton'un İkinci Kanunu

Şekilde görüldüğü gibi F_1 ve F_2 kuvvetleri aynı anda 5 kg kütleli bir cisme uygulanıyor. $F_1 = 20 \text{ N}$, $F_2 = 15 \text{ N}$ ise (a) ve (b) şekilleri için cismin ivmesini bulunuz.



Çözüm:

$$a) \quad \Sigma \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = m\mathbf{a}$$

$$20\mathbf{i} + 15\mathbf{j} = m\mathbf{a}$$

$$\mathbf{a} = 4\mathbf{i} + 3\mathbf{j} \text{ m/s}^2$$

$$a = 5 \text{ m/s}^2$$

$$\theta = \tan^{-1}(3/4) = 36,9^\circ$$

$$b) \quad \mathbf{F}_1 = 20\mathbf{i} \text{ N}$$

$$\mathbf{F}_2 = F_{2x}\mathbf{i} + F_{2y}\mathbf{j}$$

$$\mathbf{F}_2 = F_2 \cdot \cos 60^\circ \mathbf{i} + F_2 \cdot \sin 60^\circ \mathbf{j}$$

$$\mathbf{F}_2 = 15.0,5\mathbf{i} + 15.0,86\mathbf{j}$$

$$\mathbf{F}_2 = 7,5\mathbf{i} + 13\mathbf{j} \text{ N}$$

$$\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 = m\mathbf{a}$$

$$20\mathbf{i} + 7,5\mathbf{i} + 13\mathbf{j} = m\mathbf{a}$$

$$27,5\mathbf{i} + 13\mathbf{j} = m\mathbf{a}$$

$$\mathbf{a} = 5,5\mathbf{i} + 2,6\mathbf{j} \text{ m/s}^2$$

$$a = 6,08 \text{ m/s}^2$$

$$\theta = \tan^{-1}(2,6/5,5) = 25,3^\circ$$

Problem 3: Newton Kanununun Uygulamaları

8820 N ağırlığındaki bir yarış arabasının paraşütü 55 m/s'lik hızla giderken son çeyrek milin başlangıcında açılıyor. Böyle bir arabayı 1000 m içinde durdurmak için uygulanması gereken toplam durdurucu kuvvet ne olmalıdır?

Çözüm:

$$W_A = mg$$

$$m = W_A / g = 8820 / 9,8$$

$$m = 900 \text{ kg}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

$$0 = 55^2 + 2 \cdot a \cdot 1000$$

$$a = -3025/1000$$

$$a = -1,51 \text{ m/s}^2$$

$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

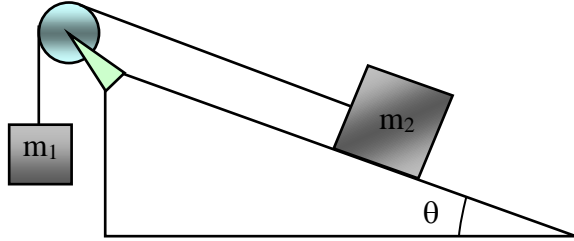
$$\Sigma \mathbf{F} = 900 \cdot (-1,51)$$

$$\Sigma \mathbf{F} = -1,36 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Problem 4: Newton Kanununun Uygulamaları

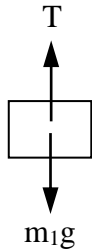
Şekilden görüldüğü gibi, hafif bir iple bağlanan iki kütle, sürtünmesiz bir makaradan geçirilmiştir. Eğik düzlem sürtünmesiz, $m_1 = 2 \text{ kg}$, $m_2 = 6 \text{ kg}$ ve $\theta = 55^\circ$ ise;

- kütlelerin ivmesini,
- ipteki gerilmeyi,
- durgun halden harekete geçtiklerini kabul ederek 2 s sonra her kütlenin hızını bulunuz.



Çözüm:

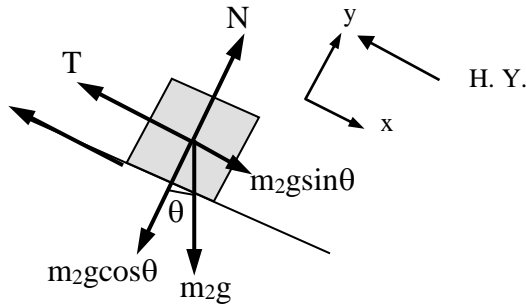
a)



$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

$$m_1g - T = m_1a$$

$$58,8 - T = 6.a \quad (*)$$



$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

$$\Sigma F_y = N - m_2g \cos \theta = 0 \quad N = 2.9,8.\cos 60 = 9,8 \text{ Nt}$$

$$\Sigma F_x = T - m_2g \sin \theta - \mu_k N = m_2a$$

$$T - 16,97 - 1,9 = 2.a \quad (**)$$

(*) ve (**) denklemlerinin ortak çözümünden

$$a = 3,57 \text{ m/s}^2$$

b) $T = 58,8 - 30 = 28,8 \text{ Nt}$

c) $v = v_0 + at = 0 + 5.2$ eşitliğinden $v = 7,14 \text{ m/s}$

Problem 5: Newton Kanununun Uygulamaları

72 kg kütleli bir şahıs, asansör içindeki bir yaylı kantar üzerinde ayakta durmaktadır. Durgun halden harekete başlayan asansör, hızını artırarak 0,8 s içinde 1,2 m/s'lik maksimum hıza ulaşıyor. 5 s süresince bu sabit hızla yükseliyor. Sonra 1,5 s içinde negatif y yönünde sabit bir ivme ile yavaşlayarak duruyor. Yaylı kantar;

- a) ilk kalkış anından önce,
- b) ilk 0,8 s içinde,
- c) asansör sabit hızla giderken,
- d) asansörün yavaşlaması süresince ne ölçer?

Çözüm:

- a) Durgun halde $a = 0$ olur.

$$\Sigma F = ma$$

$$F_K - m_s g = 0$$

$$F_K = m_s g = 72 \cdot 9,8 \quad F_K = 705,6 \text{ N}$$

- b) Asansör ivmelendiği zaman

$$\Sigma F = ma$$

$$v = v_0 + at$$

$$F_K - m_s g = ma$$

$$a = (v - v_0)/t = (1,2 - 0)/0,8 \quad a = 1,5 \text{ m/s}^2$$

$$F_K - 705,6 = 72 \cdot 1,5$$

$$F_K = 108 + 705,6 \quad F_K = 813,6 \text{ N}$$

- c) Sabit hızda $a = 0$ olur.

$$\Sigma F = ma$$

$$F_K - m_s g = 0$$

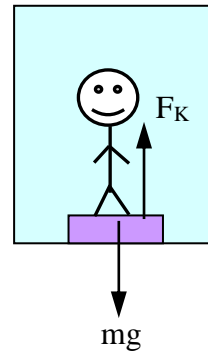
$$F_K = m_s g = 72 \cdot 9,8 \quad F_K = 705,6 \text{ N}$$

- d) Yavaşlayan ivme durumunda

$$\Sigma F = ma$$

$$v = v_0 + at \rightarrow a = (v - v_0)/t = (0 - 1,2)/1,5 \quad a = -0,8 \text{ m/s}^2$$

$$F_K - m_s g = ma \rightarrow F_K - 705,6 = 72 \cdot (-0,8) \rightarrow F_K = -57,6 + 705,6 \rightarrow F_K = 648 \text{ N}$$



Problem 6: Sürtünme Kuvvetleri

Bir buz patencisi, 10 m/s hızla giderken duruncaya kadar buz zeminde 100 m yol alıyorsa sürtünme katsayısı nedir?

Çözüm:

$$\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$$

$$\Sigma F_x = ma \quad -f_k = ma$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad N - mg = 0 \quad \Rightarrow \quad N = mg$$

$$f_k = -ma = \mu_k N = \mu_k mg \quad \Rightarrow \quad \mu_k = -a/g$$

$$x = \frac{1}{2}(v+v_0)t$$

$$100 = \frac{1}{2}(0+10)t$$

$$t = 200/10 \quad t = 20 \text{ s} \quad \text{Durması için geçen zaman}$$

$$a = \Delta v / \Delta t$$

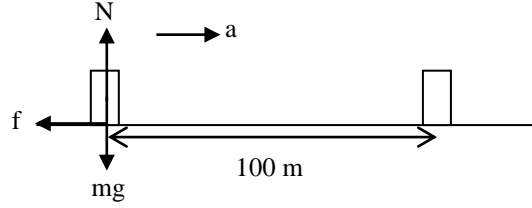
$$a = (0-10)/20 \quad a = -10/20$$

$$a = -0,5 \text{ m/s}^2$$

$$\mu_k = -a/g$$

$$\mu_k = -(-0,5)/9,8 \quad \mu_k = 0,5/9,8$$

$$\mu_k = 0,051$$

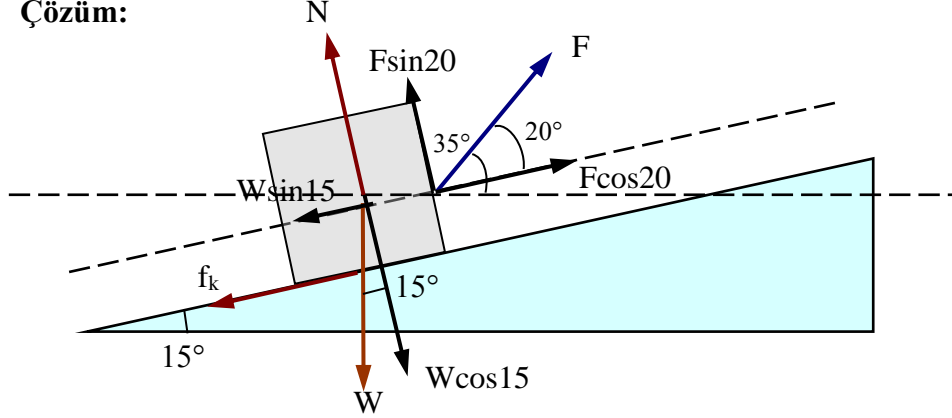


Problem 7: Sürtünme Kuvvetleri

Bir çocuk 60 N'luk bir kızığı 15° eğimli yoldan tepeye doğru sabit bir hızla çekmektedir. Çocuk kızığa tutturulan ipe 25 N'luk kuvvet uyguluyor. İp yatayla 35°'lik açı yaparsa;

- Kızakla kar arasında kinetik sürtünme katsayısı nedir?
- Tepeye varınca kızığa biner ve aşağı doğru kaymaya başlarsa aşağı doğru kazandığı ivme ne olur?

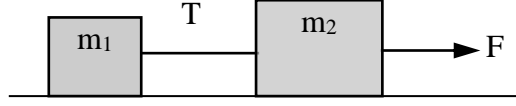
Çözüm:



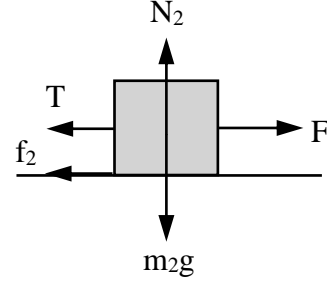
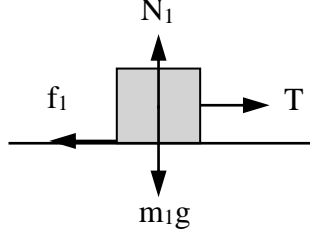
- Sabit hızla hareket ettiğinden dolayı
 $\Sigma \mathbf{F} = 0$
 $\Sigma F_x = 0$
 $F \cos 20^\circ - f_k - W \sin 15^\circ = 0$
 $F \cos 20^\circ - \mu_k N - W \sin 15^\circ = 0$
 $25.0,94 - \mu_k \cdot 49,41 - 60.0,259 = 0$
 $\mu_k = 0,161$
 $\Sigma F_y = 0$
 $F \sin 20^\circ + N - W \cos 15^\circ = 0$
 $N = W \cos 15^\circ - F \sin 20^\circ$
 $N = 60.0,96 - 25.0,342$
 $N = 49,41 \text{ N}$
- Kızak tepeye varınca kızığa y yönünde etkiyen kuvvet
 $\Sigma F = N - mg \cos 15^\circ = 0$
 $N = mg \cos 15^\circ$
x yönünde ise
 $\Sigma \mathbf{F} = m\mathbf{a}$
 $mg \sin 15^\circ - f_k = ma$
 $mg \sin 15^\circ - \mu_k mg \cos 15^\circ = ma$
 $g(\sin 15^\circ - \mu_k \cos 15^\circ) = a$
 $a = 9,8(0,259 - 0,161 \cdot 0,966)$
 $a = 1,014 \text{ m/s}^2$
 $f_k = \mu_k N$
 $f_k = \mu_k mg \cos 15^\circ$

Problem 8: Sürtünme Kuvvetleri

İki blok şekildeki gibi ağırlıksız bir iple birbirine bağlanmıştır. $F = 50 \text{ kg}$, $m_1 = 10 \text{ kg}$, $m_2 = 20 \text{ kg}$ ve sürtünme katsayısı $0,1$ ise T gerilmesini ve sistemin ivmesini bulunuz.



Çözüm:



$$\Sigma F_x = m_1 a \quad T - f_1 = m_1 a^*$$

$$\Sigma F_x = m_2 a \quad F - T - f_2 = m_2 a^{**}$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad N_1 - m_1 g = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad N_2 - m_2 g = 0$$

$$N_1 - 10 \cdot 9,8 = 0$$

$$N_2 - 20 \cdot 9,8 = 0$$

$$N_1 = 98 \text{ N}$$

$$N_2 = 196 \text{ N}$$

$$f_1 = \mu N_1 = 0,1 \cdot 98$$

$$f_2 = \mu N_2 = 0,1 \cdot 196$$

$$f_1 = 9,8 \text{ N}$$

$$f_2 = 19,6 \text{ N}$$

* ve ** denklemlerinde bunlar yerine yazılırsa

$$T - 9,8 = 10a$$

$$50 - T - 19,6 = 20a$$

$$T - 10a = 9,8$$

$$T + 20a = 30,4$$

elde edilir. Bu iki denklemi taraf tarafa toplarsak

$$-30a = -20,6$$

$$a = 0,687 \text{ m/s}^2$$

bulunur. Bunu yukarda ki denklemde yerine yazarsak

$$T - 10a = 9,8$$

$$T - 10 \cdot 0,687 = 9,8$$

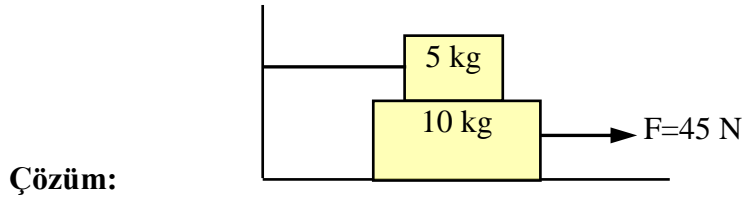
$$T = 16,67 \text{ N}$$

Problem 9: Sürtünme Kuvvetleri

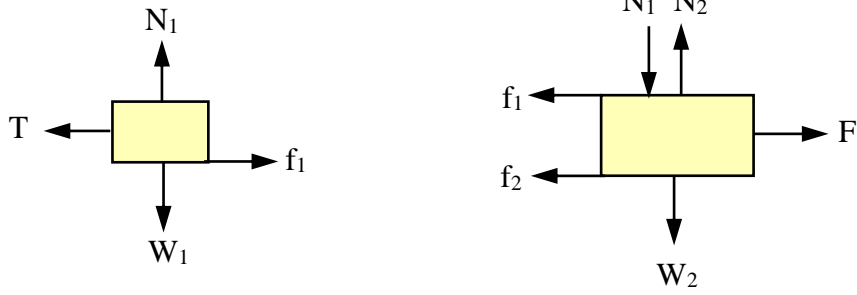
Şekilde görüldüğü gibi, 5 kg'lık blok, 10 kg'lık başka bir blok üzerine konulmuştur. 10 kg'lık bloğa 45 N'luk yatay bir kuvvet uygulanmaktadır. Aynı zamanda 5 kg'lık blok bir ip ile duvara bağlanmıştır. Hareketli yüzeyler arasındaki kinetik sürtünme katsayısı 0,2'dir.

a) Her blok için serbest cisim diyagramını çiziniz ve bloklar arasındaki etki tepki kuvvetlerini belirtiniz.

b) İpteki gerilmeyi ve 10 kg'lık bloğun ivmesini bulunuz.



a)



b) $\Sigma F_y = 0$ $N_1 - W_1 = 0$ $\Sigma F_y = 0$ $N_2 - N_1 - W_2 = 0$

$$N_1 = 49 \text{ N}$$

$$N_2 = 98 + 49$$

$$N_2 = 147 \text{ N}$$

$$\Sigma F_x = 0 \quad T - f_1 = 0 \quad \Sigma F_x = ma \quad F - f_1 - f_2 = m_2a$$

$$T = \mu N_1$$

$$45 - 9,8 - \mu_2 N_2 = 10a$$

$$T = 0,2 \cdot 49$$

$$a = (45 - 9,8 - 147 \cdot 0,2) / 10$$

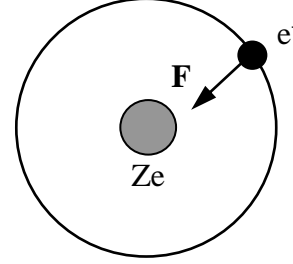
$$T = 9,8 \text{ N}$$

$$a = 0,58 \text{ m/s}^2$$

Problem 10: Newton'un İkinci Yasasının Düzgün Dairesel Harekete Uygulanması

Hidrojen atomunda elektron, proton etrafındaki yörüngesinde yaklaşık $8,2 \cdot 10^{-8}$ N'luk çekici kuvvet etkisinde kalır. Yörünge yarıçapı $5,3 \cdot 10^{-11}$ m ise, elektronun frekansı devir/s cinsinden nedir? ($m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg)

Çözüm:



$$F = mv^2 / r \quad v = (rF / m)^{1/2}$$

$$v = (5,3 \cdot 10^{-11} \cdot 8,2 \cdot 10^{-8} / 9,11 \cdot 10^{-31})^{1/2}$$

$$v = 2,18 \cdot 10^6 \text{ m/s}$$

$$v = 2\pi r / T = 2\pi r f \quad f = v / 2\pi r$$

$$f = 2,18 \cdot 10^6 / 2,314 \cdot 10^{-11}$$

$$f = 6,56 \cdot 10^{15} \text{ devir/s}$$

Problem 11: Newton'un İkinci Yasasının Düzgün Dairesel Harekete Uygulanması

Bir yumurta sandığı, virajlı bir yolda hareket eden bir kamyonun tabanının ortasına yüklenmiştir. Viraj yaklaşık olarak 35 m yarıçaplı bir daire yayıdır. Yumurta sandığı ile arabanın zemini arasındaki statik sürtünme katsayısı 0,6 ise, bu virajın dönülmesi esnasında sandığın kaymaması için bu kamyonun maksimum hızı ne olmalıdır?

Çözüm:

$$a_y = 0 \Rightarrow N = mg$$

Merkezcil kuvvet statik sürtünme kuvvetidir.

$$\Sigma F = ma$$

$$f_s = ma_r = mv^2 / r$$

$$\mu_s N \leq mv^2 / r$$

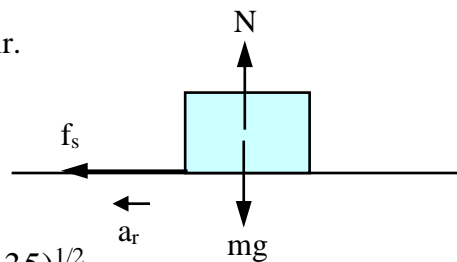
$$\mu_s mg \leq mv^2 / r$$

$$f_s \leq \mu_s N$$

$$v \leq (\mu_s gr)^{1/2}$$

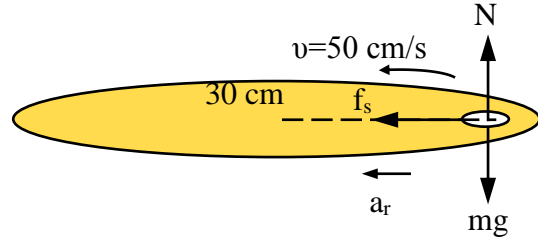
$$v \leq (0,6 \cdot 9,8 \cdot 35)^{1/2}$$

$$v \leq 14,3 \text{ m/s}$$



Problem 12: Newton'un İkinci Yasasının Düzgün Dairesel Harekete Uygulanması

Bir metal para yatay durumdaki döner masanın merkezinden 30 cm uzağa konuluyor. Paranın 50 cm/s'lik hıza sahip olduğu zaman kaymaya başladığı gözleniyor. Para ile masa arasındaki statik sürtünme katsayısı nedir?

Çözüm:

$$a_y = 0 \quad \Rightarrow \quad N = mg$$

Merkezcil kuvvet statik sürtünme kuvveti olduğundan dolayı

$$\Sigma F = ma$$

$$f_s = ma_r = mv^2 / r \quad f_s = \mu_s N$$

$$\mu_s N = mv^2 / r$$

$$\mu_s mg = mv^2 / r \quad \mu_s = v^2 / rg$$

$$\mu_s = (50)^2 / 30 \cdot 980$$

$$\mu_s = 0,085$$

Problem 13: Newton'un İkinci Yasasının Düzgün Dairesel Harekete Uygulanması

Bir kasaba saatinin yelkovanının ucunun hızı $1,75 \cdot 10^{-3}$ m/s'dir.

- Aynı uzunluktaki saniye göstergesinin ucunun hızı nedir?
- Saniye kolunun ucuna etki eden merkezcil ivme nedir?

Çözüm:

- Eğer saatin yelkovanının yarıçapı r_y ise

$$v_y = 2\pi r_y / T_y \quad T_y = 60 \times 60 = 3600 \text{ s}$$

olur.

Saniyenin yarıçapı r_s ise

$$v_s = 2\pi r_s / T_s \quad T_s = 60 \text{ s}$$

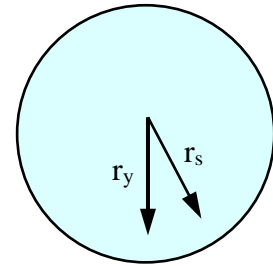
olur.

$r_y = r_s$ olduğundan

$$v_y T_y = v_s T_s$$

$$1,75 \cdot 10^{-3} \cdot 3600 = v_s \cdot 60$$

$$v_s = 0,105 \text{ m/s}$$



- $v_s = 2\pi r_s / T_s$

$$r_s = v_s T_s / 2\pi$$

$$r_s = 0,105 \cdot 60 / 2 \cdot 3,14$$

$$r_s = 1,003 \text{ m}$$

$$a_r = v_s^2 / r_s$$

$$a_r = 0,105^2 / 1,003 = 1,11 \cdot 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

Problem 14: Düzgün Dairesel Olmayan Doğrusal Hareket

Bir araba, düz yolda 9 m/s'lik hızla yol üzerinde bir tümseğe doğru gider. Tümsek 11 m yarıçaplı bir daire yayı olarak kabul edilebilir.

- a) Arabadaki 600 N ağırlığında bir kadının, araba tümsek üzerinden geçerken sahip olacağı görünür ağırlığı nedir?
b) Kadının tümsek üzerinde kendisini ağırlıksız hissetmesi için arabanın hızı ne olmalıdır.

Çözüm:

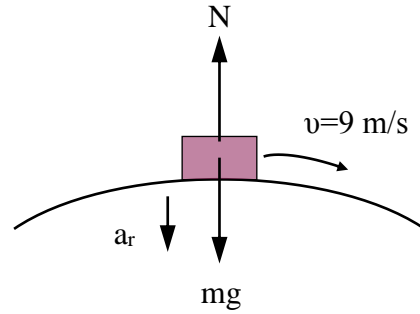
- a) N tepki kuvveti kadının görünür ağırlığı olsun.

$$\Sigma F = ma$$

$$mg - N = mv^2 / r$$

$$N = mg - mv^2 / r$$

$$N = 600 - (600/9,8)(9^2/11) \quad N = 149 \text{ N}$$



- b) $N = 0$ ise

$$mg = mv^2 / r$$

$$v = (rg)^{1/2}$$

$$v = (11 \cdot 9,8)^{1/2}$$

$$v = 10,4 \text{ m/s}$$

Problem 15: Düzgün Dairesel Olmayan Doğrusal Hareket

Bir lunaparkta, dönmeler yaparak giden araç şekilde görüldüğü gibi tam dolduğu zaman yolcularıyla birlikte 500 kg kütleye sahip oluyor.

- a) Araç A noktasında iken 20 m/s'lik bir hıza sahipse, bu noktada yolun araca uyguladığı kuvvet nedir?
b) Aracın B noktasında düşmeden yoluna devam edebilmesi için minimum hızı ne olmalıdır?

Çözüm:

- a) $\Sigma F = ma_r$

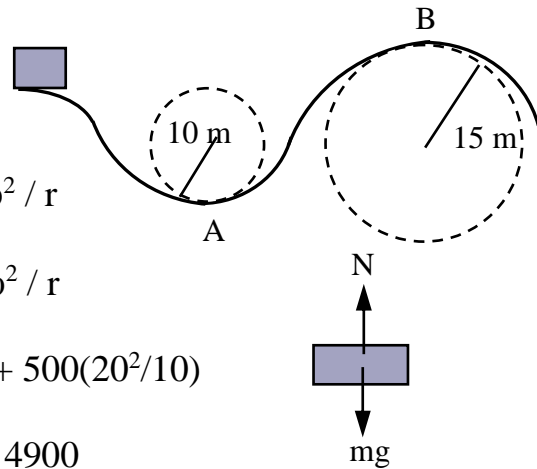
$$N - mg = mv^2 / r$$

$$N = mg + mv^2 / r$$

$$N = 500 \cdot 9,8 + 500(20^2/10)$$

$$N = 20000 + 4900$$

$$N = 2,49 \cdot 10^4 \text{ N}$$



$$b) \quad \Sigma F = ma_r \quad N + mg = mv^2 / r$$

$$N = mv^2 / r - mg$$

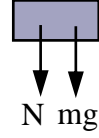
Aracın düşmeden yoluna devam etmesi için $N = 0$ olmalıdır.

$$mv^2 / r = mg$$

$$v = (rg)^{1/2}$$

$$v = (15.9,8)^{1/2}$$

$$v = 12,1 \text{ m/s}$$



Problem 16: Düzgün Dairesel Olmayan Doğrusal Hareket

Kendi eksenini etrafında dönen 5 cm yarıçaplı bir top, 0,3 s içinde 30 devir/dak'dan düzgün olarak yavaşlayarak durgun hale geliyor. Bu zaman aralığının başlangıcında topun çevresi üzerindeki bir noktanın yarıçap doğrultusundaki ivmesini, teğetsel ivmesini, bileşke ivmesini ve bunun büyüklüğünü hesaplayınız.

Çözüm:

$$v = 2\pi r / T = 2\pi r f$$

$$f = 30 \text{ devir/dak}$$

$$v = 2.3,14.0,05.0,5$$

$$f = 30/60 \text{ devir/s}$$

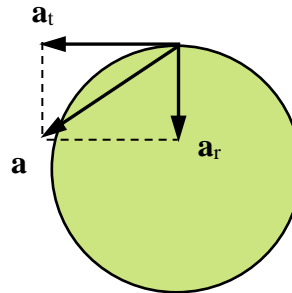
$$v = 0,157 \text{ m/s}$$

$$f = 0,5 \text{ devir/s}$$

$$a_r = v^2 / r$$

$$a_r = (0,157)^2 / 0,05$$

$$a_r = 0,493 \text{ m/s}^2$$



$$a_t = \Delta v / \Delta t$$

$$a_t = (0 - 0,157) / (0,3 - 0)$$

$$a_t = -0,524 \text{ m/s}^2$$

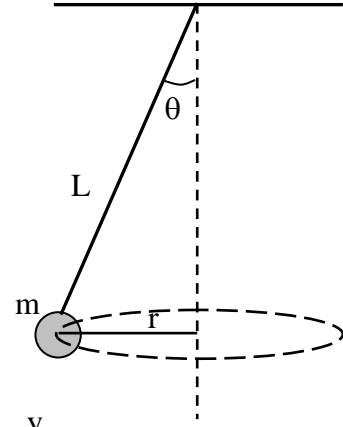
$$a = (a_t^2 + a_r^2)$$

$$a = [(-0,524)^2 + 0,493^2] \quad a = 0,72 \text{ m/s}^2$$

Problem 17: Newton'un İkinci Yasasının Düzgün Dairesel Harekete Uygulanması

Küçük bir cisim L uzunluklu ipe tavana asılmıştır.

Bu cisim şekilde görüldüğü gibi r yarıçaplı yatay dairesel bir yörünge üzerinde sabit v hızıyla dönmektedir. (Askı ipinin bir koni yüzeyi taramış olmasından dolayı, bu sistem konik sarkaç olarak bilinir.) Cismin hızını ve T_p periyodunu bulunuz. İpin uzunluğu 1 m ve θ açısı 20° 'dir.



Çözüm:

$$\Sigma F_y = 0 \quad T \cos \theta = mg$$

$$T = mg / \cos \theta$$

$$\Sigma F_x = ma \quad T \sin \theta = ma_r = mv^2 / r$$

$$mg \sin \theta / \cos \theta = mv^2 / r$$

$$g \tan \theta = v^2 / r$$

$$v = (rg \tan \theta)^{1/2}$$

$$v = (gL \sin 20^\circ \tan 20^\circ)^{1/2}$$

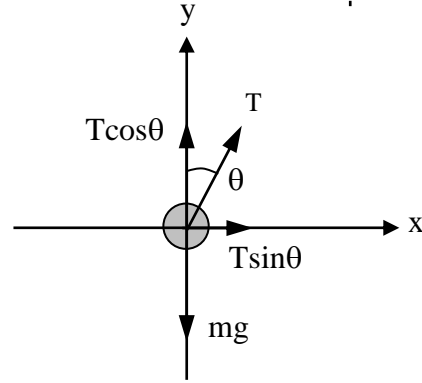
$$v = (9,8 \cdot 1,0 \cdot 34,0,36)^{1/2} \Rightarrow v = 1,09 \text{ m/s}$$

$$v = 2\pi r / T_p \quad T_p = 2\pi r / v$$

$$T_p = 2\pi L \sin \theta / (gL \sin \theta \tan \theta)^{1/2}$$

$$T_p = 2\pi (L \cos \theta / g)^{1/2}$$

$$T_p = 2,3,14 \cdot (1 \cos 20^\circ / 9,8)^{1/2} \Rightarrow T_p = 1,95 \text{ s}$$

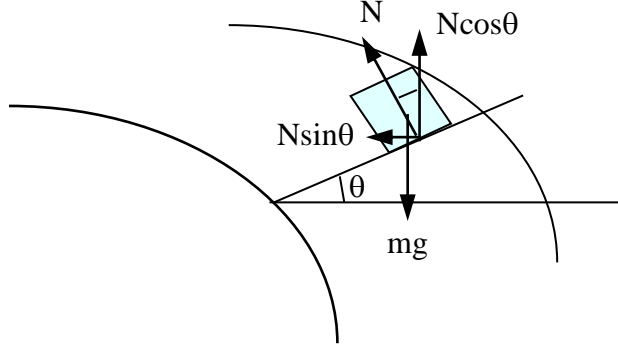


Problem 18: Newton'un İkinci Yasasının Düzgün Dairesel Harekete Uygulanması

Bir mühendis, arabaların sürtünmeye güvenmeksizin savrulmadan dönebilecekleri eğimli bir otoyol virajı yapmak istiyor. Bir arabanın, 50 m yarıçaplı böyle bir virajı 13,4 m/s'lik hızla dönebileceğini varsayarak, yolun eğiminin kaç derece olması gerektiğini bulunuz.

Çözüm:

$$\begin{aligned}\Sigma F_y = 0 \quad N \cos \theta &= mg \\ N &= mg / \cos \theta\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\Sigma F_x = ma \quad N \sin \theta &= mv^2/r \\ mg \sin \theta / \cos \theta &= mv^2/r \\ g \tan \theta &= v^2/r \\ \tan \theta &= v^2/gr \\ \tan \theta &= 13,4^2/9,8.50 \\ \theta &= 20,1^\circ\end{aligned}$$