

3.BÖLÜM: KUVVET (STATİK-DİNAMİK)

google-İlberke dökme AVSİS - paylaşımlardan (Prof. Dr. İlberke DÖKMÉ) notlara ulaşabilirsiniz.

Temel Kavramlar

• Kuvvet ($\vec{F}$): Doğrudan gözlenemeyen bir nicelik olan kuvvet madde değildir, enerji de değildir. Ancak varlığı şekil ve hareket değişikliğine neden olan etkileriyle anlaşılır. Kuvvet, hareketli cisimleri durdurabilen, duran bir cismi harekete geçirebilen, hareketli cisimlerin hızının yön ve büyüklüğünü değiştirebilen, cisimlerde şekil değişikliğine sebep olabilen bir etkidir. Kuvvetin büyüklüğü dinamometre ile ölçülebilir. Birimi Newton (N) veya dyne (dyn) ile gösterilir. Bir kuvvet bir cisme etkiyince cisim üzerinde iki tür etki oluşturabilir:

1. Kuvvet etki ettiği cismin şeklini değiştirebilir. Bu etki kırılma, ezilme, genişleme, daralma, bozulma şeklinde olabilir. Yay, sünger gibi bazı cisimlere kuvvet uygulandığında şekli değişirken kuvvetin etkisi kalktığında eski şekline geri dönerler. Bu maddelere "esnek maddeler" denir. Esnekliğin bir sınırı vardır. Bu sınır aşıldığında esneklik ortadan kalkar. Esneklik katı maddeler için ayırt edici bir özelliktir.

2. Kuvvet etki ettiği cisimde hareket değişikliğine neden olabilir. Sabit bir kuvvet duran bir cisme tek başına etki ettiğinde cisme

1.sayfa

- Öteleme veya dönme hareketi veya her ikisini de yaptırabilir. Bu durum kuvvetin uygulama noktasına göre belirlenir:

- Kuvvet, doğrultusu cismin kütle merkezinden geçecek şekilde cisme uygulanırsa bu kuvvet cismin öteleme hareketi yapmasını sağlar.

- Cisme uygulanan kuvvetin doğrultusu, cismin kütle merkezinden geçmiyorsa, bu kuvvet cismin

- Öteleme hareketi ile birlikte cismin kütle merkezi etrafında dönme hareketi yapmasını sağlar.

- Kuvvetin uygulama noktasının kütle merkezine uzaklığı sabit kalacak şekilde kuvvetin yönü sürekli değişirse, bu kuvvet cismin sadece dönme hareketi yapmasını sağlar.

EVRENDEKİ TEMEL KUVVETLER

1. MAKRO EVRENDEKİ TEMEL KUVVET maddelerin

- Kütlelerinden kaynaklanır. $F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$
Bu kuvvet kütlelerin büyüklüğü ile doğru, kütleler arası uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.

2. MİKROEVRENDEKİ TEMEL KUVVETLER parçacıkların yükünden kaynaklanır. Elektriksel kuvvetler aynı cins yüklü parçacıkların bir birini itmesi, zıt yüklü parçacıkların bir birine çekmesi şeklinde oluşur. Hareketli yüklere mıknatısların manyetik alanında manyetik kuvvet etki eder. Bir akımın manyetik alanında içinden akım geçen bir tele manyetik kuvvet etkir.

2. sayfa

Bu kuvvetlerin denklemleri aşağıdaki gibidir:

Elektriksel Kuvvet: $\vec{F} = q\vec{E}$

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Elektriksel kuvvet, yüklerin miktarıyla doğru, yükler arası uzaklığın karesiyle ters orantılıdır.

Manyetik Kuvvet: $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ ($F = qv \cdot B \cdot \sin\theta$)

$$\vec{F} = i(\vec{L} \times \vec{B})$$
 ($F = iL \cdot B \cdot \sin\theta$)

v hızındaki q yüküne $\vec{B}$ manyetik alanında manyetik

kuvvet etki eder. İcinden i akımı geçen L uzunluğundaki tele $\vec{B}$ manyetik alanında manyetik kuvvet etki eder.

*Ayrıca mikro evrende atom çekirdeğindeki protonları ve nötronları bir arada tutan güçlü nükleer kuvvetler vardır. Bu yüklü parçacıklar arasında mesafe çok çok küçük (çekirdek boyutunda) olduğu için doğadaki en güçlü kuvvettir. Atom çekirdeğindeki zayıf nükleer kuvvetler ise atom çekirdeklerinin kararsız olmasına sebep olan ve etkimesiyle parçacığın bozunup kendine yakın bir parçacığa dönüşmesini sağlayan kuvvetlerdir.

Mikro ve makroevrendeki bu temel kuvvetler temas gerektirmeyen alan kuvvetleridir. İnsanlar kas kuvvetini temas ederek kullanır ve cisimlere kuvvet uygulayıp harekete geçirebilir. Kas kuvveti, titreşen gaz moleküllerinin kabın iç yüzeyine uyguladığı kuvvet, tekneyi su üzerinde tutan kaldırma kuvveti, masa üzer-

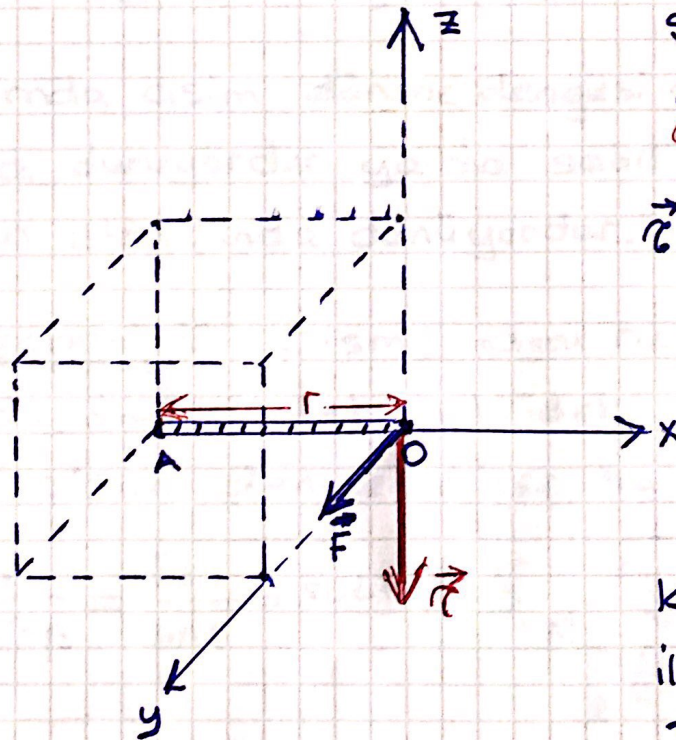
rinde duran kitap ve masa arasındaki etki ve tepki kuvvetleri temas gerektiren kuvvetlerdir.

• Tork ($\vec{\tau}$): Kuvvetin döndürme etkisidir. Tork

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F}$$

$$\tau = r \cdot F \cdot \sin \theta$$

bağıntısıyla verilir. Şekilde r uzunluğundaki AO çubuğu A ucundan sabitlenmiştir ve O ucundan uygulanan $\vec{F}$ kuvvetinin etkisiyle xy düzleminde dönebilmektedir. Şekildende görüleceği ^{gibi} tork vektörünün yönü daima $\vec{r}$ ve $\vec{F}$ 'in oluşturduğu düzleme diktir. Şekilde $\vec{r}$ ve $\vec{F}$ sırasıyla x ve y eksenlerindedir. O hâlde tork yönü z ekseninde olmalıdır. Ancak +z yönünde mi? Yoksa -z yönündemi? $\vec{F}$, $\vec{r}$ üzerine katlanırken yön saat ile aynı ise tork -z yönünde; saat ile zıt ise tork +z yönünde olmalıdır.



Şekle uygun bir

örnek: $\vec{F} = 2\hat{j}$

$\vec{r} = -3\hat{i}$

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ -3 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\vec{\tau} = -6\hat{k}$$

$\vec{F}$, $\vec{r}$ üzerine katlanırken saat ile aynı yöndür. Ve Tork -z yönünde olur.

4. Sayfa

3.1. KUVVET ve DENGİ (Statik)

- Bir araba düz bir yolda duruyorsa veya sabit hızla ilerliyorsa dengededir. Ancak hızlanıyor veya yavaşlıyorsa dengesi bozulmuştur. Bir cismin denge de olması için şu şartlar sağlanmalıdır:

1. Cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi sıfır olmalıdır.

$$\sum \vec{F} = 0; \vec{F}_{net} = 0$$

Bu durumda cisim öteleme denge durumundadır.

- Yani cisim ya duruyordur veya sabit hızla ilerliyordur.

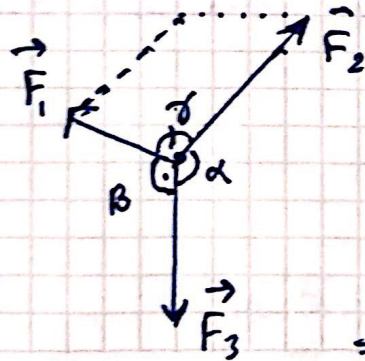
2. Cisim üzerine etkiyen kuvvetlerin cisim üzerindeki herhangi bir noktaya göre torklarının toplamı (bileşkesi) sıfır olmalıdır.

$$\sum \vec{\tau} = 0 \text{ veya } \vec{\tau}_{net} = 0$$

Bu durumda cisim dönme dengesi durumundadır. Yani ya duruyordur ya da sabit açısal hızla bir eksen etrafında dönüyordur.

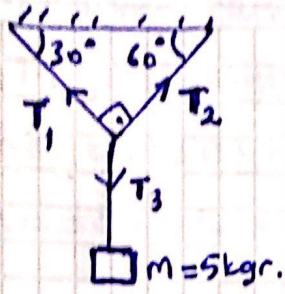
Lami Teoremi: Bir cisme aynı noktadan, aynı düzlemde üç kuvvet şekildeki gibi uygulandığında cisim dengede ise şu bağıntı geçerlidir.

$$\frac{F_1}{\sin \alpha} = \frac{F_2}{\sin \beta} = \frac{F_3}{\sin \gamma} = \text{sabit}$$

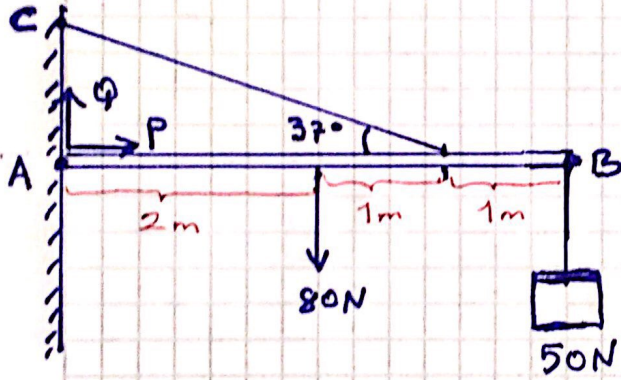


S. Sayfa

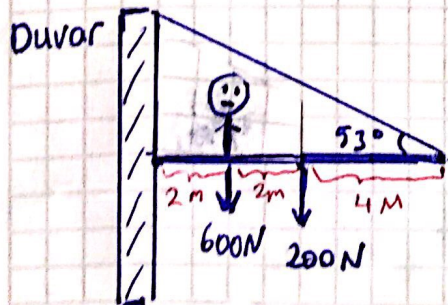
☺RN1: Şekildeki cisim dengede ise $T_1 = ?$, $T_2 = ?$, $T_3 = ?$



☺RN2: Şekildeki AB çubuğu homojen ve ağırlığı 80 N , boyu ise 4 m 'dir. Çubuğun B ucu 1 m uzaklıktan 37° lik açı ile bir ip ile duvara C noktasından bağlanmıştır. Sistem dengede ise a) ipteki gerilme kuvvetini, b) Duvarla çubuk arasındaki etkileşim kuvvetlerini bulunuz.

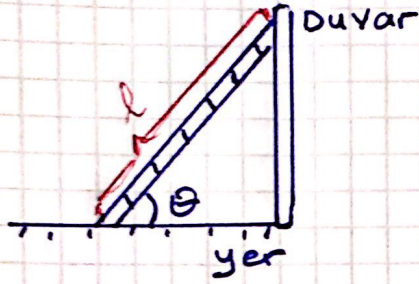


☺RN3: 8 m uzunluğunda ve 200 N ağırlığında bir kalas şekildeki gibi yatay duruyor (A ucu duvara tutturulmuş B ucuda 53° lik açılı bir kabloyla duvara bağlı). 600 N luk bir adam kalasın üzerinde duvardan 2 m uzakta ayakta duruyorsa a) Kablodaki gerilme kuvvetini b) duvar tarafından kalasa uygulanan kuvvetleri bulunuz.



6. Sayfa

ÖRNEK 4 : l uzunluğunda ve 50 N ağırlığında düzgün bir merdiven dikey ve pürüzsüz bir duvara şekildeki gibi yaslanmıştır. Merdiven ve yer arasındaki sürtünme katsayısı $0,4$ olduğuna göre merdivenin kaymadan durabilmesi için θ min açısı ne olmalıdır?



3.2. KUVVET ve HAREKET (Dinamik)

Kuvvetin hareket etkisi Newton Yasalarıyla açıklanır. Newton'un yasaları 3 başlık altındadır:

1. Newton 1. Hareket Yasası (Eylemsizlik Prensibi):

Bir cisme hiçbir kuvvet etki etmiyorsa veya cisme etkiyen kuvvetlerin bileşkesi sıfır ise cisim ya duruyordur veya sabit hızla hareket ediyordur.

2. Newton'un 2. Hareket Yasası (Dinamiğin Temel Prensibi):

Bir kuvvet yeterince büyükse uygulandığı cismin dengesini bozabilir; cismin ivmeli hareketine sebep olabilir. Sabit bir $\vec{F}_{net}$ kuvveti etkisindeki m kütleli bir cisim sabit $\vec{a}$ ivmesi ile hareket ederse kuvvetin ivmeye oranı sabit olup cismin kütlesi ne eşittir.

$$\vec{F}_N = m \cdot \vec{a}$$

$$N = \text{kg m/s}^2$$

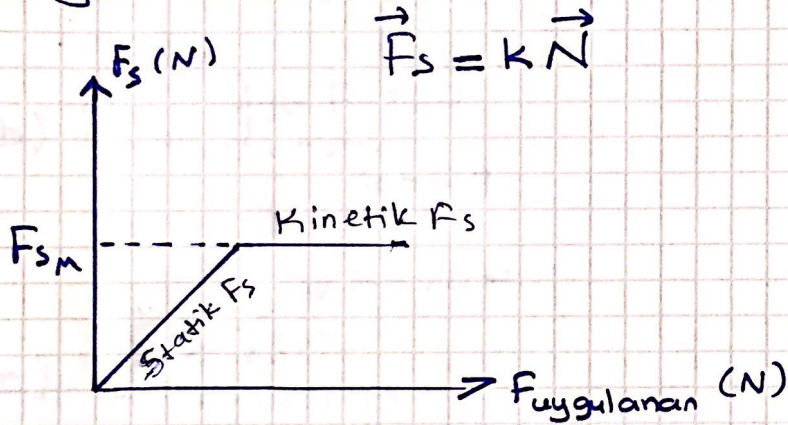
$$\text{dyn} = \text{gr} \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}$$

3. Newton'un 3. Hareket Yasası (Etki - Tepki Prensibi):

Eğer bir kuvvet uygulandığı cismin dengesini bozmaya yetecek büyüklükte değilse bu kuvvet etki kuvvetidir; ve kendisine eşit ve zıt yönlü bir tepki kuvveti oluşturur. Örneğin duvara bir kuvvet uyguladığımızda (etki) duvarın dengesini bozmaya kuvvetimiz yetmez ve duvar tarafıdan bize uygulanan bir kuvvet yaratılır. Etki ve tepki kuvvetleri daima birbirine eşit ve zıt yönlüdür.

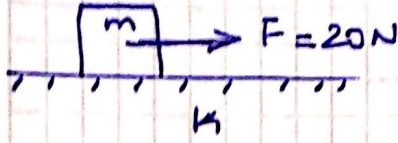
SÜRTÜNME KUVVETİ:

Duran bir cismin harekete geçmesini engelleyen veya hareketli bir cismin hareketini engellemeye çalışan bir kuvvettir. İlki statik sürtünme kuvveti, ikincisi kinetik sürtünme kuvvetidir. Kinetik sürtünme kuvveti hareket yönüne zıt yönlü olup sürtünen yüzeylerin cinsine bağlıdır. Pürüzsüz kaygan yüzeylerde sürtünme kuvveti küçük, pürüzlü yüzeylerde büyüktür. Sürtünme kuvveti ~~cismin~~ cisme uyguladığı normal (tepki) kuvveti ile doğru orantılıdır.

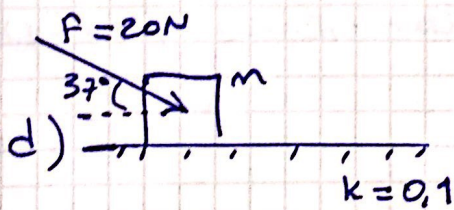
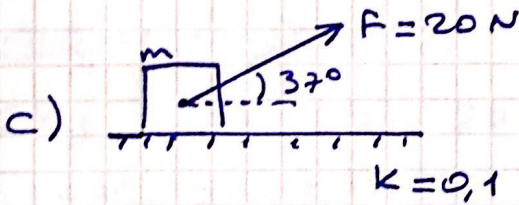
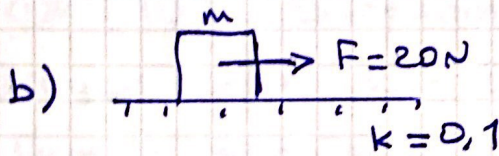
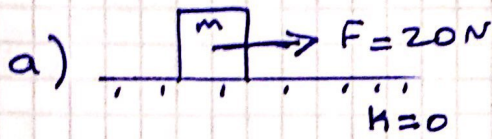


Duran ağır bir cisme uygulanan kuvvet arttıkça cisim harekete geçmediği sürece statik sürtünme kuvveti de artar. Çünkü cisim harekete geçmediği için cisme etki eden net kuvvetin sıfır olması gerekir.

ÖRNEK 5: 2 kg'lık cisme 20 N'lık kuvvet şekildeki gibi etmektedir. Cisim dengede (sabit hızla hareket eder) olduğuna göre cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısını bulunuz.



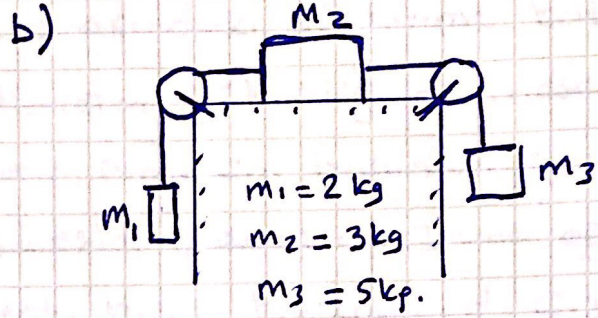
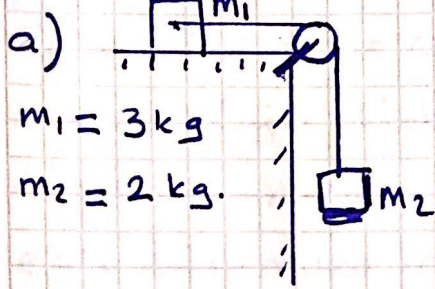
ÖRNEK 6: 2 kg'lık cisme 20 N'lık kuvvet a, b, c ve d'deki gibi etmektedir. Her bir durumda cismin ivmesini bulunuz.



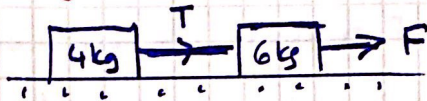
ÖRNEK 7: Serbest dönebilen (sürtünmesiz) makaradan geçirilen ipin iki ucuna 0,9 ve 1,1 kg'lık cisimler bağlanmıştır. a) Sistemin ivmesi kaç m/s^2 dir. b) İpteki gerilmeler kaç N? c) Sistem bırakıldıktan 4 sn sonra hızı, d) Bırakıldıktan 6 sn. sonra kaç m. yola ulaşacağını bulunuz.

10. Sayfa

⑧ RN 8: a ve b'de verilen sistemler sürtünmesiz olup her durum için ivme ve ip gerilimlerini bulunuz.



⑨ RN 9: Şekildeki sistemde $a = 1,2 \text{ m/s}^2$ ise $T = ?$ $F = ?$



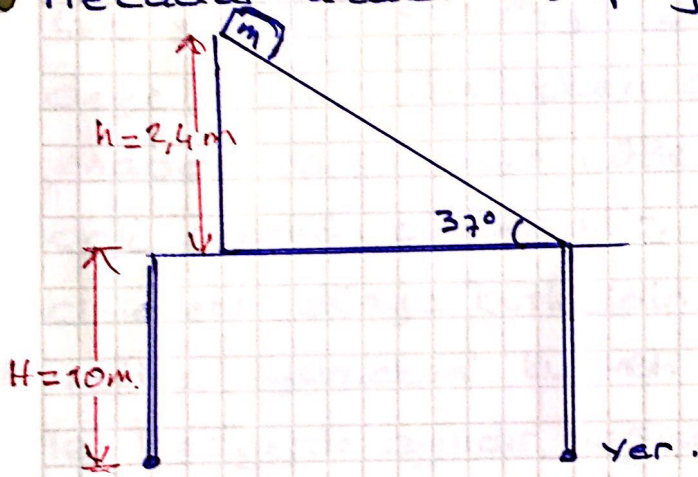
⑩ RN 10: Sürtünmeli 37° lik bir eğik düzlemde kayan bir m kütlesinin ivmesini bulunuz. (Eğik düzlemde sürtünme katsayısı 0,1 dir.)

⑪ RN 11: Sürtünmeli 37° lik bir eğik düzlemde 2 kg. kütleli cisim 20 N'lık kuvvetle yukarı çekilirken sabit hızla ilerlediğine göre cisimle yüzey arasındaki sürtünme katsayısını bulunuz.



RN 12: Bir cisim şekildeki masa üzerinde 37°

- eğimli eğik düzlemin tepesinden bırakılıyor. ($h=2,4\text{m}$)
Eğik düzlem ile cisim arasındaki sürtünme katsayısı
 $0,5$ dir. Eğik düzlem $H=10\text{m}$. yüksekliğinde masaya
tutturulmuştur. a) Cismin ivmesini bulunuz. b) Cismin
eğik düzlemden iniş süresini bulunuz, c) Cismin eğik
düzlemden çıktığı andaki hızını bulunuz. d) Cisim
eğik düzlemden çıktıktan sonra yere düşene kadar
gecen süreyi bulunuz. e) Cismin zemine masadan
nekadar uzakta düştüğünü bulunuz.



Kütle Gekim (Gravitasyon) Kuvveti ve Ağırlık :

Maddelerin kütleleri nedeniyle birbirlerine uyguladıkları kuvvettir. Kütle merkezleri arasında r uzaklık bulunan m_1 ve m_2 kütleleri birbirlerini

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

büyükliğünde bir kuvvetle çekerler. G çekim Sabiti olup $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ veya

$G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ dyn cm/g}^2$ değerindedir. Kütle maddeye has bir özellikken ağırlık öyle değildir. Madde varsa onun kütlesi olmak zorundadır. Ancak ağırlığı olmayabilir. Yeryüzünde bulunan cisimlere dünya kütlelerinin uyguladığı çekim kuvvetine yerçekimi kuvveti veya ağırlık denir. Kütle her yerde aynıdır, değişmez; ancak ağırlık kütlenin bulunduğu yere göre değişik değerlerde olabilir. Uzayda tek başına olan bir kütlenin ağırlığı yoktur. Yer yüzünde bulunan 1 birimlik kütleye dünya kütlelerinin uyguladığı kuvvet

$$F = \frac{G \cdot m M_y}{r_y^2} = G \cdot \frac{1 \cdot M_y}{R_y^2} = G \cdot \frac{M_y}{R_y^2} = g$$

$$M_y = 5,97 \cdot 10^{27} \text{ gr (dünyanın kütlesi)}$$

$$R_y = 6,37 \cdot 10^8 \text{ cm (" yarıçapı)}$$

Herhangi bir m kütlesine dünyanın uyguladığı çekim kuvveti $F = \frac{G \cdot m \cdot M_y}{R_y^2} = m \cdot \frac{G \cdot M_y}{R_y^2} = mg$ olur.

$$\boxed{F_g = mg}$$

13. Sayfa

MERKEZCİL KUVVET:

Düzgün dairesel hareket yapan bir cismin hızının büyüklüğünün sabit olmasına karşın yönü sürekli değiştiği için radyal (merkezcil) bir ivmesi vardır. Dinamiğin temel prensibine göre bu cisme etkiyen kuvvet;

$$F_r = m \cdot a_r$$

$$F_r = m \frac{v^2}{r}$$

olarak ifade edilir. Düzgün dairesel hareket yapan cisme dışardan bakan bir gözlemciye göre cisim bu $F_r = mv^2/r$ büyüklüğündeki yönü daire merkezine doğru olan merkezcil kuvvetin etkisindedir. Ancak düzgün dairesel hareket yapan cismin üzerinde olan bir gözlemciye göre cisim durgun olduğundan merkezcil kuvveti dengeleyen 2. bir kuvvet ortaya çıkar. Merkezcil kuvvete eşit ve zıt yönlü olan bu kuvvet de merkezkaç kuvvetidir.

④ RN13: Dünyanın merkezinden r kadar uzaklıkta m kütleli bir yapay uyduyu yörüngesinde harekete zorlayan merkezcil kuvvetin kaynağı dünya ve uydü arasındaki çekim kuvvetidir. → Bir uydü 1000 km. yüksekte dairesel bir yörüngede dönmektedir. Uydü nun hızını ve periyodunu bulunuz.

$$G \cdot \frac{m M_y}{r^2} = \frac{m v^2}{r}$$

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M_y}{r}}$$

$$v = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24}}{(6,37 \cdot 10^6 + 10^3)}} = 0,79 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

$$M_y = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ kg}; r_y = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}.$$

14. sayfa

ÖRNEK 14: 0,5 kg. kütleli bir top 1,5 m. uzunluğunda ipliğin ucuna bağlanarak yatay düzlemde dairesel hareket yaptırılıyor. İpi 50 N'luk maksimum gerilme dayanıyorsa, kopmadan önce topun sahip olduğu maksimum hız ne olur?

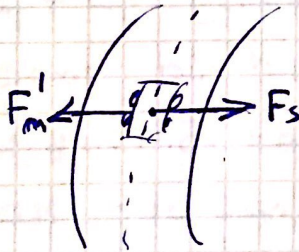
ÖRNEK 15: Merkezkaç kuvvetinin varlığını bir araçla viraja girdiğimizde, virajın dışına doğru üzerimize etki eden savrulma kuvvetinden anlayabiliriz. Keskin virajlara hızla giren araçların savrulması, merkezkaç kuvvetinin varlığını doğrular.

Eğimsiz Viraj

$$F_s = F_m'$$

$$kmg = \frac{mv^2}{r}$$

$$v = \sqrt{krgr}$$

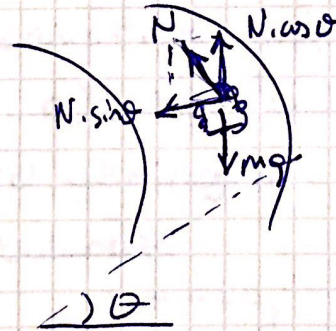
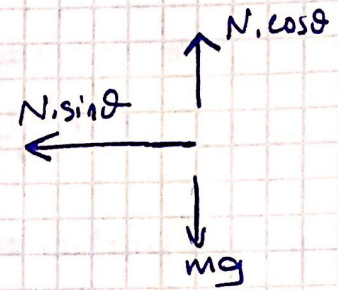


Eğimli Viraj

$$N \sin \theta = \frac{mv^2}{r}$$

$$N \cos \theta = mg$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{rg} \Rightarrow v = \sqrt{rg \tan \theta}$$

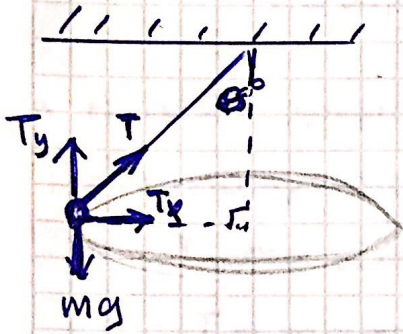


a) Eğrilik yarıçapı 90 m. olan virajda 72 km/h hızla giren bir araç savrulma sınırındadır. Araçla yol arasındaki sürtünme katsayısını hesaplayınız.

b) Bir aracın eğimli bir virajı 13,4 m/s hızla (maksimum) dönebilmektedir. Virajın yarıçapı 50 m ise eğimi kaç derecedir?

15. sayfa

⑤ RN 16: Uzunluğu 1m olan ipe 0.5 kg cisim bağlanarak 45° lik açıyla konik sarkaç hareketi yaptırılıyor. Cismin hızını bulunuz.



$$T \cdot \sin \theta = \frac{mv^2}{r}$$

$$T \cdot \cos \theta = mg$$

$$\tan \theta = \frac{v^2}{rg} = \frac{v^2}{L \cdot \sin \theta \cdot g}$$

$$\sin \theta = \frac{r}{L}$$

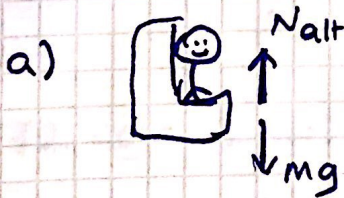
$$r = L \cdot \sin \theta$$

$$v = \sqrt{L \cdot g \cdot \sin \theta \cdot \tan \theta}$$

$$L = 1m \quad \Rightarrow \quad v = \sqrt{1 \cdot 10 \cdot \sin 45^\circ \cdot \tan 45^\circ}$$

$$\theta = 45^\circ \quad v = \sqrt{5\sqrt{2}} \text{ m/s}$$

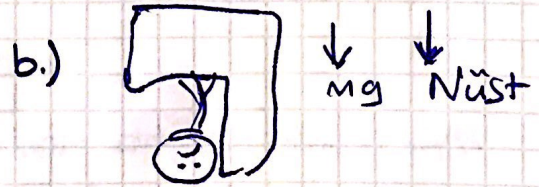
⑥ RN 17: m kütleli bir pilot, uçakla dikey çember etrafında dönmektedir. Bu uçuş düzleminde uçak 2,7 km yarıçaplı dikey dairesel yörüngede 225 m/s lik sabit bir hızla hareket ediyor. Koltuğun pilota uyguladığı tepki kuvvetini a) dairesel yörüngenin en alt noktasında b) dairesel yörüngenin en üst noktasında mg cinsinden bulunuz.



$$N_{alt} - mg = \frac{mv^2}{r}$$

$$N_{alt} = mg + \frac{mv^2}{r}$$

$$N_{alt} = mg \left(1 + \frac{v^2}{rg} \right)$$



$$mg + N_{üst} = \frac{mv^2}{r}$$

$$N_{üst} = \frac{mv^2}{r} - mg$$

$$N_{üst} = mg \left(\frac{v^2}{rg} - 1 \right)$$

16. Sayfa

☺ RN18: (Asansör Soruları)

- Asansör duruyor veya sabit hızla hareket ediyorsa

$$T = mg$$

- Asansör yukarı doğru a ivmesi ile hızlanıyorsa

$$T - ma = mg$$

$$T = mg + ma$$

- Asansör yukarı doğru a ivmesi ile yavaşlıyorsa

$$T + ma = mg$$

$$T = mg - ma$$

- Asansör aşağı doğru a ivmesi ile hızlanıyorsa

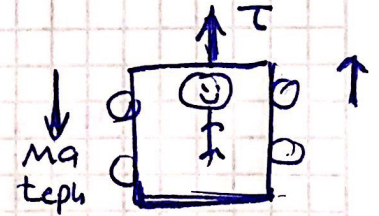
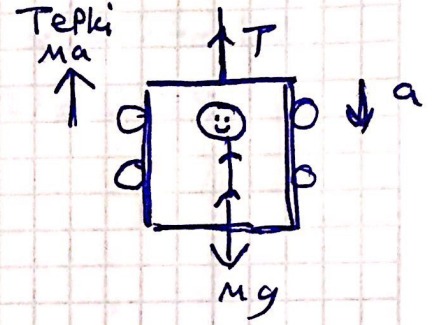
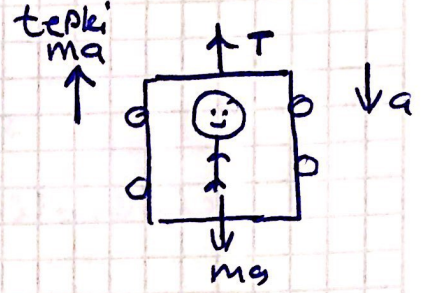
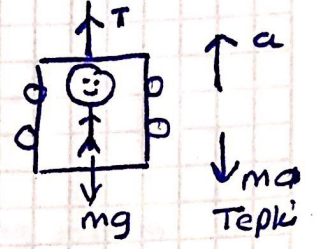
$$T + ma = mg$$

$$T = mg - ma$$

- Asansör aşağı doğru a ivmesiyle yavaşlıyorsa

$$T - ma = mg$$

$$T = mg + ma$$



72 kg'lık biri asansörle yukarı doğru önce 0,8 sn'lik zamanda hızını 0'dan 1,2 m/s'ye artırıyor. Daha sonra 5s. bu hızla gidiyor. Daha sonra 1,5 sn'de hızını 0'a indirerek duruyor. Bu üç durumda ipteki gerilmeleri bulunuz.