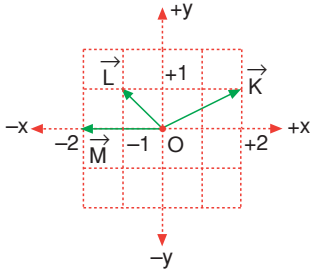


**Cözüm**



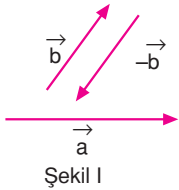
$\vec{K}$ ,  $\vec{L}$ ,  $\vec{M}$  vektörlerinin x eksenine doğrultusundaki bileşenlerinin toplamı bileşkenin  $R_x$  bileşenini, y eksenine doğrultusundaki bileşenlerinin toplamı da bileşkenin  $R_y$  bileşenini verir.

	x	y
$\vec{K}$ :	+2	+1
$\vec{L}$ :	-1	+1
$\vec{M}$ :	+ -2	+ 0
$\vec{R}$ :	-1	+2

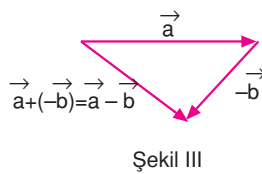
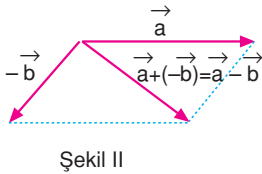
Bileşkenin  $R_x$  bileşeni -1 birim,  $R_y$  bileşeni de +2 olduğuna göre bileşke Şekil 2'de verilen 2 vektördür.

**YANIT B**

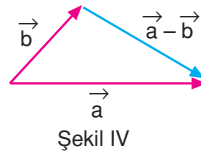
**Vektörlerin Çıkarılması**



Şekil I'de verilen  $\vec{a}$  ve  $\vec{b}$  vektörlerinin farkı yani  $\vec{a} - \vec{b}$  vektörü,  $\vec{a}$  vektörü ile  $-\vec{b}$  vektörü herhangi bir toplama yöntemi ile toplanarak bulunabilir.  
 $\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$



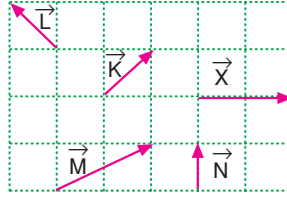
$\vec{a}$  vektörü ile  $-\vec{b}$  vektörü, Şekil II'de paralel kenar kuralı ile Şekil III'te de uç uca ekleme yöntemi ile toplanarak  $\vec{a} - \vec{b}$  vektörü bulunur.



Ya da Şekil IV'teki gibi vektörlerin başlangıç noktaları çakıştırılır. Çıkarılan vektörün bitim ucundan diğer vektörün bitim ucuna gidilerek fark vektör bulunur.

## VEKTÖRLER VE KESİŞEN KUVVETLERİN DENGESİ

Örnek



Şekildeki  $\vec{X}$ ,  $\vec{K}$ ,  $\vec{L}$ ,  $\vec{M}$ ,  $\vec{N}$  vektörleri aynı düzlemindedir.

Buna göre;

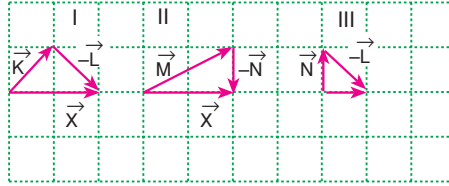
- I.  $\vec{K} - \vec{L}$
- II.  $\vec{M} - \vec{N}$
- III.  $\vec{N} - \vec{L}$

işlemlerinden hangileri  $\vec{X}$  vektörüne eşittir?

(Bölmeler eşit aralıktır.)

- A) Yalnız I      B) Yalnız II      C) Yalnız III      D) I ve II      E) I, II ve III

Çözüm



$$\vec{K} - \vec{L} = \vec{K} + (-\vec{L}), \quad \vec{M} - \vec{N} = \vec{M} + (-\vec{N}),$$

$\vec{N} - \vec{L} = \vec{N} + (-\vec{L})$  işlemleri şekildeki gibi vektörler uç uca eklenerek yapıldığında I ve II işlemlerinin sonucunun  $\vec{X}$  vektörüne eşit olduğu görülür.

YANIT D

UYARI

Vektörlerle yapılan bütün bu işlemler, vektörel tüm büyüklükler için (kuvvet, hız, ivme ....) geçerlidir.

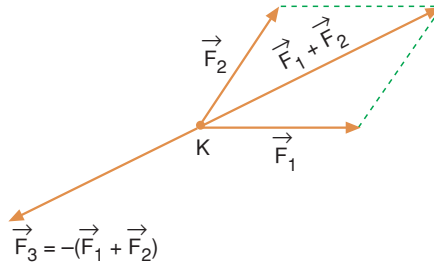
**Kesişen Kuvvetlerin Dengesi**

Bir cisim hareketsiz ise ya da sabit hızla hareket ediyorsa cisim dengededir denir.

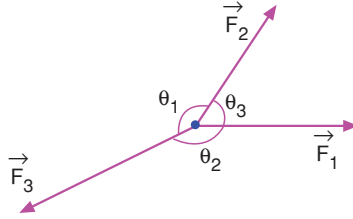
Kesişen kuvvetlerin etkisindeki noktasal cismin dengede olabilmesi için kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olması gerekli ve yeterli koşuldur.

Denge koşulu;

$$\Sigma F = 0 \begin{cases} \Sigma F_x = 0 \\ \Sigma F_y = 0 \end{cases} \text{ şeklinde yazılabilir.}$$

**Örneğin;**

K cisimine şekildeki gibi uygulanan aynı düzlemdeki üç kuvvetten  $\vec{F}_1$  ile  $\vec{F}_2$  nin bileşkesi,  $\vec{F}_3$  ile aynı büyüklükte ve zıt yönde olursa bileşke sıfır olur ve cisim dengede kalır.

**Lami Teoremi**

Cisim, şekildeki gibi uygulanan  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  ve  $\vec{F}_3$  kuvvetlerinin etkisinde dengede ise her kuvvetin, diğer ikisi arasında kalan açının sinüsüne oranı birbirine eşittir.

Lami teoremi

$$\frac{F_1}{\sin\theta_1} = \frac{F_2}{\sin\theta_2} = \frac{F_3}{\sin\theta_3} \text{ şeklinde yazılır.}$$

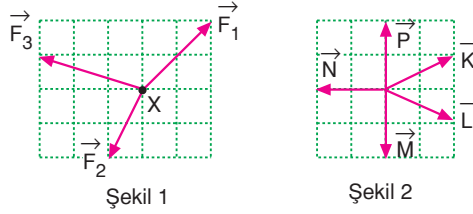
Kuvvetlerin aralarındaki açılar arasındaki ilişki;

- ★  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = 120^\circ$  ise  $F_1 = F_2 = F_3$ ,
- ★  $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$  ise  $F_1 < F_2 < F_3$  olur.

**NOT**

Büyük açı karşısındaki kuvvet küçüktür.

## Örnek



Şekil 1

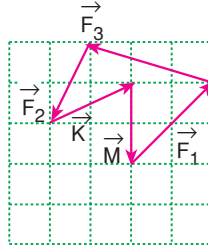
Şekil 2

Sürtünmesiz yatay düzlemdeki noktasal X cismi  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{F}_4, \vec{F}_5$  kuvvetlerinin etkisinde dengededir.

$\vec{F}_1, \vec{F}_2$  ve  $\vec{F}_3$  kuvvetleri Şekil 1'de verildiğine göre  $\vec{F}_4$  ve  $\vec{F}_5$  kuvvetleri Şekil 2'dekilerden hangileridir? (Bölmeler eşit aralıktır.)

- A)  $\vec{K}$  ve  $\vec{L}$       B)  $\vec{K}$  ve  $\vec{M}$       C)  $\vec{P}$  ve  $\vec{L}$       D)  $\vec{K}$  ve  $\vec{N}$       E)  $\vec{L}$  ve  $\vec{N}$

## Çözüm



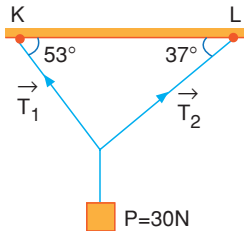
$\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3, \vec{K}, \vec{M}$  kuvvetleri şekildeki gibi uç uca eklendiğinde kapalı bir şekil oluşur.

Bu kuvvetlerin bileşkesi sıfır olur.

O halde  $\vec{F}_4$  ve  $\vec{F}_5$  kuvvetleri,  $\vec{K}$  ve  $\vec{M}$  kuvvetleridir.

YANIT B

## Örnek

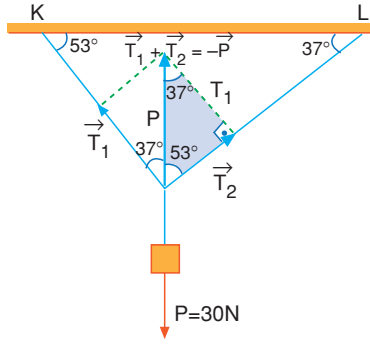


$P = 30 \text{ N}$  ağırlığındaki cisim K ve L noktalarından iplerle asılıncaya şekildeki gibi dengede kalıyor.

İplerdeki gerilme kuvvetleri  $\vec{T}_1$  ve  $\vec{T}_2$  olduğuna göre bu kuvvetlerin büyüklükleri kaç N dur? ( $\sin 37^\circ = 0,6$ ,  $\sin 53^\circ = 0,8$ )

- | $T_1$ | $T_2$ |
|-------|-------|
| A) 24 | 18    |
| B) 18 | 30    |
| C) 30 | 30    |
| D) 20 | 10    |
| E) 15 | 15    |

**Çözüm**



Sistem dengede olduğuna göre  $\vec{T}_1$  ve  $\vec{T}_2$  gerilme kuvvetlerinin bileşkesi, cismin ağırlığına eşit ve zıt yöndedir. Şekildeki taralı üçgende  $53^\circ$  nin sinüsü ve cosinüsü yazılırsa;

$$\sin 53^\circ = \frac{T_1}{P}$$

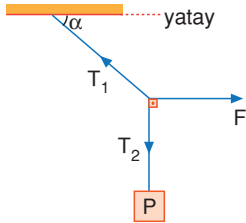
$$0,8 = \frac{T_1}{30} \text{ dan } T_1 = 24 \text{ N,}$$

$$\cos 53^\circ = \frac{T_2}{P}$$

$$0,6 = \frac{T_2}{30} \text{ dan } T_2 = 18 \text{ N bulunur.}$$

**YANIT A**

**Örnek**



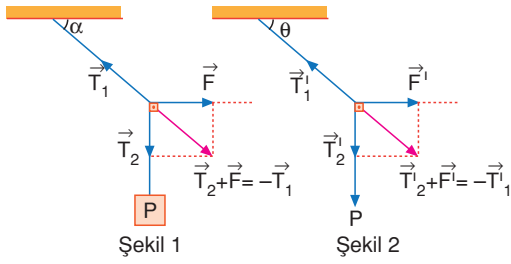
P ağırlıklı cisim, F büyüklüğündeki kuvvetle şekildeki gibi dengede olup iplerdeki gerilme kuvvetlerinin büyüklüğü  $T_1$  ve  $T_2$  dir.

**F kuvvetinin yönü değiştirilmeden büyüklüğü artırılıp sistem yeniden dengelenirse  $T_1$  ve  $T_2$  nasıl değişir?**

- | $T_1$     | $T_2$    |
|-----------|----------|
| A) Artar  | Artar    |
| B) Artar  | Değişmez |
| C) Azalır | Artar    |
| D) Artar  | Azalır   |
| E) Azalır | Değişmez |

## VEKTÖRLER VE KESİŞEN KUVVETLERİN DENGESİ

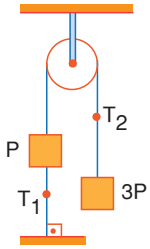
## Çözüm



Sistem Şekil 1'deki konumda dengede iken  $\vec{F}$  kuvvetinin yönü değiştirilmeden büyüklüğü artırılırsa sistemin yeni denge konumu Şekil 2'deki gibi olur. Şekil 2'de iplerdeki gerilme kuvvetlerinin büyüklüğü  $T_1'$  ve  $T_2'$ , kuvvet ise  $F'$  olsun. Her iki şekilde de cismin bağlı olduğu ipteki gerilme cismin ağırlığına eşit olduğundan  $T_2 = T_2'$  dür. Şekil 1'de  $\vec{T}_2$  ve  $\vec{F}$  kuvvetlerinin doğrultuları arasındaki açı  $90^\circ$  olup bileşkeleri  $\vec{T}_1$  ile Şekil 2'de  $\vec{T}_2'$  ve  $\vec{F}'$  kuvvetlerinin doğrultuları arasındaki açı da  $90^\circ$  olup bileşkeleri  $\vec{T}_1'$  ile eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür.  $T_2 = T_2'$  ve  $F' > F$  olduğundan  $T_1' > T_1$  dir. O halde  $T_1$  artar,  $T_2$  değişmez.

YANIT B

## Örnek



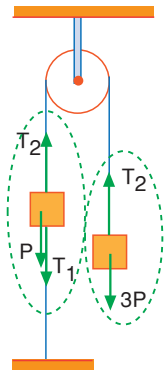
$3P$  ve  $P$  ağırlıklı cisimler şekildeki gibi dengede olup iplerdeki gerilme kuvvetleri  $T_1$  ve  $T_2$  dir.

Buna göre  $\frac{T_1}{T_2}$  oranı kaçtır?

(Sürtünmeler önemsenmiyor.)

- A)  $\frac{3}{2}$     B)  $\frac{2}{3}$     C) 1    D)  $\frac{5}{3}$     E)  $\frac{3}{5}$

## Çözüm



Cisimlere etkiyen kuvvetler şekilde gösterilmiştir. Cisimler dengede olduğundan her bir cisme etkiyen kuvvetlerin bileşkesi sıfırdır.

Buna göre,

$$T_2 = 3P, \quad T_2 = P + T_1 \text{ dir.}$$

Bu denklemlerden

$$T_1 = 2P \text{ bulunur.}$$

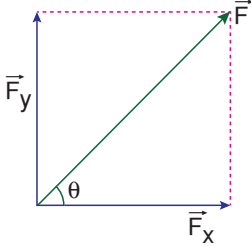
$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{2}{3}$$

YANIT B

## Etkinlik 1

Aşağıdaki yargılardan doğru olanların karşısına D, yanlış olanların karşısına Y yazınız.

1.  Kuvvet vektörel ve türetilmiş bir büyüklüktür.
2.  İki vektörün arasındaki açı  $90^\circ$  ise bileşkeleri en büyük değerdedir.
3.



Şekildeki  $\vec{F}$  vektörünün yatay bileşen:  $\vec{F}_x = F \cos\theta$  'dir.

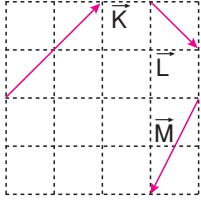
4.  Şekildeki  $\vec{F}$  vektörünün düşey bileşeninin büyüklüğü:  $F_y = F \cdot \sin\theta$  kadardır.
5.   $\vec{K}$  ve  $\vec{L}$  vektörleri için:  $\vec{K} - \vec{L} = \vec{L} - \vec{K}$  dir.

## Etkinlik 2

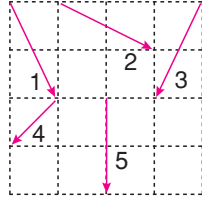
Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere uygun kelimeler yazarak doğru yargılar elde ediniz.

1. Aynı noktaya etki eden iki kuvvetin yönü zıt ise, bileşkeleri en ..... değerdedir.
2. Bir 6 N değeri ..... N büyüklükte ike kuvvetin ileşkisi 10 N büyüklükte ise kuvvetler arasındaki açı  $90^\circ$  dir.
3. Bir cisme etki eden kuvvetlerin bileşkisi ..... ise cisim dengededir.
4. İpteki gerilme kuvvetinin birimi ..... olup ..... aracı ile ölçülür.
5. Her biri 5 N şiddette iki kuvvetin arasındaki açı  $60^\circ$  ise, bileşke kuvvetin şiddeti ..... N'dur.
6. Bir cisim ..... ise, ya durmaktadır, ya da sabit hızla hareket etmektedir.

1.



Şekil I



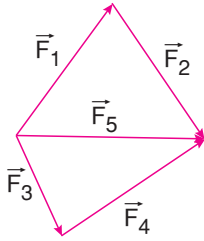
Şekil II

$\vec{K}$ ,  $\vec{L}$  ve  $\vec{M}$  vektörleri Şekil I'de verilmiştir.

$\vec{K} + \vec{L} + \vec{M} = \vec{R}$  vektörü Şekil II'dekilerden hangisine eşittir?

- A) 1    B) 2    C) 3    D) 4    E) 5

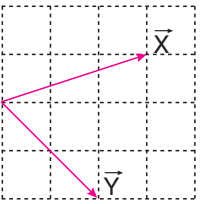
2.



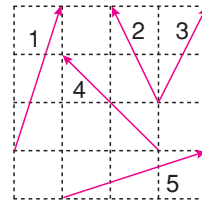
Şekildeki  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ ,  $\vec{F}_3$ ,  $\vec{F}_4$  ve  $\vec{F}_5$  kuvvetlerinin bileşkesi aşağıdakilerden hangisine eşittir?

- A) 0    B)  $\vec{F}_5$     C)  $-\vec{F}_5$     D)  $2\vec{F}_5$     E)  $3\vec{F}_5$

3.



Şekil I



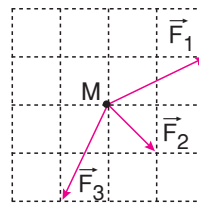
Şekil II

$\vec{X}$  ve  $\vec{Y}$  vektörleri Şekil I'de verilmiştir.

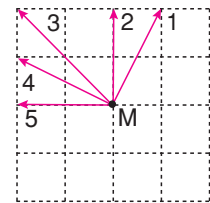
Buna göre,  $\vec{X} - \vec{Y}$  vektörleri Şekil II'dekilerden hangisidir?

- A) 1    B) 2    C) 3    D) 4    E) 5

4.



Şekil I



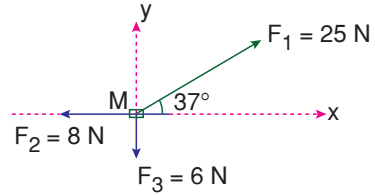
Şekil II

M noktasal cisimi  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ ,  $\vec{F}_3$  ve  $\vec{F}_4$  kuvvetleri etkisinde dengededir.

$\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  ve  $\vec{F}_3$  kuvvetleri Şekil I'de verildiğine göre,  $\vec{F}_4$  Şekil II'dekilerden hangisidir?

- A) 1    B) 2    C) 3    D) 4    E) 5

5.

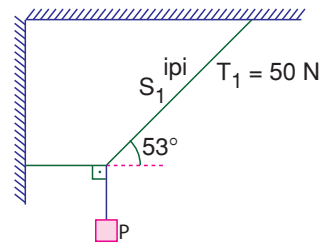


M noktasal cisimine şekildeki üç kuvvet etki ediyor.

Bu kuvvetlerin bileşkesi kaç newton büyüklüktedir? ( $\sin 37^\circ = 0,6$  ;  $\cos 37^\circ = 0,8$ )

- A) 6    B) 8    C) 10    D) 12    E) 15

6.



P cismi şekildeki gibi dengededir.

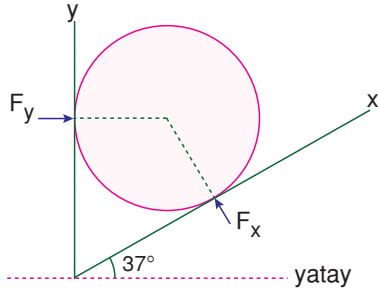
$S_1$  ipindeki gerilme kuvveti 50 N olduğuna göre, P cisminin ağırlığı kaç N'dur?

( $\sin 53^\circ = 0,8$  ;  $\cos 53^\circ = 0,6$ )

- A) 20    B) 30    C) 40    D) 50    E) 80



7.

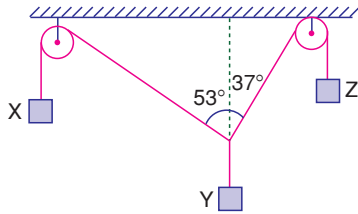


Ağırlığı 120 N olan türdeş bir küre x ve y düzlemleri arasında şekildeki gibi dengede duruyor.

**Sürtünmeler önemsiz olduğuna göre, y düzleminin küreye uyguladığı  $\vec{F}_y$  kuvveti kaç newton büyüklüktedir?** ( $\tan 53^\circ = \frac{4}{3}$ )

- A) 45      B) 60      C) 75      D) 90      E) 120

8.

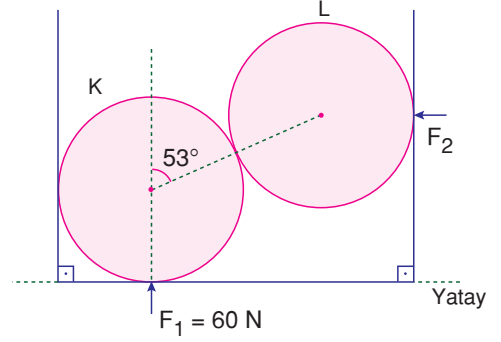


Şekildeki sürtünmesiz sistemde iplerin ucuna asılı X, Y ve Z cisimleri dengededir?

**Cisimlerin ağırlıkları  $P_x$ ,  $P_y$  ve  $P_z$  arasındaki ilişki aşağıdakilerden hangisidir?**

- A)  $P_x < P_z < P_y$       B)  $P_z < P_x < P_y$   
 C)  $P_y < P_x < P_z$       D)  $P_z < P_y < P_x$   
 E)  $P_y < P_z < P_x$

9.



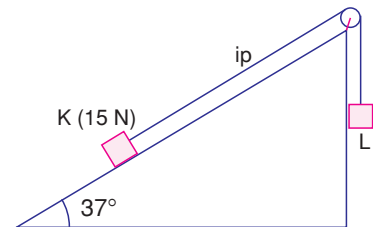
Türdeş ve özdeş iki küre, yüzeyleri sürtünmesiz bir kutu içinde şekildeki gibi dengededir.

**Kutunun tabanı K küresine  $F_1 = 60$  N'luk kuvvet uyguladığına göre, yan yüzeyinin L küresine uyguladığı  $F_2$  kuvveti kaç newton büyüklüktedir?**

( $\sin 37^\circ = 0,6$  ;  $\cos 37^\circ = 0,8$ )

- A) 30      B) 40      C) 50      D) 60      E) 80

10.



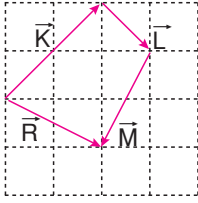
Sürtünmesiz eğik düzlem üzerinde şekildeki gibi dengede duran K cisminin ağırlığı 15 N'dur.

**Buna göre, L cisminin ağırlığı kaç N'dur?**

( $\sin 37^\circ = 0,6$ )

- A) 25      B) 20      C) 15      D) 12      E) 9

1.



Vektörleri uç uca ekleyerek bileşkesi ( $\vec{R}$ ) bulabiliriz.

$$\vec{R} = \vec{K} + \vec{L} + \vec{M}$$

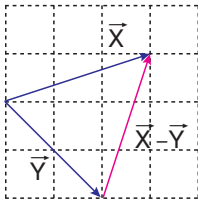
YANIT B

2.  $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{F}_5$  ve  $\vec{F}_3 + \vec{F}_4 = \vec{F}_5$ 

olduğuna göre, beş kuvvetin bileşkesi  $3\vec{F}_5$  olur.

YANIT E

3.



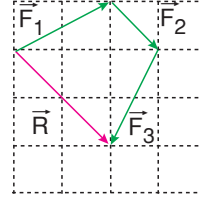
$\vec{X} - \vec{Y} = \vec{Z}$  olsun. Bu durumda

$$\vec{X} = \vec{Y} + \vec{Z}$$

$\vec{X}$  ve  $\vec{Y}$  vektörlerinin başlangıç noktaları aynı yerde ise,  $\vec{Y}$  nin sonundan  $\vec{X}$  in sonuna doğru çizilen vektör  $\vec{Z}$ 'yi verir.

YANIT A

4.

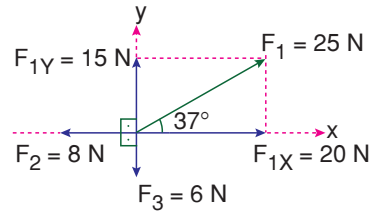


Cisme etki eden  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  ve  $\vec{F}_3$  kuvvetlerinin bileşkesi şekildeki  $\vec{R}$  kuvvetidir. Cismin dengede kalması için, cisme  $-\vec{R}$  kuvveti de uygulanmalıdır.

O halde  $\vec{F}_4$  kuvveti 3 numaralı vektöre eşittir.

YANIT C

5.



$F_1 = 25$  N'luk kuvvetin yatay ve dikey bileşenleri:

$$F_{1X} = F_1 \cos 37^\circ = 25 \cdot 0,8 = 20 \text{ N}$$

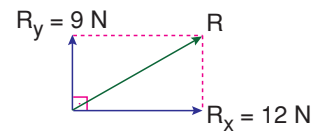
$$F_{1Y} = F_1 \sin 37^\circ = 25 \cdot 0,6 = 15 \text{ N}$$

Böylece cisme etki eden 4 kuvvet elde edilir. Yatay kuvvetlerin bileşkesi:

$$R_x = F_{1X} - F_2 = 20 - 8 = 12 \text{ N olur.}$$

Düsey kuvvetlerin bileşkesi:

$$R_y = F_{1Y} - F_3 = 15 - 6 = 9 \text{ N olur.}$$



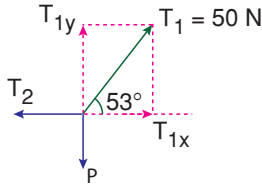
$$\text{Bileşke kuvvet: } R^2 = R_x^2 + R_y^2$$

$$R^2 = 144 + 81 = 225$$

$$R = 15 \text{ N bulunur.}$$

YANIT E

6.



İplerin birbirine düğümlendiği noktaya  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $P$  kuvvetleri etki ediyor.

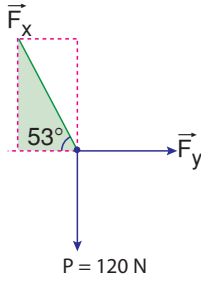
$T_1$ 'in yatay bileşeni  $T_2$ 'yi düşen bileşeni ise  $P$ 'yi dengeliyor.

$$O \text{ halde : } P = T_{1Y} = T_1 \cdot \sin 53^\circ$$

$$P = 50 \cdot 0,8 = 40 \text{ N bulunur.}$$

YANIT C

7.



X düzleminin küreye uygulandığı  $F_X$  kuvvetinin yatay bileşeni  $F_Y$  yi, düşey bileşeni de  $P = 120$  N'luk ağırlığı dengeliyor.

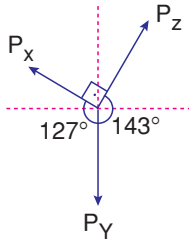
Taralı dik üçgende:

$$\tan 53 = \frac{P}{F_Y} = \frac{4}{3}$$

$$\frac{120}{F_Y} = \frac{4}{3} \Rightarrow F_Y = 90 \text{ N}$$

YANIT D

8.



İplerin birbirini kestiği nokta dengededir. Bu noktayı çeken  $P_X$ ,  $P_Y$  ve  $P_Z$  kuvvetlerine Lami Teoremi'ni uygulayalım.

$$\frac{P_X}{\sin 143^\circ} = \frac{P_Y}{\sin 90^\circ} = \frac{P_Z}{\sin 127^\circ}$$

$\sin 90^\circ > \sin 127^\circ > \sin 143^\circ$  olduğundan,

$P_Y > P_Z > P_X$  olur.

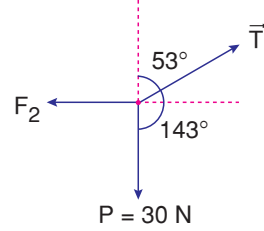
YANIT A

9.

$F_1 = 60$  N'luk kuvvet iki kürenin toplam ağırlığını dengeleyen kuvvet olduğundan her kürenin ağırlığı  $P = 30$  N olmalıdır.

Küreler birbirini  $\vec{T}$  kuvveti ile itsin.

Kürelere etki eden kuvvetler şekildedir.



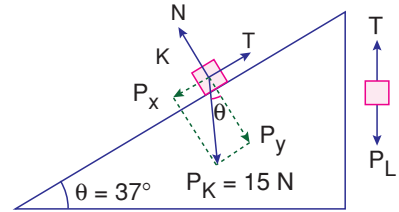
$\vec{T}$  nin yatay bileşeni  $F_2$  ye, düşey bileşeni de  $P$ 'ye eşittir.

$$\tan 53^\circ = \frac{F_2}{P} \Rightarrow \frac{4}{3} = \frac{F_2}{30}$$

$$F_2 = 40 \text{ N bulunur.}$$

YANIT B

10.



K cisminin ağırlığının eğik düzleme paralel bileşeni ipteki gerilmeyi dengeliyor.

$$P_X = P_K \cdot \sin \theta = 15 \cdot 0,6 = 9 \text{ N}$$

$P_X = T = 9$  N olduğuna göre, ipin diğer ucuna asılı L cisminin ağırlığı da 9 N olmalıdır.

YANIT E

$$E=mc^2$$

# FİZİK

## YKS - AYT



### ***TORK VE KATILARIN DENGESİ***

- TORK (Moment)
- Paralel Kuvvetlerin Bileşkesi
- Denge

## AKILLI HARİTAM

### TORK VE KATILARIN DENGESİ

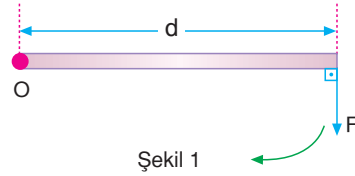
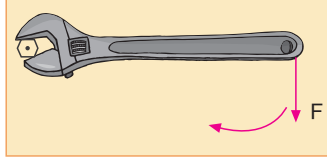
Denge

Tork (Moment)

Paralel Kuvvetlerin  
Bileşkesi



## TORK (Moment)

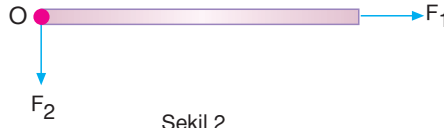


Şekil 1

O noktası etrafında dönebilen  $d$  uzunluklu bir çubuğa  $F$  büyüklüğündeki kuvvet Şekil 1'deki gibi uygulanmış olsun. Çubuk bu kuvvetin etkisinde ok yönünde döner. Kuvvetin O noktasına göre torkunun büyüklüğü;

$$\tau = F \cdot d \text{ bağıntısıyla bulunur.}$$

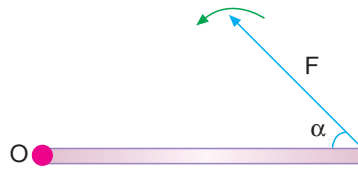
Dönme noktasının kuvvete uzaklığına kuvvet kolu denildiğinden bu bağıntı;  
Tork = Kuvvet x kuvvet kolu diye de ifade edilebilir.



Şekil 2

O noktası etrafında dönebilen çubuğa Şekil 2'deki  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetleri uygulanmış olsun. O noktasının  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetlerine uzaklığı sıfır ( $d = 0$ ) olduğundan bu kuvvetlerin O noktasına göre momentleri yani torkları sıfırdır.  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetleri, çubuğu O noktası etrafında döndüremez.

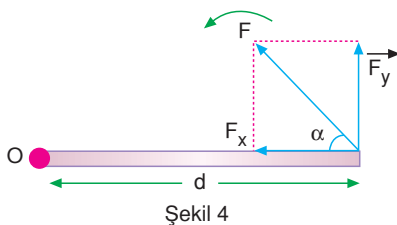
O halde bir kuvvetin kendisi ya da uzantısı dönme noktasından geçiyorsa torku sıfır olur.



Şekil 3

$F$  kuvveti, O noktası etrafında dönebilen çubuğa, Şekil 3'teki gibi uygulanıyorsa, çubuk ok yönünde döner. Bu kuvvetin O noktasına göre torku iki ayrı yoldan bulunur.

## 1. Yol :



Şekil 4

F kuvveti, Şekil 4'teki gibi biri çubuk doğrultusunda diğeri çubuğa dik olan iki bileşene ayrılır. Bu bileşenlerin O noktasına göre torklarının toplamı, F kuvvetinin O noktasına göre torkuna eşittir.

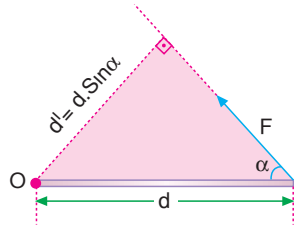
$$\left(\vec{\tau}_F\right)_O = \left(\vec{\tau}_{F_x}\right)_O + \left(\vec{\tau}_{F_y}\right)_O \text{ dur.}$$

$F_x$  bileşeninin O noktasına göre torku sıfırdır. Bu durumda F kuvvetinin O noktasına göre torkunun büyüklüğü;  $\tau = F_y \cdot d$  yazılır.

$F_y = F \cdot \sin\alpha$  olduğundan;

$$\tau = F \cdot d \cdot \sin\alpha \text{ olur.}$$

2. Yol :



Şekil 5

O noktasından çubuğun etki çizgisine dik inilerek, O noktasının F kuvvetine  $d'$  uzaklığı bulunur. F kuvvetinin O noktasına göre momenti yani torku;

$$\tau = F \cdot d' \text{ olur.}$$

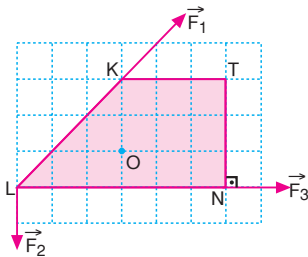
Taralı üçgenden  $d' = d \cdot \sin\alpha$  bulunur. Buna göre;  $\tau = F \cdot d \cdot \sin\alpha$  olur.

### Birimler

Kuvvet (F)	Uzaklık (d)	Tork (M ya da $\tau$ )
N	m	N.m

tablodaki gibidir.

### Örnek



Düzgün ve türdeş bir levhanın K, L, N köşelerine uygulanan aynı büyüklükteki  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  ve  $\vec{F}_3$  kuvvetlerinin O noktasına göre torklarının büyüklükleri sırasıyla  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  tür.

**Buna göre  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ,  $\tau_3$  arasında nasıl bir ilişki vardır?**  
(Bölmeler eşit aralıktır.)

A)  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$

B)  $\tau_2 = \tau_3 > \tau_1$

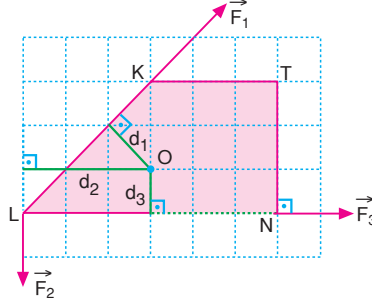
C)  $\tau_3 > \tau_2 > \tau_1$

D)  $\tau_2 > \tau_3 > \tau_1$

E)  $\tau_2 > \tau_1 > \tau_3$

## Çözüm

Bir kuvvetin bir noktaya göre torku;  $\tau = F \cdot d$  olup  $F$ ; kuvvetin büyüklüğü,  $d$ ; noktanın kuvvete uzaklığıdır.

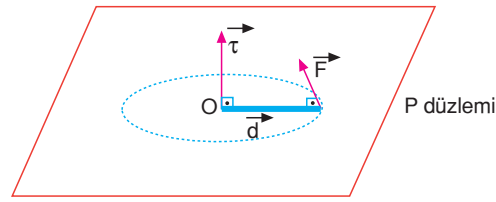


O noktasının  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ ,  $\vec{F}_3$  kuvvetlerine  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  uzaklıkları şekilde gösterilmiş olup  $d_2 > d_1 > d_3$  tür.

Kuvvetlerin büyüklükleri aynı olduğundan torklar, noktanın kuvvetlere uzaklıkları ile doğru orantılıdır. O halde  $\tau_2 > \tau_1 > \tau_3$  tür.

YANIT E

## TORK VEKTÖRÜNÜN YÖNÜ



Şekil 1

P yatay düzleminde bulunan ve O noktası etrafında dönebilen çubuğa, yatay  $\vec{F}$  kuvveti Şekil 1'deki gibi uygulanmıştır. Bu kuvvetin O noktasına göre tork vektörü; Şekil 1'de gösterilen  $\vec{d}$  konum vektörü ile  $\vec{F}$  kuvvetinin vektörel çarpımına eşittir.

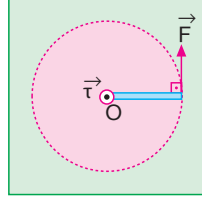
$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F} \text{ dir.}$$

Tork vektörünün yönü sağ el kuralı ile bulunur.

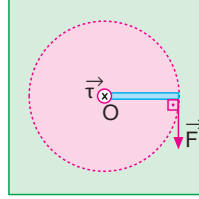


**Sağ el kuralı:** Düz tutulan sağ elin avuç içi tork merkezine dönük, dört parmak kuvvetin yönünü gösterirse yana açılan baş parmak tork vektörünün yönünü gösterir.

Buna göre çubuğa uygulanan  $\vec{F}$  kuvvetinin O noktasına göre tork vektörü Şekil 1'deki gibidir.



Şekil 2



Şekil 3

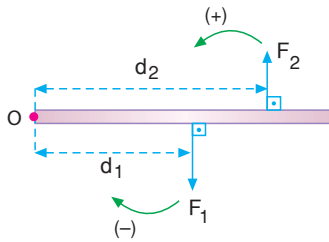
Sayfa düzleminde bulunan ve O noktası etrafında dönebilen çubuğa, sayfa düzlemindeki  $\vec{F}$  kuvvetleri Şekil 2 ve Şekil 3'teki gibi uygulanıyor. Tork vektörünün yönü; Şekil 2'de sayfa düzlemine dik dışa doğru (⊙), Şekil 3'te sayfa düzlemine dik içe doğru (⊗) dur.

**UYARI**

**Torkun yönü ile cismin dönme yönü aynı değildir. Tork vektörü hem  $\vec{d}$  ye, hem de  $\vec{F}$  ye diktir. Dolayısıyla  $\vec{F}$  ve  $\vec{d}$  nin bulunduğu düzleme de diktir.**

**BİLEŞKE TORK**

Bir cisme etki eden birden fazla kuvvetin, belli bir eksene ya da bir noktaya göre bileşke (toplam) torku bulunurken tork vektörünün yönü yerine cismin dönme yönü dikkate alınır. Bu nedenle önce kuvvetlerin döndürme yönleri belirlenir. Toplam tork, kuvvetlerin torklarının cebirsel toplamına eşit olur.



Örneğin şekildeki O noktası etrafında dönebilen çubuğa uygulanan  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetlerinin O noktasına göre torkları sırasıyla  $\tau_1$  ve  $\tau_2$  olsun. Kuvvetlerin çubuğu döndürme yönleri, dönme noktası göz önüne alınarak çubuk kuvvet yönünde çekilerek bulunur.  $\tau_1$  torku, çubuğu saat yönünde döndürürken  $\tau_2$  torku da saat yönünün tersine dönme sağlar. Bir cisme aynı düzlemde etkiyen kuvvetlerin oluşturduğu torkların toplamını bulmak için, cismi saat yönünde döndüren kuvvetlerin torkları negatif (-), saate zıt yönde döndüren kuvvetlerin torkları ise pozitif (+) kabul edilebilir. Veya bunun tam tersi de kullanılabilir.

Bu torklar cebirsel olarak toplanırsa toplam tork bulunmuş olur.

O halde;

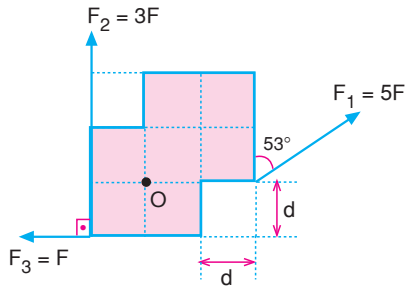
$$\tau_1 = - F_1 \cdot d_1 \quad \text{ve} \quad \tau_2 = + F_2 \cdot d_2$$

olarak yazılır. Toplam tork ise

$$\Sigma \tau = - F_1 d_1 + F_2 d_2 \quad \text{olur.}$$

Sonuç pozitif çıkarsa, sistem seçilen pozitif yönde, negatif çıkarsa seçilen negatif yönde dönüyor demektir. Eğer sonuç sıfır çıkarsa cisim ya dönmüyor ya da sabit hızla dönüyordur.

## Örnek



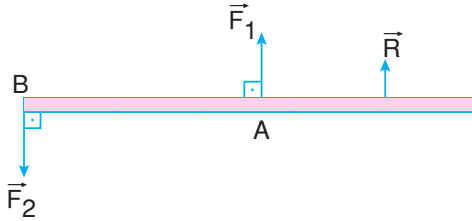
O noktası etrafında dönebilen levhaya şekildeki gibi uygulanan  $F_1 = 5F$ ,  $F_2 = 3F$ ,  $F_3 = F$  kuvvetleri levha düzlemindedir.

**Buna göre bu kuvvetlerin O noktasına göre toplam torkunun büyüklüğü nedir?**

(Bölmelerin herbiri d kadar olup  $\sin 53^\circ = 0,8$ ,  $\cos 53^\circ = 0,6$  dir.)

- A)  $Fd$       B)  $2Fd$       C)  $3Fd$       D)  $4Fd$       E)  $5Fd$

## Çözüm



$F_1$  kuvveti, şekildeki gibi yatay ve düşey bileşenlerine ayrılırsa  $F_{1x}$  yatay bileşeninin uzantısı O noktasından geçtiğinden O noktasına göre torku sıfır olur,  $F_{1y}$  düşey bileşeni de,

$$F_{1y} = F_1 \cdot \cos 53^\circ \text{ ten}$$

$$F_{1y} = 5F \cdot 0,6 = 3F \text{ bulunur.}$$

O noktasının  $F_{1y}$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  kuvvetlerine uzaklıkları sırasıyla  $2d$ ,  $d$ ,  $d$  olup levhayı O noktası etrafında döndürme yönleri şekilde gösterildiği gibidir.

Buna göre kuvvetlerin O noktasına göre bileşke torku,

$$\Sigma \tau_o = +F_{1y} \cdot 2d - F_2 \cdot d - F_3 \cdot d \text{ den}$$

$$\Sigma \tau_o = +3F \cdot 2d - 3F \cdot d - F \cdot d = +2Fd$$

bulunur.

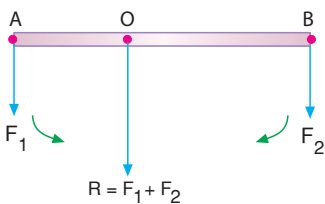
**YANIT B**

## PARALEL KUVVETLERİN BİLEŞKESİ

## 1. Aynı Yönlü Paralel Kuvvetlerin Bileşkesi:

Bir çubuğa şekildeki gibi A ve B noktalarından aynı yönlü birbirine paralel  $\vec{F}_1$  ve  $\vec{F}_2$  kuvvetleri etki etsin. Çubuğa etki eden bileşke kuvvetin büyüklüğü;

$$R = F_1 + F_2 \text{ olur.}$$



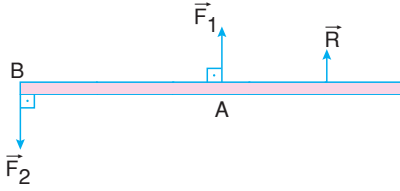
Bileşkenin uygulama noktası daima kuvvetler arasında ve büyük olan kuvvete daha yakındır. Bileşke kuvvetin uygulama noktasına göre kuvvetlerin torklarının toplamı sıfırdır. Yani (+) yöndeki tork, (-) yöndeki torkla eşit büyüklüktedir.

$$(\vec{\tau}_R)_O = (\vec{\tau}_{F_1})_O + (\vec{\tau}_{F_2})_O = 0$$

$$F_1 \cdot |AO| = F_2 \cdot |BO| \text{ olur.}$$

2. Zıt Yönlü Paralel Kuvvetlerin Bileşkesi:

Bir çubuğa, şekildeki gibi A ve B noktalarından birbirine paralel ve zıt yönlü  $\vec{F}_1$  ve  $\vec{F}_2$  kuvvetleri etki etsin ve  $\vec{F}_1$  kuvvetinin büyüklüğü,  $\vec{F}_2$ 'ninkinden büyük olsun. Çubuğa etki eden bileşke kuvvetin büyüklüğü  $R = F_1 - F_2$  olur.

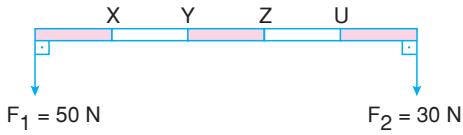


Bileşkenin uygulama noktası kuvvetlerin dışında, büyük olan kuvvet tarafındadır. Bileşke kuvvetin uygulama noktasına göre kuvvetlerin torklarının toplamı sıfır olur. Yani (+) yöndeki tork, (-) yöndeki torkla eşit büyüklüktedir.

$$(\vec{\tau}_R)_O = (\vec{\tau}_{F_1})_O + (\vec{\tau}_{F_2})_O = 0$$

$$F_1 \cdot |AO| = F_2 \cdot |BO| \text{ olur.}$$

Örnek

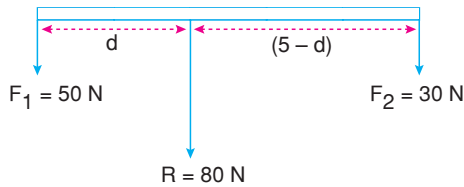


Şekildeki eşik bölmeli çubuğa paralel ve aynı yönlü,  $F_1 = 50 \text{ N}$  ve  $F_2 = 30 \text{ N}$  büyüklükte iki kuvvet etki ediyor.

**Bileşke kuvvetin etki noktası neresidir?**

- A) X – Y arası    B) Y noktası    C) Y – Z arası    D) Z noktası    E) Z – U arası

Çözüm



Çubuğun her bölmesinin 1 metre olduğunu varsayalım. Bileşke kuvvetin  $F_1$  kuvvetine uzaklığına  $d$  dersek  $F_2$ 'ye uzaklığı  $(5 - d)$  olur.

Bileşkenin etki noktasına göre  $F_1$  ve  $F_2$  kuvvetlerinin torkları eşit büyüklüktedir.

$$50 \cdot d = 30 \cdot (5 - d) \Rightarrow 80 d = 150$$

$d = \frac{15}{8}$  olur. O halde bileşkenin etki noktası X – Y arasındadır.

**YANIT A**

## KATI CİSİMLERİN DENGESİ VE DENGE KOŞULLARI

Bir katı cisme etkiyen net kuvvet sıfır ise durmakta olan bir cisim durmaya devam eder, cismin bir hızı varsa cisim bu hızla bir doğru boyunca yoluna devam eder. Bir cisme etkiyen net tork (toplam moment) sıfır ise cisim durur ya da sabit hızla döner.

Bir katı cismin durmasına ya da bir doğru boyunca sabit hızla hareket yapmasına ya da sabit hızla dönmesine “denge hali” denir.

Bir cismin dengede olabilmesi için aşağıdaki iki koşulun gerçekleşmesi gerekir.

**1. koşul:** Cisme etki eden bütün kuvvetlerin bileşkesi sıfır olmalıdır.

$$\sum \vec{F} = 0 \text{ dır.}$$

Kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olması demek, kuvvetlerin x ve y eksenleri üzerindeki bileşenlerinin de bileşkelerinin sıfır olması demektir.

O halde;

$$\sum \vec{F}_x = 0 \quad \sum \vec{F}_y = 0 \text{ yazılabilir.}$$

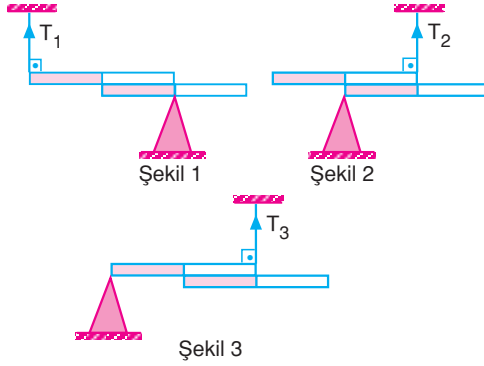
Bu koşul sağlandığında cismin hızının yönü ve büyüklüğü değişmez. Yani cisim ya durur ya da sabit hızla doğrusal yörüngede hareket eder.

**2. koşul:** Cisme etki eden kuvvetlerin herhangi bir noktaya ya da bir eksene göre momentlerinin (torklarının) toplamı sıfır olmalıdır.

$$\sum \vec{\tau} = 0 \text{ dır.}$$

Bu koşul sağlandığında da cisim ya duracak ya da sabit hızla dönmesine devam edecektir.

## Örnek



Eşit bölmeli, düzgün, türdeş ve özdeş çubuklar yapıştırılıp destek ve ip yardımıyla Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3'teki gibi dengeleniyor. İplerdeki gerilme kuvvetleri sırasıyla  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  oluyor.

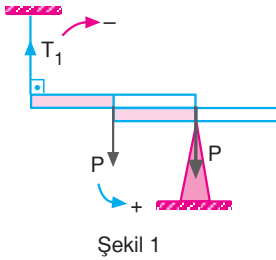
Buna göre  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  arasında nasıl bir ilişki vardır?

- A)  $T_1 = T_2 = T_3$       B)  $T_2 > T_1 = T_3$       C)  $T_1 > T_2 > T_3$       D)  $T_3 > T_1 = T_2$       E)  $T_3 > T_2 > T_1$

## Çözüm

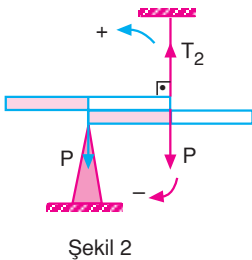
Çubuklar, her konumda dengede olduğuna göre çubuğa etkiyen kuvvetlerin herhangi bir noktaya göre toplam momenti yani toplam torku sıfırdır. Her bir çubuğun ağırlığı  $P$  olsun. Düzgün ve türdeş çubukların tüm ağırlıklarının orta noktalarında toplandığı kabul edilir.

Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'teki konumlarda çubuğa etkiyen kuvvetlerin desteğin bulunduğu noktaya göre bileşke torku sıfır olur.



$$-T_1 \cdot 2 + P \cdot 1 = 0 \text{ dan}$$

$$T_1 = \frac{P}{2}$$









$$+T_2 \cdot 1 - P \cdot 1 = 0 \text{ dan}$$

$$T_2 = P$$



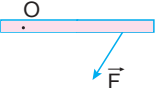
## Etkinlik 3

Aşağıdaki yargılardan doğru olanların yanına D, Yanlış olanların yanına Y yazınız.

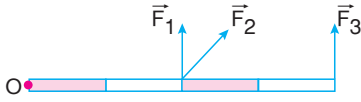
1.  Bir kuvvetin döndürme etkisine tork adı verilir.
2.  Bir kuvvetin dönme eksenine dik uzaklığı arttıkça, kuvvetin torku artar.
3.  Tork skalar bir büyüklüktür.
4.  Bir cismin dengede kalması için cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesinin torku sıfır olmalıdır.
5.  Tork birimi  $\frac{\text{kilogram}}{\text{metre}}$  dir.
6.  Tork vektörünün yönü, kuvvet vektörünün yönü ile aynıdır.

## Etkinlik 4

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere uygun kelimeler yazarak, doğru yargılar elde ediniz.

1. Kuvvet kolu ile ..... çarpımına tork denir.
2. Bir kuvvetin doğrultusu dönme ekseninden geçiyorsa, kuvvetin torku .....dır.
3. Torkun birimi ..... dir.
4. Bir cisme etki eden kuvvetlerin torklarının bileşkesi sıfırdan büyükse cisim .....
5.  O noktasından geçen sayfa düzlemine dik eksen çevresinde dönebilen çubuğa etki eden  $\vec{F}$  kuvvetinin torkunun yönü sayfa düzlemine dik ve ..... yöndedir.

1.

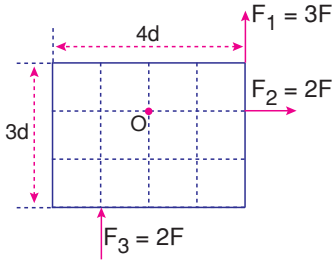


O noktasından geçen sayfa düzlemine dik eksen çevresinde dönebilen eşit bölmeli çubuğa, eşit büyüklükteki  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  ve  $\vec{F}_3$  kuvvetleri etki ediyor.

**Bu kuvvetlerin O dönme eksenine göre torkları  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ , ve  $\tau_3$  olduğuna göre, aşağıdakilerden hangisi doğrudur?**

- A)  $\tau_1 = \tau_2 = \tau_3$       B)  $\tau_1 = \tau_2 < \tau_3$   
 C)  $\tau_2 < \tau_1 < \tau_3$       D)  $\tau_3 < \tau_1 < \tau_2$   
 E)  $\tau_2 < \tau_1 = \tau_3$

2.

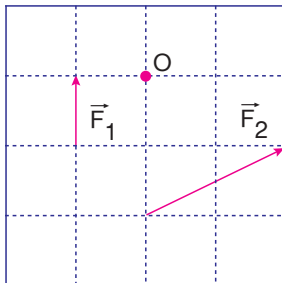


Her bölgesi d uzunluktaki şekildeki dikdörtgen, O noktasından geçen düzlemine dik eksen çevresinde dönebiliyor.

**Dikdörtgene etki eden kuvvetlerin O'dan geçen eksene göre bileşke torku kaç d.F büyüklüktedir?**

- A) 0      B) 1      C) 2      D) 4      E) 6

3.

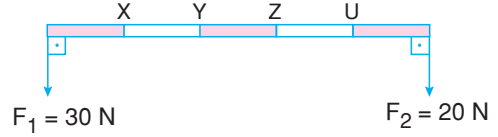


Şekildeki  $\vec{F}_1$  kuvvetinin O noktasından geçen dik eksene göre torku  $\vec{\tau}$  dur.

**Buna göre,  $\vec{F}_2$  kuvvetinin aynı eksene göre torku kaç  $\vec{\tau}$  dur?**

- A) -1      B) -2      C) -4      D)  $-\sqrt{5}$       E) -6

4.

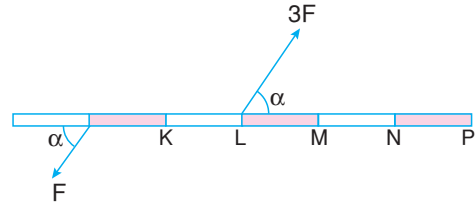


Şekildeki eşit bölmeli çubuğa, paralel  $F_1 = 30$  N,  $F_2 = 20$  N'luk iki kuvvet etki ediyor.

**Bileşke kuvvetin etki noktası neresidir?**

- A) X noktası      B) Y noktası      C) Y - Z arası  
 D) Z noktası      E) U noktası

5.

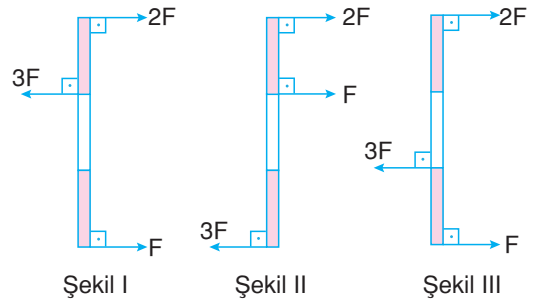


Eşit bölmeli çubuğa şekildeki gibi zıt yönlü 3F ve F büyüklükte iki kuvvet etki ediyor.

**Bileşke kuvvetin etki noktası neresidir?**

- A) K - L ortası      B) M noktası      C) M - N arası  
 D) N noktası      E) P noktası

6.



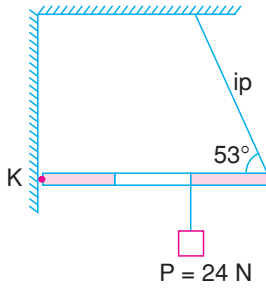
Eşit bölmeli çubuklara Şekil I, II ve III'deki gibi paralel kuvvetler etki ediyor.

**Çubuklardan hangileri dengede kalır?**

- A) Yalnız I      B) Yalnız II      C) Yalnız III  
 D) I ve II      E) II ve III



7.

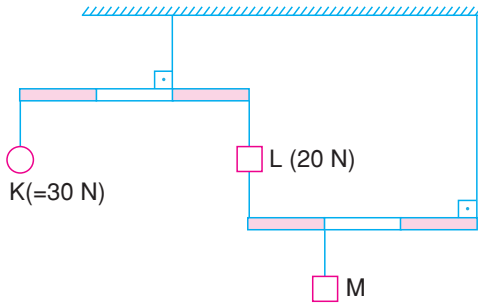


K noktasındaki menteşe çevresinde döneabilen, şekildeki ağırlığı önemsiz, yatay eşit bölmeli çubuğa asılı 24 N'luk yük dengede duruyor.

**Buna göre, ipteki gerilme kuvveti kaç newtondur?** ( $\sin 53^\circ = 0,8$ )

- A) 8      B) 10      C) 12      D) 20      E) 36

8.

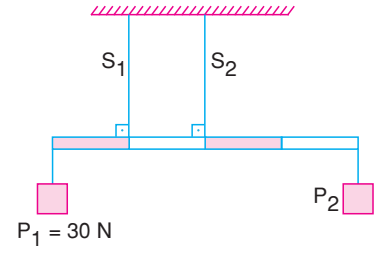


İplere asılı, ağırlığı önemsiz, eşit bölmeli yatay çubuklar şekildeki gibi dengededir.

**K ve L cisimlerinin ağırlıkları sırasıyla 30 N, 20 N olduğuna göre, M'nin ağırlığı kaç newton'dur?**

- A) 0      B) 60      C) 40      D) 20      E) 10

9.



Ağırlığı önemsiz, eşit bölmeli çubuk  $S_1$  ve  $S_2$  iplerine asılı yatay dengededir.

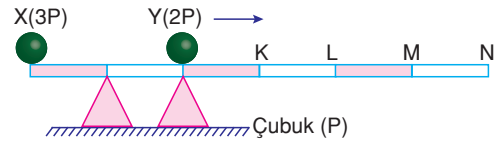
**$P_1$  cisminin ağırlığı 30 N olduğuna göre,  $P_2$ 'nin ağırlığı,**

- I. 5 N  
II. 10 N  
III. 40 N

**değerlerinden hangileri olamaz?**

- A) Yalnız I      B) Yalnız II      C) Yalnız III  
D) I ve II      E) I ve III

10.

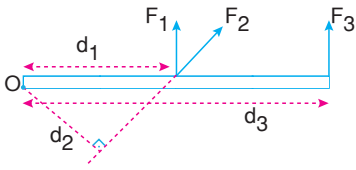


Şekildeki eşit bölmeli, iki destek üzerine konulmuş, türdeş çubuğun ağırlığı P, X ve Y toplarının ağırlıkları 3P, 2P'dir.

**Y topu ok yönünde yuvarlanmaya başlarsa, hangi noktayı geçince, çubuğun yatay dengesi bozulur?**

- A) K - L arası      B) L noktası      C) L - M arası  
D) M noktası      E) M - N arası

1.



Tork kuvvet ile kuvvet kolunun (d) çarpımına eşittir:  
 $\tau = F \cdot d$  Şekilde görüldüğü gibi kuvvetlerin kuvvet kolları arasındaki ilişki  $d_2 < d_1 < d_3$  tür. Kuvvetlerin büyüklükleri eşit olduğundan;  $\tau_2 < \tau_1 < \tau_3$

YANIT C

2. O noktasından geçen  $F_2$  kuvvetinin torku sıfırdır.  $F_1$  kuvvetinin torku  $F_3$ 'ün torku ile zıt yöndedir.

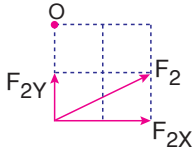
$$\tau_1 = 3F \cdot 2d = 6 F \cdot d$$

$$\tau_2 = 2F \cdot d$$

$$\text{Bileşke tork: } \tau = \tau_1 - \tau_2 = 4F \cdot d$$

YANIT D

3. Kesikli çizgilerin aralıkları d ve  $F_1$  kuvvetinin şiddeti F olsun.  $F_1$ 'in torku  $\tau = d \cdot F$



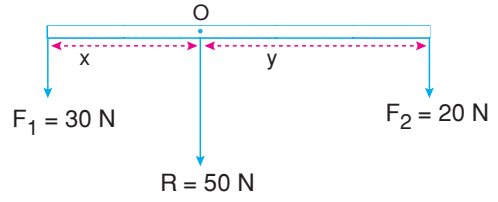
$F_2$  kuvvetinin yatay bileşeni  $2F$ , dikey bileşeni  $F$  büyüklükte olup, dikey bileşen O noktasından geçtiğinden torku sıfırdır.

$F_2$  nin torku, yatay bileşenin torkuna eşittir.

$\tau_2 = 2F \cdot 2d = 4Fd = 4\tau$  dur. Ancak  $F_1$ 'in O'ya göre döndürme yöne ile  $F_2$ 'nin döndürme yönü birbirine zıt olduğundan  $F_2$ 'nin torku  $-4\tau$  dur.

YANIT C

4.



Bileşkenin etki noktasına göre  $F_1$  ve  $F_2$  nin torkları eşit büyüklüktedir.

$$F_1 \cdot x = F_2 \cdot y$$

$$30 \cdot x = 20 \cdot y$$

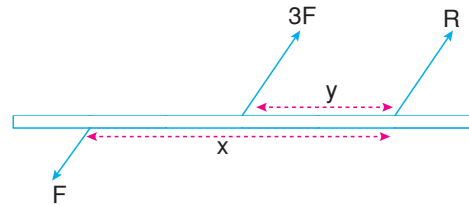
$x + y = 5$  bölme olduğundan

$x = 2$  bölme olur.

O halde bileşkenin etki noktası Y'dir.

YANIT B

5.



Zıt yönlü, paralel kuvvetlerin bileşkesi, büyük kuvvet dışında, büyük kuvvet yönündedir.

$$3F \cdot y = F \cdot x$$

$x = 3y$  olmalıdır.

F kuvvetinin M'ye uzaklığı  $3F$ 'nin M'ye uzaklığının 3 katı olduğundan, bileşkenin etki noktası M'dir.

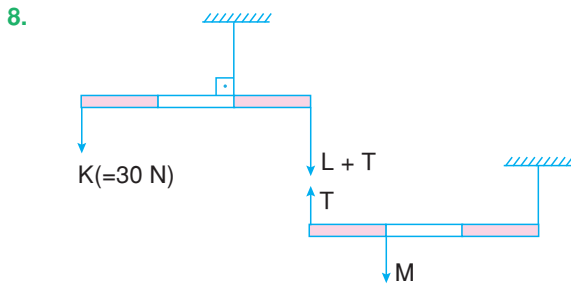
YANIT B

6. F ve 2F büyüklükteki kuvvetlerin bileşkesi 3F'dir. Bu bileşkenin etki noktası, yalnız Şekil l'de 3F kuvvetinin etki noktası ile aynıdır. Bu nedenle yalnız Şekil l'deki çubuk dengede durur.

YANIT A

7. İpteki gerilme kuvveti T olsun. Bu kuvvetin K'den geçen eksene göre torku 24 N'luk kuvvetin torku ile eşit büyüklüktedir. Çubuk 3 eşit bölmeli olduğundan  $T \cdot 3 \cdot \sin 53^\circ = 24 \cdot 2 \Rightarrow T \cdot 3 \cdot 0,8 = 24 \cdot 2$   
 $T = 20$  N bulunur.

YANIT D



L cismini aşağı çeken ipteki gerilme T olsun.

$$K \cdot 2 = L + T$$

$$30 \cdot 2 = 20 + T$$

$$T = 40 \text{ N}$$

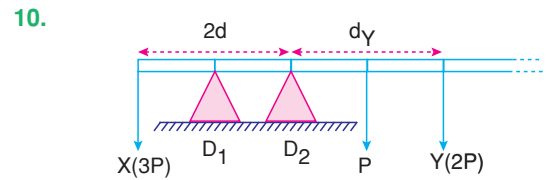
Altta çubuğa yukarı çeken T ile aşağı çeken M cisminin ağırlığının sağ uca göre torklarının denge-sini yazalım;

$$T \cdot 3 = M \cdot 2 \Rightarrow 40 \cdot 3 = M \cdot 2 \Rightarrow M = 60 \text{ N bulunur.}$$

YANIT B

9.  $P_2$  nin ağırlığı çok küçük olursa, çubuk  $S_1$  ipinucun-da, çok büyük olursa, çubuk  $S_2$  ipi ucunda döner.  $S_1$  ipi ucunda dengede kalması ( $S_2$  ipine düşen kuvvetin sıfır olması) için,  
 $P_2$  en az  $30 \cdot 1 = P_2 \cdot 3 \Rightarrow P_2 = 10$  N olmalıdır.  
 $S_2$  ipi ucunda dengede kalması ( $S_1$  ipine düşen kuvvetin sıfır olması) için,  
 $P_2$  en çok  $30 \cdot 2 = P_2 \cdot 2 \Rightarrow P_2 = 30$  N olmalıdır.  
 O halde  $P_2$  10 N ile 30 N ve arasındaki değerlerde olursa, çubuk yatay dengede kalır.  
 $P_2$ , 5 N ve 40 N olursa çubuğun dengesi bozulur.

YANIT E



Y cismi  $D_2$  desteğinden  $d_Y$  kadar uzağa geldiği anda,  $D_1$  desteğine düşen kuvvet sıfır olsun.  $D_2$  desteğine göre torkların dengesi (Çubuğun her bölmesi d olsun):

$$3P \cdot 2d = P \cdot d + 2P \cdot d_Y$$

$$d_Y = 2,5 d \text{ olur.}$$

O halde Y topu  $D_2$  desteğinden 2,5 bölmeden çok uzaklaştığı anda ( $L - M$  arasına geldiği anda) denge bozulur.

YANIT C

$E=mc^2$

# FİZİK

## YKS - AYT



### **AĞIRLIK MERKEZİ**

- Kütle ve Ağırlık Merkezi
- Birden Çok Cismin Ortak Kütle Merkezi
- Bir Bütünden Bir Parça Çıkarıldığında Kalan Cismin Ağırlık Merkezi
- Dik Koordinat Sistemiyle Ağırlık Merkezinin Bulunması
- Kararlı ve Kararsız Denge
- Pratik Bilgiler

## AKILLI HARİTAM

### AĞIRLIK MERKEZİ

Kütle ve Ağırlık Merkezi

Birden Çok Cismin Ortak Kütle Merkezi

Bir Bütünden Bir Parça Çıkarılığında Kalan Cismin Ağırlık Merkezi

Dik Koordinat Sistemiyle Ağırlık Merkezinin Bulunması

Kararlı ve Kararsız Denge

Pratik Bilgiler

## KÜTLE VE AĞIRLIK MERKEZİ

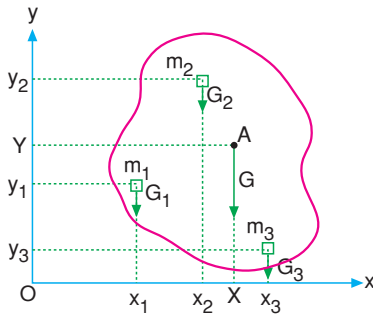
Birim kütleyle etki eden yerçekimi kuvvetine **yerin çekim alanı şiddeti** ya da **yerçekimi ivmesi** denir.  $\vec{g}$  ile gösterilir.

Bir cismin parçacıklarına etkiyen yerçekimi kuvvetlerinin bileşkesine ise **ağırlık** denir.  $\vec{G}$  ile gösterilir. Cismin kütlesi  $m$  ise ağırlığı;

$$\vec{G} = m\vec{g} \text{ bağıntısıyla bulunur.}$$

Ağırlık vektörel bir büyüklük olup birimleri kuvvet birimleri ile aynıdır. Çekim ivmesi Dünya'da, uzayda, gezegenlerde değiştiğinden cismin ağırlığı da değişir. Ağırlık, dinamometre ile ölçülür. Daima düşey ve aşağı yönlüdür.

Bir katı cismin ağırlık merkezini bulabilmek için bu cismin çok küçük parçalardan oluştuğunu düşünelim. Her bir parçaya etki eden yerçekimi kuvveti düşey ve aşağıya doğru olup bu kuvvetler paralel kabul edilebilir. Bu paralel kuvvetlerin bileşkesi cismin ağırlığı, bileşkenin uygulama noktası da **"ağırlık merkezi"** dir.



Şekil 1

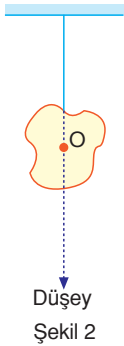
Ağırlık merkezinin koordinatları

$$X_{km} = \frac{\sum m \cdot x}{\sum m} = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

$$Y_{km} = \frac{\sum m \cdot y}{\sum m} = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3 + \dots}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots}$$

Kütle merkezi, bir cismin ya da sistemin tüm kütesinin toplandığı nokta olarak düşünülebilir.

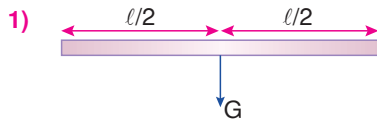
## UYARI



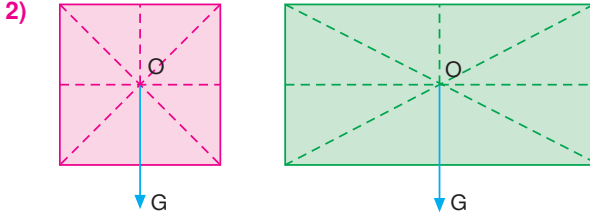
Bir katı cisim, herhangi bir noktasından asıldığında, asma noktasından geçen düşey doğru ağırlık merkezinden geçecek biçimde Şekil 2'deki gibi dengede kalır.

Düşey  
Şekil 2

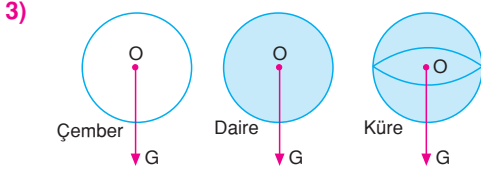
Bazı düzgün ve türdeş katı cisimlerin ağırlık merkezleri:



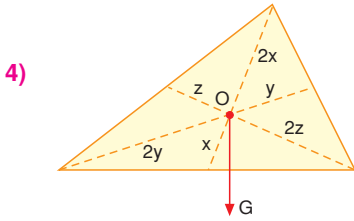
Homojen tel ya da çubukların ağırlık merkezleri tam orta noktalarıdır.



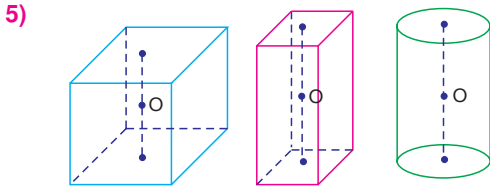
Kare ve dikdörtgen biçimindeki homojen çerçevelerin ve homojen levhaların ağırlık merkezleri köşegenlerinin ya da simetri eksenlerinin kesim noktalarıdır.



Homojen çemberin, homojen dairesel levhanın ve homojen kürenin ağırlık merkezi, kendi merkezleridir.



Homojen üçgen levhanın ağırlık merkezi kenar ortayların kesim noktasıdır. Bu nokta kenardan  $\frac{1}{3}$ , köşeden  $\frac{2}{3}$  oranında uzaktadır.



Homojen küp, homojen dikdörtgenler prizması ve homojen silindirin ağırlık merkezi alt ve üst tabanlarının orta noktalarını birleştiren doğrunun orta noktasıdır.

**UYARI**

★ Aynı maddeden yapılmış, eşit kalınlıktaki tel ya da çubukların ağırlıkları uzunlukları ile, aynı kalınlıktaki levhaların ağırlıkları alanları ile, içi dolu cisimlerin ağırlıkları hacimleri ile doğru orantılıdır.

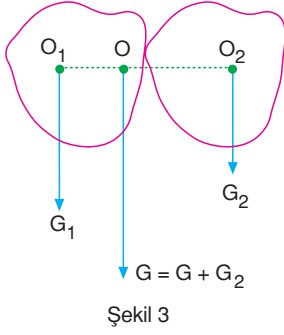
★ Cisimlerin özkütlesi verildiğinde cismin kütlesi;

$$m = d \cdot V$$

bağıntısından bulunur. Burada  $d$ , cismin özkütlesini,  $V$  ise cismin hacmini belirtir.

Bu nedenle aynı maddeden yapılmış cisimlerin ağırlıkları hacimleri ile doğru orantılıdır.

## Birleştirilmiş cisimlerin ağırlık merkezi



Şekil 3

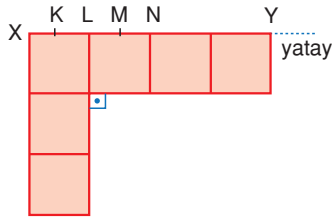
Ağırlık merkezleri  $O_1$  ve  $O_2$ , ağırlıkları  $G_1$  ve  $G_2$  olan iki cisim Şekil 3'teki gibi birleştirilmiş olsun.  $G_1$  ve  $G_2$  ağırlıkları aynı yönlü paralel iki kuvvettir. Bu iki kuvvetin bileşkesi  $G$ , sistemin ağırlığı olup bileşkenin uygulama noktası olan  $O$  noktası, sistemin ağırlık merkezidir.

Aynı yönlü paralel iki kuvvetin bileşkenin uygulama noktasına göre torkları aynı büyüklükte ve zıt yönde olduğundan;

$$G_1 \cdot \overline{O_1 O} = G_2 \cdot \overline{O_2 O}$$

bağıntısından yararlanarak sistemin ağırlık merkezinin yeri bulunabilir.

## Örnek



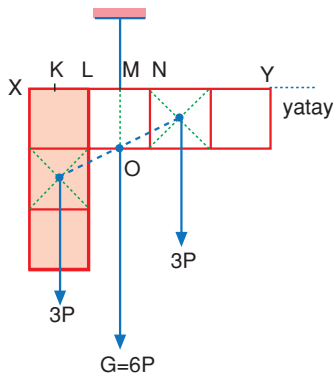
Özdeş ve homojen kare levhalar şekildeki gibi birleştiriliyor.

**Sistem nereden asılırsa X-Y kenarı yatay olarak dengede kalır?**

( $KL = LM = MN$ )

- A) K ile L'nin arasından      B) L noktasından      C) L ile M'nin arasından  
D) M noktasından      E) M ile N'nin arasından

## Çözüm



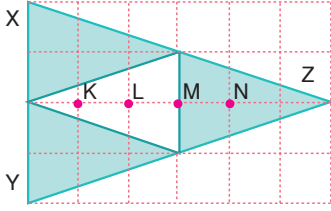
Her bir kare levhanın ağırlığı  $P$  kabul edilirse taralı üç karenin ağırlığı ile taranmamış üç karenin  $3P$  ağırlıkları şekildeki gibidir. Sistemin  $O$  ağırlık merkezi de  $3P$  ağırlıklarının uygulama noktalarının tam ortası olur.

Buna göre sistem  $M$  noktasından asılırsa asma noktasından geçen düşey doğru  $O$  noktasından geçer ve levha, X-Y kenarı yatay olarak dengede kalır.

**YANIT D**



Örnek



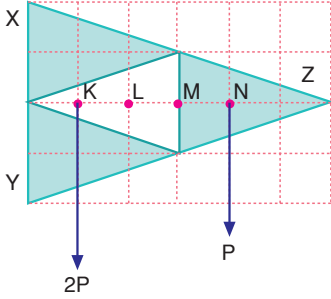
Özdeş ve homojen X, Y, Z üçgen levhaları şekildeki gibi birleştirilmiştir.

**Buna göre sistemin ağırlık merkezi nerededir?**

(Bölmeler eşit aralıktır.)

- A) K ile L nin arasında  
 B) L noktasında  
 C) L ile M nin arasında  
 D) M noktasında  
 E) M ile N nin arasında

Çözüm



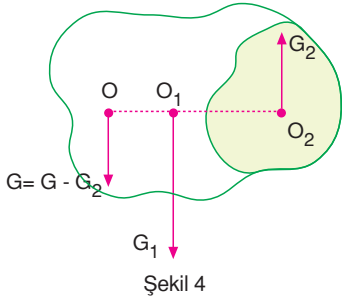
X, Y, Z homojen üçgen levhaları özdeş olduğundan her birinin ağırlığı P olsun. X ve Y levhalarının ağırlık merkezi şekilde gösterildiği gibi K, ağırlıklarının bileşkesi 2P, Z levhasının ağırlık merkezi de N noktasıdır.

2P ve P ağırlıkları aynı yönlü paralel iki kuvvet olduğundan bu iki kuvvetin bileşkesinin uygulama noktası sistemin ağırlık merkezidir. 2P ile P kuvvetlerinin bileşkesi 2P den 1 birim, P den 2 birim uzaktadır.

O halde sistemin ağırlık merkezi L noktasıdır.

**YANIT B**

**Bir bütünden bir parça çıkarıldığında kalan cismin ağırlık merkezi**

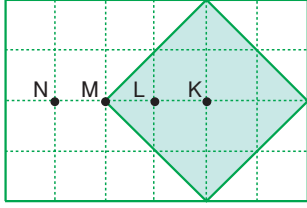


Ağırlık merkezi  $O_1$ , ağırlığı  $G_1$  olan cisimden ağırlık merkezi  $O_2$ , ağırlığı  $G_2$  olan parça Şekil 4'teki gibi çıkarılmış olsun. Cisim  $G_2$  kadar hafiflediğinden çıkarılan parçanın ağırlığı yukarıya düşey olarak gösterilir.  $G_1$  ve  $G_2$ , zıt yönlü paralel kuvvetlerdir.

$$G_1 \cdot \overline{O_1 O} = G_2 \cdot \overline{O_2 O}$$

bağıntısından kalan cismin ağırlık merkezi bulunabilir.

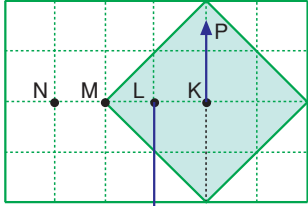
## Örnek



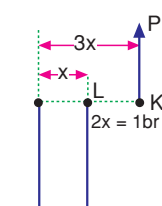
Dikdörtgen biçimindeki düzgün ve türdeş levhadan taralı kısım kesilip çıkarılıyor. Buna göre kalan parçanın ağırlık merkezi nerededir? (Bölmeler eşit aralıktır.)

- A) K ile L nin arasında  
B) L noktasında  
C) L ile M nin arasında  
D) M noktasında  
E) M ile N nin arasında

## Çözüm



Şekil 1



Şekil 2

Düzgün ve türdeş levhaların ağırlıkları alanları ile doğru orantılıdır.

Kenarları 6 birim ve 4 birim olan dikdörtgen levhanın alanı

$$S_1 = 6 \cdot 4 = 24 \text{ br}^2,$$

köşegenlerinin uzunluğu 4 er birim olan çıkarılan kare levhanın alanı da,

$$S_2 = \frac{4 \cdot 4}{2} = 8 \text{ br}^2,$$

Bu nedenle dikdörtgen levhanın ağırlığı  $3P$ , çıkarılan parçanın ağırlığı  $P$  kabul edilebilir. Şekil 1'de gösterilen zıt yönlü paralel bu iki kuvvetin bileşkesi büyük kuvvetin dışında olup Şekil 2'deki

gibi  $3P$ 'ye uzaklığı  $x$ ,  $P$ 'ye uzaklığı  $3x$ 'tir.

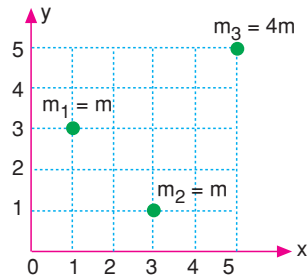
$2x = 1$  birim olduğundan

$$x = \frac{1}{2} \text{ birim olur.}$$

Bileşke  $3P$ 'den  $\frac{1}{2}$  birim uzakta olduğundan kalan parçanın ağırlık merkezi L ile M nin arasındadır.

YANIT C

## Örnek



Şekildeki gibi yerleştirilen  $m_1 = m$ ,  $m_2 = m$ ,  $m_3 = 4m$  kütleli cisimlerden oluşan sistemin kütle merkezinin koordinatları nedir?

- A) (2,2)      B) (2,3)      C) (3,4)      D) (4,3)      E) 4,4

## Çözüm

Koordinat sistemine bakıldığında  $m$ ,  $m$ ,  $4m$  kütlelerinin koordinatlarının sırasıyla  $(1, 3)$ ,  $(3, 1)$ ,  $(5, 5)$  olduğu görülür. Sistemin kütle merkezinin koordinatları  $X$ ,  $Y$  ise;

$$X = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3}{m_1 + m_2 + m_3} \text{ ten}$$

$$X = \frac{m \cdot 1 + m \cdot 3 + 4m \cdot 5}{m + m + 4m} = 4,$$

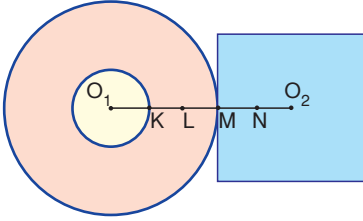
$$Y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3}{m_1 + m_2 + m_3} \text{ ten de}$$

$$Y = \frac{m \cdot 3 + m \cdot 1 + 4m \cdot 5}{m + m + 4m} = 4 \text{ bulunur.}$$

O halde kütle merkezinin koordinatları  $(4, 4)$  tür.

YANIT E

## Örnek



Yarıçapı  $3r$  olan  $O_1$  merkezli dairesel homojen levhadan  $r$  yarıçaplı parçası çıkartılıyor. Bu levha ile kenar uzunluğu  $4r$  olan homojen kare levha şekildedeki gibi birleştirdiğinde sistemin ağırlık merkezi  $N$  noktası oluyor.

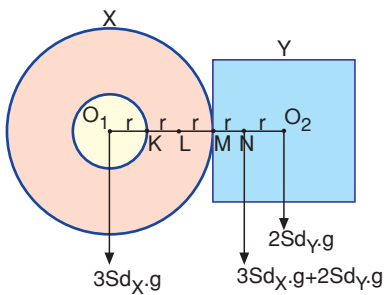
**Levhaların kalınlıkları aynı olduğuna göre yapıldıkları maddelerin özkütleleri oranı nedir?**

( $O_1K = KL = LM = MN = NO_2 = r$  olup  $\pi \cong 3$  tür.)

A) 1

B)  $\frac{2}{3}$ C)  $\frac{1}{3}$ D)  $\frac{2}{9}$ E)  $\frac{1}{6}$ 

## Çözüm



O halde

$$3Sd_x \cdot g \cdot 4r = 2Sd_y \cdot g \cdot r \text{ den}$$

$$\frac{dx}{dy} = \frac{1}{6} \text{ bulunur.}$$

Aynı kalınlıktaki homojen levhaların ağırlıkları alanlarıyla doğru orantılıdır.

X levhasının içinden  $r$  yarıçaplı parça çıkarıldığında X'in alanı

$$\pi(3r)^2 - \pi r^2 = \pi \cdot 8r^2 = 24r^2 \text{ olur.}$$

Y levhasının alanı ise

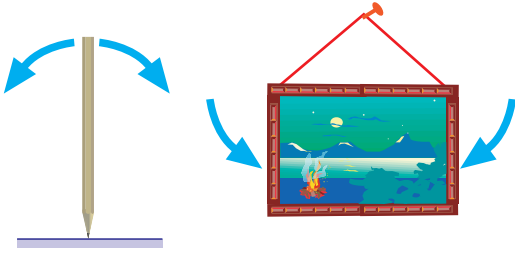
$$4r \cdot 4r = 16r^2 \text{ dir.}$$

X levhasının alanına  $3S$  denirse, Y ninki  $2S$  dir.

$m = dV$  bağıntısında hacim yerine alan yazılırsa X ve Y levhalarının kütleleri sırasıyla  $3Sd_x$  ve  $2Sd_y$  bulunur. Sistemin ağırlık merkezi  $N$  noktası olduğuna göre  $3Sd_x \cdot g$  ve  $2Sd_y \cdot g$  kuvvetlerinin bileşkesinin uygulama noktası  $N$  noktasıdır.

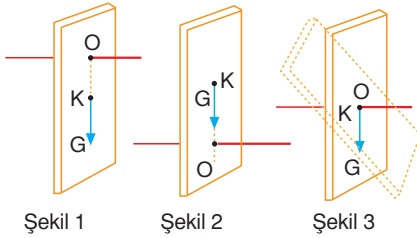
YANIT E

## KARARLI, KARARSIZ VE BOZULMAZ DENGE



Statik (durgun) denge durumundaki bir cisim, dışardan bir etki olmazsa denge durumunu korur. Çünkü cisme etki eden kuvvetlerin bileşkesi ile herhangi bir noktaya göre torkları toplamı sıfırdır.

Dengede olan bir cisme, dışardan bir etki yapılırsa üç farklı durum gözlenebilir. Bunları yatay bir eksen etrafında dönebilen bir çubuktan yararlanarak açıklayalım.



Şekil 1

Şekil 2

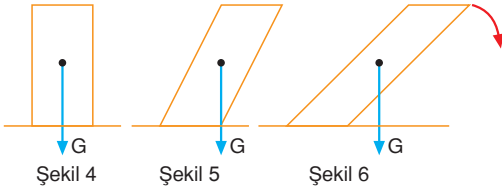
Şekil 3

Çubuğun ağırlığı  $G$ , kütle merkezi  $K$ , eksenin geçtiği nokta  $O$  olsun.

Şekil 1'deki konumda çubuğun kütle merkezi, dönme noktasının altındadır ve bu durumda çubuğun potansiyel enerjisi minimumdur. Bu tür dengelere "**kararlı denge**" denir.

Şekil 2'deki durumda çubuğun kütle merkezi dönme noktasının üstünde olup kütle merkezi mümkün olan en yüksek noktadadır. Bu tür dengelere "**kararsız denge**" denir.

Şekil 3 teki durumda eksen, çubuğun kütle merkezinden geçmektedir. Çubuk bırakıldığı konumda dengede kalır.



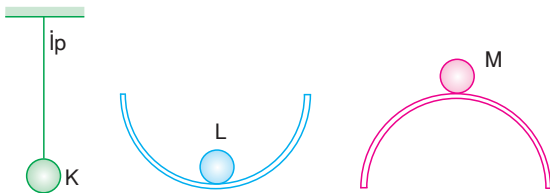
Şekil 4

Şekil 5

Şekil 6

Bir düzleme konulan bir cismin dengede kalabilmesi için ağırlık merkezinden geçen düşey doğrunun yani ağırlığının uzantısının cismin tabanından geçmesi gerekir. Buna göre Şekil 4 ve Şekil 5 te verilen cisimler dengede kalırken Şekil 6'daki cisim ağırlığın torkundan dolayı ok yönünde devrilir.

## Örnek



A) Yalnız K

B) Yalnız L

C) Yalnız M

D) K ile L

E) K, L ve M

K, L, M küresel cisimleri şekildeki gibi dengededir.

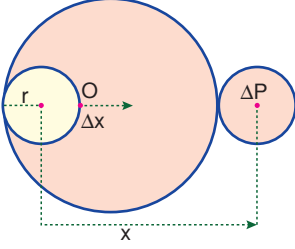
**Buna göre hangi cisimler kararlı denge konumundadır?**

## Çözüm

Kararlı denge durumundaki bir cisme bir itme uygulandığında cisim eski halinde dengede kalır. Buna göre K, L, M cisimlerine bir itme uygulanırsa K ve L eski halinde dengeye gelir, M eski haline dönemez.

**YANIT D**

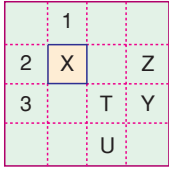
Pratik Bilgiler



1. P kütleli bir cisimden  $\Delta P$  kadarlık parçası kesilip  $x$  kadar öteye yapıştırılsın. Cismin kütle merkezi  $\Delta x = \frac{\Delta P}{P} \cdot x$  kadar yer değiştirir.

Şekilde  $\Delta P$ ,  $4r$  yarıçaplı ana parça  $P$  nin  $\frac{1}{4}$  ü, kayma miktarı  $x = 4r$  dir.  $O$  halde yeni kütle merkezi  $O$  dan  $\Delta x = \frac{1}{4} \cdot 4r = r$  kadar uzakta olur.

2. Bir cismin bir parçası kesilip kaydırılırsa, kütle merkezinin değişmemesi için, kaydırılan parça ile eşit kütlede başka bir parçanın, zıt yönde kaydırılması gereklidir.



Şekildeki düzgün kare levhade X karesi kesilip Y'nin üzerine yapıştırılıyor. Kütle merkezinin değişmemesi için:

- a) Z karesi kesilip 1 üzerine,  
b) T karesi kesilip 2 üzerine,  
c) U karesi kesilip 3 üzerine yapıştırma işlemlerinden biri yapılabilir.

Etkinlik 6

Aşağıdaki yargılardan doğru olanların yanına D, yanlış olanların yanına da Y yazınız.

1. Türdeş, her yeri aynı kalınlıkta üçgen bir levhanın ağırlık merkezi, kenar ortaylarının kesiştiği noktadır.

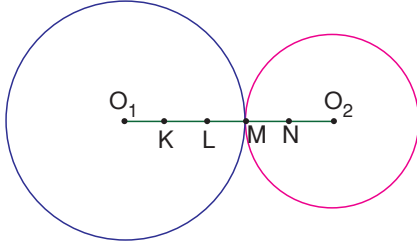
2. Şekildeki türdeş yarım daire levhanın kütle merkezi M noktasıdır.

3. Şekildeki Dünya yüzeyine dik, düzgün, türdeş KL cetvelinin kütle merkezi ile ağırlık merkezi aynı noktadır.

4. Şekildeki düzgün türdeş kare levhadan X, Y, Z ve U karecikleri çıkarılırsa, kütle merkezi O noktasında kalır.

5. Şekildeki düzgün, türdeş levhanın kütle merkezi levhanın üzerindedir.

1.

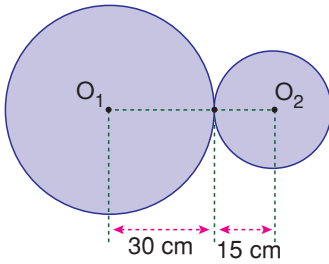


Düzgün, türdeş bir telden yapılmış,  $O_1$  ve  $O_2$  merkezli çemberler yan yana konulmuştur.

**Cisimlerin ortak kütle merkezi hangi noktadadır?**  
(Noktalar eşit aralıktır.)

- A) K                      B) K - L arası                      C) L  
D) L - M arası                      E) M

2.

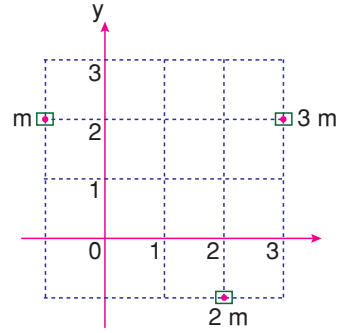


Düzgün, türdeş bir levhadan kesilmiş, yarıçapları 30 cm, 15 cm olan  $O_1$  ve  $O_2$  merkezli daireler yan yana konulmuştur.

**Cisimlerin ortak ağırlık merkezi  $O_1$  den kaç cm uzaktadır?**

- A) 9                      B) 12                      C) 15                      D) 18                      E) 20

3.

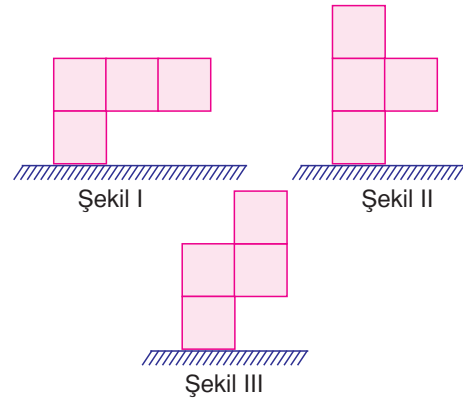


Kütleleri  $m$ ,  $2m$  ve  $3m$  olan noktasal cisimler dik koordinat sistemine şekildeki gibi yerleştirilmiştir.

**Üç cismin ortak kütle merkezinin koordinatları aşağıdakilerden hangisidir?**

- A) 1,1                      B) 1,2                      C) 2,0                      D) 2,1                      E) 2,2

4.

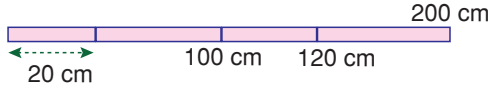


Birbirine yapıştırılmış özdeş ve türdeş küpler Şekil I, II ve III'teki gibi yatay düzlem üzerine bırakılmıştır.

**Cisimlerden hangileri konumunu değiştirmeden dengede durabilir?**

- A) Yalnız I                      B) Yalnız II                      C) Yalnız III  
D) I ve II                      E) II ve III

5.

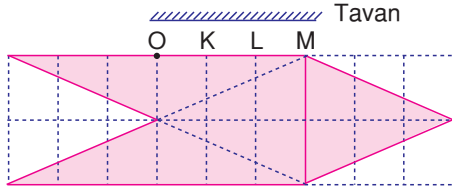


200 cm uzunlukta ince, düzgün, türdeş bir cetvelin bir ucundan 20 cm'lik parçası kesilip 100 – 120 cm bölmeleri üzerine yapıştırılıyor.

**Oluşan cismin kütle merkezi ilk yerinden kaç cm uzakta olur?**

- A) 5      B) 10      C) 15      D) 20      E) 50

6.



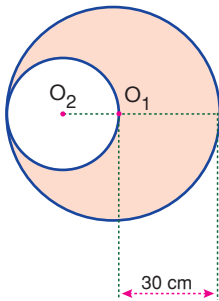
Düzgün, türdeş bir levhadan kesilmiş şekildeki cisim bir ip ile tavana asılınca düşey düzlemde dengede duruyor.

**Cisim hangi noktadan asılmıştır?**

(Düşey kesikli çizgiler eşit aralıktır.)

- A) O - K arası      B) K noktası      C) K - L arası  
D) L noktası      E) L - M arası

7.

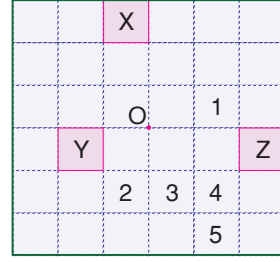


30 cm yarıçaplı, düzgün, türdeş  $O_1$  merkezli dairesel levhadan  $O_2$  merkezli, 15 cm yarıçaplı parçası kesilip çıkarılmıştır.

**Kalan cismin kütle merkezi  $O_1$  den kaç cm uzaktadır?**

- A) 5      B) 6      C) 7,5      D) 10      E) 15

8.

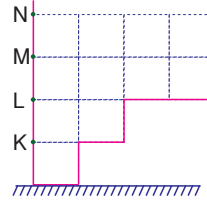


Düzgün türdeş kare levhadan X, Y, Z karecikleri kesilip çıkarılmıştır.

**Kaç numaralı karecik de kesilip çıkarılırsa, elde edilen cismin kütle merkezi O noktası olur.**

- A) 1      B) 2      C) 3      D) 4      E) 5

9.

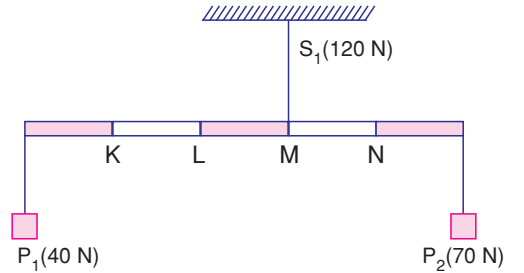


Ağırlığı önemsiz, eşit bölme- li şekildeki kap yatay düzlem üzerine bırakılmıştır.

**Kap en çok hangi düzeye kadar su doldurulursa, dengesi bozulmaz?**

- A) K - L arası      B) L çizgisi      C) L - M arası  
D) M çizgisi      E) M - N arası

10.

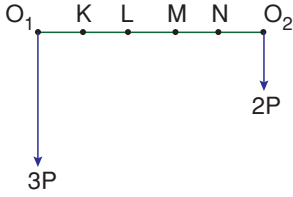


Şekildeki eşit bölmeli yatay çubuk dengedeysen  $S_1$  ipindeki gerilme kuvveti 120 N büyüklüktedir.

**Çubuğa asılı cisimlerin ağırlıkları  $P_1 = 40$  N ve  $P_2 = 70$  olduğuna göre, çubuğun ağırlık merkezi nerededir?**

- A) K noktası      B) K - L arası      C) L noktası  
D) L - M arası      E) N noktası

1.



Büyük çemberin yarıçapı 3 küçük olanınki 2 bölme olduğundan, büyük çemberin ağırlığı  $3P$ , küçük olanınki  $2P$  kabul edilebilir.

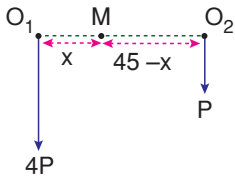
$3P$  ve  $2P$  büyüklükte paralel iki kuvvetin bileşkesi  $O_1$  noktasından  $x$  kadar uzakta olsun. Torkların dengesi yazılırsa:

$$3P \cdot x = 2P \cdot (5 - x) \Rightarrow x = 2 \text{ bölme bulunur.}$$

Sistemin ağırlık merkezi  $L$  noktasıdır.

**YANIT C**

2.



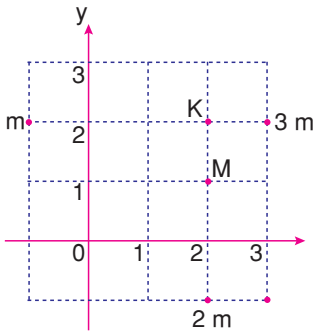
Bir dairenin ağırlığı alanı ile doğru orantılıdır. Büyük dairenin alanı küçük alanın 4 katı olduğundan, küçük dairenin ağırlığı  $P$  ise büyük olanınki  $4P$ 'dir.

Ortak ağırlık merkezleri  $M$  noktası olsun. Torkların dengesi yazılırsa:

$$4P \cdot x = P \cdot (45 - x) \Rightarrow x = 9 \text{ cm olur.}$$

**YANIT A**

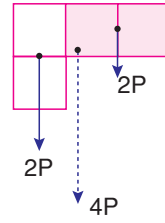
3.



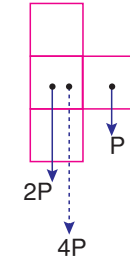
$3m$  ve  $m$  kütleli cisimlerin ortak kütle merkezi  $K$  noktasıdır. Bu noktada  $4m$  kütleli cisim varmış gibi düşünebiliriz.  $K$  noktasındaki  $4m$  kütleli cisimle  $2m$  kütleli cismin ortak kütle merkezi de şekildeki  $M$  noktası olup, koordinatları  $2;1$  dir.

**YANIT D**

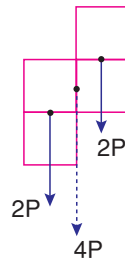
4. Bir cismin dengesinin bozulmaması için, ağırlık vektörünün taban sınırları içinden geçmesi gerekir. Cisimleri ikiye parçadan oluşmuş gibi düşünelim.



I. şekildeki cismin ağırlığı taban sınırları dışından geçtiğinden devrilir.



II. cismin ağırlığı taban sınırları içinden geçtiğinden devrilmez.



III. cismin ağırlığı taban sınırında olduğundan devrilmez.

**YANIT E**

5. Kesilip kaydırılan parçanın kütlesi tüm cetvel kütlelerinin  $\frac{1}{10}$  u olup  $100$  cm kaydırılmıştır. Kütle merkezindeki yer değiştirme;

$$\Delta x = \frac{\Delta P}{P} \cdot x \Rightarrow \Delta x = \frac{1}{10} \cdot 100 = 10 \text{ cm}$$

O halde yeni cismin kütle merkezi  $110$  cm çizgisi üzerine gelir.

**YANIT B**