DİNAMİK - 13

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali Dayıoğlu
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü

13. HAFTA

Kapsam:

- Ani dönme merkezi
- Analiz prosedürü
- Bağıl hareket analizi: İvme
- Örnek problem çözümleri

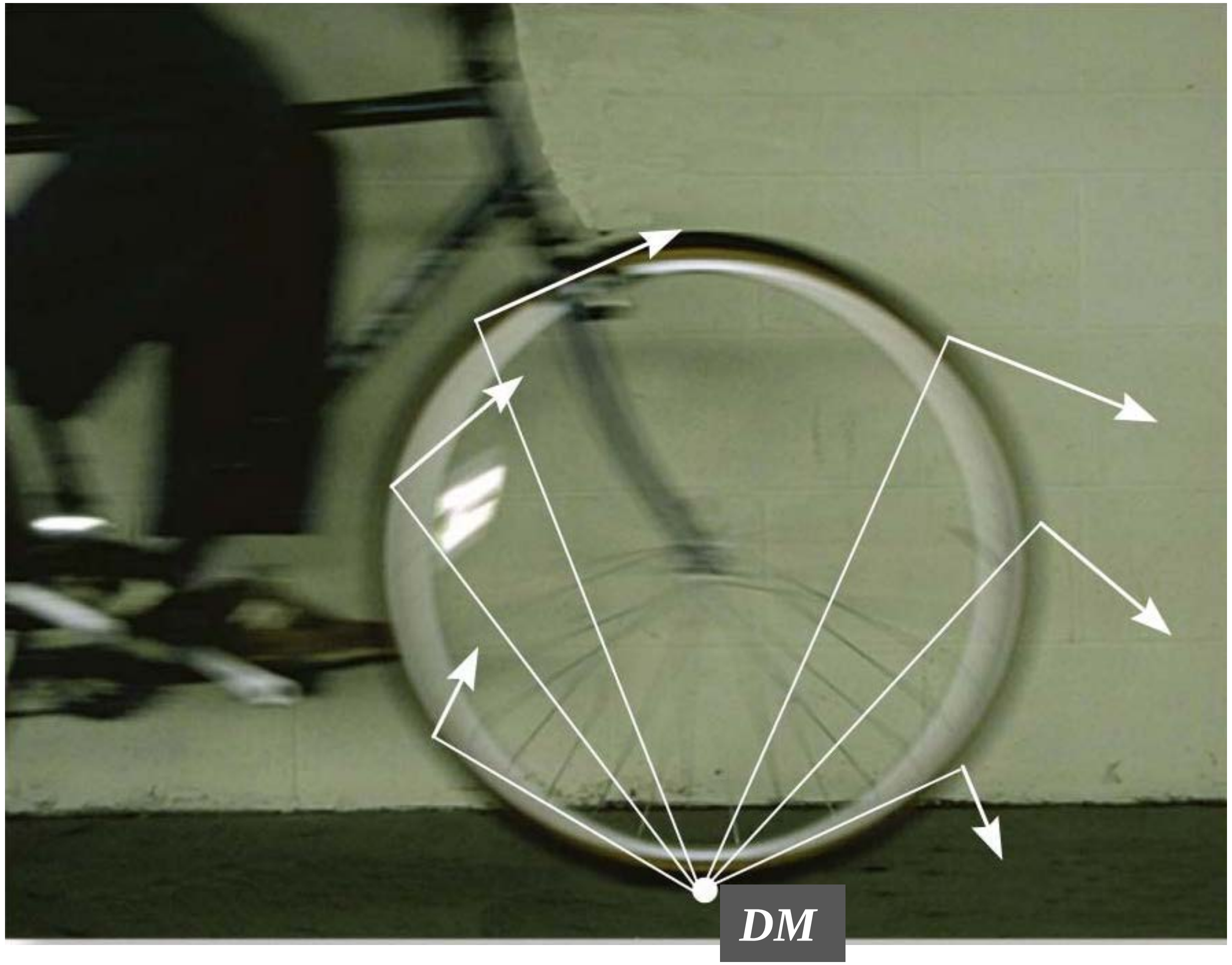
5.7 Sıfır Hızlı Anlık Merkez

Anlık dönme merkezi:

Bir rijit cismin üzerinde yer alan herhangi bir B noktasının hızı, verilen anda A taban noktası *sıfır hıza* sahip bir nokta olarak seçilirse, basit bir şekilde elde edilebilir. Bu durumda $\mathbf{v}_A = \mathbf{0}$'dır ve dolayısıyla $\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{B/A}$ hız denklemi, $\mathbf{v}_B = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{B/A}$ şeklini alır. Genel düzlemsel hareket yapan bir cisimde bu şekilde seçilen A noktasına *anlık dönme merkezi (DM)* denir. Bu nokta *sıfır hızlı anlık eksen* üzerinde yer alır. Bu eksen, daima, hareketi göstermek için kullanılan düzleme diktir ve bu düzlemle eksenin arakesiti DM'nin konumunu tanımlar. A noktası DM ile çakıştığından, $\mathbf{v}_B = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{B/DM}$ olur ve dolayısıyla B noktası anlık olarak DM etrafında dairesel *bir yörüngede* hareket eder; başka bir deyişle, cismin anlık eksen etrafında dönmekte olduğu görülür. $\mathbf{r}_{B/DM}$ bağıl konum vektörü DM'den B'ye alınırsa, $\mathbf{v}_B$'nin *büyüklüğü,* ω cismin açısal hızı olmak üzere, $v_B = \omega r_{B/DM}$ olur. Dairesel hareketten dolayı, $\mathbf{v}_B$'nin *doğrultusu* daima $\mathbf{r}_{B/DM}$'ye *dik* olmalıdır.

Anlık dönme merkezi

Örneğin bisiklet tekerleğinin hareket halinde ani dönme merkezi zemine temas ettiği noktadır. Bisiklet tekerleğinin alt noktası daha net görülürken üst tarafı net değildir.



Anlık dönme merkezi

Rijit bir cisim üzerinde bulunan bir B noktasının hızı doğrudan hesaplanabilir.

$$\boxed{\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_A + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{B/A}}$$

Bu harekette A noktasındaki hız sıfır olduğu için

$$\mathbf{v}_B = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{B/A}$$

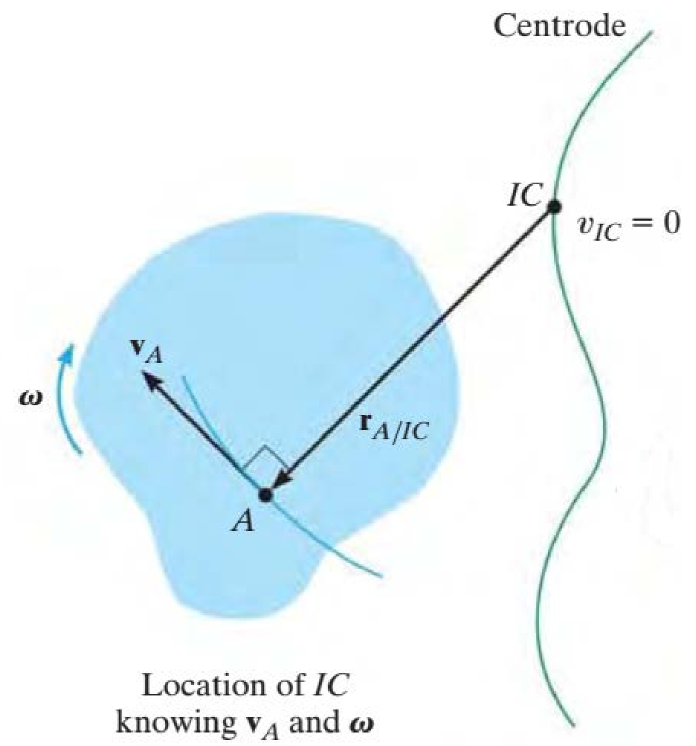
yazılabilir.

Cisim genel düzlemsel harekete tabi olduğu için A noktası ani dönme merkezi olarak tanımlanır.
A noktasının hızı sıfırdır.
Ani dönme merkezinden geçen eksen hareket düzlemine daima diktir.

Sıfır Hızlı Anlık Merkez: Anlık dönme merkezi (*DM* = *IC*):

DM'nin Konumu. Konumu bilinmiyorsa, *DM*, *DM*'den herhangi bir noktaya giden *bağıl konum vektörünün daima* bu noktanın *hızına* dik olduğu gerçeği kullanılarak belirlenebilir. Değişik olasılıklar vardır:

1. *Cisim üzerindeki bir noktanın hızının ve cismin açısal hızının verilmesi* durumu. Bu durumda, $\mathbf{v}_B$ ve $\boldsymbol{\omega}$ biliniyorsa, *DM*, *B*'nin *DM*'ye uzaklığı $r_{B/DM} = v_B/\omega$ olacak şekilde, *B*'de $\mathbf{v}_B$'ye dik olarak çizilen çizgi üzerinde yer alır, Şekil 16–18*a*. *DM*, *B*'nin *DM* etrafında dönmeye neden olan tarafında yer alır ve bu da $\boldsymbol{\omega}$ ve $\mathbf{v}_B$'nin neden olduğu hareket doğrultusuyla uyumludur.

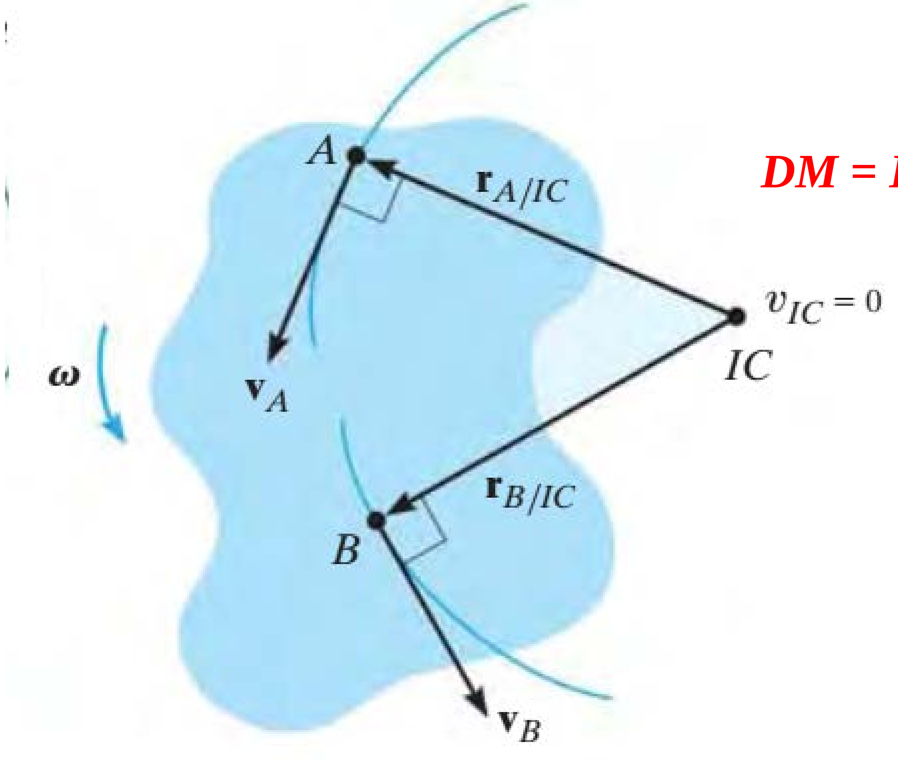


(a)

Sıfır Hızlı Anlık Merkez: Anlık dönme merkezi

2. *Paralel olmayan iki hızın etki çizgilerinin verilmesi* durumu. $\mathbf{v}_A$ ve $\mathbf{v}_B$'nin etki çizgilerinin bilindiği Şekil 16–18*b*'deki cismi göz önüne alalım. Bu çizgilerin her birinden *A* ve *B* noktalarında, $\mathbf{v}_A$ ve $\mathbf{v}_B$'ye dik olan ve dolayısıyla, sırasıyla, $\mathbf{r}_{A/DM}$ ve $\mathbf{r}_{B/DM}$'nin etki çizgilerini tanımlayan doğru parçaları geçer. Bu dikmeleri, şekilde gösterildiği gibi, *bunların kesişme noktasına* doğru uzatarak söz konusu andaki *DM*'yi oluştururuz. $\mathbf{r}_{A/DM}$ ve $\mathbf{r}_{B/DM}$'nin büyüklükleri, genellikle, şeklin geometrisinden ve trigonometriden belirlenir. Ayrıca, $\mathbf{v}_A$' nın büyüklük ve yönü biliniyorsa, cismin açısal hızı $\omega = v_A / r_{A/DM}$'den belirlenir. Hesaplanan $\boldsymbol{\omega}$, $v_B = \omega \mathbf{r}_{B/DM}$'yi belirlemek için kullanılabilir.

DM = IC



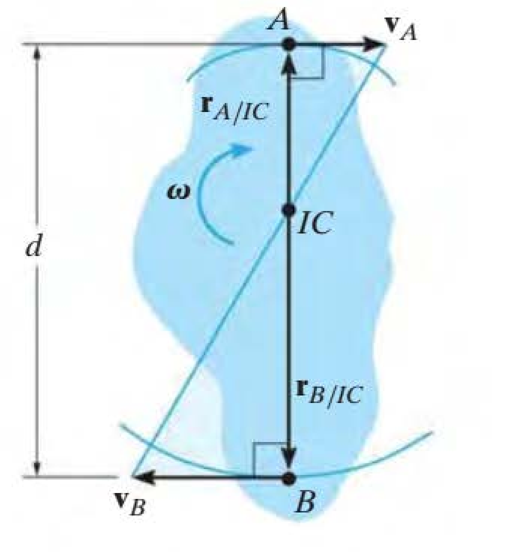
Location of *IC* knowing the directions of $\mathbf{v}_A$ and $\mathbf{v}_B$

(b)

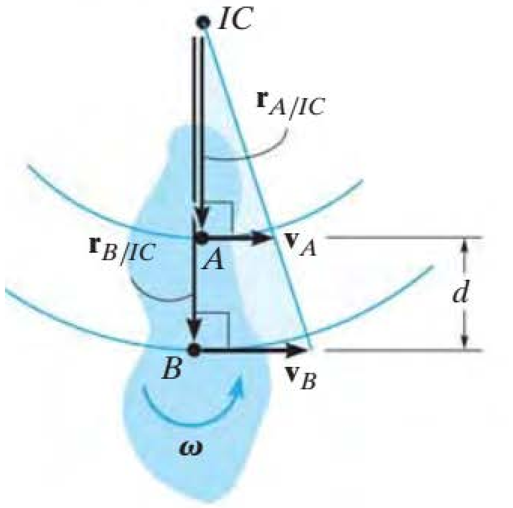
Sıfır Hızlı Anlık Merkez: Anlık dönme merkezi

$DM = IC$

3. *İki paralel hızın büyüklük ve doğrultusunun verilmesi* durumu. A ve B noktalarının hızlarının paralel olması ve v_A ve v_B büyüklüklerinin *bilinmesi* durumunda, DM'nin konumu benzer üçgenlerden belirlenir. Örnekler Şekil 16–18c ve d'de gösterilmiştir. Her iki halde $r_{A/DM} = v_A/\omega$ ve $r_{B/DM} = v_B/\omega$'dır. A ve B noktaları arasındaki d uzaklığı biliniyorsa, bu takdirde Şekil 16–18c'de $r_{A/DM} + r_{B/DM} = d$ ve Şekil 16–18d'de $r_{B/DM} - r_{A/DM} = d$ olur. Özel olarak, cisim *öteleniyorsa*, $\mathbf{v}_A = \mathbf{v}_B$ ve DM'nin sonsuzda ve dolayısıyla $r_{A/DM} = r_{B/DM} \to \infty$ olacağına dikkat edilmelidir. Böyle bir halde, beklendiği gibi, $\omega = v_A/\infty = v_B/\infty = 0$ olur.



(c)



Location of IC
knowing $\mathbf{v}_A$ and $\mathbf{v}_B$

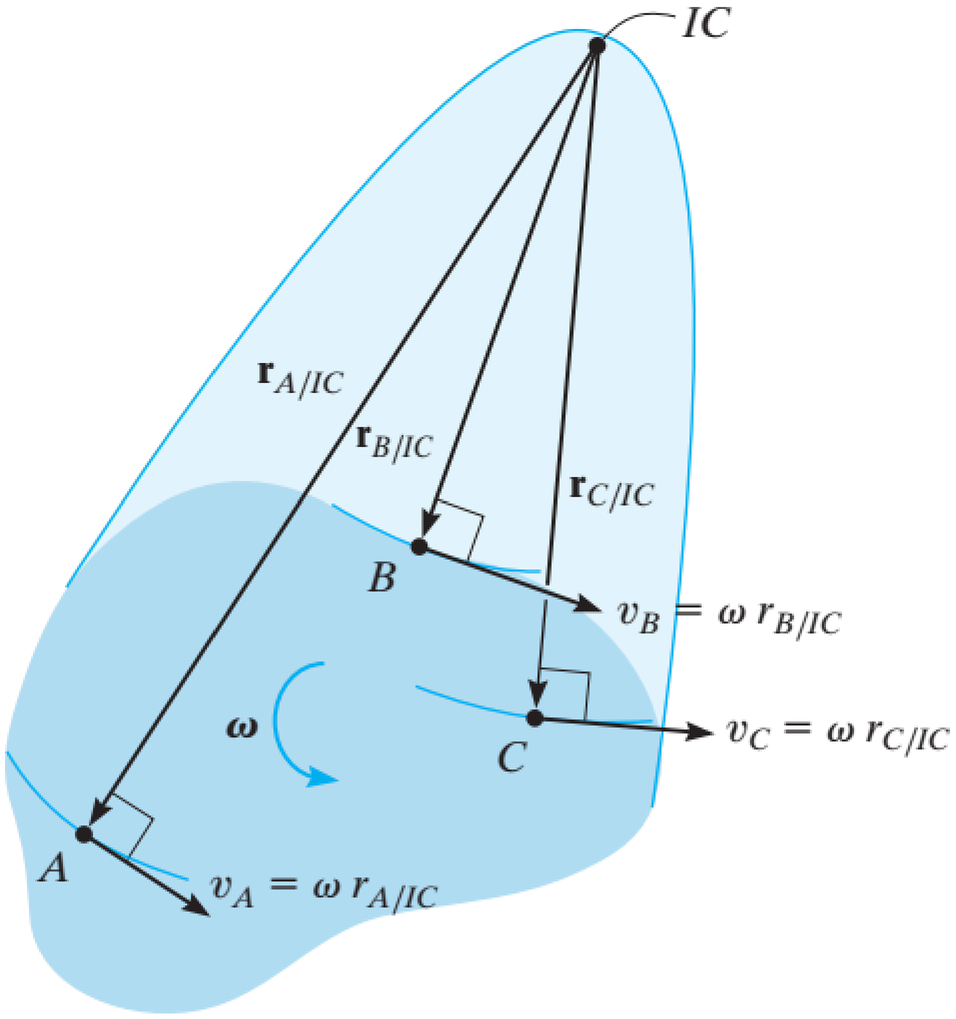
(d)

5.8 Analiz prosedürü

DM = IC

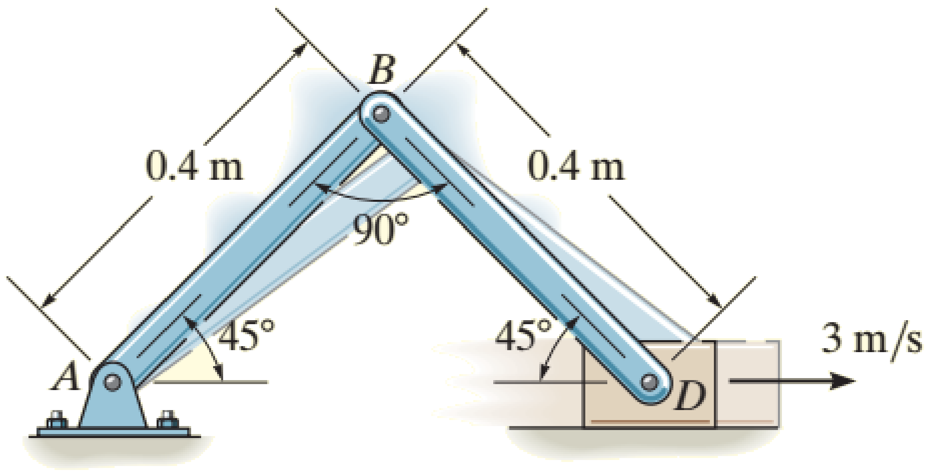
ANALİZDE İZLENECEK YOL

Genel düzlemsel hareket yapan bir cisim üzerindeki bir noktanın hızı, önce *DM*'nin konumu belirlenmesi koşuluyla, sıfır hızlı anlık dönme merkezine göre belirlenebilir. Bu, yukarıda tanımlanan üç yöntemden biri kullanılarak yapılabilir. Şekil 16–19'daki kinematik diyagramda gösterildiği gibi, cismin verilen bir anda *DM*'ye uzatılmış, bu noktada mafsallanmış olduğu ve $\boldsymbol{\omega}$ açısal hızıyla bu mafsal etrafında döndüğü tasavvur edilir.Cisim içindeki keyfi *A*, *B* ve *C* noktaları için hızın *büyüklüğü*, *r DM*'den noktaya çizilen radyal çizgi olmak üzere, $v = \omega r$ denklemi kullanılarak belirlenebilir. Her bir hız vektörünün etki çizgisi kendisiyle ilişkili radyal çizgiye *diktir* ve hızın yönü, nokta radyal çizginin açısal hızıyla uyumlu bir hareket yapacak şekilde olmalıdır, Şekil 16–19.



Örnek Problem

Şekil 16–21*a*'da gösterilen *D* bloğu 3 m/s hızla hareket etmektedir. Şekilde gösterilen anda, *BD* ve *AB* bağlantılarının açısal hızlarını ve *B* noktasının hızını belirleyiniz.



Çözüm

D'nin 3 m/s hızla sağa doğru hareket etmesi, *AB* kolunun *A* noktası etrafında saat yönünde dönmesine neden olur. Bu yüzden, $\mathbf{v}_B$, Şekil 16–21*b* de gösterildiği gibi, *AB*'ye diktir. *BD* için sıfır hızlı anlık dönme merkezi, $\mathbf{v}_B$ ve $\mathbf{v}_D$'ye dik olarak çizilen doğruların kesişiminde yer alır, Şekil 16–21*b*. Geometriden

$$r_{B/DM} = 0.4 \tan 45° \text{ m} = 0.4 \text{ m}$$

$$r_{D/DM} = \frac{0.4 \text{ m}}{\cos 45°} = 0.56 \text{ m}$$

yazılabilir. $\mathbf{v}_D$'nin büyüklüğü bilindiğinden, *BD* bağlantısının açısal hızı

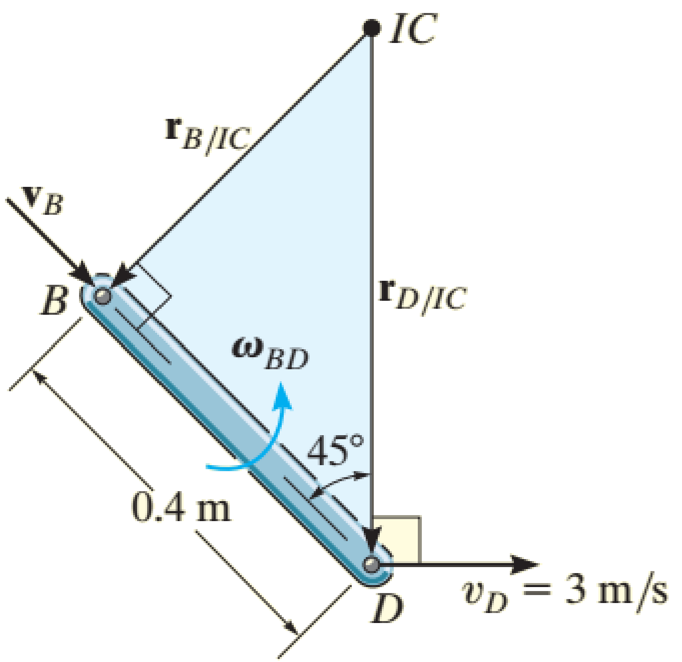
$$\omega_{BD} = \frac{v_D}{r_{D/DM}} = \frac{3 \text{ m/s}}{0.566 \text{ m}} = 5.30 \text{ rad/s} \circlearrowleft \qquad \textit{Yanıt}$$

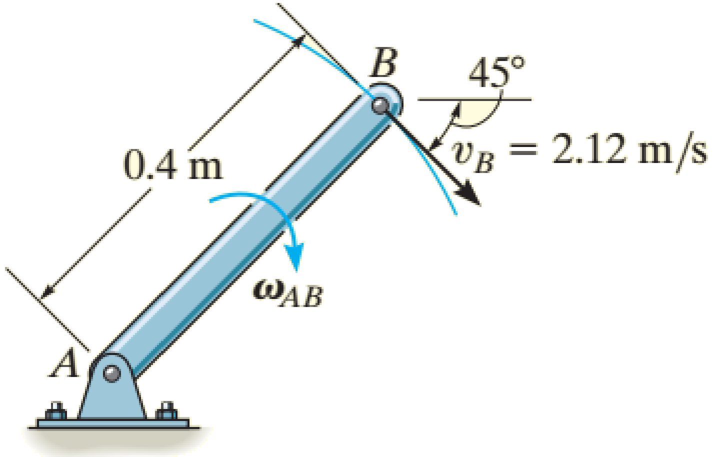
olur. Böylece, *B*'nin hızı

$$v_B = \omega_{BD}(r_{B/DM}) = 5.30 \text{ rad/s}(0.4 \text{ m}) = 2.12 \text{ m/s} \searrow 45° \qquad \textit{Yanıt}$$

olarak bulunur. *AB* bağlantısı *A*'dan geçen sabit bir eksen etrafında döndüğü (Şekil 16–21*c*) ve v_B bilindiği için, *AB*'nin açısal hızı

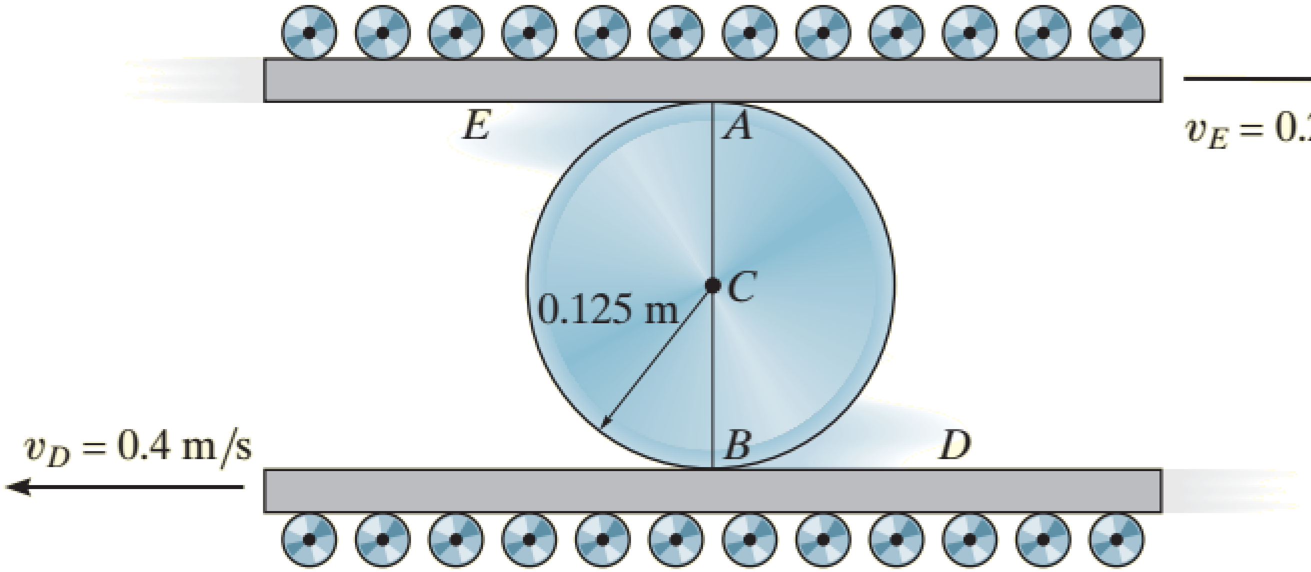
$$\omega_{AB} = \frac{v_B}{r_{B/A}} = \frac{2.12 \text{ m/s}}{0.4 \text{ m}} = 5.30 \text{ rad/s} \circlearrowright \qquad \textit{Yanıt}$$





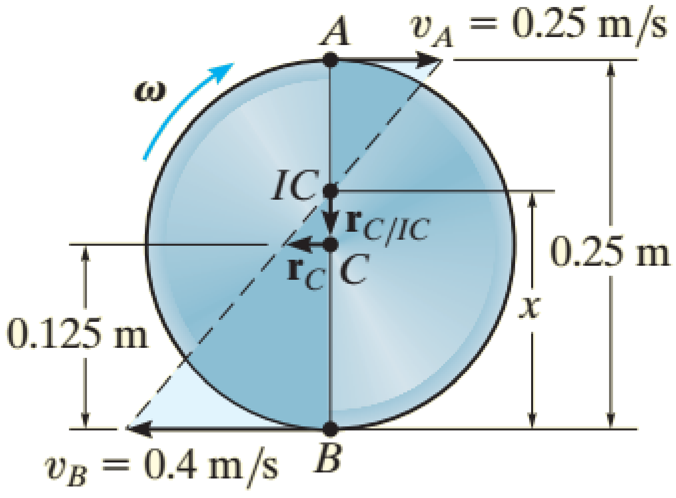
Örnek Problem

Şekil 16–21a'da gösterilen silindir E ve D hareketli plakları arasında kaymadan yuvarlanmaktadır. Şekilde gösterilen anda silindirin, açısal hızını ve merkezinin hızını belirleyiniz.



Çözüm

Hiç kayma olmadığından, silindir üzerindeki A ve B noktaları, E ve D plaklarıyla aynı hıza sahiptir. Ayrıca, $\mathbf{v}_A$ ve $\mathbf{v}_B$ hızları *paraleldir*, dolayısıyla dik üçgenlerin benzerliğinden DM'nin AB çizgisi üzerinde yer aldığı anlaşılır, Şekil 16–22b. Bu noktanın B'den x mesafesinde olduğu varsayılarak,



$v_B = \omega x;$ $\qquad 0.4 \text{ m/s} = \omega x$

$v_A = \omega(0.25 \text{ m} - x);$ $\qquad 0.25 \text{ m/s} = \omega(0.25 \text{ m} - x)$

bulunur. Bu denklemlerden biri diğeriyle bölünerek ω yok edilir ve

$$0.4(0.25 - x) = 0.25\,x$$

$$x = \frac{0.1}{0.65} = 0.154 \text{ m}$$

elde edilir. Buna göre, silindirin açısal hızı

$$\omega = \frac{v_B}{x} = \frac{0.4 \text{ m/s}}{0.154 \text{ m}} = 5.30 \text{ rad/s} \circlearrowright$$ *Yanıt*

olur. C noktasının hızı da

$$v_C = \omega r_{C/DM} = 2.60 \text{ rad/s}(0.154 \text{ m} - 0.125 \text{ m})$$

$$= 0.0750 \text{ m/s} \leftarrow$$ *Yanıt*

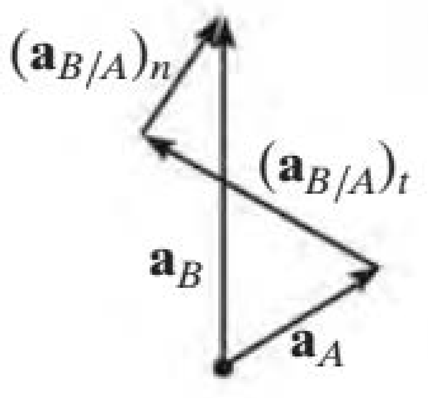
5.9 Bağıl hareket analizi: İvme

A ve B noktalarının ivmeleri arasındaki ilişkiyi belirlemek için türev alınmalıdır:

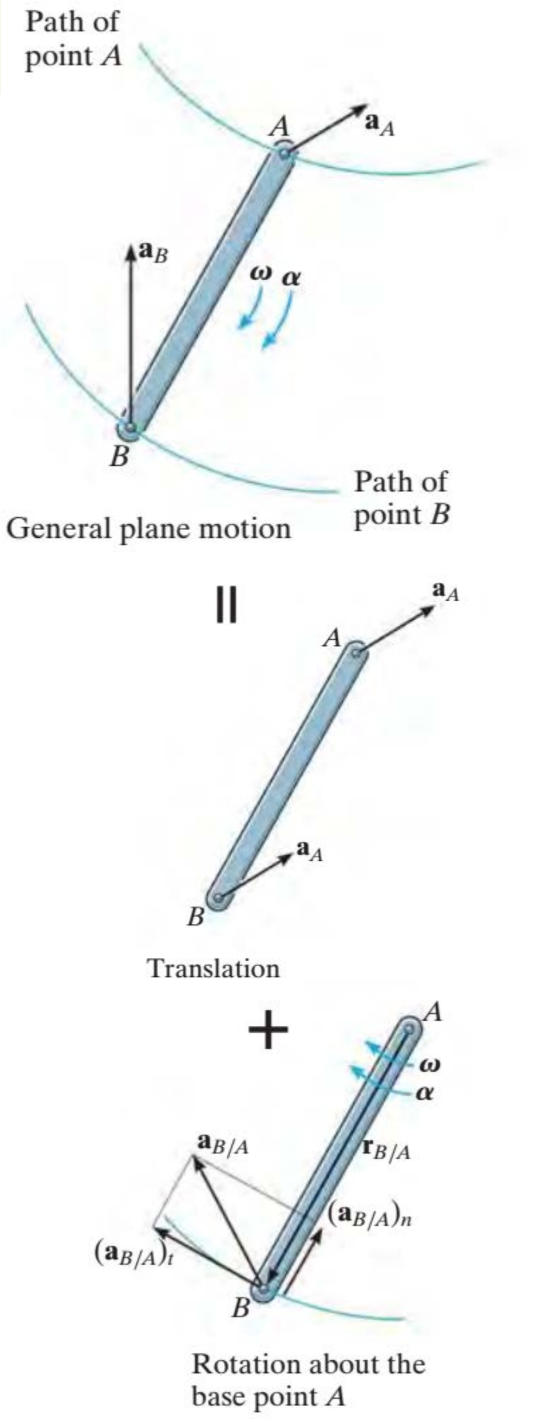
$$\frac{d\mathbf{v}_B}{dt} = \frac{d\mathbf{v}_A}{dt} + \frac{d\mathbf{v}_{B/A}}{dt}$$

$$\boxed{\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + (\mathbf{a}_{B/A})_t + (\mathbf{a}_{B/A})_n}$$

$\mathbf{a}_B$: B noktasının ivmesi
$\mathbf{a}_A$: A noktasının ivmesi
$(\mathbf{a}_{B/A})_t$ A göre B nin teğetsel ivme bileşeni $\quad (a_{B/A})_t = \alpha r_{B/A}$
$(\mathbf{a}_{B/A})_n$ A göre B nin normal ivme bileşeni $\quad (a_{B/A})_n = \omega^2 r_{B/A}$

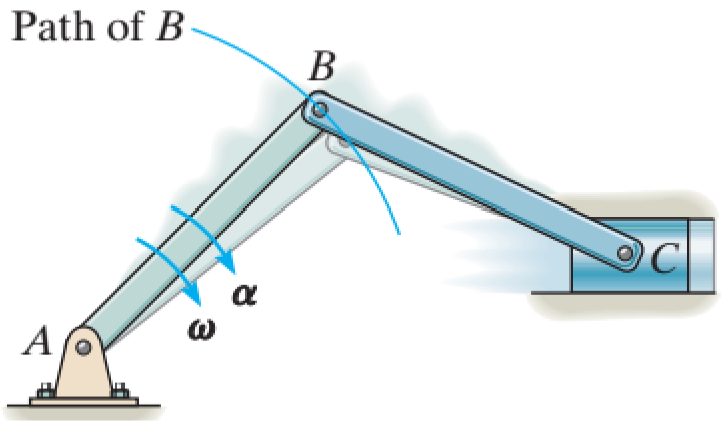


(d)

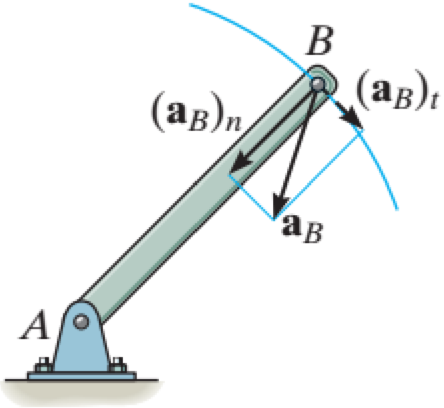


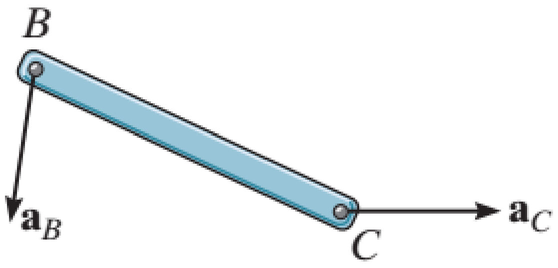
5.9 Bağıl hareket analizi: İvme

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/A} - \omega^2 \mathbf{r}_{B/A}$$



$\mathbf{a}_B$: B noktasının ivmesi
$\mathbf{a}_A$: A noktasının ivmesi
$\boldsymbol{\alpha}$ cismin açısal ivmesi
ω cismin açısal hızı
$\mathbf{r}_{B/A}$ A dan B ye konum vektörü





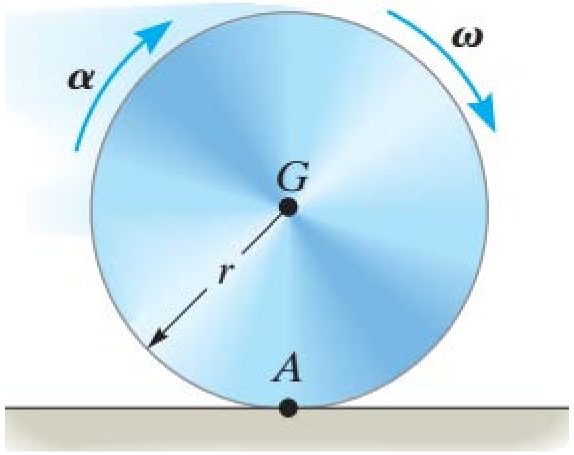
5.9 Bağıl hareket analizi: İvme

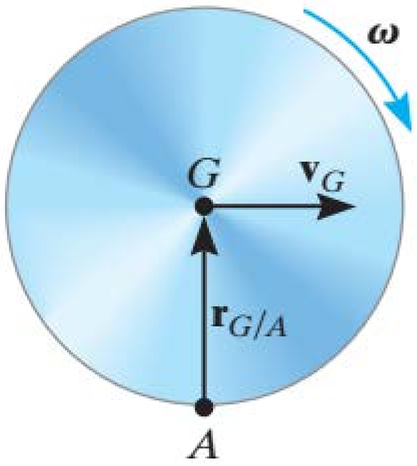
$$\mathbf{v}_G = \mathbf{v}_A + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r}_{G/A} = \mathbf{0} + (-\omega\mathbf{k}) \times (r\mathbf{j})$$

$$v_G = \omega r$$

$$\frac{dv_G}{dt} = \frac{d\omega}{dt} r$$

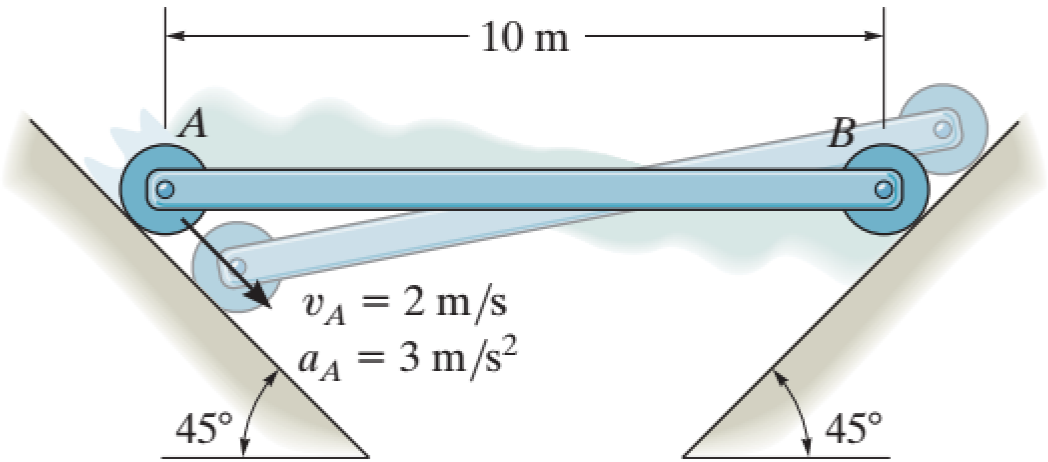
$$a_G = \alpha r$$





Örnek Problem

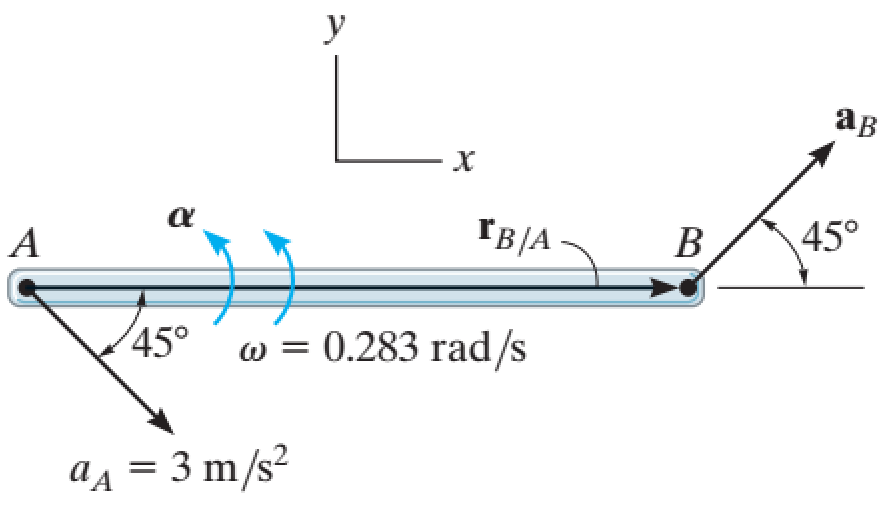
Şekil 16–26*a*'da gösterilen *AB* çubuğu, *A* ve *B*'deki eğik düzlemler boyunca hareket edebilmektedir. *A* noktası, çubuk yatay konumda bulunduğu anda her ikisi de aşağı doğru yönlenmiş, 3 m/s^2'lik bir ivmeye ve 2 m/s'lik bir hıza sahip olduğuna göre, çubuğun bu andaki açısal ivmesini belirleyiniz.



ÇÖZÜM I *(VEKTÖREL ANALİZ)*

Çubuk üzerindeki A ve B noktalarına ivme denklemini uygulayacağız. Bunu yapabilmek için, önce çubuğun açısal hızını belirlemek gerekecektir. Hız denklemini veya anlık merkezler yöntemini kullanarak $\omega = 0.283$ rad/s ???? olduğunu gösteriniz.

Kinematik Diyagram. Şekil 16–26*b*'de *x*, *y* eksenleri çizilmiştir. *A* ve *B* noktaları doğru şeklindeki yörüngeler boyunca hareket ettiklerinden, yörüngelere dik ivme bileşenleri mevcut değildir. Şekil 16–26*b*'de iki bilinmeyen vardır: a_B ve α



İvme Denklemi. Çubuk üzerindeki *A* ve *B* noktalarına Denklem 16–18'i uygular ve her bir vektörü kartezyen vektör formunda ifade edersek

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/A} - \omega^2 \mathbf{r}_{B/A}$$

$$a_B \cos 45°\mathbf{i} + a_B \sin 45°\mathbf{j}$$
$$= 3 \cos 45°\mathbf{i} - 3 \sin 45°\mathbf{j} + (\alpha\mathbf{k}) \times (10\mathbf{i})$$

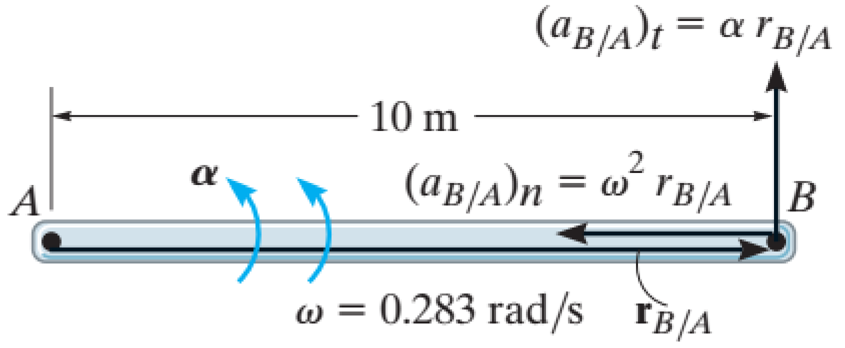
buluruz. Vektörel çarpım işlemi yapılır ve **i** ve **j** bileşenleri eşitlenirse

$$a_B \cos 45° = 3 \cos 45° - (0.283)^2(10) \qquad (1)$$
$$a_B \sin 45° = -3 \sin 45° + \alpha(10) \qquad (2)$$

bulunur. Bu denklemlerin çözümünden

$$a_B = 1.87 \text{ m/s}^2 \quad 45°$$
$$\alpha = 0.344 \text{ rad/s}^2$$ *Yanıt*

elde edilir.



ÇÖZÜM II *(SKALER BİLEŞENLER)*

İkinci bir prosedür olarak, skaler bileşen denklemler doğrudan elde edilebilir. $(\mathbf{a}_{B/A})_t$ ve $(\mathbf{a}_{B/A})_n$ bağıl ivme bileşenlerini gösteren kinematik diyagramdan

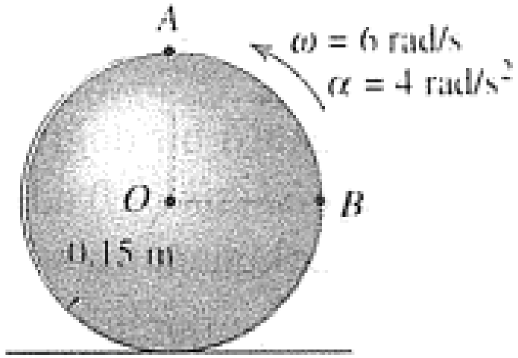
$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_A + (\mathbf{a}_{B/A})_t + (\mathbf{a}_{B/A})_n$$

$$\left[\begin{array}{c} a_B \\ \nearrow 45° \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} 3 \text{ m/s}^2 \\ \searrow 45° \end{array}\right] + \left[\begin{array}{c} \alpha(10 \text{ m}) \\ \uparrow \end{array}\right] + \left[\begin{array}{c} (0.283 \text{ rad/s})^2(10 \text{ m}) \\ \leftarrow \end{array}\right]$$

bulunur. *x* ve *y* bileşenlerini eşitleyerek Denklem 1 ve 2'yi ve önceki sonucu elde ederiz.

Örnek Problem

Bir top kaymadan yuvarlanmakta ve Şekil 16–28*a*'da gösterilen açısal hareketi yapmaktadır. *B* ve *A* noktasının, bu andaki ivmesini belirleyiniz.



ÇÖZÜM *(VEKTÖREL ANALİZ)*

Kinematik Diyagram. Örnek 16–3'ün sonuçlarını kullanırsak, topun merkezinin ivmesi $a_O = \alpha r = (4 \text{ rad/s}^2)(0.15 \text{ m}) = 0.6 \text{ m/s}^2$ olarak elde edilir. *O* ve *B* noktalarına ve *O* ve *A* noktalarına ivme denklemini uygulayacağız.

İvme Denklemi.
B noktası için

$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_O + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/O} - \omega^2 \mathbf{r}_{B/O}$$

$$\mathbf{a}_B = -0.6\mathbf{i} + (4\mathbf{k}) \times (0.15\mathbf{i}) - (6)^2(0.15\mathbf{i})$$

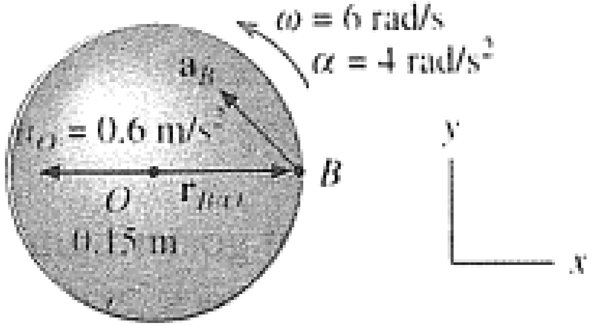
$$\mathbf{a}_B = \{-0.6\mathbf{i} + 0.6\mathbf{j}\} \text{ m/s}^2 \qquad \textit{Yanıt}$$

ve *A* noktası için

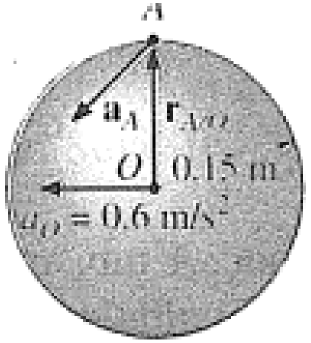
$$\mathbf{a}_B = \mathbf{a}_O + \boldsymbol{\alpha} \times \mathbf{r}_{B/O} - \omega^2 \mathbf{r}_{B/O}$$

$$\mathbf{a}_B = -0.6\mathbf{i} + (4\mathbf{k}) \times (0.15\mathbf{i}) - (6)^2(0.15\mathbf{i})$$

$$\mathbf{a}_B = \{-1.2\mathbf{i} - 5.4\mathbf{j}\} \text{ m/s}^2 \qquad \textit{Yanıt}$$



(b)



(c)

Örnek Problem

Bir motorun AB krank mili 20 rad/s²'lik bir açısal ivmeyle saat yönünde dönmektedir. Pistonun, AB'nin şekilde gösterilen konumda bulunduğu andaki ivmesini belirleyiniz. Bu anda $\omega_{AB} = 10$ rad/s ve $\omega_{BC} = 2.43$ rad/s'dir.

Kinematik Diyagram. AB ve BC için kinematik diyagramlar Şekil 16–31b'de gösterilmiştir. C doğru şeklindeki bir yörünge boyunca hareket ettiğinden, $\mathbf{a}_C$ düşeydir.

İvme Denklemi. Konum vektörlerinin her birini kartezyen vektör formunda ifade ederek,

$$\mathbf{r}_{B/A} = \{-0.25 \sin 45°\mathbf{i} + 0.25 \cos 45°\mathbf{j}\} \text{ m} = \{-0.177\mathbf{i} + 0.177\mathbf{j}\} \text{ m}$$

$$\mathbf{r}_{C/B} = \{-0.75 \sin 13.6°\mathbf{i} + 0.75 \cos 13.6°\mathbf{j}\} \text{ m} = \{-0.176\mathbf{i} + 0.729\mathbf{j}\} \text{ m}$$

buluruz.

AB krank mili çubuğu (sabit bir eksen etrafında dönme):

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_B &= \boldsymbol{\alpha}_{AB} \times \mathbf{r}_{B/A} - \omega_{AB}^2 \mathbf{r}_{B/A} \\ &= (20\mathbf{k}) \times (-0.177\mathbf{i} + 0.177\mathbf{j}) - (10)^2(-0.177\mathbf{i} + 0.177\mathbf{j}) \\ &= \{21.24\mathbf{i} - 14.16\mathbf{j}\} \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

dir.

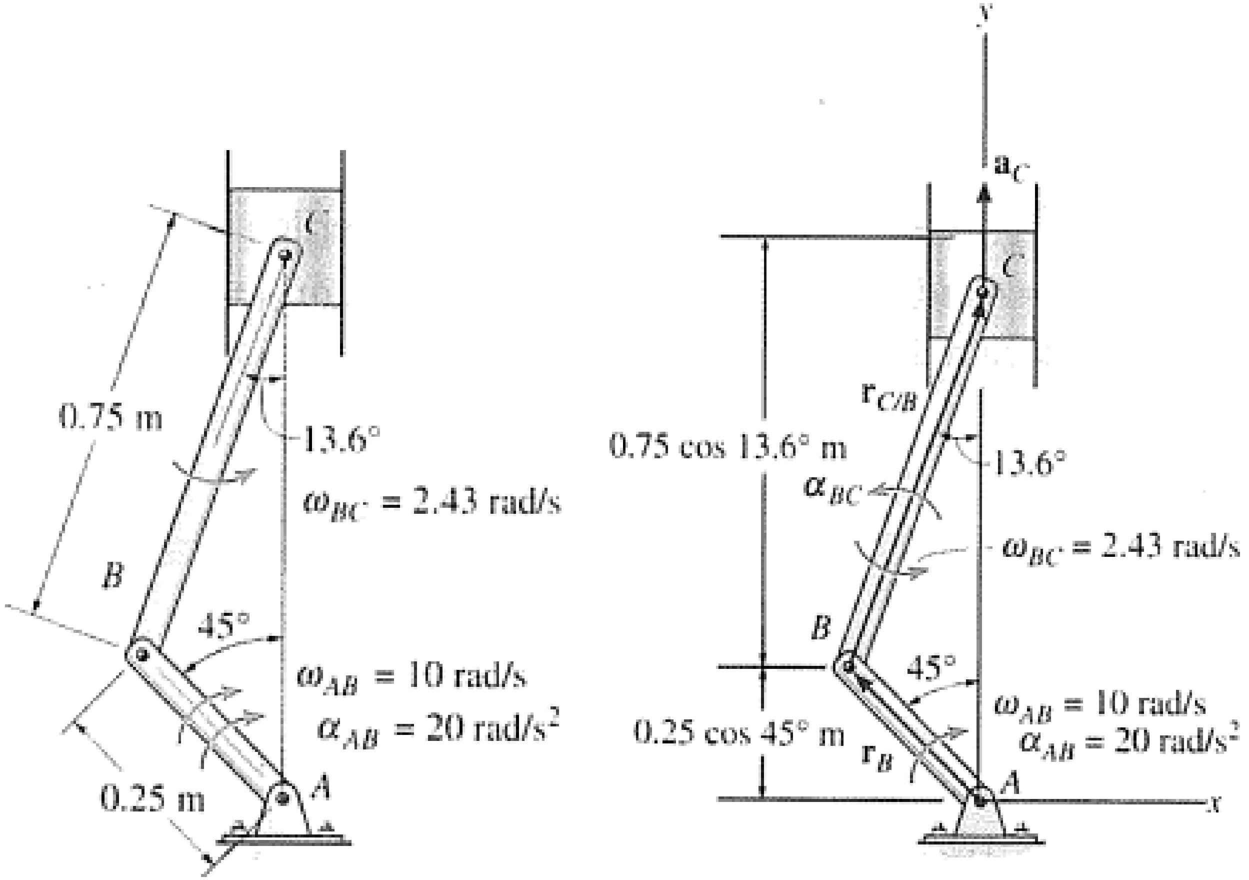
BC bağlantı çubuğu (genel düzlemsel hareket): Bulunan $\mathbf{a}_B$ değeri kullanılır ve a_C'nin düşey doğrultuda olduğuna dikkat edilirse,

$$\begin{aligned} \mathbf{a}_C &= \mathbf{a}_B + \boldsymbol{\alpha}_{AB} \times \mathbf{r}_{C/B} - \omega_{BC}^2 \mathbf{r}_{C/B} \\ a_C\mathbf{j} &= 21.24\mathbf{i} - 14.16\mathbf{j} + (\alpha_{BC}\mathbf{k}) \times (0.17\mathbf{i} + 0.729\mathbf{j}) \\ &\quad -(2.43)^2(0.176\mathbf{i} + 0.729\mathbf{j}) \\ a_C\mathbf{j} &= 21.24\mathbf{i} - 14.16\mathbf{j} + 0.176\alpha_{BC}\mathbf{j} - 0.729\alpha_{BC}\mathbf{i} - 1.04\mathbf{i} - 4.30\mathbf{j} \\ 0 &= 20.20 - 0.729\alpha_{BC} \\ a_C &= 0.176\alpha_{BC} - 18.46 \end{aligned}$$

$$\alpha_{BC} = 27.7 \text{ rad/s}^2$$
$$a_C = -13.6 \text{ m/s}^2 \qquad \textit{Yanıt}$$

elde edilir.

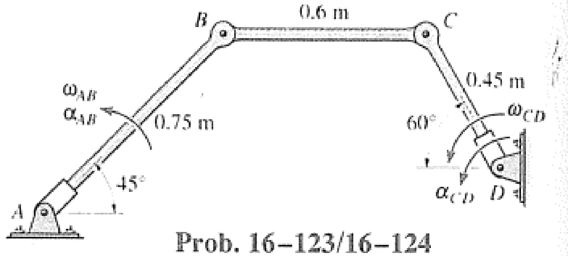
Piston yukarı doğru hareket ettiğinden, a_C'deki eksi işareti pistonun yavaşladığını gösterir, yani $\mathbf{a}_C = \{-13.6\mathbf{j}\}$ m/s²'dir. Bu, pistonun anlık olarak durduğu, AB krank milinin düşey konumuna gelinceye kadar pistonun hızının yavaşlamasına neden olur.



Problemler

16–123. *AB* bağlantısı, verilen bir anda $\alpha_{AB} = 12$ rad/s² lik bir açısal ivmeye ve $\omega_{AB} = 4$ rad/s'lik bir açısal hıza sahiptir. *CD* bağlantısının, bu andaki açısal hız ve açısal ivmesini belirleyiniz.

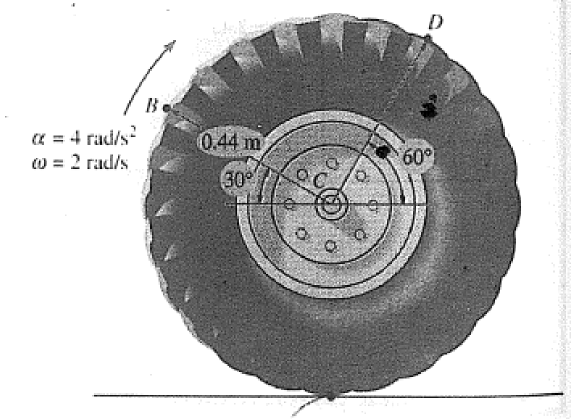
***16–124.** *CD* bağlantısı, verilen bir anda $\alpha_{CD} = 5$ rad/s²'lik bir açısal ivmeye ve $\omega_{CD} = 2$ rad/s'lik bir açısal hıza sahiptir. *AB* bağlantısının, bu andaki açısal hız ve açısal ivmesini belirleyiniz.



Prob. 16–123/16–124

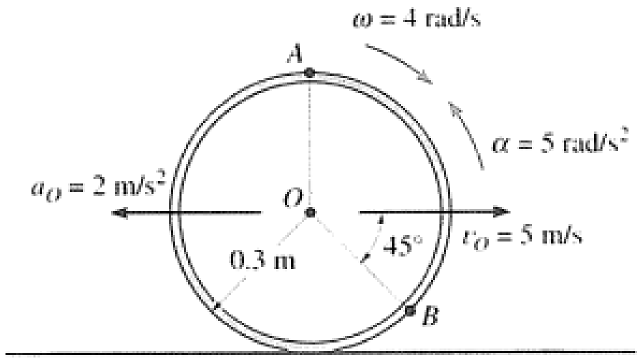
16–125. Tekerlek, şekilde gösterilen anda $\omega = 2$ rad/s lik bir açısal hıza ve $\alpha = 4$ rad/s²'lik bir açısal ivmeye sahip olacak şekilde sağa doğru hareket etmektedir. Tekerlek *A*'da kaymadığına göre, *B* noktasının ivmesini belirleyiniz.

16–126. Tekerlek, şekilde gösterilen anda $\omega = 2$ rad/s'lik bir açısal hıza ve $\alpha = 4$ rad/s²'lik bir açısal ivmeye sahip olacak şekilde sağa doğru hareket etmektedir. Tekerlek *A*'da kaymadığına göre, *D* noktasının ivmesini belirleyiniz.

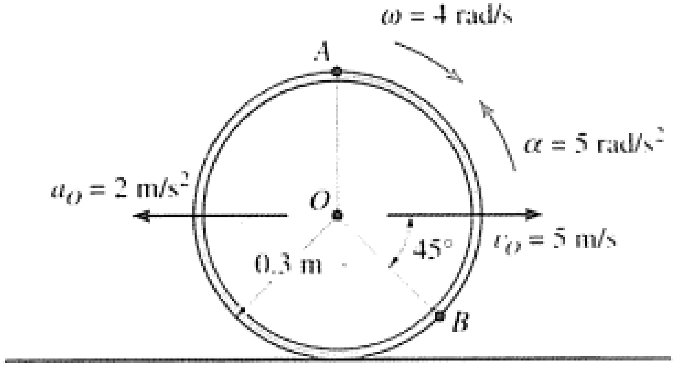


Prob. 16–125/16–126

16–138. Şekildeki çember, $\omega = 4$ rad/s'lik bir açısal hıza ve $\alpha = 5$ rad/s²'lik bir açısal yavaşlama ivmesine sahip olacak şekilde pürüzlü bir yüzey üzerinde çevrilmektedir. Çemberin merkezi de $v_O = 5$ m/s'lik bir hıza ve $a_O = 2$ m/s²'lik bir yavaşlama ivmesine sahiptir. *A* noktasının, bu andaki ivmesini belirleyiniz.



16–139. Şekildeki çember, $\omega = 4$ rad/s'lik bir açısal hıza ve $\alpha = 5$ rad/s²'lik bir açısal yavaşlama ivmesine sahip olacak şekilde pürüzlü bir yüzey üzerinde çevrilmektedir. Çemberin merkezi de $v_O = 5$ m/s'lik bir hıza ve $a_O = 2$ m/s²'lik bir yavaşlama ivmesine sahiptir. *B* noktasının, bu andaki ivmesini belirleyiniz.



Ders Kitabı:

- Hibbeler, 2014. Mühendislik Mekaniği – Dinamik, Literatür Yayıncılık, İstanbul
  Çevirenler: Ayşe Soyuçok, Özgün Soyuçok,
  Orijinal isimi: Engineering Mechanics SI Metric Edition, Dynamics.

Kullanılan Kaynaklar:

- Ferdinand Beer, Phillip Cornwell, E. Russell Johnston 2014. Mühendisler için Vektör Mekaniği Dinamik Literatür Yayıncılık, İstanbul, Çevirmen: Osman Kopmaz, Ömer Gündoğdu.
  Orijinal isimi: Vector Mechanics for Engineers: Dynamics

- Hibbeler, R. C., 2015. Engineering Mechanics: Dynamics, 14th Edition, Prentice Hall, New Jersey USA.

- Meriam, J. L. , Kraige, L. G. 2012. Engineering Mechanics: Dynamics, John Wiley & Sons, USA