

اسم الطالب : .....

الصف والشعبة : الحادي عشر المتقدم (.....)

اليوم والتاريخ : العام الدراسي 2021 - 2022

المادة : الفيزياء

عنوان الدرس : الوحدة (9) الحركة الدائرية

الفصل الدراسي : الثالث



مدرسة الراشد الصالح الخاصة – دبي

### (9.1) الإحداثيات القطبية – صفحة (255)

\* **الحركة الدائرية :-** هي حركة جسم ( جسيم نقطي ) على طول محيط دائرة ، أي تحدث الحركة في مستوى ثنائي الأبعاد .

\* من الأمثلة على الحركة الدائرية :-

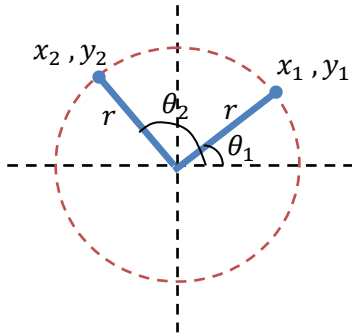


\* حركة نقطة على قرص (DVD) أثناء تشغيله

\* سيارة تتحرك في مضمار دائري

\* شخص يركب دوامة الخيل

### \* الإحداثيات الديكارتية (x , y) والإحداثيات القطبية (r , θ) :-



\* أثناء الحركة الدائرية لجسم ما، يتغير الإحداثيان الديكارتيان (x , y) باستمرار، وكذلك تتغير الزاوية (θ) المحصورة بين متجه الموضع (r) ومحور (x) الموجب ، مع ثبات المسافة بين الجسم ومركز المسار الدائري (r). كما في الشكل المجاور.

\* يتم التحويل من الإحداثيات القطبية (r , θ) إلى الإحداثيات الديكارتية (x , y) من خلال العلاقات التالية:-

$$x = r \cos \theta$$

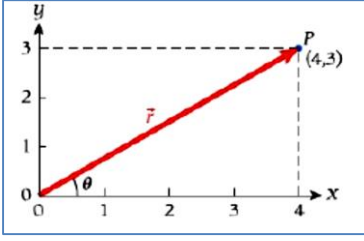
$$y = r \sin \theta$$

\* يتم التحويل من الإحداثيات الديكارتية (x , y) إلى الإحداثيات القطبية (r , θ) من خلال العلاقات التالية:-

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right)$$

(θ) الزاوية المحصورة بين نصف القطر ومحور (x) الموجب.



**مثال (9.1) صفحة (256)** النقطة ( P ) موقعها محدد بالإحداثيات الديكارتية ( 4 , 3 ) كما موضح في الشكل المجاور .

**المسألة** كيف يمكننا تمثيل موقع هذه النقطة بالإحداثيات القطبية ( r , θ ) ؟

**سؤال (1) 2019-2020** نقطة موقعها في المستوى ثنائي الأبعاد  $x, y$  هو  $(x = +3.0 \text{ m}) , (y = +4.0 \text{ m})$  .

ما موقع النقطة وفق الإحداثيات القطبية ( r , θ ) ؟

(a)\*  $(r, \theta) = (5.0 \text{ m} , 0.92 \text{ rad})$

(b)  $(r, \theta) = (5.0 \text{ m} , 0.64 \text{ rad})$

(c)  $(r, \theta) = (4.2 \text{ m} , 0.79 \text{ rad})$

(d)  $(r, \theta) = (4.2 \text{ m} , 1.6 \text{ rad})$

**سؤال (2) 2019-2020** نقطة موقعها في المستوى ثنائي الأبعاد  $x, y$  هو  $(x = +3.0 \text{ m}) , (y = +3.0 \text{ m})$  .

ما موقع النقطة وفق الإحداثيات القطبية ( r , θ ) ؟

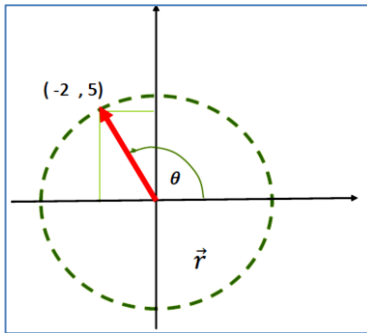
(a)  $(r, \theta) = (3.0 \text{ m} , 0.79 \text{ rad})$

(b)  $(r, \theta) = (3.0 \text{ m} , 1.6 \text{ rad})$

(c)  $(r, \theta) = (4.2 \text{ m} , 1.6 \text{ rad})$

(d)\*  $(r, \theta) = (4.2 \text{ m} , 0.79 \text{ rad})$

**سؤال (1)** نقطة موقعها في المستوى ثنائي الأبعاد  $x, y$  كما في الشكل المجاور، حيث ( x , y ) مقاسة بالمتري، ما موقع النقطة وفق الإحداثيات القطبية ( r , θ ) ؟



(a)  $(r, \theta) = (29 \text{ m} , 2.76 \text{ rad})$

(b)\*  $(r, \theta) = (5.39 \text{ m} , 1.95 \text{ rad})$

(c)  $(r, \theta) = (5.39 \text{ m} , 2.76 \text{ rad})$

(d)  $(r, \theta) = (29 \text{ m} , 1.95 \text{ rad})$

**سؤال (2)** نقطة موقعها في المستوى ثنائي الأبعاد وفق الإحداثيات القطبية  $(r, \theta)$  هو  $(2.50 \text{ m}, \frac{\pi}{6} \text{ rad})$  ، ما موقع النقطة وفق الإحداثيات وفق الإحداثيات الديكارتية  $(x, y)$  ؟

(a)  $(x, y) = (2.115 \text{ m}, 1.210 \text{ m})$

(b)\*  $(x, y) = (2.165 \text{ m}, 1.250 \text{ m})$

(c)  $(x, y) = (2.225 \text{ m}, 1.150 \text{ m})$

(d)  $(x, y) = (2.265 \text{ m}, 1.130 \text{ m})$

**سؤال (3)** نقطة موقعها في المستوى ثنائي الأبعاد وفق الإحداثيات القطبية  $(r, \theta)$  هو  $(3.80 \text{ m}, \frac{2\pi}{3} \text{ rad})$  ، ما موقع النقطة وفق الإحداثيات وفق الإحداثيات الديكارتية  $(x, y)$  ؟

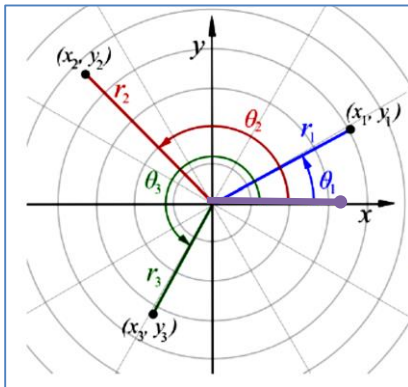
(a)  $(x, y) = (-1.990 \text{ m}, 3.095 \text{ m})$

(b)\*  $(x, y) = (-1.900 \text{ m}, 3.290 \text{ m})$

(c)  $(x, y) = (-1.805 \text{ m}, 3.140 \text{ m})$

(d)  $(x, y) = (-1.875 \text{ m}, 3.050 \text{ m})$

### (9.2) الإحداثيات الزاوية والإزاحة الزاوية – صفحة (256)



\* نُمكّننا الإحداثيات القطبية من وصف الحركة الدائرية وتحليلها .

\* يبقى بُعد الجسم المتحرك عن نقطة الأصل  $(r)$  ثابت ، بينما تختلف الزاوية  $(\theta)$  كدالة زمنية  $\theta(t)$  ، حيث تقاس بالنسبة إلى محور  $(x)$  الموجب . كما في الشكل المجاور .

\* يكون قياس الزاوية صفراً  $(\theta = 0.0)$  عندما يقع الجسم على محور  $(x)$  الموجب . وفقاً للمعادلة  $\theta = \tan^{-1}(\frac{y}{x})$

\* عندما يدور الجسم عكس اتجاه عقارب الساعة بعيداً عن محور  $(x)$  الموجب تكون قيمة الزاوية  $(\theta)$  موجبة .

\* وبالعكس ، عندما يدور الجسم في اتجاه عقارب الساعة بعيداً عن محور  $(x)$  الموجب تكون قيمة الزاوية  $(\theta)$  سالبة .

\* عندما يدور الجسم دورة كاملة ، فإن قياس الزاوية التي يصنعها تساوي بالدرجات  $(360^\circ)$  وتساوي بالراديان  $(2\pi \text{ rad})$  .

\* قانون تحويل وحدة قياس الزاوية :-  $\theta (\text{rad}) = \frac{\pi}{180} \theta (\text{deg})$

### الإزاحة الزاوية ( $\Delta\theta$ )

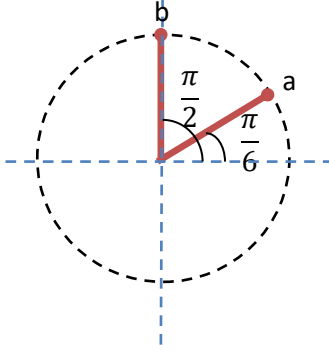
\* مثلما تُعرّف الإزاحة الخطية (  $\Delta x$  ) بأنها الفرق بين الموقعين النهائي والإبتدائي ، حيث :-  $\Delta x = x_f - x_i$

\* بالمثل ، فإن الإزاحة الزاوية (  $\Delta\theta$  ) هي الفرق بين الزاويتين النهائية والإبتدائية ، حيث :-  $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$

\* الإزاحة الزاوية (  $\Delta\theta$  ) تُقاس بنظام ( rev ) أو ( rad ) ، ولكن يجب التعويض عنها في القوانين بنظام ( rad ) .

\* إذا كان المطلوب في المسألة حساب عدد الدورات يعني ذلك حساب الإزاحة الزاوية (  $\Delta\theta$  ) .

**سؤال(1)** مستعينًا بالشكل المجاور ، احسب الإزاحة الزاوية (  $\Delta\theta$  ) عند انتقال الجسم على محيط الدائرة من الموقع ( a ) إلى الموقع ( b ) ؟



### طول القوس ( S )

\* يوضح الشكل المجاور (باللون الأخضر) المسار على محيط الدائرة الذي يقطعه رأس المتجه (  $\vec{r}$  ) أثناء الانتقال من الزاوية ( صفر ) إلى الزاوية (  $\theta$  ) ، يُطلق على هذا المسار طول القوس ( S ) .

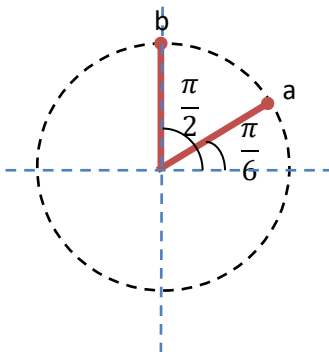
\* يرتبط طول القوس ( S ) بنصف القطر ( r ) والزاوية (  $\theta$  ) بالعلاقة التالية :-

$$S = r \Delta\theta$$

( S ) طول القوس أو الإزاحة الخطية . ( r ) نصف القطر المسار الدائري.

(  $\Delta\theta$  ) الإزاحة الزاوية ، وتُعَوَّض في القانون بوحدة الراديان ( rad ) .

**سؤال(2)** مستعينًا بالشكل المجاور ، احسب طول القوس ( S ) عند انتقال الجسم على محيط الدائرة من الموقع ( a ) إلى الموقع ( b ) ، علمًا أن نصف قطر المسار الدائري يساوي ( 5 cm ) .



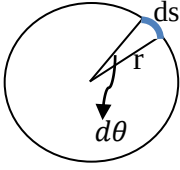
### سؤال الاختبار الذاتي (9.1) صفحة (257)

استخدم الإحداثيات القطبية وحساب التفاضل والتكامل لإثبات أن محيط دائرة نصف قطرها  $(r)$  يساوي  $(2\pi r)$  ؟

**الحل** إذا فرضنا أن الطول التفاضلي للقوس هو  $(ds = r d\theta)$  لدائرة نصف قطرها  $(r)$  .

\*\* تكامل الطول التفاضلي للقوس  $(rd\theta)$  يساوي محيط الدائرة  $(C)$  ، حيث :-

$$C = \int_0^{2\pi} r d\theta = r \int_0^{2\pi} d\theta = r [\theta]_0^{2\pi} = 2\pi r$$



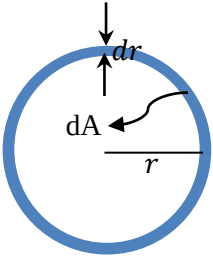
### سؤال الاختبار الذاتي (9.2) صفحة (257)

استخدم الإحداثيات القطبية وحساب التفاضل والتكامل لإثبات أن مساحة دائرة نصف قطرها  $(r)$  يساوي  $(\pi r^2)$  ؟

**الحل** الشكل المجاور يوضح المساحة التفاضلية  $(dA = 2\pi r dr)$  لدائرة نصف قطرها  $(r)$  .

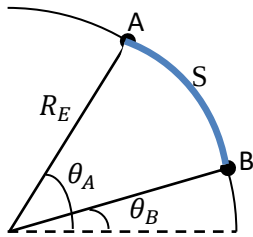
\*\* تكامل المساحة التفاضلية  $(2\pi r dr)$  يساوي مساحة الدائرة  $(A)$  ، حيث :-

$$A = \int_0^r 2\pi r dr = 2\pi \int_0^r r dr = 2\pi \left[ \frac{r^2}{2} \right]_0^r = \pi r^2$$



**سؤال (9.32) صفحة (280)** ما المسافة  $(S)$  المقاسة على سطح الأرض بين الموضع  $(A)$  عند خط عرض  $(\theta_A = 42.50^\circ)$  والموضع  $(B)$  عند خط عرض  $(\theta_B = 14.62^\circ)$  ، علماً بأن نصف قطر الأرض  $(R_E = 6.37 \times 10^6 m)$  ؟

**الحل**



### (9.3) السرعة الزاوية والتردد الزاوي والزمن الدوري – صفحة (258)

\* عرفنا سابقاً أن السرعة المتجهة (  $\vec{v}$  ) لجسم ما ، هي تغير الإحداثيات الخطية للجسم (  $\Delta x$  ) خلال زمن معين (  $\Delta t$  ) .

\* بالمثل ، فإن السرعة الزاوية (  $\omega$  ) لجسم :- هي تغير الإحداثي الزاوي (  $\Delta \theta$  ) للجسم خلال زمن معين (  $\Delta t$  ) .

\* يمكن حساب متوسط مقدار السرعة الزاوية من العلاقة التالية :-

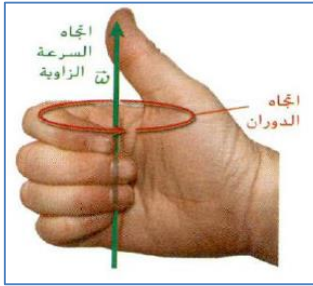
$$\bar{\omega} = \frac{\Delta \theta \text{ (rad)}}{\Delta t \text{ (s)}} = \frac{\theta_f - \theta_i}{t_f - t_i}$$

(  $\bar{\omega}$  ) متوسط مقدار السرعة الزاوية ، وتقاس بوحدة ( rad/s ) .

(  $\Delta \theta$  ) الإزاحة الزاوية ، وتقاس بنظام ( rad ) . لا تنسى أن (  $1 \text{ rev} = 2\pi \text{ rad} = 360^\circ$  )

\* ويمكن حساب القيمة اللحظية لمقدار السرعة الزاوية من العلاقة التالية :-

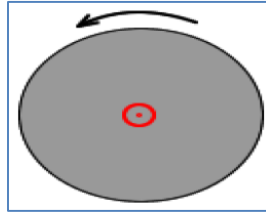
$$\omega = \frac{d\theta}{dt}$$



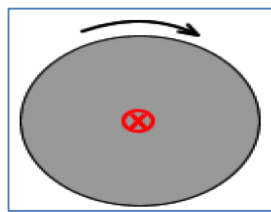
\* **السرعة الزاوية (  $\vec{\omega}$  ) كمية متجهة** ، وتكون دائماً موازية لمحور يمر بمركز المسار الدائري ، أي تكون عمودية على مستوى الدائرة.

\* يتم تحديد اتجاه السرعة الزاوية (  $\vec{\omega}$  ) باستخدام قبضة اليد اليمنى ، حيث يتم تدوير الأصابع مع اتجاه الحركة ، فيكون اتجاه السرعة الزاوية باتجاه الإبهام ، كما في الشكل المجاور .

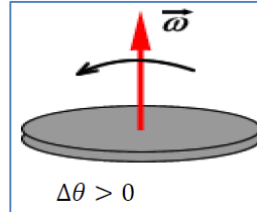
\* إذا كانت الحركة عكس اتجاه عقارب الساعة ، فإن قيم الإزاحة الزاوية (  $\Delta \theta$  ) تكون موجبة ، وبالتالي تكون قيم السرعة الزاوية (  $\omega$  ) موجبة أيضاً ، والعكس صحيح .



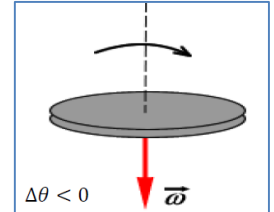
اتجاه (  $\vec{\omega}$  ) نحو خارج الصفحة ، وذات قيمة موجبة .



اتجاه (  $\vec{\omega}$  ) نحو داخل الصفحة ، وذات قيمة سالبة .



اتجاه (  $\vec{\omega}$  ) نحو أعلى الصفحة ، وذات قيمة موجبة .



اتجاه (  $\vec{\omega}$  ) نحو أسفل الصفحة ، وذات قيمة سالبة .

\* **التردد (  $f$  ) :- عدد الدورات في الثانية** ، ويقاس بوحدة هرتز (  $H_z$  ) ، والتي تكافئ (  $H_z = \frac{1}{s} = s^{-1}$  ) .

\* **الزمن الدوري (  $T$  ) :- زمن دورة كاملة** ، ويقاس بوحدة الثانية (  $s$  ) .

\* **علاقة التردد بالزمن الدوري :-**  $f = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{زمن حدوثها (بالثواني)}} \rightarrow f = \frac{1}{T}$

\* علاقة مقدار السرعة الزاوية (  $\omega$  ) بالتردد (  $f$  ) والزمن الدوري (  $T$  ) :- (  $rad/s$  )

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

\*خلاصة

**سؤال(1)** تكمل لعبة دّوّارة موجودة في أعلى سرير طفل دورة واحدة في عكس اتجاه عقارب الساعة خلال ( 1 min ) .

(a) ما مقدار الإزاحة الزاوية التي تقطعها اللعبة خلال ( 3 min ) ؟

(الحل)

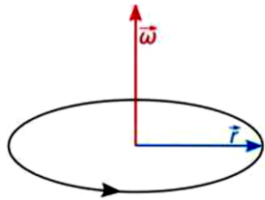
$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta\theta_2}{\Delta t_2}$$

$$\frac{1 \text{ rev}}{1 \text{ min}} = \frac{\Delta\theta_2}{3 \text{ min}} \rightarrow \Delta\theta_2 = 3 \text{ rev}$$

$$\Delta\theta_2 = 3 \text{ rev} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 6\pi \text{ rad}$$

(b) ما متوسط مقدار السرعة الزاوية للعبة بوحدة (  $rad/min$  ) واتجاهها ؟

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta_2}{\Delta t_2} = \frac{6\pi \text{ rad}}{3 \text{ min}} = 2\pi \text{ rad/min}$$



الشكل 9.7 قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه متجه السرعة الزاوية.

\*لتحديد اتجاه السرعة الزاوية نطبق قاعدة اليد اليمنى ، حيث بما أن حركة اللعبة الدّوّارة في عكس اتجاه عقارب الساعة فإن اتجاه السرعة الزاوية يكون عمودي على مستوى اللعبة وإلى الأعلى .

**سؤال(2)** تستمر مباراة كرة قدم لمدة ساعتين ( 2 h ) ، ما مقدار الإزاحة الزاوية لعقرب الساعات خلال فترة المباراة ؟

(الحل) عقرب الساعات يستغرق ( 12 h ) ليكمل دورة واحدة ( 1 rev ) .

$$\bar{\omega} = \frac{\Delta\theta_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta\theta_2}{\Delta t_2}$$

$$\frac{1 \text{ rev}}{12 \text{ h}} = \frac{\Delta\theta_2}{2 \text{ h}} \rightarrow \Delta\theta_2 = \frac{2 \text{ h}}{12 \text{ h}} \times 1 \text{ rev}$$

$$\Delta\theta_2 = \frac{2}{12} \text{ rev} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = \frac{\pi}{3} \text{ rad} \rightarrow \Delta\theta_2 = -\frac{\pi}{3} \text{ rad} \quad \text{الاشارة السالبة لأن الدوران باتجاه عقارب الساعة}$$

**سؤال(9.8) صفحة(278)** السرعة الزاوية لعقرب الساعة (بوحدة الراديان في الثانية) ؟

$$\frac{\pi}{3600} \text{ (c)}$$

$$\frac{\pi}{7200} \text{ (b)}$$

$$\frac{\pi}{21,600} \text{ (a)}$$

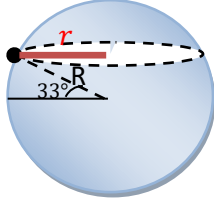
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{12 \times 3600} = \frac{\pi}{21,600}$$

(الحل)

$$\frac{\pi}{60} \text{ (e)}$$

$$\frac{\pi}{1800} \text{ (d)}$$

**سؤال (9.3) صفحة (278) I** إذا كان خط العرض لمدينة لوبوك بولاية تكساس يبلغ (  $33^\circ$  ) ، فما سرعة الدوران المحوري لها (  $\vartheta$  ) ، على افتراض أن نصف قطر الأرض عند خط الاستواء يساوي ( 6380 Km ) ؟

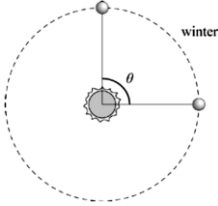


$$\vartheta = \omega r \quad 464 \text{ m/s (a)} \quad 389 \text{ m/s (b)*}$$

$$\vartheta = \frac{2\pi}{T} R \cos 33 \quad 0.464 \text{ m/s (d)} \quad 253 \text{ m/s (c)}$$

$$\vartheta = \frac{2\pi}{24 \times 3600} \times 6380 \times 10^3 \times \cos 33 = 389 \text{ m/s} \quad 0.389 \text{ m/s (e)}$$

**سؤال (9.31) صفحة (280) I** ما الزاوية التي تتحركها الأرض في مدارها أثناء الشتاء بالراديان ؟



**الحل** تدور الأرض حول الشمس دورة كاملة (  $1 \text{ rev} = 2\pi \text{ rad}$  ) خلال سنة (  $T = 1 \text{ year}$  ).

بينما يحدث فصل الشتاء عندما تدور الأرض حول الشمس ربع دورة ، أي أن :-

$$\Delta\theta_{\text{winter}} = \frac{1}{4} \text{ rev} = \frac{1}{4} \times 2\pi = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

**سؤال (9.34) صفحة (280) I** تم رمي كرة بيسبول بسرعة مقدارها ( 141.6 kph ) تقريباً وبمعدل دوران ( 110 rpm ) إذا كانت المسافة بين نقطة إطلاق اللاعب للكرة وقفاز ملنقط الكرة تساوي ( 18.3 m ) ، فكم عدد الدورات الكاملة التي تصنعها الكرة بين الإطلاق والالتقاط؟ يمكنك تجاهل أي تأثير للجاذبية أو مقاومة الهواء المبذولة أثناء طيران الكرة .

$$\vartheta = 141.6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 141.6 \times \frac{10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 39.3 \text{ m/s}$$

**المعطيات**

$$\omega = 110 \text{ rpm} = 110 \times \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 11.52 \text{ rad/s}$$

$$d = 18.3 \text{ m} \quad , \quad \Delta\theta = ? \text{ rev}$$

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{t} \rightarrow \Delta\theta = \omega t$$

**الحل**

$$\Delta\theta = 11.52 \times t \quad \vartheta = \frac{d}{t} \rightarrow 39.3 = \frac{18.3}{t} \rightarrow t = 0.465 \text{ s}$$

$$\Delta\theta = 11.52 \times 0.465 = 5.36 \text{ rad} \rightarrow \Delta\theta = 5.36 \text{ rad} \times \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} = 0.853 \text{ rev}$$

**سؤال (9.36) صفحة (280) I** في أحد الملاهي، أخذ صبي دميته معه عند ركوب العجلة الدوّارة العملاقة، لكن لسوء الحظ عند الجزء العلوي من اللعبة سقطت منه الدمية دون قصد ، فإذا كان قطر العجلة (12.0 m) ويرتفع الجزء السفلي منها بمقدار (2.0m) عن الأرض وتتحرك حافتها بسرعة (1.00m/s) ، فكم سيكون البعد بين قاعدة العجلة الدوّارة والمكان الذي ستسقط فيه الدمية ( X = ? ) ؟

**(الحل)**

$$X = v_x \cdot t$$

يمكن حساب (t) من المعادلة التالية :-

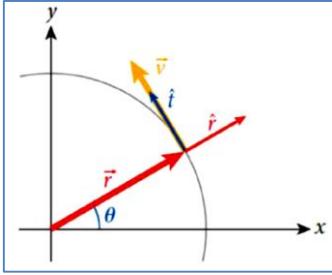
$$y = y_o + v_{yo}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0.0 = 14 + 0.0 - \frac{1}{2} \times 9.81 \times t^2$$

$$t = 1.69 \text{ s}$$

$$X = 1.0 \times 1.69 = 1.96 \text{ m}$$

### السرعة الزاوية ( $\omega$ ) والسرعة الخطية ( $\vec{v}$ )



\* يكون متجه السرعة الخطية (  $\vec{v}$  ) مماساً لمحيط الدائرة دائماً ، ويشير إلى اتجاه الحركة ، وينطبق على متجه الوحدة المماسي (  $\hat{t}$  ). كما في الشكل المجاور.

\* العلاقة بين السرعة الزاوية والسرعة الخطية في الحركة الدائرية كما يلي :-

$$\vec{v} = r \omega \hat{t}$$

\* بما أن متجه السرعة الخطية (  $\vec{v}$  ) مماساً لمحيط الدائرة دائماً ، بينما متجه السرعة الزاوية (  $\omega$  ) يكون دائماً موازياً لمحور الدوران أي عمدياً على مستوى الدائرة ، لذلك سيكون دائماً متجهي السرعة الخطية والسرعة الزاوية متعامدين على بعضهما .

\* يمكن حساب مقدار السرعة الخطية المماسية (  $v$  ) بدلالة مقدار السرعة الزاوية (  $\omega$  ) ومقدار نصف القطر (  $r$  ) من المعادلة :-

$$v = r \omega$$

**مراجعة المفاهيم (9.1) صفحة (259) I** إذا كان نصف قطر عجلات الدراجة ( R ) وتسير بسرعة (  $v$  ) ، فأَي من التعبيرات التالية يصف السرعة الزاوية للإطار الأمامي ؟

$$\omega = \frac{v}{R} \text{ (e) } *$$

$$\omega = R v \text{ (d) }$$

$$\omega = \frac{R}{v} \text{ (c) }$$

$$\omega = \frac{1}{2} v R^2 \text{ (b) }$$

$$\omega = \frac{1}{2} R v^2 \text{ (a) }$$

**سؤال** أوجد السرعة المماسية لبقعة تراب توجد على بُعد ( 2.0 cm ) من مركز قرص مضغوط يدور داخل مشغل أقراص مضغوطة بسرعة ( 250 rpm ) ؟ **ملاحظة** (  $\frac{rev}{min}$  : rpm: revolution per minute )

$$\omega = 250 \text{ rpm} = 250 \frac{rev}{min} = 250 \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 26.2 \text{ rad/s} \quad \text{(الحل)}$$

$$v = \omega r = 26.2 \times 0.02 = 0.52 \text{ m/s}$$

**مثال (9.3) صفحة (260)**

**مسألة (1)** تدور الأرض حول محورها الذي يمتد من القطب إلى القطب دورة واحدة في اليوم ، أجب عما يلي :-

(a) أوجد الزمن الدوري بوحدة الثانية ( s ) لأي نقطة تقع على سطح الأرض ؟

$$T_{Earth} = 1 \text{ day} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ day}} \cdot \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 8.64 \times 10^4 \text{ s}$$

(b) أوجد تردد تلك النقطة بوحدة الهرتز (  $H_z$  ) ؟

$$f_{Earth} = \frac{1}{T_{Earth}} = \frac{1}{8.64 \times 10^4} = 1.16 \times 10^{-5} H_z$$

(c) أوجد السرعة الزاوية بوحدة (  $rad/s$  ) لتلك النقطة ؟

$$\omega_{Earth} = 2\pi f_{Earth} = 2\pi \times 1.16 \times 10^{-5} = 7.27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$$

**مسألة (2)** تدور الأرض حول الشمس دورة واحدة في السنة ، أجب عما يلي :-

(a) أوجد الزمن الدوري بوحدة الثانية ( s ) للأرض أثناء دورانها حول الشمس؟

(b) أوجد تردد الأرض بوحدة الهرتز (  $H_z$  ) ؟

(c) أوجد السرعة الزاوية بوحدة (  $rad/s$  ) للأرض أثناء دورانها حول الشمس ؟

**سؤال (9.1) صفحة (278)** | جسم يتحرك في مسار دائري ، فإذا انعدمت القوة المركزية فجأة ، فكيف سيتحرك الجسم ؟

(a) سيتحرك باتجاه نصف القطر إلى الخارج. (b) سيتحرك باتجاه نصف القطر إلى الداخل .

(c) سيتحرك عمودياً إلى أسفل. (d)\* سيتحرك في الاتجاه الذي يشير إليه متجه السرعة في لحظة انعدام القوة المركزية .

**سؤال (9.10) صفحة (278) |** توجد نقطة ما على قرص (Blu-Ray) على مسافة ( $R/4$ ) من محور الدوران ، كم تبعد نقطة ثانية عن محور الدوران إذا كانت سرعتها الخطية في أي لحظة تساوي مثلي السرعة الخطية للنقطة الأولى ؟

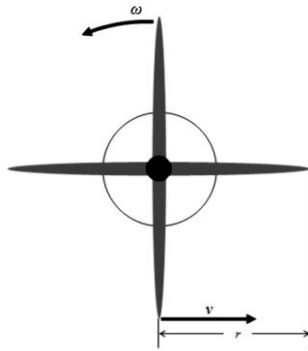
$R/8$  (b)  $R/16$  (a)

$R$  (d)  $R/2$  (c)\*

**سؤال (9.13) صفحة (278) |** توجد دراجة نصف قطر عجلتها ( $33.0 \text{ cm}$ ) وتحرك بسرعة تصل إلى ( $6.5 \text{ m/s}$ ) فما السرعة الزاوية للإطار الأمامي ؟

$5.08 \text{ rad/s}$  (c)  $1.24 \text{ rad/s}$  (b)  $0.197 \text{ rad/s}$  (a)

$215 \text{ rad/s}$  (e)  $19.7 \text{ rad/s}$  (d)\*



**سؤال (9.85) صفحة (283) |** عندما تكون السرعة الخطية لأطراف الريشة الدوّارة لمروحة طائرة أكبر من سرعة الصوت ، تُصدر المروحة ضوضاء كثيرة غير مرغوب فيها ، إذا دارت الريشة بمعدل ( $2403 \text{ rpm}$ ) ، فما أقصى طول ( $L$ ) يمكن أن تصل إليه بدون أن تتجاوز الأطراف سرعة الصوت ؟ افترض أن سرعة الصوت تساوي ( $343.0 \text{ m/s}$ ) وأنّ الريشة تدور حول مركزها .

$\omega = 2403 \text{ rpm} = 2403 \times \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 251.64 \text{ rad/s}$  المعطيات

$v = 343 \text{ m/s}$

$L = ? \rightarrow (L = 2r) \rightarrow r = ?$

$v = r \omega \rightarrow 343 = r \times 251.64 \rightarrow r = 1.363 \text{ m}$  الحل

$L = 2r = 2 \times 1.363 = 2.726 \text{ m}$

**سؤال (9.86) صفحة (283) |** عندما تكون السرعة الخطية لأطراف الريشة الدوّارة لمروحة طائرة أكبر من سرعة الصوت ، تُصدر المروحة ضوضاء كثيرة غير مرغوب فيها ، إذا كان طول الريشة من طرف إلى آخر يساوي ( $2.601 \text{ m}$ ) ، فما أقصى تردد زاوي (بوحدّة الدورة في الدقيقة) يمكن أن تدور به الريشة؟ افترض أن سرعة الصوت تساوي ( $343.0 \text{ m/s}$ ) وأنّ الريشة تدور حول مركزها .

(9.4) العجلة الزاوية (α) والعجلة المماسية (a<sub>r</sub>) والعجلة المركزية (a<sub>c</sub>) – صفحة (261)

**\* العجلة الزاوية لجسم (α):** هي معدل التغير في السرعة الزاوية للجسم . ويُرمز لها بالرمز اليوناني ألفا (α) .

**\* يمكن حساب متوسط مقدار العجلة الزاوية** باستخدام القانون التالي :-

$$\bar{\alpha} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t} \quad \text{تُقاس العجلة الزاوية بوحدة } rad/s^2$$

**\* يمكن الحصول على المقدار اللحظي للعجلة الزاوية** من خلال مشتقة الزمن للسرعة الزاوية أو المشتقة الثانية للإزاحة الزاوية :-

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

**\* ويمكن حساب المقدار اللحظي للسرعة الزاوية** من خلال تكامل العجلة الزاوية بدلالة الزمن ، حيث :-

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

$$\Delta\omega = \int_{t_0}^t \alpha dt$$

$$\omega = \omega_0 + \int_{t_0}^t \alpha dt$$

**سؤال (3) 2019-2020** بدأ قرص قطره (1.0 m) الدوران من السكون وكان التسارع الزاوي للقرص يتغير مع الزمن وفق الدالة  $(\alpha = 0.1 t)$  ، ما مقدار السرعة الزاوية للقرص بعد (8.0 s) من بدء الدوران ؟

(a) 3.2 rad/s (b) 6.4 rad/s

(c) 17 rad/s (d) 51 rad/s

**سؤال (4) 2019-2020** بدأ قرص قطره (1.0 m) الدوران من السكون وكان التسارع الزاوي للقرص يتغير مع الزمن وفق الدالة  $(\alpha = 0.1 t^2)$  ، ما مقدار السرعة الزاوية للقرص بعد (8.0 s) من بدء الدوران ؟

(a) 51 rad/s (b) 6.4 rad/s

(c) 1.6 rad/s (d) 17 rad/s

**\* تحديد اشارة واتجاه العجلة الزاوية يعتمد على اتجاه السرعة الزاوية ، وطبيعة تغيرها (متزايدة أم متباطئة) ، حيث :-**

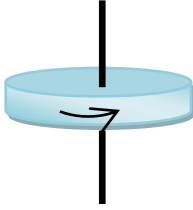
**ملاحظت** يتم تحديد اتجاه السرعة الزاوية باستخدام قاعدة قبضة اليد اليمنى .

**1** عندما يتحرك الجسم **بسرعة زاوية ثابتة** ، فإن **العجلة الزاوية تساوي صفراً** .

**2** عندما يتحرك الجسم **بسرعة زاوية متزايدة** ، فإن **العجلة الزاوية (α) يكون لها نفس اشارة واتجاه السرعة الزاوية (ω)** .

**3** عندما يتحرك الجسم **بسرعة زاوية متباطئة** ، فإن **العجلة الزاوية (α) تعاكس السرعة الزاوية (ω) في الاشارة والاتجاه** .

**سؤال(1)** في الشكل المجاور، مستوى القرص عمودي على الصفحة ، ويدور القرص **عكس اتجاه عقارب الساعة** **بسرعة متزايدة** ، حدد إشارة واتجاه كل من السرعة الزاوية والعجلة الزاوية ؟



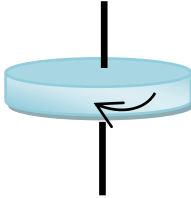
**الجواب**

\* الدوران عكس عقارب الساعة ، تكون  $(\omega = +)$ .

\* بتطبيق قاعدة قبضة اليد اليمنى على القرص ، يكون اتجاه السرعة الزاوية نحو أعلى الصفحة .

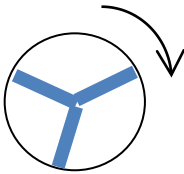
\* بما أن القرص يدور بسرعة متزايدة ، فإن العجلة الزاوية يكون لها نفس إشارة واتجاه السرعة الزاوية . أي أن  $(\alpha = +)$  ويكون اتجاهها نحو أعلى الصفحة .

**سؤال(2)** في الشكل المجاور، مستوى القرص عمودي على الصفحة ، ويدور القرص **بنفس اتجاه عقارب الساعة** **بسرعة متباطئة** ، حدد إشارة واتجاه كل من السرعة الزاوية والعجلة الزاوية ؟



**الجواب**

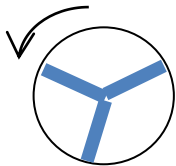
**سؤال(5) 2019-2020** مروحة سقف تدور باتجاه دوران عقارب الساعة عندما تنتظر إليها باتجاه الأعلى من الأرض، فإذا كانت المروحة تتباطأ ، **ما اتجاه كل من السرعة الزاوية  $(\omega)$  والتسارع الزاوي  $(\alpha)$  ؟**



| التسارع الزاوي | السرعة الزاوية |   |
|----------------|----------------|---|
| للأسفل         | للاعلى         | a |
| لليسار         | لليمين         | b |
| للاعلى         | للاعلى         | c |
| للأسفل         | للأسفل         | d |

**ملاحظة )** لحل السؤال ارسم المروحة على ورقة ثم ارفع الورقة فوق رأسك وانظر لها .

**سؤال(6) 2019-2020** مروحة سقف تدور عكس اتجاه دوران عقارب الساعة عندما تنتظر إليها باتجاه الأعلى من الأرض، فإذا كانت المروحة تتباطأ ، **ما اتجاه كل من السرعة الزاوية  $(\omega)$  والتسارع الزاوي  $(\alpha)$  ؟**



| التسارع الزاوي | السرعة الزاوية |   |
|----------------|----------------|---|
| للاعلى         | للاعلى         | a |
| للأسفل         | للأسفل         | b |
| للاعلى         | للأسفل         | c |
| لليسار         | لليمين         | d |

\* العجلة المماسية (  $a_t \hat{t}$  ) :- تنتج عن التغير في مقدار السرعة الخطية المماسية  $\vec{v}(t)$  .

$$a_t = \frac{d\vartheta}{dt} = \frac{d}{dt}(r\omega) = r \frac{d\omega}{dt} = r \alpha$$

$$a_t = r \alpha$$

تُقاس العجلة المماسية بوحدة  $m/s^2$

(  $a_t$  ) العجلة المماسية ، وتقاس بوحدة (  $m/s^2$  ) .

(  $r$  ) نصف قطر المسار الدائري ، ويقاس بوحدة (  $m$  ) .

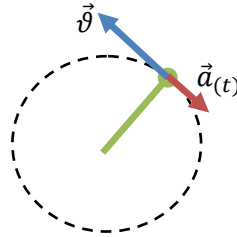
(  $\alpha$  ) العجلة الزاوية ، وتقاس بوحدة (  $rad/s^2$  ) .

\* تحديد اتجاه العجلة الخطية المماسية  $\vec{a}(t)$  ، يعتمد على طبيعة التغير في مقدار سرعة الدوران ، حيث :-

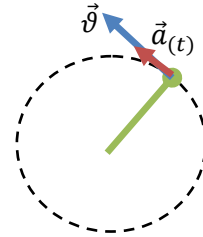
(1) عندما يدور الجسم بسرعة ثابتة ، تكون العجلة المماسية (  $a_t = 0$  ) .

(2) عندما يدور الجسم بسرعة متزايدة ، يكون اتجاه العجلة المماسية بنفس اتجاه السرعة المماسية ، كما في الشكل (1).

(3) عندما يدور الجسم بسرعة متناقصة ، يكون اتجاه العجلة المماسية عكس اتجاه السرعة المماسية ، كما في الشكل (2).



الشكل (2) الجسم يدور بسرعة متناقصة



الشكل (1) الجسم يدور بسرعة متزايدة

\* العجلة المركزية (  $a_c \hat{r}$  ) :- تنتج عن تغير اتجاه السرعة الخطية المماسية ، وتتجه دائماً نحو مركز المسار الدائري.

ملاحظة طالما يتحرك الجسم حركة دائرية ، سوف تكون له عجلة مركزية دائماً. لأن اتجاه سرعته الخطية المماسية يتغير باستمرار .

\* يتم تحديد مقدار العجلة المركزية لجسم يتحرك حركة دائرية بسرعة زاوية ثابتة ، من خلال العلاقات التالية :-

$$a_c = v\omega = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r$$

تُقاس العجلة المركزية بوحدة  $m/s^2$

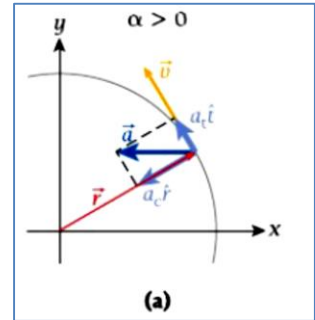
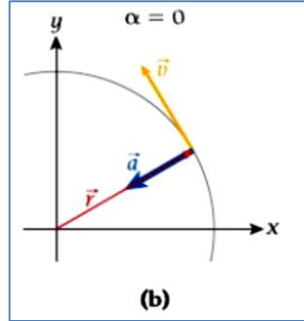
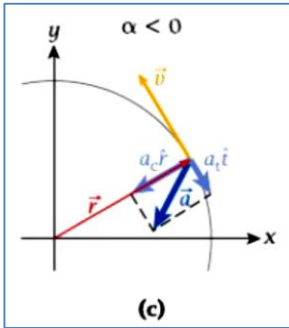
\* العجلة المركزية (  $a_c \hat{r}$  ) دائماً تكون عمودية على اتجاه العجلة الخطية المماسية (  $a_t \hat{t}$  ) .

**\*\* ملاحظة** محصلة العجلتين المماسية والمركزية تمثل عجلة الجسم (a) في الحركة الدائرية ، وتُحسب من خلال المعادلة التالية :-

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_c^2} = \sqrt{(r\alpha)^2 + (r\omega^2)^2} = r \sqrt{\alpha^2 + \omega^4}$$

\* يمكن القول أن في الحركة الدائرية يكون لعجلة الجسم (a) مركبتان ، إحداها مماسية للمسار الدائرية وهي (a<sub>t</sub>) والأخرى قطرية تتجه نحو مركز المسار الدائري وهي (a<sub>c</sub>) .

**سؤال** جسم يدور عكس اتجاه عقارب الساعة ، بسرعة متناقصة ، أي الأشكال التالية يعطي وصفًا صحيحًا لحركة الجسم ؟



**مثال (9.4) - المسألة - صفحة (263)** إذا أردت توليد عجلة مركزية بمقدار (840,000) مثل عجلة الجاذبية الأرضية في عينة تدور على بُعد (23.5 cm) من محور دوران جهاز الطرد المركزي فائق السرعة، **فما التردد الذي يتعين عليك إدخاله إلى عناصر التحكم ؟ وما السرعة الخطية التي تتحرك بها العينة بعد ذلك ؟**

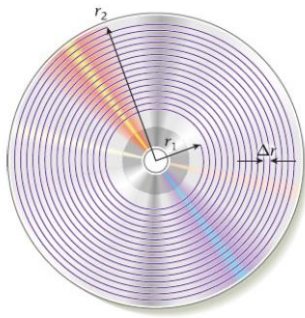
**الحل** المعطيات:-  $a_c = 840,000 \times 9.81 m/s^2$  ,  $r = 23.5 cm = 0.235 m$

**\* حساب التردد (f) :-**  $a_c = \omega^2 r$  (  $\omega = 2\pi f$  )

$$a_c = (2\pi f)^2 r \rightarrow \frac{a_c}{r} = (2\pi f)^2 \rightarrow \sqrt{\frac{a_c}{r}} = (2\pi f) \rightarrow f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{a_c}{r}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{840,000 \times 9.81}{0.235}} = 942 H_z$$

**\* حساب السرعة الخطية (v) :-**  $v = r\omega = r(2\pi f) = 0.235 (2\pi \times 942) = 1390.9 m/s$



الشكل 9.6 المسار على قرص مضغوط.

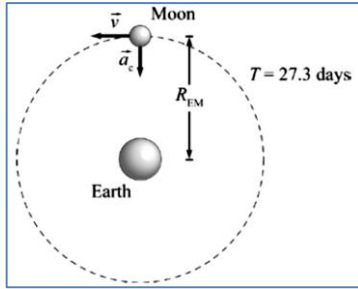
**مثال (9.6) – صفحة (263) [مشغل الأقراص المضغوطة]** الشكل المجاور يوضح مسار على القرص المضغوط ، وهو مسار حلزوني طوله ( 5.4 km ) يبدأ بنصف قطر داخلي (  $r_1 = 25 \text{ mm}$  ) وينتهي بنصف قطر خارجي (  $r_2 = 58 \text{ mm}$  ) . إذا كان القرص المضغوط يمكنه تخزين ( 74 min ) من المقاطع الموسيقية ، فما **العجلة الزاوية للقرص؟** عندما يدور داخل أحد مشغلات الأقراص المضغوطة ، مع افتراض أن السرعة الخطية ثابتة .

**الحل**  $\vartheta = \frac{5400}{74 \times 60} = 1.216 \text{ rad/s}$

$$\omega_1 = \frac{\vartheta}{r_1} = \frac{1.216}{0.025} = 48.64 \text{ rad/s} , \quad \omega_2 = \frac{\vartheta}{r_2} = \frac{1.216}{0.058} =$$

$$20.97 \text{ rad/s}$$

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} = \frac{20.97 - 48.64}{74 \times 60} = -6.2 \times 10^{-3} \text{ rad/s}^2$$

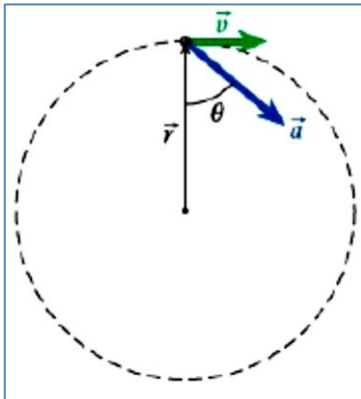


**سؤال (9.40) صفحة (280)** ما العجلة المركزية للقمر؟ حيث تبلغ مدة دوران القمر حول الأرض ( 27.3 ) يوماً مقيسة بالنسبة إلى مواقع النجوم الثابتة ، وأن نصف قطر مدار القمر حول الأرض يساوي (  $R_{EM} = 3.85 \times 10^8 \text{ m}$  ) كما في الشكل المجاور .

**الجواب**

**سؤال (9.41) صفحة (280)** إذا كنت تمسك محور عجلة دراجة نصف قطرها ( 35.0 cm ) وكتلتها ( 1.00 Kg ) وقمت بتدوير العجلة بمعدل ( 75.0 rpm ) ثم أوقفتها بضغط الإطار على الرصيف ، ولاحظت أن العجلة تستغرق ( 1.20 s ) لتتوقف تماماً ، فما مقدار العجلة الزاوية للعجلة ؟

**سؤال (9.46) صفحة (281)** يتحرك جسيم ما في اتجاه عقارب الساعة في دائرة نصف قطرها ( 1.00 m ) وعند لحظة معينة يكون مقدار عجلته يساوي (  $a = |\vec{a}| = 25.0 \text{ m/s}^2$  ) ويصنع متجه العجلة زاوية (  $\theta = 50.0^\circ$  ) مع متجه الموقع (  $\vec{r}$  ) ، كما موضح



في الشكل ، في هذه اللحظة **أوجد السرعة  $|\vec{v}|$  لهذا جسيم ؟**

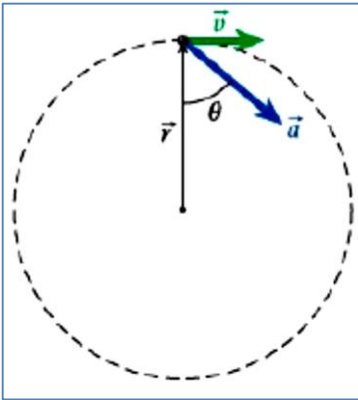
**سؤال (9.47) صفحة (281)** في جهاز تسجيل شريطي ، يتحرك الشريط المغناطيسي بسرعة خطية ثابتة مقدارها  $(5.60 \text{ cm/s})$  وللحفاظ على هذه السرعة الخطية الثابتة يجب تغيير السرعة الزاوية لبكرة التشغيل (بكرة السحب) ، وفقاً لذلك :-

**مساعدة**  $\vartheta = r\omega$  ,  $\alpha = \frac{\omega_f - \omega_i}{\Delta t}$  ,  $\vartheta = \frac{L}{\Delta t}$

**(a)** ما مقدار السرعة الزاوية لبكرة السحب عندما تكون فارغة ، إذا كان نصف قطرها  $(r_1 = 0.8 \text{ cm})$  ؟

**(b)** ما مقدار السرعة الزاوية لبكرة السحب عندما تكون ممتلئة ، إذا كان نصف قطرها  $(r_2 = 2.20 \text{ cm})$  ؟

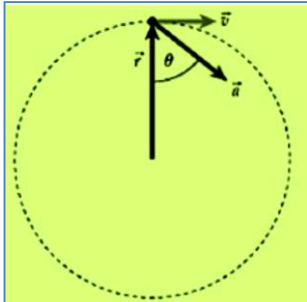
**(c)** إذا كان إجمالي طول الشريط  $(100.80 \text{ m})$  ، فما متوسط العجلة الزاوية لبكرة السحب أثناء تشغيل الشريط؟



**سؤال (7) 2019-2020** يُظهر الشكل متجهات السرعة والتسارع لجسيم يتحرك في مسار دائري نصف قطره  $(25 \text{ cm})$  باتجاه عقارب الساعة ، وفي لحظة ما كان مقدار التسارع  $|\vec{a}|$  يساوي  $(16 \text{ m/s}^2)$  ويصنع زاوية مقدارها  $(20^\circ)$  مع متجه الموقع كما في الشكل ، عند هذه اللحظة ، ما مقدار السرعة  $|\vec{v}|$  للجسيم ؟

(a) 1.94 m/s (b) 3.29 m/s

(c) 2.12 m/s (d) 4.01 m/s



**سؤال (8) 2019-2020** يُظهر الشكل متجهات السرعة والتسارع لجسيم يتحرك في مسار دائري نصف قطره  $(25 \text{ cm})$  باتجاه عقارب الساعة ، وفي لحظة ما كان مقدار التسارع يساوي  $(16 \text{ m/s}^2)$  ويصنع زاوية مقدارها  $(20^\circ)$  مع متجه الموقع كما في الشكل ، عند هذه اللحظة ، ما مقدار التسارع الزاوي  $(\alpha)$  للجسيم ؟

(a)  $3.75 \text{ rad/s}^2$  (b)  $21.9 \text{ rad/s}^2$

(c)  $60.1 \text{ rad/s}^2$  (d)  $1.37 \text{ rad/s}^2$

**الحل**

**سؤال(9) 2019-2020** يتحرك جسم في مسار دائري بسرعة متجهة خطية متزايدة ، أي الآتية صحيح ؟

- (a) التسارع المماسي والتسارع المركزي للجسم متعامدان.  
(b) مقدار التسارع المماسي للجسم أكبر من مقدار التسارع المركزي له.  
(c) تكون السرعة المتجهة الخطية للجسم متعامدة مع التسارع المماسي له .  
(d) كل من التسارع المركزي والتسارع المماسي للجسم يساوي صفر .

**سؤال(10) 2019-2020** يتحرك قطار لعبة بسرعة خطية ثابتة في مسار دائري ، أي العبارات الآتية صحيحة ؟

- (a) مقدار التسارع المركزي ثابت لا يتغير .  
(b) التسارع الزاوي دائماً موجباً.  
(c) التسارع الزاوي دائماً سالباً.  
(d) التسارع المركزي يساوي صفراً.

**سؤال(11) 2019-2020** تتحرك كرة مثبتة في نهاية خيط في مسار دائري نصف قطره (  $r$  ) وب تسارع مركزي مقداره (  $a$  ) ، إذا أصبح نصف قطر المسار الدائري (  $2r$  ) وبقيت السرعة الزاوية ثابتة ، ماذا يطرأ على مقدار التسارع المركزي للكرة ؟

- (a) يزداد التسارع المركزي بمعامل 2 ؟  
(b) يقل التسارع المركزي بمعامل 2 ؟  
(c) يزداد التسارع المركزي بمعامل 4 ؟  
(d) يقل التسارع المركزي بمعامل 4 ؟

**سؤال(12) 2019-2020** قرص بلاستيكي نصف قطره (15 cm) ويدور 120 rpm (دورة في الدقيقة) ، ما مقدار التسارع المركزي لنقطة تقع على حافة القرص؟

- (a)  $237 \text{ m/s}^2$   
(b)  $1580 \text{ m/s}^2$   
(c)  $15.8 \text{ m/s}^2$   
(d)  $23.7 \text{ m/s}^2$

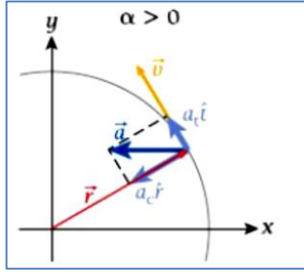
**سؤال(13) 2019-2020** قرص بلاستيكي نصف قطره (10 cm) ويدور 120 rpm (دورة في الدقيقة) ، ما مقدار التسارع المركزي لنقطة تقع على حافة القرص؟

- (a)  $1580 \text{ m/s}^2$   
(b)  $15.8 \text{ m/s}^2$   
(c)  $144 \text{ m/s}^2$   
(d)  $1440 \text{ m/s}^2$

**مثال(9.4) صفحة 262**

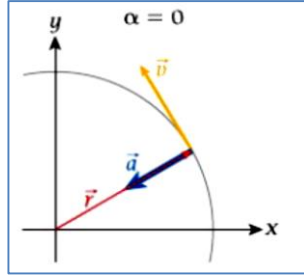
**المسألة** إذا أردت توليد عجلة مركزية بمقدار ( 840,000 ) مثل عجلة الجاذبية الأرضية في عينة تدور على بُعد ( 23.5 cm ) من محور دوران جهاز الطرد المركزي فائق السرعة ، فما التردد الذي يتعين عليك إدخاله إلى عناصر التحكم ؟ وما السرعة الخطية التي تتحرك بها العينة بعد ذلك ؟

**الحل**



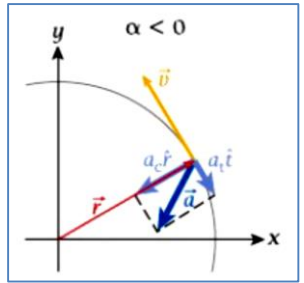
**سؤال (1)** في الشكل المجاور، جسم يدور عكس اتجاه عقارب الساعة ، أي العبارات التالية صحيحة لوصف سرعة الجسم ؟

- (a) يدور الجسم بسرعة ثابتة .  
 (b) يدور الجسم بسرعة متزايدة .  
 (c) يدور الجسم بسرعة متناقصة.  
 (d) لا يمكن تحديد ذلك .



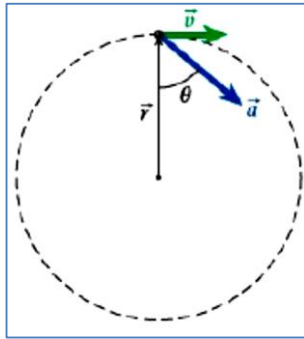
**سؤال (2)** في الشكل المجاور، جسم يدور عكس اتجاه عقارب الساعة ، أي العبارات التالية صحيحة لوصف سرعة الجسم ؟

- (a) يدور الجسم بسرعة ثابتة .  
 (b) يدور الجسم بسرعة متزايدة .  
 (c) يدور الجسم بسرعة متناقصة.  
 (d) لا يمكن تحديد ذلك .



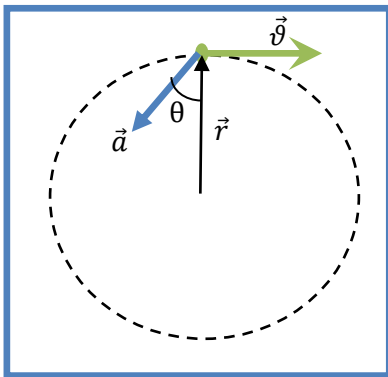
**سؤال (3)** في الشكل المجاور، جسم يدور عكس اتجاه عقارب الساعة ، أي العبارات التالية صحيحة لوصف سرعة الجسم ؟

- (a) يدور الجسم بسرعة ثابتة .  
 (b) يدور الجسم بسرعة متزايدة .  
 (c) يدور الجسم بسرعة متناقصة.  
 (d) لا يمكن تحديد ذلك .



**سؤال (4)** في الشكل المجاور، جسم يدور في اتجاه عقارب الساعة ، أي العبارات التالية صحيحة لوصف سرعة الجسم ؟

- (a) يدور الجسم بسرعة ثابتة .  
 (b) يدور الجسم بسرعة متزايدة .  
 (c) يدور الجسم بسرعة متناقصة.  
 (d) لا يمكن تحديد ذلك .



**سؤال (5)** في الشكل المجاور، جسم يدور في اتجاه عقارب الساعة ، أي العبارات التالية صحيحة لوصف سرعة الجسم ؟

- (a) يدور الجسم بسرعة ثابتة .  
 (b) يدور الجسم بسرعة متزايدة .  
 (c) يدور الجسم بسرعة متناقصة.  
 (d) لا يمكن تحديد ذلك .

**سؤال (6)** يتحرك قطار لعبة بسرعة زاوية ثابتة في مسار دائري ، أي العبارات الآتية صحيحة ؟

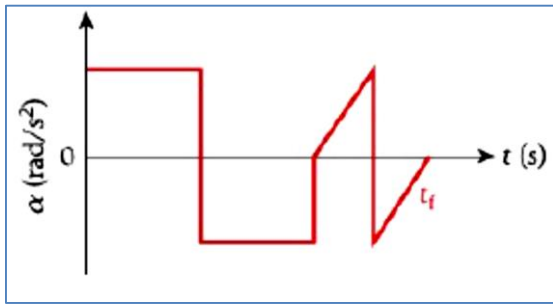
(a) التسارع المركزي يساوي صفراً . (b) التسارع الزاوي يكون موجباً .

(c) التسارع الزاوي يكون سالباً . (d) التسارع الزاوي يساوي صفراً .

**سؤال (7)** تتحرك كرة مثبتة في نهاية خيط في مسار دائري نصف قطره (  $r$  ) وب تسارع مركزي مقداره (  $a$  ) ، إذا أصبح نصف قطر المسار الدائري (  $2r$  ) وبقيت السرعة الخطية المماسية ثابتة ، ماذا يطرأ على مقدار التسارع المركزي للكرة ؟

(a) يزداد التسارع المركزي بمعامل 2 ؟ (b) يقل التسارع المركزي إلى النصف ؟

(c) يزداد التسارع المركزي بمعامل 4 ؟ (d) يقل التسارع المركزي إلى الربع ؟



**سؤال (9.2) (صفحة 278)** موضح في الشكل العجلة الزاوية لجسم يتحرك

حركة دائرية مقابل الزمن ، إذا بدأ الجسم من السكون عند (  $t=0$  ) فستكون

محصلة الإزاحة الزاوية للجسم عند (  $t = t_f$  ) ؟

(a) في اتجاه عقارب الساعة .

(b) في عكس اتجاه عقارب الساعة .

(c)\* تساوي صفر .

(d) لا يمكن تحديدها .

**سؤال (9.7) (صفحة 278)** تتأرجح كرة مربوطة في طرف خيط في مسار دائري نصف قطره (  $r$  ) ، فإذا تضاعف نصف القطر وظلت السرعة الخطية ثابتة ، فإن العجلة المركزية ؟

(a) تظل كما هي . (b) تزيد بمقدار المثل . (c) تقل بمقدار النصف .

(d) تزيد بمقدار 4 أمثال . (e) يقل بمقدار الربع .

**سؤال (9.14) (صفحة 278)** تبلغ مدة دوران الأرض حول محورها (  $24 h$  ) وعند هذه السرعة الزاوية ، تكون العجلة المركزية عند

سطح الأرض صغيرة مقارنة بالعجلة الناتجة عن الجاذبية ، ما مدة دوران الأرض اللازمة ليصبح مقدار العجلة المركزية على سطحها

عند خط الاستواء مساوياً لمقدار العجلة الناتجة عن الجاذبية ؟ علماً بأن نصف قطر الأرض (  $R_E = 6.37 \times 10^6 m$  ) ؟

0.043 h (a) 0.340 h (b) 0.841 h (c)

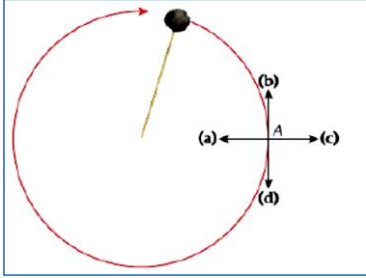
12.0 h (f) 3.89 h (e) 1.41 h (d)\*

$$a_c = g \rightarrow \omega^2 r = g \rightarrow \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r = g \rightarrow T = \text{الحل}$$

### (9.5) القوة المركزية – صفحة (264)

\* **القوة المركزية ( $\vec{F}_c$ )** :- هي قوة ليست أساسية في الطبيعة مثل قوة الجاذبية وقوة الاحتكاك ، وإنما هي قوة محصلة تنشترك فيها قوى طبيعية ، وتنتج نحو مركز المسار الدائري وتكون عمودية على السرعة الخطية المماسية دائماً . وهي السبب في الحركة الدائرية .

\* **ملاحظة مهمة** ) تميل الأجسام في الطبيعة إلى الحركة في خط مستقيم ، ولكن إذا تأثر الجسم المتحرك بقوة عمودية على اتجاه سرعته الخطية ، فإن هذه القوة لا تغير من مقدار سرعة الجسم وإنما تغير من اتجاه السرعة فينحرف الجسم عن مساره المستقيم ، وإذا استمر تأثير القوة العمودية على الجسم فإنه سوف يتخذ مساراً دائرياً بحيث يكون اتجاه القوة نحو مركز المسار الدائري وفي الوقت نفسه تكون القوة عمودية على اتجاه سرعته الخطية المماسية ، فإذا زال تأثير القوة عند لحظة معينة فإن الجسم سيعود مباشرة إلى حركته الخطية ويتحرك باتجاه السرعة الخطية المماسية .



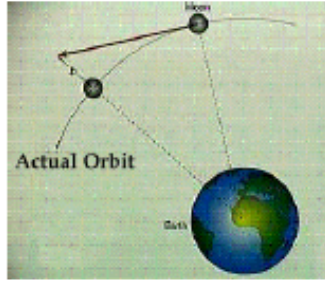
**سؤال (9.4) صفحة (278) |** يتحرك حجر معلق بخيط بحيط حركة دائرية منتظمة في اتجاه عقارب الساعة كما في الشكل المجاور، في أي اتجاه من النقطة (A) يسقط الحجر عند انقطاع الخيط ؟

\* **امثلة حول القوة المركزية المسببة للحركة الدائرية :-**

**1** في حالة حركة الإلكترون حول النواة فإن القوة المركزية هي قوة التجاذب الكهربائي بين النواة والإلكترون ، كما في الشكل (1).

**2** في حالة حركة سيارة في مسار دائري فإن القوة المركزية هي قوة الاحتكاك بين إطارات السيارة والطريق، كما في الشكل (2).

**3** في حالة الحركة الدائرية للقمر حول الأرض فإن القوة المركزية هي قوة جذب الأرض للقمر ، كما في الشكل (3) .



الشكل (3)



الشكل (2)

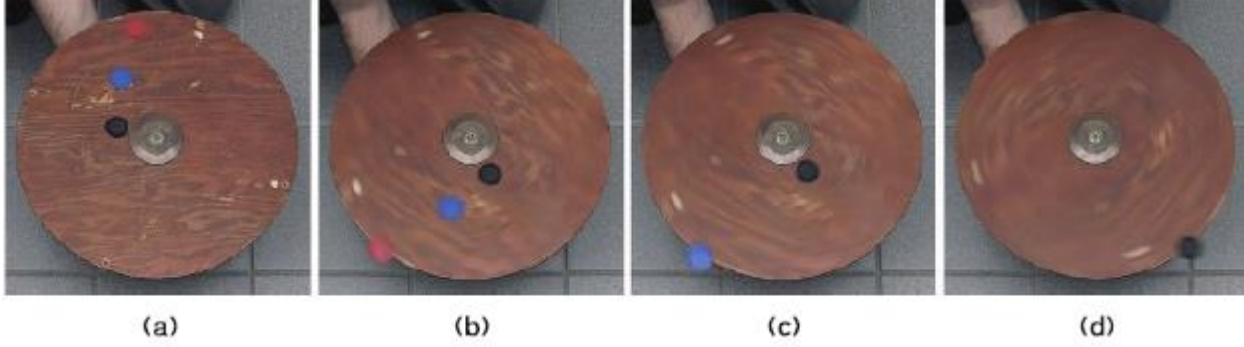


الشكل (1)

\* **حساب مقدار القوة المركزية ( $F_c$ )** :-

$$F_c = m \cdot a_c = m (v\omega) = m\left(\frac{v^2}{r}\right) = m(r\omega^2)$$

**ملاحظات مهمة** في الأشكال أدناه، منظرًا علويًا لطاولة دوّارة عليها ثلاث قطع متماثلة في كل شيء ( باستثناء اللون ) .



(1) **في الشكل (a)** عند تدوير الطاولة ببطء ، فإن القطع الثلاث سوف تتحرك حركة دائرية مع بقاءها ثابتة في أماكنها على نفس البُعد عن مركز الطاولة ، لأن **قوة الاحتكاك السكوني** ستوفر **القوة المركزية** اللازمة للحفاظ على القطع في حركة دائرية .

(2) أثناء دوران الطاولة ، يكون للقطع الثلاث **السرعة الزاوية نفسها** بالرغم من اختلاف بُعدها عن مركز الطاولة ، لأن القطع الثلاث تستغرق الوقت نفسه لإكمال دورة واحدة وحيث أن  $(\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t})$  . أي أن  $(\omega_{\text{أسود}} = \omega_{\text{أزرق}} = \omega_{\text{أحمر}})$  .

بينما يختلف مقدار السرعة الخطية المماسية من قطعة إلى أخرى باختلاف بعدها عن مركز الطاولة ، حيث  $(\theta = r\omega)$  ،  $(\theta \propto r)$  أي أن  $(\theta_{\text{أسود}} > \theta_{\text{أزرق}} > \theta_{\text{أحمر}})$  .

وكذلك سوف يختلف مقدار القوة المركزية اللازمة لبقاء كل قطعة من القطع الثلاث في مسارها الدائري ، حيث  $(F_c = mr\omega^2)$  ، لذلك  $(F_c \propto r)$  . يعني ذلك أن مقدار القوة المركزية اللازمة لبقاء القطعة الحمراء في مسارها الدائري يكون أكبر من القطع الأخرى.

أي أن  $(F_{c\text{أسود}} > F_{c\text{أزرق}} > F_{c\text{أحمر}})$  .

(3) **في الشكل (b)** عند زيادة سرعة دوران الطاولة ، هل تبقى القطع الثلاث ثابتة في أماكنها أم تنزلق بعيدًا عن مركز الطاولة الدوّارة ؟

**الجواب** زيادة سرعة دوران الطاولة  $(\omega)$  يؤدي ذلك إلى أن كل قطعة من القطع الثلاث سوف تحتاج إلى مقدار أكبر من القوة المركزية  $(F_c = mr\omega^2)$  للحفاظ على مسارها الدائري دون أن تنزلق . ولكن الذي يقوم بدور القوة المركزية هي قوة الاحتكاك السكوني وهي ذات قيمة ثابتة ، حيث  $(f_s = \mu_s mg)$  .

**لذلك عند سرعة دوران معينة** لا تعود قوة الاحتكاك السكوني بالقدر الكافي لتوفير القوة المركزية اللازمة لاستمرار القطعة الحمراء في الحركة الدائرية لأنها تتطلب مقدارًا من القوة المركزية أكبر مما تتطلبه القطع الأخرى، لذلك سوف تنزلق بعيدًا عن مركز الطاولة الدوّارة .

وعند زيادة سرعة دوران الطاولة تدريجيًا ، سوف تنزلق القطعة ( الزرقاء اللون ) ثم تليها القطعة ( السوداء اللون ) كما في الشكلين (c) و (d).

**مراجعة المفاهيم (9.3) صفحة (264)** افترض أنك تجلس على لعبة دوامة الخيل وهي تدور ، أين ينبغي أن تجلس بحيث تتعرض لتأثير أكبر قوة مركزية ممكنة ؟

$$F_c = mr\omega^2 \quad (\omega \text{ نفسها لجميع النقاط}) \rightarrow F_c \propto r$$

(a)\* بالقرب من الحافة الخارجية . (b) بالقرب من المركز .

(c) في المنتصف . (d) القوة واحدة في كل مكان .

**سؤال(1)** في الشكل المجاور، منظرًا علويًا لطاولة دوّارة عليها ثلاث قطع متماثلة في كل شيء ( باستثناء اللون) . عند زيادة سرعة دوران الطاولة تدريجيًا ، أي العبارات التالية صحيحة ؟



(a) القطع الثلاث سوف تنزلق بعيدًا عن مركز الطاولة في اللحظة نفسها .

(b) القطعة الحمراء تنزلق أولاً ثم السوداء ثم الزرقاء.

(c) القطعة الحمراء تنزلق أولاً ثم الزرقاء ثم السوداء.

(d) القطعة السوداء تنزلق أولاً ثم الزرقاء ثم الحمراء.

**سؤال(2)** في الشكل المجاور، منظرًا علويًا لطاولة دوّارة عليها ثلاث قطع متماثلة في كل شيء ( باستثناء اللون) . عند تدوير الطاولة بسرعة معينة ، أي العبارات التالية صحيحة ؟



(a) القطع الثلاث يكون لها السرعة الزاوية نفسها .

(b) القطعة الحمراء سرعتها الزاوية أكبر من القطع الأخرى.

(c) القطعة الزرقاء سرعتها الزاوية أكبر من القطع الأخرى.

(d) القطعة السوداء سرعتها الزاوية أكبر من القطع الأخرى.

**سؤال(3)** في الشكل المجاور، منظرًا علويًا لطاولة دوّارة عليها ثلاث قطع متماثلة في كل شيء ( باستثناء اللون) . عند تدوير الطاولة بسرعة معينة ، فإن القطعة التي تتطلب مقدارًا أكبر من القوة المركزية لبقاءها في المسار الدائري هي ؟



(a) القطعة السوداء .

(b) القطعة الزرقاء.

(c) القطعة الحمراء.

(d) القطع الثلاث تتطلب المقدار نفسه من القوة المركزية.

**سؤال(4)** في الشكل المجاور، منظرًا علويًا لطاولة دوّارة عليها ثلاث قطع متماثلة في كل شيء ( باستثناء اللون) . عند تدوير الطاولة بسرعة معينة ، فإن القطعة التي يكون لها السرعة الخطية المماسية الأكبر هي ؟



(a) القطعة السوداء .

(b) القطعة الزرقاء.

(c) القطعة الحمراء.

(d) القطع الثلاث يكون لها السرعة الخطية المماسية نفسها.

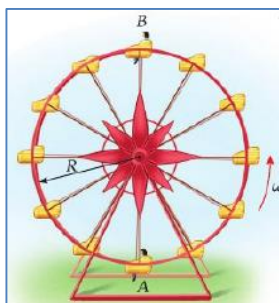


**سؤال (5):** في الشكل المجاور ، السيارة الصفراء كتلتها ( 1200 Kg ) وتتحرك بسرعة ( 17.0 m/s ) في مضمار سباق دائري نصف قطره ( 300.0 m ) ، احسب قوة الاحتكاك بين إطارات السيارة وأرضية المضمار التي تجعل السيارة تتحرك على المسار الدائري للمضمار ولا تنزلق ؟

**الحل:** في حالة حركة السيارة على المسار الدائري للمضمار دون أن تنزلق ، فإن قوة الاحتكاك بين إطارات السيارة والطريق تقوم مقام القوة المركزية ، أي أن :-

$$F_s = F_c = m \frac{v^2}{r}$$

$$F_s = F_c = (1200) \frac{(17)^2}{300} = 1156 \text{ N}$$



**سؤال (9.5) صفحة (278) I** في الشكل المجاور ، تدور العجلة الدوّارة ببطء حول محور أفقي ، فإذا كان الركاب يجلسون على المقاعد التي تظل أفقية على العجلة الدوّارة أثناء دورانها ، فما نوع القوة التي توفر العجلة المركزية للركاب عندما يكونون في أعلى العجلة الدوّارة؟

(a) الطرد المركزي.

(b) المتعامدة .

(c) الجاذبية .

(d) الشد.

**سؤال (9.9) صفحة (278) I**

**9.9** ضع ثلاث قطع نقد معدنية متماثلة على قرص دوار على مسافات مختلفة من المركز ثم شغل المحرك. عندما تزداد سرعة القرص الدوار، تنزلق قطعة النقد المعدنية الأبعد عن المركز أولاً تليها قطعة النقد المعدنية الموجودة في منتصف المسافة إلى المركز وأخيراً قطعة النقد المعدنية الأقرب من المركز وذلك عندما يدور القرص بأقصى سرعة له. ما سبب ذلك؟

(a) بالنسبة إلى المسافات الأكثر بُعداً عن المركز، تكون العجلة المركزية أعلى، ومن ثمّ لا تستطيع قوة الاحتكاك إبقاء قطعة النقد المعدنية في مكانها.

(b) يتسبب وزن قطعة النقد المعدنية في ميل القرص الدوار إلى أسفل، ومن ثمّ تسقط قطعة النقد الأقرب إلى الحافة أولاً.

(c) بسبب المسار الذي يصنعه القرص الدوار، يقل معامل الاحتكاك السكوني عند الابتعاد عن المركز.

(d) بالنسبة إلى المسافات الأقل بُعداً عن المركز، تكون العجلة المركزية أعلى.

**سؤال (9.12) صفحة (278) I** يوجد حجر مربوط في خيط ويتحرك الحجر في مسار دائري بسرعة ثابتة ، إذا تم تجاهل الجاذبية ومضاعفة الزمن الدوري للحركة الدائرية ، فإن مقدار الشد في الخيط ؟

(a)\* سيقُل إلى  $(\frac{1}{4})$  قيمته الأصلية.

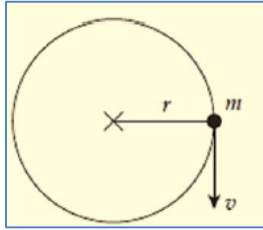
(b) سيقُل إلى  $(\frac{1}{2})$  قيمته الأصلية.

(c) لن يتغيّر.

(d) يزيد إلى ضعف قيمته الأصلية.

(e) يزيد إلى أربعة أضعاف قيمته الأصلية.

**سؤال (9.50) صفحة (281) I** احسب القوة المركزية المبدولة على مركبة كتلتها  $(1500 \text{ Kg})$  وتتحرك بسرعة  $(15.0 \text{ m/s})$  حول منحنى نصف قطره  $(400 \text{ m})$  ؟ ما القوة التي تؤدي دور القوة المركزية في هذه الحالة ؟



**سؤال (14) 2019-2020** يُظهر الشكل جسمًا كتلته  $(650 \text{ g})$  مربوط في طرف خيط ويدور في مسار دائري رأسي نصف قطره  $(120 \text{ cm})$  عندما يكون الجسم في الوضع الظاهر في الشكل بحيث تكون سرعته الخطية  $(6.0 \text{ m/s})$  ، ما مقدار قوة الشد في الخيط؟

(a) 135 N

(b)\* 19.5 N

(c) 27 N

(d) 13.5 N

**سؤال (15) 2019-2020** منحنى على شارع للسيارات نصف قطره  $(200 \text{ m})$  والسرعة عليه محددة بمقدار  $(16 \text{ m/s})$  ، ما مقدار معامل الاحتكاك بين إطارات السيارة والشارع لكي تجتاز السيارة المنحنى بالسرعة المحددة ؟  $(g = 9.81 \text{ m/s}^2)$  .

(a) 0.26

(b) 0.72

(c) 0.51

(d)\* 0.13

**سؤال (20) 2019-2020** عندما تتركب سيارة كمسافر وتدخل السيارة إلى منعطف ، أي الآتية الأكثر دقة لما سيحدث لك ؟

(a) تؤثر أنت على باب السيارة بقوة احتكاك .

(b) تستمر في الحركة في خط مستقيم .

(c) تؤثر فيك قوة مركزية تدفعك باتجاه الخارج.

(d) قوة الاحتكاك بينك وبين مقعد السيارة تدفعك باتجاه مركز الدوران.

## (9.6) الحركة الدائرية والخطية – صفحة (269)

يلخص الجدول 9.1 العلاقات بين الكميات الخطية والزاوية للحركة الدائرية. تربط العلاقات الموضحة في الجدول الكميات الزاوية ( $\theta$  و  $\omega$  و  $\alpha$ ) بالكميات الخطية ( $s$  و  $v$  و  $a$ ). يكون نصف قطر  $r$  المسار الدائري ثابتًا ويربط بين مجموعتي الكميات.

| الجدول 9.1 مقارنة بين المتغيرات الكينماتيكية للحركة الدائرية |      |          |                   |
|--------------------------------------------------------------|------|----------|-------------------|
| الكمية                                                       | خطية | زاوية    | العلاقة           |
| الإزاحة                                                      | $s$  | $\theta$ | $s = r\theta$     |
| السرعة المتجهة                                               | $v$  | $\omega$ | $v = r\omega$     |
| العجلة                                                       | $a$  | $\alpha$ | $a_t = r\alpha$   |
|                                                              |      |          | $a_c = r\omega^2$ |

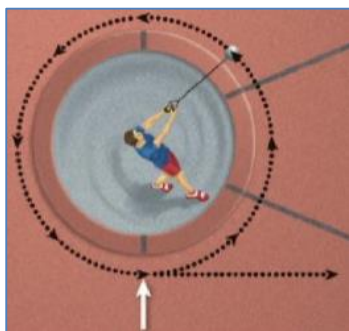
### العجلة الزاوية الثابتة

$$\begin{array}{lll}
 v_x = v_{x0} + a_x t & \longrightarrow & \omega = \omega_0 + \alpha t \\
 v_x^2 = v_{x0}^2 + 2a_x(x - x_0) & \longrightarrow & \omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\theta - \theta_0) \\
 x = x_0 + v_{x0}t + \frac{1}{2}a_x t^2 & \longrightarrow & \theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \\
 x = x_0 + \bar{v}_x t & \longrightarrow & \theta = \theta_0 + \bar{\omega} t \\
 \bar{v}_x = \frac{1}{2}(v_x + v_{x0}) & \longrightarrow & \bar{\omega} = \frac{1}{2}(\omega + \omega_0)
 \end{array}$$

**سؤال (9.35) صفحة (280) 1** يدور مسجل فينيل بمعدل (33.3 rpm) ، افترض أنه يستغرق (5.00 s) ليصل إلى السرعة الكاملة بدءًا من السكون :-

(a) ما مقدار العجلة الزاوية له خلال (5.00 s) ؟

(b) كم عدد الدورات التي يقوم بها المسجل قبل وصوله إلى السرعة الزاوية النهائية له ؟



### مثال (9.7) صفحة (271) 1 رمي المطرقة

يُعد رمي المطرقة أحد الأحداث الأكثر إثارة في سباقات ألعاب القوى ، (المطرقة) هي كرة من الحديد كتلتها (7.26 Kg) متصلة بمقبض بواسطة سلك من الصلب ، وتتمثل أفضل طريقة لرمي المطرقة في دوران اللاعب حول نفسه عدة مرات ، الأمر الذي يسمح للمطرقة بالحركة الدائرية حول اللاعب قبل أن يقوم بتحريرها ، فإذا دار اللاعب سبع دورات (7 rev) حول نفسه قبل تحرير المطرقة وكان الزمن المستغرق لعمل هذه الدورات (5.08 s) . أجب عما يلي :-

**a** ما متوسط العجلة الزاوية أثناء الدورات السبع ؟

$\omega_o = 0.0$  ,  $\theta_o = 0.0$  ,  $t = 5.08 \text{ s}$  ,  $\theta = 7 \text{ rev} \times \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} = 14\pi \text{ rad}$  الحل

$$\theta = \theta_o + \omega_o t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

**b** إذا افترضنا أن نصف قطر الدائرة التي تتحرك فيها المطرقة (  $1.67 \text{ m}$  ) (طول المطرقة بالإضافة إلى ذراعي اللاعب) .  
فما السرعة الخطية التي يتم تحرير المطرقة بها ؟

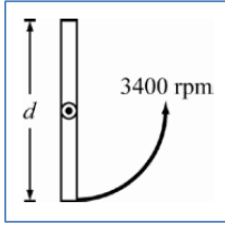
$\omega = \omega_o + \alpha t$  الحل

$$v = r \omega$$

**c** ما القوة المركزية التي يتعين على رامي المطرقة بذلها على المطرقة قبل تحريرها مباشرة ؟

$F_c = m \omega^2 r$  الحل

**d** بعد تحرير المطرقة ، ما الاتجاه الذي تتحرك فيه ؟ الجواب تتحرك المطرقة في اتجاه مماسي للدائرة عند نقطة تحريرها .



**سؤال (9.62) صفحة (282) I** افترض أن شفرة جزاة العشب التي طولها (  $53.0 \text{ cm}$  ) تدور حول مركزها بسرعة (  $3400 \text{ rpm}$  ) .

(a) احسب السرعة الخطية لطرف الشفرة ؟

(b) إذا كانت لوائح السلامة تشترط إمكانية إيقاف الشفرة في غضون (  $3.00 \text{ s}$  ) فما الحد الأدنى للعجلة الزاوية الذي سيتحقق هذا عنده ؟ مع افتراض أن العجلة الزاوية ثابتة ؟

**سؤال (9.65) صفحة (282) I** تلف نحلة دوارة لمدة (  $10.0 \text{ min}$  ) ، وتبدأ بسرعة زاوية (  $10.0 \text{ rev/s}$  ) ، أجب عما يلي :-

(a) أوجد العجلة الزاوية للنحلة مع افتراض أنها ثابتة؟

(b) أوجد إجمالي الإزاحة الزاوية ؟

**سؤال (9.66) صفحة (282) I** توجد قطعة نقد معدنية على حافة قرص فونوغراف قديم يدور بسرعة (  $33.0 \text{ rpm}$  ) وقطره (  $30.5 \text{ cm}$  ) ما الحد الأدنى لمعامل الاحتكاك السكوني بين قطعة النقد المعدنية و سطح القرص لضمان عدم سقوط قطعة النقد المعدنية ؟ علماً أن

$$(f_s = \mu_s m g)$$

**سؤال (9.67) صفحة (282) |** يدور مسجل فينيل في البداية بمعدل (33.0 rpm) ثم يتباطأ بانتظام حتى يتوقف خلال (15.0 s) ، فكم عدد دورات المسجل حتى يتوقف ؟

**سؤال (9.71) صفحة (282) |** شاحنة عملاقة قطر إطاراتها (1.10 m) وتسير بسرعة (35.8 m/s) ، بعد استخدام المكابح تنخفض سرعة الشاحنة بشكل منتظم وتتوقف تمامًا بعدما تدور الإطارات (40.2 rev) .

(a) ما السرعة الزاوية الابتدائية للإطارات ؟  $(\vartheta = r\omega)$

(b) ما العجلة الزاوية للإطارات ؟  $(\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\Delta\theta)$

(c) ما المسافة التي تقطعها الشاحنة قبل أن تتوقف تمامًا ؟  $(\Delta\theta = \frac{s}{r})$

### **(9.7) أمثلة أخرى على الحركة الدائرية – صفحة (273)**

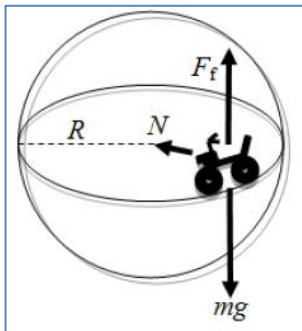
قوة الاحتكاك السكوني  $(f_s = \mu_s N)$  . القوة المتعامدة.  $(N)$  معامل الاحتكاك السكوني  $(\mu_s)$  .

**سؤال (9.54) صفحة (281) |** تتحرك سيارة سباق عبر مسار منحنى بسرعة ثابتة ، ومعامل الاحتكاك بين الإطارات والمضمار

$(\mu_s = 1.20)$  ، إذا كان نصف قطر المنحنى (10.0 m) ، فما أقصى سرعة يمكن أن تتعطف بها السيارة دون أن تنزلق ؟ افترض أن السيارة تسير بحركة دائرية منتظمة .

**الحل |** لكي تستمر السيارة في مسارها الدائري ولا تنزلق يجب أن تكون قوة الاحتكاك مساوية للقوة المركزية المطلوبة .

$$F_c = F_{\text{احتكاك}} \rightarrow m \frac{\vartheta^2}{R} = \mu_s N \quad (N = mg) \rightarrow \vartheta = \sqrt{\mu_s g R} \quad \text{*** حساب } (\vartheta) \text{ :-}$$



**سؤال (9.82) صفحة (283) |** في (ثاندر إسفير) تتحرك دراجة نارية داخل جسم كروي وتسير في مسار دائري أفقي على طول خط استواء هذا الجسم الكروي ، نصف القطر الداخلي لهذا الجسم الكروي (12.61 m) ، ومعامل الاحتكاك السكوني بين إطارات الدراجة النارية والسطح الداخلي للجسم الكروي هو (0.4601) ، ما الحد الأدنى للسرعة الذي يجب أن تحافظ عليه الدراجة النارية لتفادي السقوط ؟

**الحل |** من الشكل نلاحظ:-  $(N = F_c)$  ,  $(F_c = m \frac{\vartheta^2}{R})$  ,  $mg = F_f \rightarrow mg = \mu_s N$  ,

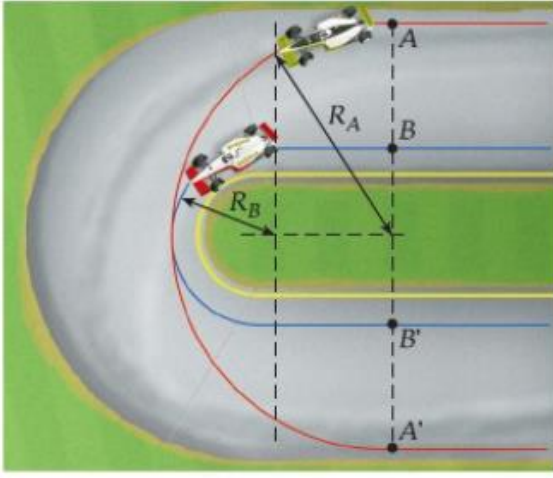
$$mg = \mu_s m \frac{\vartheta^2}{R}$$

$$\vartheta = \sqrt{\frac{Rg}{\mu_s}} = \sqrt{\frac{12.61 \times 9.81}{0.4601}} = 16.397 \text{ m/s}$$

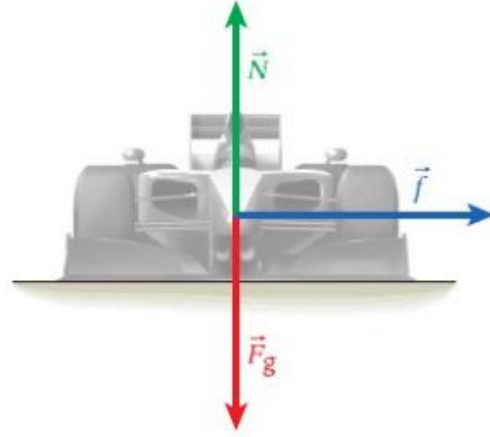
إذا شاهدت أحد سباقات فورمولا 1، فستلاحظ أن سيارات السباق تقترب من المنحنيات من الخارج ثم تخترق إلى الداخل، ثم تنحرف مرة أخرى إلى الخارج، كما هو موضح من خلال المسار الأحمر في الشكل 9.22a. والمسار الأزرق أقصر. لكن لماذا لا يتبع السائقون أقصر مسار؟

## المسألة

لنفترض أن السيارات تتحرك عبر المسار المنحني الموضح في الشكل 9.22a بسرعة ثابتة وأن معامل الاحتكاك السكوني بين الإطارات والطريق هو  $\mu_s = 1.2$ . (كما ذكر في الوحدة 4، يمكن أن يكون لإطارات سيارات السباق الحديثة معامل احتكاك يتجاوز 1 عندما تسخن هذه الإطارات إلى درجة حرارة السباق ومن ثم تصبح شديدة الالتصاق). إذا كان نصف قطر المنحنى الداخلي الموضح في الشكل هو  $R_B = 10.3 \text{ m}$  ونصف قطر المنحنى الخارجي هو  $R_A = 32.2 \text{ m}$  وكانت السيارات تسير بأقصى سرعة لها، فما الزمن الذي ستستغرقه السيارة للانتقال من النقطة A إلى A' ومن النقطة B إلى B'؟



(a)



(b)

**الحل** المطلوب حساب (t) :- (L) طول المسار الذي تتحرك عليه السيارة.  $\vartheta = \frac{L}{r} \rightarrow t = \frac{L}{\vartheta r}$

\* لحساب (t) لابد من حساب (L) و (ϑ).

\*\*\* حساب (ϑ) :-  $F_c = F_{\text{احتكاك}} \rightarrow F_c = \mu_s N \rightarrow m \frac{\vartheta^2}{R} = \mu_s mg \rightarrow \vartheta = \sqrt{\mu_s g R}$

$$\vartheta_{red} = \sqrt{\mu_s g R_A} = \sqrt{(1.2)(9.81)(32.2)} = 19.5 \text{ m/s}$$

$$\vartheta_{blue} = \sqrt{\mu_s g R_B} = \sqrt{(1.2)(9.81)(10.3)} = 11.0 \text{ m/s}$$

\*\*\* حساب (L) :-  $L_{red} = S_{red} \quad , \quad (S = \vartheta r) \rightarrow L_{red} = \vartheta R_{red} = \pi(32.2) = 101 \text{ m}$

$$L_{blue} = S_{blue} + 2(R_A - R_B) = \pi R_B + 2(R_A - R_B) = \pi(10.3) + 2(32.2 - 10.3) = 76.2 \text{ m}$$

\*\*\* حساب (t) :-  $t_{red} = \frac{L_{red}}{\vartheta_{red}} = \frac{101}{19.5} = 5.20 \text{ s} \quad , \quad t_{blue} = \frac{L_{blue}}{\vartheta_{blue}} = \frac{76.2}{11.0} = 6.92 \text{ s}$