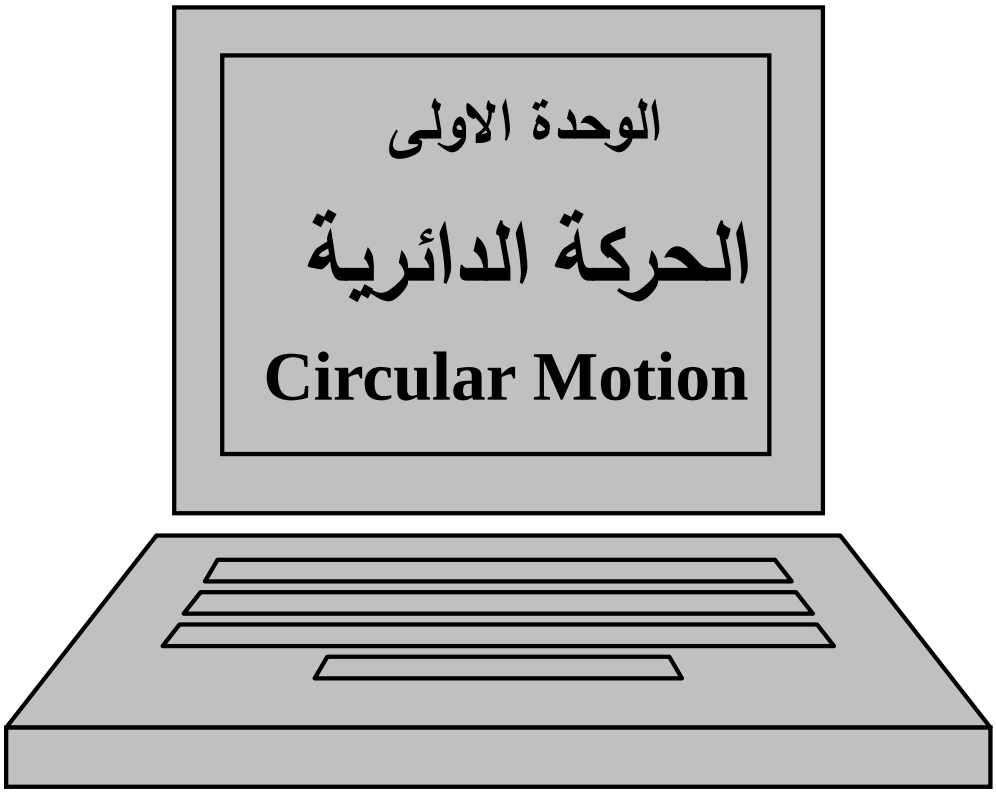

الوحدة الاولى
الحركة الدائرية
Circular Motion

محتويات الوحدة

الموضوع	الصفحة
تمهيد	3
أهداف الوحدة	4
1.الحركة الدائرية	5
1.1. السرعة في الحركة الدائرية	6
1.1.1.السرعة الزاوية.	9
2.1.1. التسارع الزاوي.	10
3.1.1.التردد والزمن الدوري	12
4.1.1.السرعة المماسة.	14
2.1.التسارع المركزي	17
1.2.1.القوة المركزية	20
2.2.1. القوة الطاردة المركزية.	23
3.2.1.حركة السيارات على المسارات الدائرية والمنعطفات	25
الخلاصة	32
لمحة مسبقة عن الوحدة الدراسية التالية	32
مسرد المصطلحات	33
إجابات التدريبات	34

تمهيد

عزيزي الدارس ,

مرحباً بك إلى الوحدة الأولى من مقرر الفيزياء العامة (2)، وهي بعنوان الحركة الدائرية، والتي تتألف من قسمين رئيسين.

القسم الأول يتكون من ستة اجزاء , و يبدأ بتعريف مفهوم السرعة في الحركة الدائرية وايضا من خلالها نتعرف على الإزاحة الزاوية والإزاحة المماسة, والازاحة الزاوية ثم مفهوم التسارع الزاوي و استنتاج معادلات الحركة الدائرية واخيرا مفهوم السرعة المماسة.

ثم ننتقل معا إلى القسم الثاني حيث نتعرف على مفهوم التسارع المركزي , ويحتوي القسم علي ثلاث أجزاء فرعية, حيث نشرح كل من القوة الجاذبة المركزية و القوة الطاردة المركزية , ثم نتعمق في حركة السيارات علي المسارات الدائرية والمنعطفات مع تطبيقات أخرى. وقد حرصنا على توفير العدد المناسب من التطبيقات، والأمثلة الرياضية بهدف ترسيخ التعلم وتعزيزه لديك بصفة عامة.

ولقد زودت هذه الوحدة بمجموعة من الأسئلة والتدريبات والأنشطة. التي تساعدك في فهم المادة التعليمية والتي تقدمها لمرشدك الميداني.

أهلاً ومرحباً بك عزيزي الدارس مرة أخرى إلى هذه الوحدة ونرجو أن تستمتع بدراستها وان تستفيد منها وان تشاركنا في نقدها وتقيميها.

أهداف الوحدة

عزيزي الدارس, عند اكتمال هذه الوحدة يتوقع أن تكون قادراً على أن:

1. تشرح مفهوم السرعة في الحركة الدائرية.
2. تفرق بين الإزاحة الزاوية والإزاحة المماسة.
3. تعّرف السرعة الزاوية.
4. تعّرف التسارع الزاوي.
5. تفّرق بين التردد والزمن الدوري ، وتذكر وحدات كل منهما، ثم تعرف كيفية حساب كل منهما.
6. تشرح السرعة المماسة.
7. تشرح معنى التسارع المركزي والقوة المركزية وتذكر وحداتهما.
8. توضح تأثير الحركة في المسارات الدائرية والمنعطفات على السيارات والدراجات وعيرها وتكتب الصيغ الرياضية لمعادلات الحركة في هذه الحالة وتعرف الرموز المستخدمة فيها.
9. تذكر بعض تطبيقات على الحركة في المنحنيات .
10. تحل معظم التمارين.

1. الحركة الدائرية (Circular Motion)

عزيزي الدارس,

لقد تناولنا في مقرر الفيزياء العامة (1) الوحدة الأولى, وصف الحركة الخطية (Linear Motion) وهي حركة انتقالية على خط مستقيم يتغير فيها موضع الجسم بمرور الزمن بينما يبقى اتجاه الحركة ثابت.

والآن وفي هذه الوحدة من الفيزياء العامة 2 نتناول دراسة نوع آخر من الحركة وهي الحركة الدائرية (Circular Motion) .

الحركة الدائرية : هي حركة انتقالية في مسار دائري أو على محيط دائرة, حيث يتغير اتجاه الحركة على محيط الدائرة باستمرار مع مرور الزمن

عزيزي الدارس,

لكي يستمر الجسم في حركته على محيط دائرة, لابد أن يكون اتجاه السرعة التي يتحرك بها الجسم مماساً لمحيط الدائرة وقد يكون مقدار السرعة قي هذه الخالة ثابتاً أو متغيرا. وكثيراً ما نقابل هذا النوع من الحركة في الطبيعة وفي حياتنا اليومية مثل:

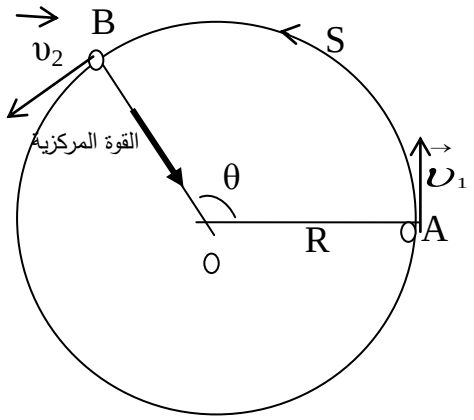
- حركة السيارات والدراجات على المسارات الدائرية والمنعطفات؛
- حركة الكواكب حول الشمس؛
- حركة الأقمار الطبيعية والأقمار الصناعية حول الأرض وحول الكواكب الأخرى.

ولذلك فإن دراسة الحركة الدائرية مهمة جدا لفهم طبيعة هذه الحركة ومعرفة القوى المؤثرة فيها. فالجسم الذي يتحرك في حركة دائرية يقع تحت تأثير قوة في اتجاه مركز الدائرة, وطبقاً لقانون نيوتن الثاني:

فإن هذه القوة تُكسب الجسم تسارع ويكون اتجاه التسارع هو نفس اتجاه القوة إي نحو مركز الدائرة وعمودياً على اتجاه سرعة الجسم المماسة لمحيط الدائرة (انظرالشكل(1−1)).

ويعتبر دوران الأقمار الطبيعية والإصطناعية حول الكواكب ودوران الكواكب حول الشمس في مداراتها من الأمثلة التي يتحرك فيها الجسم في مدار دائري (أو شبه دائري) تحت تأثير قوة التثاقل (الجاذبية) بين الأجسام المادية، كما أن قوة الجذب الكهربائية بين النواة الموجبة والإلكترونات السالبة الشحنة تسبب دوران الإلكترونات في مدارات حول النواة.

1.1. السرعة في الحركة الدائرية



شكل (1-1): الإزاحة الزاوية θ والإزاحة المماسة S

عزيزي الدارس,

نلاحظ في الشكل (1-1) جسم يتحرك على محيط دائرة مركزها النقطة (O) ونصف قطرها (R) منتقلا من النقطة A إلى النقطة B في زمن قدره (t). حيث أن نصف القطر OA يتحرك مع الجسم مسافة S على محيط الدائرة من A إلى B في الفترة الزمنية (t).

كما نلاحظ أن حركة نصف القطر هذة تكون زاوية مركزية هي $AOB >$ والتي ترمز لها بالحرف (θ) (تنطق ثيتا (theta)، وتسمى هذه الزاوية بالإزاحة الزاوية للحركة الدائرية (Angular Displacement) أما الإزاحة الخطية (Linear Displacement) فهي تساوي طول القوس (AB) وسوف نرمز لها بالرمز (S) وتقاس بالمتر.

وحدة الإزاحة الزاوية: تقاس الإزاحة الزاوية

- بالزاوية النصف قطرية (**Radian**) وترمز لها بالرمز rad أو راديان وهي الوحدة المستخدمة لقياس الزوايا في نظام التقدير الدائري.
- أو بالدرجات في النظام الستيني لقياس الزوايا.

الزاوية النصف قطرية : هي الزاوية المركزية التي يكون طول القوس المقابل لها مساويا لنصف قطر الدائرة.

و أما الدائرة الكاملة فمحيطها يساوي $2\pi R$,حيث R نصف القطر.

إذن تحتوي الدائرة على $\mathbf{2\ \pi}$ زاوية نصف قطرية نظراً لأن النسبة بين محيط الدائرة ونصف قطرها تساوي $\mathbf{2}\ \pi$.ونستنتج من ذلك أن الزاوية النصف قطرية التي مقدارها $\mathbf{2}\ \pi$ rad تساوي زاوية مقدارها (360^o) بالتقدير الستيني، أي أن:

$$2\pi \text{ rad} = 360^o$$

أو

$$\mathbf{1\ rad = \frac{180^o}{\pi} \approx 57.3^o}$$

ولمعرفة العلاقة بين الإزاحة الزاوية θ والإزاحة الخطية (طول القوس) S نستخدم القانون الرياضي المعروف:

الزاوية المركزية المقابلة للقوس بالدرجات النصف قطرية = طول القوس S / نصف القطر R

$$\theta = \mathbf{S/R} \qquad (1\text{-}1)$$

$\therefore$ طول القوس

$$\therefore \quad S = R\ \theta$$

➢ **مثال (1-1)**

خيط ملفوف حول عجل نصف قطره (25 cm). أوجد الزاوية بالتقدير الستيني المطلوبة لإدارة العجل لإطلاق (50 cm) من الخيط .

الحل:

عندما تدور نقطة على حافة العجل على قوس طوله S فإن طول الخيط المفكوك سيساوي أيضاً S . والمعادلة (1-1) تبين لنا العلاقة بين طول القوس والزاوية التي تلف العجل بها هي

$$\theta = \frac{S}{R}$$

طول الخيط المفكوك S : S = 50 cm = 50 cm ,

نصف القطر R : R= 25cm = 0.25 m

الزاوية بالتقدير الدائري:

$$\theta = 0.5/0.25 = 2\text{rad}$$

الزاوية بالتقدير الستيني

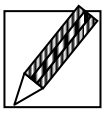
$$\theta = 2\times180/\pi = 114.6^{0}$$

أسئلة تقويم ذاتي

عزيزي الدارس,

1. اكتب أربعة أمثلة للحركة الدائرية
2. عرف الحركة الدائرية, والزاوية النصف قطرية
3. ما الفرق بين بالإزاحة الزاوية والإزاحة الخطية للحركة الدائرية ؟
4. خيط ملفوف حول عجل نصف قطره (50 cm) . ما الزاوية بالتقدير الستيني الذي يجب أن تلف العجل لكي تفك من الخيط طوله (150 cm) ؟

تدريب (1)



1 . خيط ملفوف حول عجل نصف قطرها (R cm). اذا كانت الزاوية بالتقدير الدائري التي يجب أن تلف العجل لكي تفك من الخيط 120 Cm تساوي 3rad فما نصف قطر العجلة؟

1.1.1. السرعة الزاوية: (Angular Velocity)

السرعة الزاوية المتوسطة(Mean angular Velocity) هي النسبة بين الإزاحة الزاوية (θ)والزمن الذي تتم فيه الإزاحة,ويرمزلها $\overline{\omega}$ تنطق أوميقا Omega)

$$\overline{\omega} = \theta / t$$

ووحدات السرعة الزاوية $\overline{\omega}$ المتوسطة هي:

وحدات الزاوية مقسومة على وحدات الزمن أو الزاوية النصف قطرية في الثانية (rad/s).

و أما السرعة الزاوية اللحظية ω :

فهي السرعة الزاوية عند لحظة زمنية محددة , **يرمز لها بالرمز ω** يمكن استنتاجها من تعريف

السرعة الزاوية المتوسطة السابقة وذلك باستخدام إزاحة زاوية مقدارها صغير جداً $\Delta\theta$ في زمن صغير جداً Δt ثم نأخذ النسبة بين الإزاحة الزاوية والفترة الزمنية عندما تقترب الفترة الزمنية من الصفر. ويكتب تعريف السرعة الزاوية اللحظية بالطريقة التالية:

$$\omega = \mathrm{Lim}_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \theta}{\Delta t} \qquad (3-1)$$

و عرفنا أيضا عزيزي الدارس, من خلال دراسة التفاضل في الرياضيات أن:

المقدار في الطرف الأيمن للمعادلة (3-1) هو معدل تغير الإزاحة الزاوية بالنسبة للزمن أي

هي المشتقة الأولى للإزاحة الزاوية بالنسبة للزمن ويرمز له بالرمز $(d\theta/dt)$

عندما يصنع الجسم المتحرك في دائرة إزاحات زاوية متساوية في فترات زمنية متساوية مهما كان مقدار الإزاحة صغيراً ومهما قلت الفترة الزمنية فإن السرعة الزاوية للحركة الدائرية تكون سرعة منتظمة. لاحظ أنه في حالة الحركة الدائرية بسرعة زاوية منتظمة فان السرعة الزاوية المتوسطة تتساوى مع السرعة الزاوية الثابتة. أي أن:-

$$\varpi = \omega$$

1.1.2 التسارع الزاوي (Angular Acceleration):

الحركة الدائرية التي تتغير فيها السرعة الزاوية بمرور الزمن مثل حركة عجلات السيارات والماكينات في المصانع والمراوح عند بداية تشغيلها أو عند إيقافها حيث تتغير سرعة الحركة الدائرية بالزيادة أو النقصان يسمي تسارع الحركة الدائرية المتسارعة (أو المتباطئة) أو المعجلة **بالتسارع الزاوي المتوسط** نرمز له بالرمز α (حرف إغريقي ينطق ألفا Alpha) لجسم يتحرك حركه دائرية معجلة عندما تتغير سرعة الجسم الزاوية من ω_o (تنطق أوميغا الابتدائية) إلى ω خلال زمن t يعطي بالعلاقة

$$\overline{\alpha} = (\omega - \omega_0)/t \qquad (4\text{-}1)$$

وحدات التسارع الزاوي المتوسط هي:

هي وحدات السرعة الزاوية مقسومة على وحدات الزمن (rad/s^2) .

ملاحظة

- يكون التسارع الزاوي تسارعاً تزايدياً إذا كانت السرعة الزاوية النهائية أكبر من السرعة الابتدائية $(\omega > \omega_0)$.
- ويكون تسارعا تناقصياً (تباطؤ أو تقاصر) إذا كان $(\omega > \omega_0)$.

إذا كان التسارع الزاوي منتظماً فإنه يمكن استنتاج معادلات للحركة الزاوية بتسارع منتظم بإستعمال معادلات الحركة الخطية بتسارع منتظم التي مرت عليك عزيزي الدارس, من قبل في مقرر الفيزياء العامة (1) الوحدة الأولى.

وبمكن كتابة معادلات الحركة الدائرية بتسارع منتظم التي تربط بين الإزاحة الزاوية θ والسرعة الزاوية ω والتسارع الزاوي α بقوانين الحركة في خط مستقيم حيث الإزاحة الخطية S و السرعة الخطيةِ v والتسارع الخطي a , كما يلي:

$$\omega = \omega_0 + \alpha t \qquad (5\text{-}1)$$

وهي تقابل معادلة الحركة بعجلة منتظمة في خط مستقيم للسرعة , أي

$$v = v_o + at$$

وكذلك للإزاحة الزاوية

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \qquad (6\text{-}1)$$

وهي تقابل معادلة الحركة بعجلة منتظمة في خط مستقيم للمسافة , أي

$$s = v_o t + \frac{1}{2}at^2$$

أما

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\alpha\theta \qquad (7\text{-}1)$$

فتقابل معادلة الحركة بعجلة منتظمة في خط مستقيم لمربع السرعة , أي

$$v^2 - v_0^2 = 2aS$$

➢ مثال (1-2)

مروحة تدور بمعدل (180) دورة في الدقيقة. أحسب السرعة الزاوية للمروحة. وإذا أوقفت المروحة بقطع التيار الكهربائي عنها فوصلت إلى حالة السكون بعد نصف دقيقة، فما هو التباطؤ الزاوي للمروحة بفرض أنه منتظم؟ وما الزاوية التي دارتها المروحة من لحظة قطع التيار إلى لحظة وصولها للسكون؟

الحل:

السرعة الزاوية للحركة الدائرية للمروحة (ω) = عدد الدورات في الثانية × 2 π

$$\omega = \frac{180}{60} \times 2\pi = 6\pi \quad \text{rad/s}$$

لإيجاد التباطؤ الزاوي، نستخدم المعادلة (1-5) $\omega = \omega_0 + \alpha t$

حيث $\omega=0$ ، $\omega_o=6\pi$ rad/s , t= 30 s

ω هي السرعة الزاوية النهائية، تساوي صفراً لأن المروحة توقفت عن الحركة.

$$0 = 6\pi + 30\alpha$$

$$\alpha = -\frac{\pi}{5}\ \text{rad/s}^2$$

والإشارة السالبة تدل على أن العجلة تناقصية أي تباطؤ.

ولإيجاد الزاوية (θ) التي تدورها المروحة قبل أن تتوقف نستخدم المعالدة (1-6)

$$\theta = \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t$$

$$\theta = 6\pi \times 30 + \frac{1}{2}\left(-\frac{\pi}{5}\right) \times (30)^2 = 150\pi - 90\pi$$

$$\therefore \theta = 60\pi\ r\text{ad}$$

3.1.1.التردد والزمن الدوري:

- **التردد (Frequency) :**

يعّرف بأنه عدد الدورات الكاملة التي يدورها الجسم المتحرك حركة دائرية في الثانية الواحدة. ويرمز له بالرمز (f)

ووحداته هي دورة لكل ثانية أو s^{-1} وتسمى هيرتز (Hertz) ويرمز له بالرمز* (Hz).

- **الزمن الدوري (Period):**

هو الزمن الذي يستغرقه الجسم ليدور دورة كاملة في مساره الدائري، ووحداته هي الثانية (s) ويرمز له بالرمز (T) .

* سميت على اسم العالكم هيرنز Hertz (1857-1894) الذي قدم أبحاث كثيرة في مجال الارسال اللاسلكي.

ومن تعريفي التردد والزمن الدوري أعلاه يتضح أن العلاقة بينهما هي

$$f = \frac{1}{T}$$

ويمكن أيجاد العلاقة بين الزمن الدوري (T) والسرعة الزاوية (ω) بالنسبة لجسم يتحرك حركة دائرية منتظمة إذا علمنا أن الزمن الدوري يساوي الزمن الذي يقطع فيه الجسم مسافة زاوية تساوي $(2\pi \text{ rad})$. وبذلك فإن:

$$T = 2\pi/\omega$$

أو:

$$\omega = 2\pi / T \qquad (8-1)$$

أما العلاقة بين التردد (f) والسرعة الزاوية $(2\pi \text{ rad})$ فهي

$$\omega = 2\pi f \qquad (9-1)$$

أسئلة تقويم ذاتي

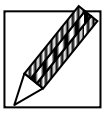
عزيزي الدارس,

1. ما الفرق بين السرعة الزاوية والسرعة الخطية؟
2. كيف يمكن ايجاد العلاقة بين الزمن الدوري والسرعة الزاوية
3. استنتج معادلات للحركة الزاوية بتسارع منتظم
4. إذا كان الزمن الدوري لحركة دائرية يساوي 50s ,فما تردد الحركة الدائرية؟ وما السرعة الزاوية للحركة؟

نشاط

عزيزي الدارس,
تعلم أن الأرض تدور حول محورها مرة كل يوم (24 ساعة)(24 hour) و تدور مرة واحدة كل عام , وأن القمر يدور حول الأرض مرة واحدة كل (27.3) يوما في مدار دائري تقريبا . احسب السرعة الزاوية لحركة دوران الأرض حول نفسها ولحركتها حول الأرض ولحركة القمر حول الأرض.

تدريب(2)



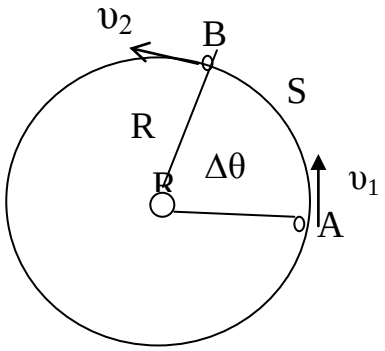
1.أثبت صحة المعادلتين (1-6) و (1-7) باستخدام المعادلة (1-5))؟
2.أحسب الزمن الدوري بوحدات (s) والتردد بوحدات (Hz) للحركة الدائرية للمروحة في المثال السابق (مثال (2)) .
3.عجل يدور بعدل 30 دورة كل ربع دقيقة احسب التردد والزمن الدوري والسرعة الزاوية للحركة الدائرية للعجل

4.1.1.السرعة المماسة v (Tangential Velocity)

السرعة المماسة في الحركة الدائرية :

هي السرعة التي يتحرك بها الجسم على محيط مساره الدائري. وفي الحركة الدائرية المنتظمة يكون فقط مقدار (v) ثابتاً، أما اتجاهها فهو يتغير باستمرار ويكون مماساً لمحيط الدائرة وعمودياً على نصف قطر الدائرة.

وتسمى السرعة المماسة أيضاً بالسرعة الخطية ولذلك سوف نرمز لها بالرمز v وهو رمز السرعة في الحركة الخطية،. (أنظر الشكل (2-1)) التالي:



الشكل (2-1) :استنتاج السرعة المماسة

في الشكل (2-1) أن السرعة المماسة عند النقطة A هي v_1 ،وعند النقطة B هي v_2.لاحظ أن $\left(\overrightarrow{v_2} \neq \overrightarrow{v_1}\right)$ حتى ولو كان الجسم يتحرك في حركة دائرية منتظمة (سرعة ثابتة) لأن اتجاه $\overrightarrow{v_2}$ يختلف عن اتجاه $\overrightarrow{v_1}$.

نفرض أن الجسم يتحرك بسرعة مقدارها ثابت ويساوي (v) على محيط الدائرة الموضحة في الشكل (2-1) التي نصف قطرها (R). وخلال زمن قدره t بحيث يكون الجسم تحرك إزاحة زاوية مقدارها θ من النقطة (A) إلى النقطة (B)، وتكون إزاحته الخطية هي طول القوس (AB) أي (S). باستخدام المعادلة (1-1)نجد أن:

$$\theta = S/R$$

ولكن السرعة الزاوية للجسم تساوي

$$\omega = \theta/t = \frac{S/R}{t} = \left(S/t\right)/R$$

والمقدار (S/t) يساوي السرعة المماسة (السرعة الخطية).

أي

$$\omega = \theta/t = v/R$$

أي أن السرعة المماسة

$$v = \omega R \qquad (10\text{-}1)$$

ووحدات v في النظام الدولي للوحدات هو (m/s).

وعليه إذا كانت السرعة الزاوية (ω) متغيرة فإن السرعة المماسة ستكون أيضاً متغيرة والمعادلة (1-10) توضح لنا أن معدل تغير السرعة المماسة يساوي معدل تغير السرعة الزاوية مضروباً في نصف

القطر (R). معدل تغير السرعة المماسة يسمى **التسارع المماس** وسوف نرمز له a_t حيث يرمز حرف t إلى Tangential أي مماس

$$\boxed{a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{d\omega}{dt} R = \alpha R}$$

ويعطى هذا التسارع من (1-10) بالعلاقة:

$$\boxed{a_t = \alpha R} \qquad (1\text{-}11)$$

حيث α هو التسارع الزاوي.

وحدات (التسارع a_t المماس) : **هي** (m/s^2) أما وحدات التسارع الزاوي كما عرفنا سابقا هي تساوي (rad/s^2)

➢ مثال(1−3)

عجل يدور بمعدل ثلاث دورات في الثانية الواحدة. ما قيمة السرعة المماسة (الخطية) لنقطة على حافة العجل إذا كان نصف قطر العجل (15cm) ؟ وإذا زاد معدل دورات العجل بانتظام إلى أن وصل إلى خمس دورات في الثانية خلال (10 s) ، فما التسارع المماسي للنقطة على حافة العجل؟

الحل

السرعة الزاوية = $\omega = 3 \times 2\pi = 6\pi \, rad/s$

السرعة المماسة = $v = \omega R = (6\pi) \times (0.15m)$

$$\therefore v = 0.9\pi \, m/s$$

السرعة الزاوية $\omega = 5 \times 2\pi = 10\pi$ rad/s

∴ التسارع الزاوي: $\alpha = (10\pi - 6\pi)/10 = 0.4\pi \ rad/s^2$

التسارع المماس $a_t = \alpha R = (0.4\pi) \times (0.15)$

$$a_t = 0.06\pi \quad m/s^2$$

أسئلة تقويم ذاتي

عزيزي الدارس,

1. عرّف كلاً من السرعة الزاوية والسرعة المماسة، وأكتب الوحدات التي تقاس بها كلاً منهما؟
2. ما الفرق بين التسارع الزاوي والتسارع المماس وايهما يؤثر على السرعة الخطية وكيف؟ اكتب العلاقات لرياضية؟

تدريب(3)

1. باستخدام العلاقة بين السرعة الزاوية والسرعة المماسة (المعادلة (1−10)) أستنتج علاقة بين السرعة المماسة والزمن الدوري.
2. جسم كتلته (200gm) رُبط في خيط طوله (50cm) ليدور في مسار دائري نصف قطره يساوي طول الخيط، بمعدل 4 دورات في الثانية. أحسب: 1) السرعة المماسة (الخطية). 2) تسارع الجذب المركزي. 3) شد الخيط للجسم؟

1.2. التسارع المركزي(Centripetal Acceleration)

عزيزي الدارس,

علمنا في بداية هذه الوحدة أن الجسم الذي يتحرك حركة دائرية يقع تحت تأثير قوة تكون عمودية على اتجاه الحركة و في اتجاه مركز الدائرة التي يتحرك عليها الجسم. وتسمى هذه بالقوة التي تحفظ الجسم في مساره الدائري القوة الجاذبة المركزية (Centripetal Force) .

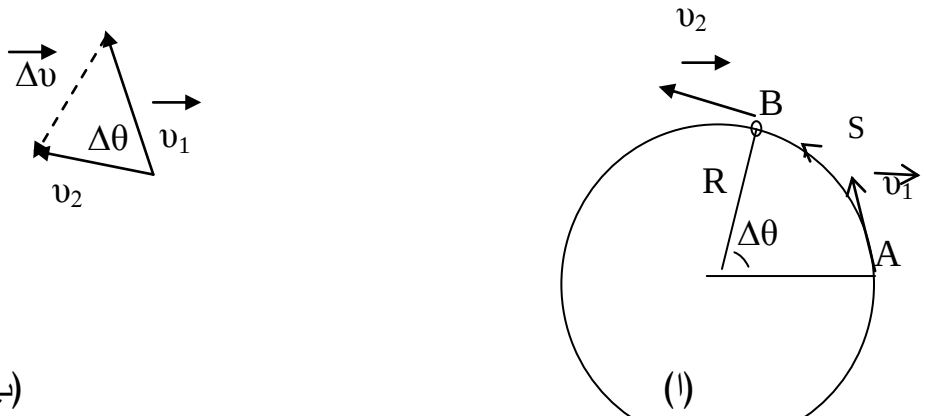
وطبقاً لقانون نيوتن الثاني للحركة (F=ma) الذي تعرفنا عليه في مقرر الفيزياء العامة (1) فإن هذه القوة المركزية لها تسارع:

- يكون اتجاه التسارع هو نفس اتجاه القوة.
- ويسمى هذا التسارع تسارع (أو عجلة) الجذب المركزي (Centripetal acceleration) ،
- ويرمز له بالرمز (a_c) حيث يرمز الحرف c إلى كلمة (Centripetal) أي جذب مركزي، كما يرمز للقوة الجاذبة المركزية التي تسببه بالرمز F_c .

عزيزي الدارس,

الآن يمكن إيجاد العلاقة الرياضية التي يمكن بواسطتها حساب تسارع الجذب المركزي في حالة الحركة الدائرية المنتظمة وذلك باستخدام الشكل (1−3).

يمثل الشكل (1−3) (أ) جسما يتحرك في دائرة نصف قطرها (R) بسرعة منتظمة. عندما ينتقل الجسم من الموضع (A) إلى الموضع (B) تتغير السرعة المماسة من $\left(\overrightarrow{\mathbf{v}_1}\right)$ إلى $\left(\overrightarrow{\mathbf{v}_2}\right)$. حيث يشير السهم أعلى السرعة إلى أنها متجه أي لها إتجاه أيضا وليس مقدار فقط.



الشكل (1-3)(أ) تغيرإتجاهات السرعة في الحركة الدائرية (ب) مثلث متجهات السرعة

وواضح من الشكل (1−3) (ب) أن السرعة تغيرت في الاتجاه وليست في المقدار، أي أن مقدار السرعة المماسة بالرغم من تغيير اتجاه السرعة ثابت

$$|v_2| = |v_1| = v$$

حيث v هو مقدار السرعة المماسة. وبناءاً على ذلك فإن تسارع الجذب المركزي الذي تسبب في تغيير اتجاه السرعة سيكون:

$$\vec{a_c} = \left(\vec{v_2} - \vec{v_1}\right) \Big/ \Delta t = \vec{\Delta v} \Big/ \Delta t$$

حيث تمثل $\vec{\Delta v}$ التغير في إتجاه السرعة و Δt هي الفترة الزمنية التي يأخذها الجسم ليتحرك من (A) إلى (B).إذاً مقدار التسارع يساوي:

$$a_c = \Delta v \Big/ \Delta t \qquad (i)$$

وبما أن المسافة التي قطعها الجسم على محيط الدائرة خلال الفترة الزمنية Δt هي S وبالتالي عند التعويض عن Δt في المعادلة (i) نجد أن:

$$a_c = \frac{v \Delta v}{S} \qquad (ii)$$

وتلاحظ أن كلاً من المثلث OAB في الدائرة الموضحة في الشكل (1−3) (أ) ومثلث السرعات في الشكل (1−3)(ب) يحتويان على ضلعين متساويين يحصران بينهما زاوية مقدارها $(\Delta\theta)$، لذلك فإن هذين المثلثين متشابهان، ونستنتج من تشابهما أن:

(iii)

$$\frac{\Delta v}{R} = \frac{AB}{v}$$

حيث AB طول الخط المستقيم بين A و B .

وإذا كانت الفترة الزمنية (Δt) صغيرة جداً فإن النقطة B ستكون قريبه جداً من النقطة A وسيكون طول القوس S مساوياً تقريباً لطول الخط المستقيم AB والمعادلة (iii) ستؤول عند $(t \to 0)$ إلى:

$$\frac{\Delta v}{R} = \frac{S}{v}$$

أو

$$\therefore \ \Delta v = SR/v$$

وبالتعويض في المعادلة (ii) عن قيمة (Δv) نحصل على

$$a_c = v^2/R \qquad (12-1)$$

وبما أن المعادلة (12−1) تم الحصول عليها عندما $(\Delta t \to 0)$ فإنها تمثل تسارع الجذب المركزي اللحظي وهو التسارع عند لحظة زمنية معينة أو عند موضع معين على المسار الدائري. وبالتعريض عن قيمة $(v = \omega R)$ في المعادلة (12−1) نحصل على معادلة ثانية لتسارع الجذب المركزي بدلالة التردد الزاوي **ω**:

$$a_c = \omega^2 R \qquad (13-1)$$

1.2.1. القوة الجاذبة المركزية (Centripetal Force)

باستخدام القانون الثاني لنيوتن نحصل على علاقة رياضية للقوة الجاذبة المركزية التي تسبب التسارع المركزي (a_c):

القوة الجاذبة المركزية = كتلة الجسم المتحرك × تسارع الجذب مركزي

فمن (1−12): نجد ان

$$F_c = m\omega^2 R \qquad (14\text{-}1)$$

أو من (1-13):

$$F_c = mv^2/R \qquad (15\text{-}1)$$

المعادلة (1−15) تبين لنا أن:

- القوة الجاذبة المركزية تتناسب طردياً مع مربع السرعة مضروبا في كتلة الجسم،
- وتتناسب عكسياً مع نصف قطر المسار الدائري.

ويمكنك عزيزي الدارس, التأكد من ذلك بسهولة وذلك بالقيام بإدارة جسم في خيط في دائرة أفقية وستلاحظ أنه إذا أسرع الجسم في دورانه سيزداد الشد في الخيط. وإذا استخدمت جسم كتلته كبيرة فسيكون الشد في الخيط الذي يمثل القوة الجاذبة المركزية أكبر من الشد في حالة الكتلة الصغيرة وستلاحظ أيضاً أن النقصان في طول الخيط يؤدي لزيادة الشد في الخيط.

➢ مثال (1-4)

جسم كتلته (500gm) يدور في مسار دائري نصف قطره (80cm). أحسب السرعة المماسة والقوة الجاذبية المركزية عندما تكون سرعة دوران الجسم:

(أ) 5 دورات/ث. (ب) 3 دورات/ث

الحل:

(أ) السرعة الزاوية للجسم: $\omega = 5 \times 2\pi = 10\pi$ rad/s

السرعة المماسة: $v = \omega R = (10\pi \times 0.8)$ m/s

لاحظ أننا حولنا وحدات السرعة لمتر/ث

$$v = 8\pi = 25.12 \text{ m/s}$$

القوة الجاذبة المركزية:

$$F_c = m v^2 / R$$

$$m = 500 \text{ gm} = 0.5 \text{ kg}$$

$$F_c = (0.5) \times (25.12)^2 / (0.8) = 394.4 \text{ N}$$

(ب) السرعة الزاوي في هذه الحالة:

$$\omega = 3 \times 2\pi = 6\pi \text{ rad/s}$$

السرعة المماسة:

$$v = \omega R = (6\pi) \times (0.8) = 4.8\pi = 15.1 \text{ m/s}$$

القوة الجاذبة المركزية:

$$F_c = (0.5)(15.1)^2 / (0.8)$$

$$\therefore F_c = 142.3 \text{ N}$$

ويلاحظ أن القوة الجاذبية المركزية زادت عندما زادت سرعة الحركة الدائرية للجسم.

أسئلة تقويم ذاتي

عزيزي الدارس,

1.علل: الحركة الدائرية لها تسارع مركزي علي الرغم من أن مقدار السرعة فد يكون ثابتا.

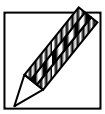
2.أوجد وحدات القوة الجاذبة المركزية باستخدام المعادلة (1-14) ثم باستخدام المعادلة(1-15) وقارن بينهما .

3. في رياضة رمي الجلة، يُحرك اللاعب الكتلة التي بيده حركة دائرية باللف حول نفسه بسرعة قبل أن يقذف الكتلة. لماذا؟.ولكن ماذا عن المعادلة (1-15) ؟ حاول استنتاج ما سيحدث حسب هذه المعادلة بنفس الطريقة أعلاه

نشاط

عزيزي الدارس أرجو التأكد من ذلك بالقيام بإدارة جسم في خيط في دائرة أفقية بان القوة الجاذبية المركزية تتناسب طردياً مع مربع السرعة مضروبا في كتلة الجسم، وتتناسب عكسياً مع نصف قطر المسار الدائري

تدريب (4)



1.قطر عجلة سيارة يساوي (60 cm)، وتدور العجلة بمعدل 720 دورة في الدقيقة بواسطة آلة ضبط الإطارات. أحسب سرعة نقطة على الحافة الخارجية للعجلة بوحدات (m/s). وإذا أوقفت الآلة ثم وصلت العجلة لحالة السكون بعد دقيقة، ما التقاصر الزاوي؟ وما التقاصر المماسي للعجلة بفرض أنهما منتظمان؟

2. تسير سيارة في طريق بسرعة (15m/s). فإذا كان نصف قطر عجلاتها (75cm)، فما سرعة عجلاتها بالدورات في الثانية وبالزوايا النصف قطرية في الثانية؟

3. جسيم كتلته , ربط في خيط طوله ليدور في مسار دائري افقي نصف قطره يساوي طول الخيط بمعدل دورات في الثانية احسب

1) السرعة المماسة ا(لخطية).

2)التسارع المركزي .

3)الشد في الخيط.

1.2.1. القوة الطاردة المركزية (F_f) (Centrifugal Force):

عزيزي الدارس,

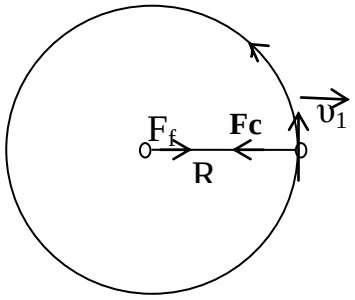
رأينا في الفقرة السابقة عزيزي الدارس, أن القوة الجاذبية المركزية تؤثر على الجسم المتحرك حركة دائرية لكي تحفظه في مساره الدائري.

وكما تعلم, عزيزي الدارس, فإن قانون نيوتن الثالث للحركة ينص على أن:

لكل فعل رد فعل مساوٍ له في المقدار ومضاد له في الاتجاه.

وهذا يعني أنه لابد من وجود القوة الطاردة المركزية مساوية للقوة الجاذبة المركزية وفي الاتجاه المعاكس لها. وبالتالي فالقوة الطاردة المركزية قوة رد فعل تؤثر على جسم آخر وليس

على نفس الجسم الذي يتحرك في دائرة. ويمكنك أن تتعرف أكثر على القوة الطاردة المركزية من خلال التجربة السابقة للجسم المربوط في خيط ومتحرك في مسار دائري في وضع أفقي. فإذا استخدمت كرة معدنية نصف قطرها صغير بالنسبة لطول الخيط فإن طول الخيط سيكون مساوياً تقريباً لنصف قطر المسار الدائري وستكون قوة الشد في الخيط هي القوة الجاذبة المركزية التي تجذب الكرة نحو مركز الدائرة كما في الشكل (1-4)



شكل (1-4) القوة الجاذبة المركزية F_c والقوة الطاردة المركزية F_r

أما القوة الطاردة المركزية المساوية في المقدار للقوة الجاذبة المركزية والمعاكسة لها في الاتجاه فإنها تؤثر على يدك التي تمسك بها الخيط عند مركز الدائرة وتجذبها إلى الخارج من مركز الدائرة.

وإذا كانت كتلة الكرة (m) ونصف قطر المسار الدائري (R) والسرعة المماسة للحركة (v) فإن:

القوة الطاردة المركزية = القوة الجاذبة المركزية $= mv^2 / R$

$$\mathbf{F_f} = m\upsilon^2 / r$$

عزيزي الدارس,

إن مفهوم القوة الطاردة المركزية يطبق في أجهزة تسمى أجهزة الطرد المركزي (Centrifuges). والتي تستخدم لتنقية بعض السوائل من الشوائب العالقة بها.

طريقة الاستخدام :

- يوضح السائل في أنبوب داخل الجهاز الذي يتحرك حركة دائرية بسرعة عالية في وضع أفقي. فإذا كانت كتلة جزيئات السائل أكبر من كتلة الجزيئات العالقة بالسائل فإن القوة الطاردة المركزية التي تؤثر على الجزيئات الشائبة تكون أقل من القوة على تؤثر جزيئات السائل مما يؤدي لحركة الجزيئات الشائبة نحو مركز الحركة الدائرية. وعندما تتوقف الحركة الدائرية ويصبح الأنبوب في وضع رأسي تتجمع الجزيئات الشائبة فوق السائل مما يسهل فصلها عنه.
- وإذا كانت الجزيئات الشائبة أثقل من جزيئات السائل في حالة سائل منخفض الكثافة فإن الشوائب تتحرك مبتعدة عن مركز الحركة الدائرية وتتجمع في قاع الأنبوب ويكون السائل النقي في قمة الأنبوب عندما تتوقف حركة جهاز الطرد المركزي.

3.2.1.حركة السيارات على المسارات الدائرية والمنعطفات:

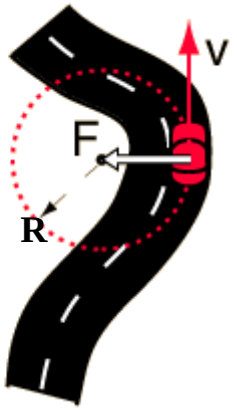
عزيزي الدارس,

إن السيارات والدراجات والقطارات (كذلك الطائرات) التي تسير في الطرق الدائرية والمنعطفات تحتاج إلى قوة جاذبة مركزية لكي تحافظ على سيرها في هذه المسارات. وعندما تتحرك السيارة مثلاً على طريق دائري أو منعطف, بسرعة منخفضة نسبياً فإن القوة الجاذبة المركزية يمكن أن تستمد من قوة الاحتكاك بين الإطارات وأرضية الطريق.

> أما إذا كانت السرعة كبيرة وكانت قوة الاحتكاك صغيرة كما هو الحال في الطريق الملساء أو المبتلة فإننا نلاحظ أن السيارة تنحرف خارجه عن المسار الدائري وقد لا تستطيع الحركة فيه مما يسبب حوادث المرور.

وفي هذه الحالة يتوقع أن تكون القوة الجاذبة المركزية كبيرة لأنها تتناسب طرديا مع مربع السرعة، ولا تكفي قوة الاحتكاك وحدها لتحفظ السيارة في مسارها الدائري. ولذلك ترصف طرق المرور السريع في المنحنيات بحيث تميل على المستوى الأفقي بزاوية مناسبة ويكون الميلان نحو مركز الانعطاف لتوفير القوة الجاذبة المركزية اللازمة لجعل السيارة مستقرة في

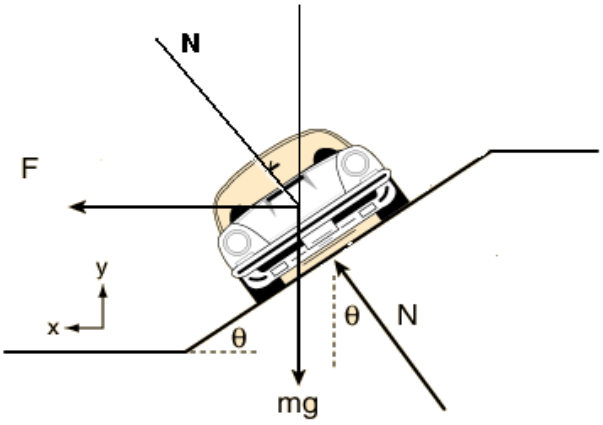
مسارها الدائري (أنظر الشكل).



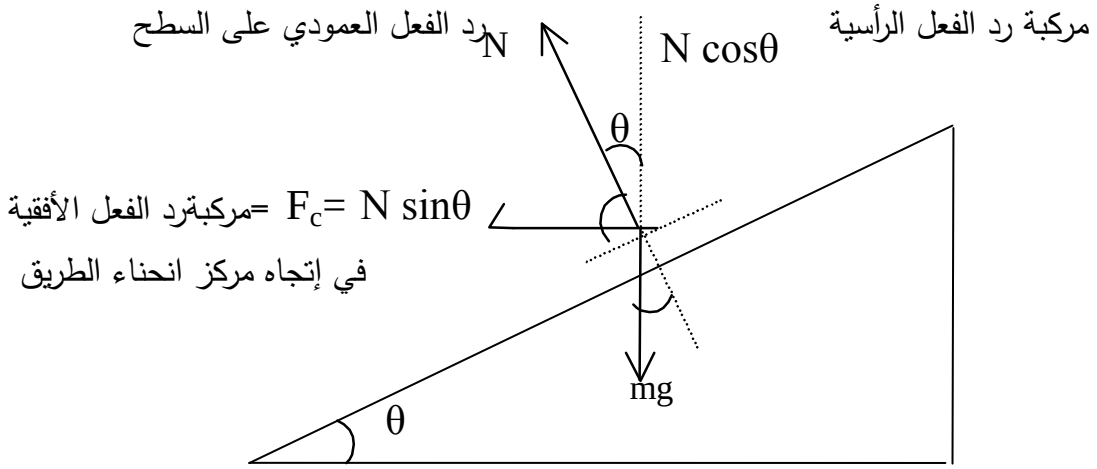
العلاقة بين زاوية ميل الطريق وبين أعلى سرعة:

لتوضيح العلاقة بين زاوية ميل الطريق وبين أعلى سرعة يمكن أن تتحرك بها سيارة و حتى تكون مستقرة على الطريق سوف نستخدم الشكل (1–5). حيث يوضح الشكل (أ) القوى المؤثرة على السيارة عند سيرها في الطريق المائل بزاوية θ حيث يولد وجود الميلان تلقائيا قوة الجذب المركزي F وهذه القوة ماكانت ستكون موجودة لولا الميلان.

عزيزي الدارس, من الشكل (1-5) (ب) يمكن إيجاد قوة الجذب المركزية المتولدة من الميلان. فإذا تجاهلنا قوة الاحتكاك بين السيارة وأرضية الطريق فإن القوة التي يؤثر بها الطريق على السيارة هي قوة رد الفعل العمودي N ألتي تميل بزاوية θ على الاتجاه الرأسي أي بنفس ميلان الطريق، وقوة وزن السيارة هي mg في الاتجاه الرأسي إلى أسفل أنظر الشكل (5-1) (أ)



الشكل (1-5) (أ) القوى المؤثرة على سيارة في طريق مائل



الشكل (1-5)(ب): حساب القوى المؤثرة على السيارة

المركبة الأفقية لرد الفعل في الإتجاه الأفقي هي في نفس إتجاه قوة الجذب المركزية المطلوبة لكي تسير في مسار دائري وهذه القوة الجاذبة المركزية الناتجة من ميل الطريق تساوي:

$$F_c = N \sin\theta \qquad \text{(i)}$$

أما وزن الجسم فيساوي بالضبط مركبة رد الفعل في الإتجاه الرأسي

$$mg = N\cos(\theta) \qquad \text{(ii)}$$

بقسمة المعادلة (i) على المعادلة (ii) نحصل على

$$F_c = \text{mg}\tan\theta \qquad (1\text{-}16)$$

حيث m هو كتلة السيارة و g عجلة الجاذبية الأرضية و $\boldsymbol{\theta}$ زاوية ميل الطريق. فإذا كان نصف إنحناء الطريف R وباستخدام المعادلة (1-13) نجد أن:

$$F_c = m v^2 / R = mg\tan\theta$$

أو:

$$v^2 = Rg\ \tan\theta$$

$$v_m = \sqrt{Rg\ \tan\theta} \qquad (1\text{-}17)$$

حيث v_m هي أقصى سرعة يمكن أن تتحرك بها السيارة باستقرار على الطريق المنحنى الذي نصف قطره انحنائه R وزاوية ميله مع الأفق هي **θ**.

فإذا تجاوزت السيارة هذه السرعة:

- تكون غير مستقرة في مسارها،
- وتتكرر حوادث السير عند المنعطفات والدوارات (الصواني) لأن سائقي المركبات لا يلتزمون بالسرعة المناسبة عند التغير الحاد في الاتجاه ومن الضروري أن يخفض سائق المركبة سرعتها عند عبوره لطريق منحنى (منعطف).

عزيزي الدارس,

يلجأ مهندسو الطرق أحياناً لبناء ما نسميه صواني حركة (وما يسميه بقية العرب دورات) نصف قطر انحنائها كبير نسبيا مما يقلل من قيمة القوة الجاذبة المركزية المطلوبة للسير في المنحنى لأنها تتناسب عكسيا مع نصف قطر المنحنى.

وما ذكرناه سابقا بالنسبة لحركة السيارات على المسارات الدائرية ينطبق على الطائرات. فالطائرات تسير على مسار منحنى عندما يريد قائد الطائرة تغيير اتجاه الطيران، ولتوفير القوة الجاذبة المركزية اللازمة لذلك تميل الطائرة تلقائيا بزاوية مناسبة على المستوى الأفقي

عزيزي الدارس,

- في حالة الطيران العادي للطائرة ،فان قوة دفع الهواء (F) تؤثر على جناحي الطائرة في اتجاه رأسي إلى أعلى
- أما عند الطيران في مسار دائري تميل الطائرة بزاوية **θ** نحو مركز المسار الدائري لتوفير القوة الجاذبة المركزية اللازمة لحفظ توازن الطائرة في المسار الدائري.

القوة الجاذبة المركزية للطائرة في هذه الحالة تعطي بالعلاقة:

$$F_c = F \sin\theta \qquad (1\text{-}18)$$

حيث: F هي قوة دفع الهواء للطائرة و **θ** هي زاوية ميلان الطائرة.

وإذا كانت الطائرة تتحرك بسرعة عالية أو إذا كان نصف قطر المسار الدائري صغير فإن الطائرة لابد أن تميل تلقائيا بزاوية كبيرة لكي تتوفر قوة جاذبة مركزية كبيرة.

وبالنسبة للدراجات الهوائية (العادية) أو النارية (المواتر) نلاحظ أن الدراجة وراكبها يميلان تلقائيا بزاوية مناسبة عندما يسير في طريق منحنى (نشاهد ذلك كثيرا في التلفزيون عند عرض سباق الدراجات النارية). والمثال التالي يوضح ذلك.

➢ **مثال (1-5)**

صبي كتلته (49 kg)، يركب دراجة كتلتها (10kg) ويسير في طريق منحنى نصف قطر إنحنائه (12m) بسرعة (10m/s) ما الزاوية التي يجب أن تميل بها الدراجة في إتجاه مركز الإنحناء؟ وكم تكون القوة الجاذبة المركزية ؟ (خُذ $g=10m/s^2$)

الحل

نستخدم المعادلة (1-17) لإيجاد زاوية ميل الدراجة:

$$v = \sqrt{Rg \tan\theta}$$

و بما أن: السرعة $v= 10\ ms^{-1}$ و $g = 10\ ms^{-2}$ و θ هي زاوية ميل الدراجة في اتجاه مركز الانحناء، و $R= 12\ m$

$$\tan\theta = \frac{v^2}{Rg} \qquad v^2 = Rs\tan\theta$$

$$\tan\theta = \frac{10^2}{12\times 10} = \frac{100}{120} = \frac{5}{6} = 0.8333$$

ولإيجاد القوة الجاذبية المركزية نستخدم المعادلة (1-16)

$$\therefore \theta = \tan^{-1}(0.8333)$$

$$F_c = mg\tan\theta$$

حيث كتلة الصبي والدراجة

$$m = 50\ Kg$$

$$F_c = 59 \times 10 \times (5/6) = 491.6\ N$$

أسئلة تقويم ذاتي

عزيزي الدارس,

1. قوة الجذب وقوة الطرد المركزيتان قوتان ملازمتان للحركة الدائرية . علل سبب وجود كل من القوتين في الحركة الدائرية .
2. وضح العلاقة بين نصف قطر انحناء طريق دائري وبين القوة الجاذبة المركزية المطلوبة للسير في الطريق.
3. في رياضة رمي الجلة، يُحرك اللاعب الكتلة التي بيده حركة دائرية باللف حول نفسه بسرعة قبل أن يقذف الكتلة. لماذا؟

تدريب(5)

1. سيارة كتلتها (125 kg) تسر بسرعة (90 km/hr) علي طريق دائري نصف قطر إنحائه (80m) ويميل علي المستوى الأفقي بزاوية (13^o).احسب القوة الجاذبة المركزية علي السيارة المتولدة عن ميلان الطريق ، وبين ما إذا كانت السرعة التي تتحرك بها السيارة مناسبة لهذا الطريق بفرض أن الطريق أملس تماما .
2. طريق منحنى أملس ، نصف قطر انحنائه يساوى (150 m) ، صمم ليكون مائلا ليمكن السيارات من الحركة عليه بأقصى سرعة مقدارها (25m/s) .احسب زاوية ميل الطريق علي الأفق.
3. إذا أخذنا نصف قطر الأرض عند خط الاستواء (6400km) وطول اليوم (24 hr). ما قيمة العجلة الجاذبة المركزية لنقطة على خط الاستواء؟
4. قطر عجلة يساوى (60cm) ، وتدور العجلة بمعدل 720 دورة في الدقيقة بواسطة آلة ضبط الإطارات. أحسب سرعة نقطة علي الحافة الخارجية للعجلة بوحدات (m/s) . وإذا أوقفت الآلة ثم وصلت العجلة لحالة السكون بعد دقيقة ، ما التقاصر الزاوي وما التقاصر المماسي للعجلة بفرض أنهما منتظمان ؟
5. تسير سيارة في الطريق بسرعة (54 km/hr) . فإذا كان نصف قطر عجلاتها (75cm) ، فما سرعة عجلاتها بالدورات في الثانية و بالزوايا النصف قطرية في الثانية ؟

الخلاصة

ولكن ما الذي ناقشناه ؟

لقد تعرفنا علي مفهوم الحركة الدائرية حيث إنها حركة انتقالية في مسار دائري أو على محيط دائرة. ثم شرحنا الإزاحة الزاوية للحركة الدائرية والتي تنتج عن حركة نصف القطر مكونا زاوية مركزية. أما الإزاحة الخطية فهي تساوي طول القوس. ثم انتقلنا إلى مفهوم الإزاحة المماسة.

وأيضا شرحنا التسارع المركزي مع توضيح مفهوم القوة التي تحفظ الجسم المتحرك حركة دائرية من السقوط نحو المركز. وهناك أيضا تطبيقات للحركة الدائرية والمنعطفات.

ومع نهاية هذا القسم نكون قد انهينا هذه الوحدة، ونأمل أن تكون قد أضافت الكثير إلى معلوماتك الثرة وان تسعد بالوحدة القادمة.

لمحة مسبقة عن الوحدة الدراسية التالية

عزيزي الدارس، بعد أن فرغت من دراسة هذه الوحدة الآن، أصبح لديك حصيلة كبيرة من المعلومات المفيدة فيما يتعلق بالحركة الدائرية، والقوة التي تؤثر علي الجسم المتحرك في مسار دائري بصفة عامة.

و الآن سوف نتعرف على وحدة أخرى والتي ستزودك بمفاهيم أساسية تتعلق بالطاقة و التي هي المقدرة علي بذل شغل معين , ثم الشغل و الطاقة الحركية والوضعية وأيضا الطاقة في المجال التثاقلي والتي هي الشغل المبذول ضد مجال الجاذبية الأرضية ثم نتعرف علي قوانين كبلر لحركة الكواكبحول الشمس وأيضا نتناول الأقمار الاصطناعية والسفن الفضائية

نرجو إن تكون وحدة مفيدة لك وان تساهم معنا في نقدها وتقييمها.

مسرد المصطلحات:

الحركة الدائرية(Circular Motion) :

هي حركة انتقالية في مسار دائري أو على محيط دائرة. ويتغير اتجاه الحركة الدائرية باستمرار مع مرور الزمن

الإزاحة الزاوية للحركة الدائرية :(Angular Displacement)

هي الزاوية مركزية التي تصنعها حركة نصف القطر ي

الإزاحة الخطية (Linear Displacement):

فهي تساوي طول القوس (AB) وسوف نرمز لها بالرمز (s) وتقاس بوحدة المتر

الزاوية النصف قطرية (Radian):

ترمز لها بالرمز rad هي وحدة مستخدمة لقياس الزوايا في نظام التقدير الدائري.

السرعة الزاوية المتوسطة(Mean angular Velocity)

هي النسبة بين الإزاحة الزاوية والزمن الذي تتم فيه الإزاحة ويرمز لها بالرمز

التسارع الزاوي(Angular Acceleration):

الحركة الدائرية التي تتغير فيها السرعة الزاوية بمرور الزمن مثل حركة عجلات السيارات والماكينات في المصانع والمروحة عند بداية تشغيلها أو عند إيقافها تتغير سرعة الحركة الدائرية بالزيادة أو النقصان تسمي الحركة في هذه الحالة الحركة الدائرية المعجلة (المتسارعة أو المتباطئة) .

التسارع الزاوي المتوسط (mean Acceleration):

معدل تغيير السرعة لجسم يتحرك حركه دائرية معجلة عندما تتغير سرعة الجسم الزاوية من ω_0 (تنطق أوميغا الابتدائية) إلى ω خلال زمن t يعطي بالعلاقة

التردد (Frequency) :

يعّرف بأنه عدد الدورات الكاملة التي يدورها الجسم المتحرك حركة دائرية في الثانية الواحدة ووحداته هي دورة لكل ثانية وتسمى الهيرتز (Hertz)

الزمن الدوري (Period):

هو الزمن الذي يستغرقه الجسم ليدور دورة كاملة في مساره الدائري، ووحداته هي الثانية

السرعة المماسة(Tangential Velocity)

السرعة المماسة في الحركة الدائرية هي السرعة التي يتحرك بها الجسم على محيط مساره الدائري.

إجابات التدريبات

تدريب(1)

3) نصف قطر العجل , R= 40 cm

تدريب(2)

1) من المثال (1−2)السرعة الزاوية للمروحة $\omega = 6\pi$

وباستخدام المعادلة(1-8) نحصل علي الزمن الدوري T= 1/3 sec,

وباستخدام المعادلة(1-8) نحصل علي التردد

3) التردد f= 2Hz **د,**

الزمن الدوري T= 0.5 sec

السرعة الزاوية $\omega = 4\pi$ rad/ s

تدريب(3)

1). الإجابة: $v = 2\pi R/T$] ,

2) السرعة المماسة 25.14 m/s ، التسارع $a_c = 1288.777\ m/s^2$,

الشد في الخيط =257.75N

تدريب (4)

1). التقاصر الزاوي $\alpha = = 1.27 rad/s^2$ ، التقاصر المماسي $a = 0.75 m/s^2$]

2). 3.18دورة/ث، 20 rad/s]

3). السرعة المماسة = 12.56 m/s ,

لتسارع المركزي = $a_c = 315.5\ m/s^2$

القوة الجاذبية المركزية = $F_c = 63.1\ N$

تدريب (5)

1).القوة الجاذبة المركزية $F_c = 2885.75N$ ، السرعة 90km/hr التي تعادل 25m/s غير مناسبة لهذا الطريق لأن السرعة القصوى المسموح بها تساوي 13.59m/s

2).زاوية ميل الطريق علي الأفق $= 23^0$

3) الإجابة: $a_c = 0.034 m/s^2$

4) $a_t = 0{,}7.6\ m/s^2$ $\alpha =$ rad /s ^{2} v= 45.2 m/s

5)سرعة السيارة في الثانية 3.18 دورة / ثانية

السرعة بالزاوية النصف قطرية 20 rad /s