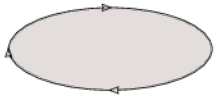
الحركة الدورانية

عندما يتحرك جسم في مدار دائري مثل حركة القمر حول الأرض أو حركة عقرب الساعة، فإننا نحتاج إلى وصف هذه الحركة بطريقة فيزيائية لدراستها والاستفادة منها، ولهذا يعمد العلماء إلى وصف هذه الحركة بطريقتين:

الاولى تصف حركة الجسم بدلالة الزاوية التي يقطعها الجسم حول المركز (الإزاحة الزاوية) ، وفي هذه الحالة نسمي حركة الجسم بالحركة الزاوية.

أما إذا وصفنا الحركة بدلالة الإزاحة التي يقطعها الجسم على محيط المسار الدائري فإننا نسمي حركة الجسم بالحركة الخطية.

وفي كلتا الطريقتين نحن نصف الحركة الدورانية، ولهذا فإننا نستطيع التحويل بين كميات الحركة الزاوية وكميات الحركة الخطية لنفس الجسم بإستخدام قوانين سهلة وبسيطة.

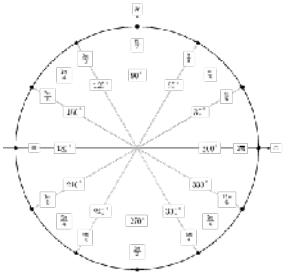


شكل 1.0: الشمس والارض

1.0 وصف الحركة الدورانية

1.1.0 الإزاحة الزاوية

الإزاحة الزاوية هي الزاوية التي يقطعها الجسم أثناء حركته.

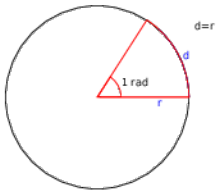


شكل 2.0: الزوايا

Rad	Grad	Deg	
2π	400	360	الدائرة
$\frac{1}{2\pi}$	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{360}$	الوحدة الواحدة
$\backsimeq 57.3$	0.9	1	بالدرجات

جدول 1.0: وحدات الحركة الزاوية

والراديان هي وحدة الزوايا في النظام الدولي للوحدات ولهذا فإننا نستخدمها كوحدة اساسية للإزاحة الزاوية، ونعرف الراديان بأنه $\frac{1}{2\pi}$ من الدورة الكاملة، وهندسيا هو الإزاحة الزاوية التي يساوي قوسها نصف قطر دائرتها.



شكل 3.0: الراديان

$$\theta = 2\pi \times \text{عدد الدورات} \tag{1.0}$$

$$d = r\theta \tag{2.0}$$

حيث d المسافة، r نصف قطر الدائرة ، θ الإزاحة الزاوية.

حيث المسافة بوحدة المتر m، والإزاحة الزاوية بوحدة راديان rad، ونصف القطر بوحدة المتر m.

مثال 1.1.0:

1- إذا تحركت عقارب الساعة من الساعة 12 إلى الساعة 6 ، فاحسب المسافة القوسية التي يقطعها طرف العقرب، علما أن طول العقرب 10 سنتيمتر ؟

$\because$ الدائرة $= 2\pi rad$

$\therefore$ نصف الدائرة (r) $= \pi rad$

$d = r\theta$

$d = 0.1 \times \pi$

$d = 0.314m$

2.1.0 السرعة الزاوية

السرعة الزاوية هي معدل الإزاحة الزاوية التي يقطعها الجسم خلال وحدة الزمن.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} \tag{3.0}$$

$$v = r\omega \tag{4.0}$$

حيث v السرعة الخطية، r نصف قطر الدائرة ، ω السرعة الزاوية.

حيث السرعة الخطية بوحدة m/s، والسرعة الزاوية بوحدة rad/s، ونصف القطر بوحدة m.

مثال 1.2.0:

1- مروحة نصف قطرها 1.2 متر، دارت إزاحة زاوية مقدارها 6 راديان خلال ثانيتين، أوجد السرعة الزاوية والسرعة الخطية؟

السرعة الخطية:

$$v = r\omega$$

$$v = 1.2 \times 3$$

$$v = 3.6m/s$$

السرعة الزاوية:

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

$$\omega = \frac{6}{2} = 3rad/s$$

3.1.0 التسارع الزاوي

التسارع الزاوي هو معدل السرعة الزاوية التي يقطعها الجسم خلال وحدة الزمن.

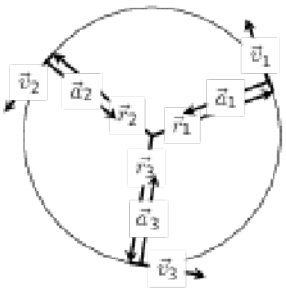
$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \tag{5.0}$$

$$a = r\alpha \tag{6.0}$$

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

$$a_c = \omega^2 r$$

حيث a التسارع الخطي، r نصف قطر الدائرة ، α التسارع الزاوي.



شكل 4.0: اتجاه التسارع الزاوي

حيث التسارع الخطي بوحدة mls^2، والسرعة الزاوية بوحدة rad/s^2، ونصف القطر بوحدة m.

مثال 1.3.0:

1- من المثال السابق ، احسب التسارع الزاوي والتسارع الخطي: التسارع الخطي؟

التسارع الزاوي:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{3}{2} = 1.5rad/s^2$$

$$a = r\alpha$$

$$a = 1.5 \times 3$$

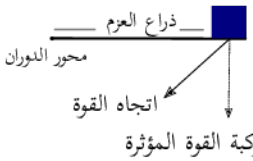
$$a = 4.5m/s^2$$

4.1.0 العزم

العزم هو مقدرة القوة على إحداث دوران حول محور.

العوامل المؤثرة في العزم:

- القوة المؤثرة
- ذراع العزم
- زاوية القوة



شكل 5.0: العزم

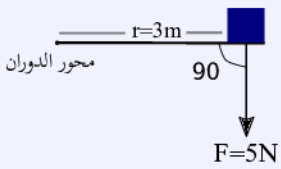
$$\tau = Fr \times sin\theta \tag{7.0}$$

حيث وحدة العزم τ العزم وتنطق تاو ، F المركبة العمودية للقوة على ذراع العزم ، r طول ذراع العزم، θ الزاوية بين اتجاه القوة وذراع العزم.

حيث وحدة العزم $N.m$، وحدة القوة نيوتن N، وحدة طول ذراع العزم المتر m ، وتكون إشارة القوة + إذا كانت ذراع العزم تتحرك عكس عقارب الساعة، وتكون - إذا كانت الذراع تتحرك مع عقارب الساعة.

مثال 1.4.0:

1- أثرنا بقوة مقدارها 5 نيوتن بشكل عمودي على عتلة طولها 3 امتار، فاحسب العزم إذا كان تأثير القوة باتجاه عقارب الساعة؟



$$\because sin90 = 1$$

$$\therefore \tau = Fr$$

$$\tau = -5 \times 3 = -15N.m$$

الاشارة السالبة تدل على اتجاه العزم.

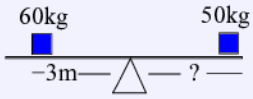
5.1.0 محصلة العزوم

عند وجودجسم متزن تؤثر عليه أكثر من قوة، نقوم بجمع العزوم جمع جبري مع مراعاة الإشارة (مع عقارب الساعة سالب، عكس عقارب الساعة موجب).

$$\sum \tau = \tau_1 + \tau_2 + ... = 0$$

مثال 1.5.0:

1- يجلس عمرو (كتلته 50 كيلوجرام) وزيد (كتلته 60 كيلوجرام) على مرجيحة في وضع إتزان، فإذا كان بعد زيد عن نقطة الإرتكاز 3 أمتار، فما بعد عمرو عنها؟



سنعتبر أن عمرو يؤثر مع عقارب الساعة وزيد عكسها

$$\tau_1 + \tau_2 = 0$$

$$F_{\text{زيد}} \times r_{\text{زيد}} - F_{\text{عمرو}} \times r_{\text{عمرو}} = 0$$

$$60 \times \cancel{9.8} \times 3 = 50 \times \cancel{9.8} \times r_{\text{عمرو}}$$

$$180 = 50 r_{\text{عمرو}}$$

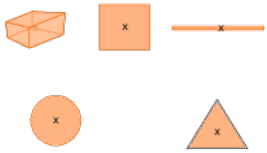
$$r_{\text{عمرو}} = \frac{180}{50} = 3.6m$$

2.0 الاتزان

1.2.0 مركز الكتلة

يعرف مركز الكتلة بأنه نقطة على الجسم تتحرك بالطريقة نفسها التي تتحرك بها الجسيم االنقطي، ونستطيع القول أن مركز الكتلة قد يكون نقطة خارج الجسم مثل حدوة الفرس، والحلقة المعدنية لكن غالبا ما يكون مركز الثقل نقطة على الجسم.
ونستطيع تحديد مركز الثقل بطريقتين:

- إذا كان الجسم منتظم الشكل فإن مركز ثقله هو مركزه الهندسي، مثل مركز ثقل المسطرة منتصفها، ومركز ثقل القرص الدائري وسطها، وهكذا بالنسبة لبقية الاشكال الهندسية المنتظمة.



شكل 6.0: مركز الكتلة

- إذا كان الجسم غير منتظم، نقوم بتعليقة من أي نقطة فيه وبعد أن يستقر، نرسم خط عمودي على الارض ويخرج من نقطة التعليق، ثم نعيد تعليق الجسم من نقطة أخرى ونرسم خط جديد، فيكون مركز الثقل هو نقطة تقاطع الخطين.

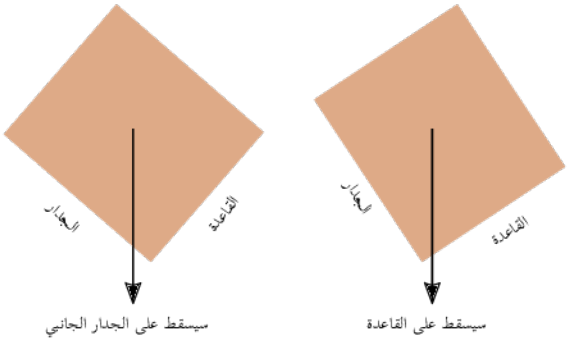
إذا كان الجسم مرن وغير جامد وليس له شكل ثابت مثل جسم الإنسان فإن مركز ثقله يتغير بتغير شكله أثناء الحركة، لكن بالعموم مركز كتلة الإنسان يقع في الجزء العلوي من جسمه، ولهذا فإن الإنسان الذي يسقط من مكان مرتفع جدا ، يستدير جسمه تلقائيا بحيث يصبح الرأس للأسفل والأرجل للأعلى.

2.2.0 مركز الكتلة والثبات

حين نجعل مركز كتلة جسم ما على نقطة ارتكاز فإنه يستقر بغض النظر عن شكل هذا الجسم، ولكن قد نحتاج إلى فائدة أعمق قليلا، وهي دراسة استقرار الأجسام المتحركة سواء كانت الحركة حركة بسيطة موضعية مثل تحريك صندوق، أو حركة انتقالية مثل حركة السيارة.

هدف وجداني:
صمم الكعب العالي ليجعل مركز الثقل يتقدم، فتقوم المرأة بإعادة الإتزان بدفع ظهرها للخلف وابراز الصدر للأمام لا شعوريا، مما يبرز مفاتنها، وهو ما نهى الله عنه.

شكل 7.0: مركز الثقل



مثلا لو كان لدينا صندوق وأملناه بحيث يرتكز على إحدى زواياه، فهل سيعود لوضعه السابق ويستقر أم يسقط على جانبه؟ ببساطه نسقط خط من مركز الكتلة وعمودي على الارض، فإن مر الخط بقاعدة الصندوق سيستقر الصندوق على قاعدته، وإن مر الخط بالضلع الجانبي للصندوق فسيسقط على جانبه.

وينطبق هذا الأمر على السيارة، ولهذا تحرص شركات السيارات عموما على جعل مركز كتلة السيارة منخفض لكي يصعب إنقلابها، كما أن الإنسان الذي ينزل من الجبل يميل بجسمه للخلف أثناء نزوله لكي يجعل مركز ثقله ماراً بقدميه، فإن اخطأ ومال بجسمه للأمام سيمر مركز ثقله أبعد من قدميه وعندها سيبدأ بالتدحرج والسقوط.

3.2.0 شرطا الإتزان

يوجد شرطان للإتزان:

-أن يكون الجسم في حالة إتزان إنتقالي.

$$\sum F = F_1 + F_2 + F_3 + ... = 0$$

-أن يكون الجسم في حالة إتزان دوراني.

$$\sum \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + ... = 0$$

تحويلات قد تحتاجها:

$m = 100cm$

مثال 2.1.0:

1- يقف رجل كتلته $55.6kg$ على لوح خشبي متزن وكتلته $14.5kg$ وطوله $3.15m$، ومحمول على قاعدتين تبعد كل منهما $1m$ عن طرفي اللوح، احسب بعد الرجل عن طرف اللوح ؟

نعتبر القاعدة القريبة من الرجل هي محور الدوران

$$\sum \tau = 0 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + ...$$

$$14.5 \times 0.575 = 55.6 \times r$$

$$r = \frac{14.5 \times 0.575}{55.6} = 0.15m$$

جدول 2.0: وحدات الحركة الدورانية

	الكمية الفيزيائية	رمزها	الوحدة	رمزها
1	الازاحة الزاوية	θ	راديان	rad
2	السرعة الزاوية	ω	راديان/ثانية	rad/s
3	التسارع الزاوي	α	راديان/ثانية مربعة	rad/s^2
4	العزم	τ	نيوتن.متر	$N.m$
5	الكتلة	m	كيلوجرام	kg

3.0 التدريبات

تدريب 3.1.0:

1- ساعة مكة هي أكبر ساعة برج في العالم، ويبلغ طول عقرب الدقائق 22 متر، أوجد السرعة الزاوية والسرعة الخطية للعقرب على محيط الساعة ؟

2- يتعلق طفل صغير كتلته 20 كيلوجرام بكامل ثقله بأكرة الباب لكي يستطيع فتحه، احسب العزم الذي يؤثر به الطفل على طرف الأكره علما أن طول الأكرة عشر سنتمترات؟