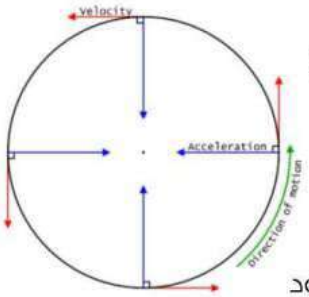
الوحدة الرابعة: تطبيقات على قوانين نيوتن

الدرس الثالث: القوة المركزية

⊙ **الحركة الدائرية المنتظمة:** حركة جسم أو جسيم بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري نصف قطره (r) حول محور دوران.

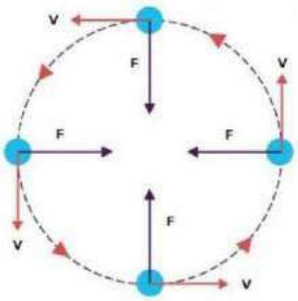


- متجه السرعة المماسية عند أي نقطة على المسار يكون مماسيًا للمسار عن النقطة نفسها ومتعامد مع متجه الموقع الخاص به.
- حسب قانون نيوتن الأول يتحرك الجسم في مسار مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه قوة محصلة لكن إذا كان المسار غير مستقيم فذلك يعني أنه يتأثر بقوة محصلة.
- تغير السرعة يدل على وجود تسارع ووجود التسارع يدل على وجود قوة محصلة تؤثر في الجسم.
- حتى يتحرك الجسم في مسار غير مستقيم ودائري يجب أن تؤثر فيه قوة محصلة نحو مركز المسار الدائري.
- التسارع والقوة المؤثرة في نفس الاتجاه لذلك نستدل على أن اتجاه التسارع يكون نفس اتجاه القوة المحصلة نحو مركز المسار الدائري.

القوة المركزية

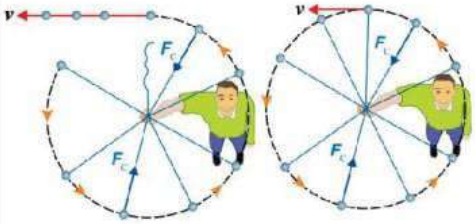
القوة المحصلة التي تؤثر في جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة وتكون نحو مركز مساره الدائري وتسبب تغيرًا في اتجاه السرعة مع بقاء مقدارها ثابتًا.

- رمزها (F_c) وتقاس بوحدة النيوتن (N).



- حتى يتحرك الجسم حركه دائريه منتظمة يستلزم ذلك التأثير فيه بقوه ثابته وباتجاه متعامد مع اتجاه حركة الجسم (سرعته المماسية) أي باتجاه مركز الدائرة التي يدور فيها الجسم.
- حسب قانون نيوتن الثاني فأن هذه القوة سوف تكسب الجسم تسارع باتجاهها أي باتجاه مركز الدائرة لذلك فأن هذه القوة تسمى القوة المركزية والتسارع الناشئ عنها يسمى بالتسارع المركزي.

منتدى معلمي الاردن



سؤال كرة مربوطة بخيط تتحرك في حركة دائرية وضح كيف سيتكون اتجاه حركتها لحظة انقطاع الخيط.

ستتحرك في مسار مستقيم مماسيا للمسار الدائري عند نقطة الانقطاع كما في الشكل.

أتحقّق: ما القوة المركزية؟ وهل القوة المركزية تعتبر نوع جديد من القوى؟

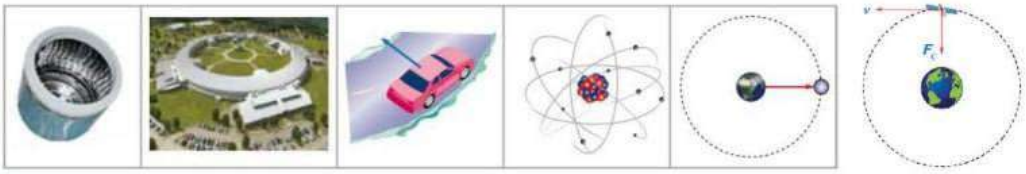
القوة المركزية قوة محصلة تؤثر في جسم فتجعله يتحرك حركة دائرية ويكون اتجاهها نحو مركز مساره الدائري تسبب تغيراً في سرعته المتجهة وتكسبه تسارعًا مركزيًا.
وهي ليست نوع جديد من القوى بل هي صفة لأية قوة تؤثر في جسم فتجبره على الحركة في مسار دائري ويمكن أن تكون القوة المركزية قوة شد أو جذب أو احتكاك أو ....

سؤال ما هو الفرق بين الحركة الدائرية والحركة الدورانية؟

الفرق في محور الدوران أو مركز الدوران ففي الحركة الدورانية محور الدوران يكون موجود داخل الجسم وفي الحركة الدائرية محور الدوران موجود خارج الجسم.

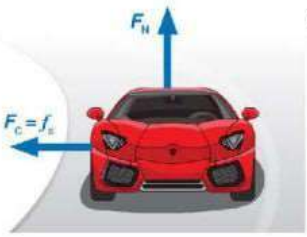
ملاحظات مهمة

- القوة المركزية ليست نوع جديد من القوى بل هي صفة لأية قوة تؤثر في جسم فتجبره على الحركة في مسار دائري.
- أصل القوة المركزية ومنشأها يعتمد على حالة النظام الواقعة قيد الدراسة.
- يمكن أن تكون القوة المركزية:
  - قوة شد في خيط تؤثر في الكرة المربوطة به لتدور في مسار دائري.
  - قوة جذب كتلة تؤثر بها الأرض في القمر فيدور القمر حولها.
  - قوة جذب كهربائي تؤثر بها النواة في الإلكترون فيدور الإلكترون حولها.
  - قوة احتكاك سكوني بين سطحي جسمين كما هو حال سيارة تدور حول دوار.
  - قوة مغناطيسية يؤثر بها مجال مغناطيسي منتظم في جسيم مشحون.
  - قوة عمودية يؤثر بها السطح الداخلي لأسطوانة دوارة على جسم بداخلها فيدور معها كما في الغسالة.



منتدى معلمي الاردن

سؤال برأيك لماذا لا تنزلق سيارة السباق الموضحة في الشكل خارج المنعطف خلال مسار السباق؟



بسبب القوة المركزية التي تمنع حصول ذلك وهي قوة جانبية منشؤها قوة الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق تؤثر نحو مركز الدائرة التي يعد المنعطف جزءاً منها.

حساب السرعة المماسية والتسارع المركزي والقوة المركزية

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

الزمن الدوري : T , نصف قطر المسار الدائري : r , السرعة المماسية : v

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

$$F_C = ma_c = m\frac{v^2}{r}$$

نصف القطر : r , السرعة المماسية : v , كتلة الجسم : m , التسارع المركزي : a_c

أتحقّقُ: علام يعتمد مقدار القوة المركزية اللازم التأثير بها في جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة؟

1. نصف قطر المسار الدائري عند ثبات مقدار السرعة المماسية.
2. مربع مقدار السرعة المماسية عند ثبات نصف قطر المسار الدائري.

ملاحظات مهمة

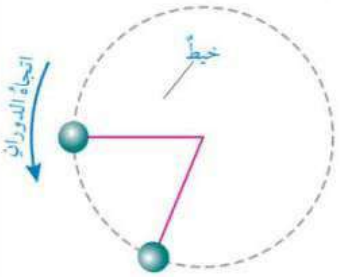
- مقدار القوة المركزية ثابت في الحركة الدائرية المنتظمة واتجاهها عمودي على متجه السرعة المماسية.
- إذا كانت القوة المركزية هي نفسها قوة شد فإنه يكون هناك قيمة قصوى لمقدار قوة الشد التي يتحملها الخيط قبل أن ينقطع وبالتالي يكون هنالك حدود لنصف قطر المسار.
- يكون هناك حدود للسرعة المماسية (حد أقصى) لا يمكن تجاوزه وإلا فإن الجسم سيخرج عن المسار الدائري.

منتدى معلمي الاردن

سؤال هل يُعد الجسم الذي يدور في مسار دائري منتظم متزنًا؟ فسر إجابتك..

لا، لأنه يتأثر بقوة تسمى القوة المركزية اتجاهها نحو المركز محصلتها لا تساوي صفرًا..

سؤال كرة كتلتها ($50\ g$)، مربوطة في نهاية خيط طوله ($100\ cm$) ، تتحرك حركة دائرية منتظمة في مسار دائري أفقي ، كما هو موضح في الشكل. إذا علمت أن الزمن الدوري للكرة ($0.5\ s$) فاحسب مقدار :



أ - سرعتها المماسية.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3.14)(1)}{0.5} = 12.6\ \text{m/s}$$

ب - تسارعها المركزي.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(12.6)^2}{1} = 158.8\ \text{m/s}^2$$

جـ - القوة المركزية فيها.

$$F_c = ma_c = 0.05 \times 158.8 = 7.9\ \text{N}$$

د - قوة الشد في الخيط.

قوة الشد في الخيط هي نفسها القوة المركزية

$$F_T = F_c = 7.9\ \text{N}$$

تمرين في المثال السابق أحسب مقدار أكبر سرعة مماسية يمكن أن تتحرك بها الكرة إذا علمت أن مقدار أكبر قوة شد يتحملها الخيط قبل أن ينقطع تساوي ($10\ N$):

$$F_T = F_c = 10\ \text{N}$$

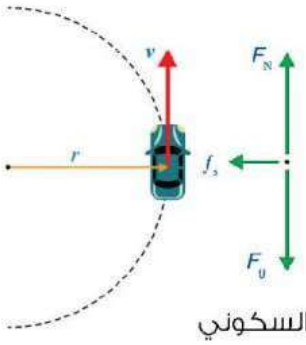
$$F_{T,max} = ma_{c,max} \rightarrow 10 = 0.05 \times a_{c,max} \rightarrow a_{c,max} = 200\ \text{m/s}^2$$

$$a_{c,max} = \frac{{v_{max}}^2}{r} \rightarrow 200 = \frac{{v_{max}}^2}{1} \rightarrow {v_{max}}^2 = 200$$

$$v_{max} = \sqrt{200}\ \text{m/s} = 14.1\ \text{m/s}$$

منتدى معلمي الاردن

سؤال تتحرك سيارة كتلتها $(1.5 \times 10^3 \text{kg})$، في مسار دائري نصف قطره (50 m)، بسرعة ثابتة مقدارها (15 m/s) كما هو موضح في الشكل ، إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق (0.8) ، وسطح الطريق أفقي ، فاحسب مقدار :



أ - التسارع المركزي للسيارة.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(15)^2}{50} = \frac{225}{50} = 4.5 \text{ m/s}^2$$

ب - القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

$$F_c = ma_c = (1.5 \times 10^3)(4.5) = 6.75 \times 10^3 \text{ N}$$

جـ - أكبر سرعة يمكن أن تتحرك بها السيارة دون أن تنزلق.

لإيجاد مقدار أكبر سرعة يجب بالبداية حساب قوة الاحتكاك السكوني

$$F_g = mg = (1.5 \times 10^3)(10) = 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_N - F_g = 0 \rightarrow F_N = F_g = 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$f_{s,max} = \mu_s \times F_N = 0.8 \times 1.5 \times 10^4 = 1.2 \times 10^4 \text{ N}$$

$$f_{s,max} = F_c = 1.2 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_c = f_{s,max} \rightarrow \frac{mv_{max}^2}{r} = 1.2 \times 10^4 \rightarrow v_{max}^2 = \frac{r \times 1.2 \times 10^4}{m}$$

$$v_{max}^2 = \frac{50 \times 1.2 \times 10^4}{1.5 \times 10^3} = 400 \rightarrow v_{max} = 20 \text{ m/s}$$

تمرين سيارة كتلتها $(1.5 \times 10^3 \text{kg})$، تتحرك في مسار دائري نصف قطره (90 m)، بسرعة ثابتة مقدارها (50 km/h)، إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق (0.6)، وسطح الطريق أفقي، فاحسب مقدار:

أ - القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

$$v = 50 \text{ km/h} = 50 \times \frac{1000}{36} = 13.9 \text{ m/s}$$

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(13.9)^2}{90} = 2.14 \text{ m/s}^2$$

$$F_c = ma_c = 1.5 \times 10^3 \times 2.14 = 3.22 \times 10^3 \text{ N}$$

منتدى معلمي الاردن

ب - أكبر سرعة يمكن أن تتحرك بها السيارة على هذا الطريق دون أن تنزلق.

لإيجاد مقدار أكبر سرعة يجب بالبداية حساب قوة الاحتكاك السكوني العظمى.

$$F_g = mg = (1.5 \times 10^3)(10) = 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_N - F_g = 0 \rightarrow F_N = F_g = 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$f_{s,max} = \mu_s \times F_N = 0.6 \times 1.5 \times 10^4 = 0.9 \times 10^4 \text{ N} = 9 \times 10^3 \text{ N}$$

$$f_{s,max} = F_c = 9 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_c = f_{s,max} \rightarrow \frac{m v_{max}^2}{r} = 9 \times 10^3 \rightarrow v_{max}^2 = \frac{r \times F_c}{m} = \frac{90 \times 9 \times 10^3}{1.5 \times 10^3}$$

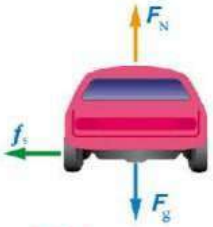
$$v_{max}^2 = 540 \rightarrow v_{max} = 23.2 \text{ m/s}$$

سؤال إضافي **تسير سيارة على طريق أفقي بسرعة (14 m/s)، إذا انعطفت السيارة لتسير في مسار دائري نصف قطره (50 m) ما أقل قيمة لمعامل الاحتكاك السكوني بين عجلات السيارة والطريق التي تضمن عدم خروج السيارة عن المسار الدائري؟**

$$\sum F_y = 0 \rightarrow F_N - F_g = 0 \rightarrow F_N = F_g = mg$$

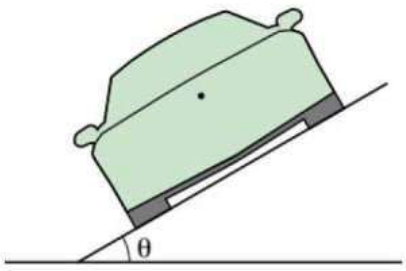
$$F_c = f_{s,max} \rightarrow \frac{mv^2}{r} = \mu_s \times F_N \rightarrow \frac{mv^2}{r} = \mu_s \times mg$$

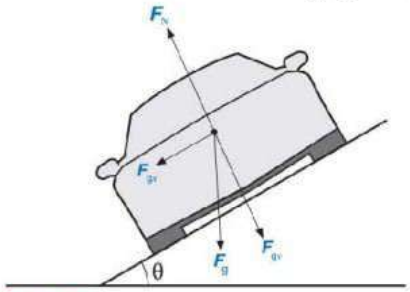
$$\frac{v^2}{r} = \mu_s \times g \rightarrow \mu_s = \frac{v^2}{rg} = \frac{(14)^2}{50 \times 10} = 0.4$$



$\mu_s = 50$ أقل قيمة لمعامل الاحتكاك تضمن بقاء السيارة في المسار الدائري

سؤال إضافي **تُصمم المنعطفات الدائرية بحيث تميل بزاوية عن الأفق كما في الشكل، ارسم مخطط الجسم الحر لسيارة تتحرك بسرعة (v) وبين عليه القوى المؤثرة في السيارة ثم حدد القوة المركزية؟**





منتدى معلمي الاردن

أفكّر: عندما يجلس شخص في سيارة تتحرك خلال منعطف حاد فإنه يشعر أنه توجد قوة تدفعه إلى خارج المنعطف نحو باب السيارة حيث يسميها بعض الأشخاص قوة طاردة مركزية وعندما تدور كرة مربوطة بنهاية خيط في مسار دائري أفقي تشعر أنه توجد قوة تؤثر فيها خارج المسار. هل هذه القوة حقيقية أمن قوة وهمية؟ فسر إجابتك..

لا يوجد قوة تدفع أجسامنا إلى خارج المنعطف والقوة الطاردة المركزية قوة غير حقيقية وهي قوة وهمية لا وجود لها.

وسبب الشعور بوجود قوة تدفع أجسامنا يمكن تفسيره حسب قانون نيوتن الأول قانون القصور الذاتي فعندما تنعطف السيارة جهة اليسار مثلًا فإن أجسامنا تميل إلى الاستمرار في الحركة بسرعة ثابتة في خط مستقيم نتيجة قصورها الذاتي فتقترب أجسامنا من الجدار الداخلي لباب السيارة حتى تلامسه فتؤثر فيه بقوة (فعل) فيؤثر فينا الباب بقوة مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه (رد فعل) فيدفعنا نحو مركز دائرة المنعطف فنبقى في حركة دائرية.

منتدى معلمي الاردن

حل أسئلة مراجعة الدرس الثالث من الوحدة الرابعة

سؤال 1 ما المقصود بالقوة المركزية وهل هي نوع جديد من القوى؟ فسر إجابتك..

القوة المركزية قوة محصلة تؤثر في جسم فتجعله يتحرك حركة دائرية ويكون اتجاهها نحو مركز مساره الدائري تسبب تغيرًا في سرعته المتجهة وتكسبه تسارعًا مركزيًا.
وهي ليست نوع جديد من القوى بل هي صفة لأية قوة تؤثر في جسم فتجبره على الحركة في مسار دائري ويمكن أن تكون القوة المركزية قوة شد أو جذب أو احتكاك أو ...

سؤال 2 متوسط نصف قطر مدار القمر حول الأرض (3.8×10^8 m) تقريبا، وسرعته المماسية المتوسطة (1×10^3 m/s) وكتلته (7.3×10^{22} kg) تقريبا.

أ - أحسب زمنه الدوري في مداره.

$$v = \frac{2\pi r}{T} \rightarrow 1 \times 10^3 = \frac{2(3.14)(3.8\times10^8)}{T} \rightarrow T = 2.39 \times 10^6 \text{ s}$$

ب - أحسب مقدار تسارعه المركزي.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(1\times10^3)^2}{3.8\times10^8} = \frac{1\times10^6}{3.8\times10^8} \rightarrow a_c = 2.64 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

جـ - ما منشأ القوة المركزية المؤثرة فيه واللازمة لدورانه في مداره؟

منشأ القوة المركزية المؤثرة في القمر هي قوة التجاذب الكتلي بين الأرض والقمر.

د - احسب مقدار القوة المركزية المؤثرة فيه.

$$F_c = ma_c = 7.3 \times 10^{22} \times 2.64 \times 10^{-3} = 1.927 \times 10^{20} \text{ N}$$

سؤال 3 سيارة كتلتها (1.1×10^3 kg) تتحرك بسرعة (12 m/s) في منعطف نصف قطره (25 m).

أ - أحسب مقدار التسارع المركزي للسيارة.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(12)^2}{25} = \frac{144}{25} \rightarrow a_c = 5.8 \text{ m/s}^2$$

ب - أحسب مقدار القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

$$F_c = ma_c = 1.1 \times 10^3 \times 5.76 = 6.33 \times 10^3 \text{ N}$$

منتدى معلمي الاردن

جـ - ما منشأ القوة المركزية المؤثرة في السيارة؟

منشأ القوة المركزية قوة جانبية منشؤها قوة الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق تؤثر نحو مركز الدائرة التي يعد المنعطف جزءاً منها.

د - احسب مقدار أكبر سرعة مماسية يمكن أن تتحرك بها السيارة في هذا المنعطف، إذا كان مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى المؤثرة نحو مركز المنعطف ($8\ \text{kN}$).

$$F_c = f_{s,max} = 8\ \text{kN} = 8 \times 10^3\ \text{N} = 8000\ \text{N}$$

$$F_c = f_{s,max} \rightarrow \frac{m{v_{max}}^2}{r} = 8000 \rightarrow {v_{max}}^2 = \frac{r \times f_{s,max}}{m} = \frac{25 \times 8000}{1.1 \times 10^3}$$

$${v_{max}}^2 = 181.81 \rightarrow v_{max} = 13.5\ \text{m/s}$$

سؤال 4 قمر صناعي كتلته ($5.5 \times 10^2\ \text{kg}$) يدور حول الأرض على ارتفاع ($2.1 \times 10^3\ \text{km}$) من سطح الأرض. إذا كان الزمن الدوري للقمر ساعتين وتسع دقائق، ونصف قطر الأرض ($6.38 \times 10^3\ \text{km}$) فاحسب مقدار:

أ - السرعة المماسية للقمر.

✓ بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض = بعد القمر عن سطح الأرض + نصف قطر الأرض

بعد القمر الصناعي عن مركز الأرض = $2.1 \times 10^3\ \text{km} + 6.38 \times 10^3\ \text{km} = 8.48 \times 10^3\ \text{km}$

$$T = 2\ h + 9\ min = 129\ min = 129 \times 60\ s = 7740\ s$$

$$r = 6.38 \times 10^3\ \text{km} + 2.1 \times 10^3\ \text{km} = 8.48 \times 10^3\ \text{km}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3.14)(8.48 \times 10^6)}{7740} \rightarrow v = 6.88 \times 10^3\ \text{m/s}$$

ب - القوة المركزية المؤثرة في القمر .

$$F_c = m\frac{v^2}{r} = (5.5 \times 10^2)\left(\frac{(6.88 \times 10^3)^2}{8.48 \times 10^6}\right) = 3.07 \times 10^3\ \text{N}$$

منتدى معلمي الاردن

سـؤال 5 **في أثناء دراستي وزميلتي فاتن لموضوع القوة المركزية قالت " يجب على سائق سيارة السباق التي تتحرك على طريق أفقي لمنعطف - زيادة سرعة السيارة- لزيادة مقدار القوة المركزية المؤثرة فيها، وبالتالي المحافظة على استقرارها وعدم انزلاقها" ناقش صحة قول فاتن.**

قول فاتن غير دقيق علميًا لأن زيادة سرعة السيارة يتطلب زيادة مقدار قوة الاحتكاك السكوني الجانبية اللازم تأثيرها في السيارة لتوفير القوة المركزية المناسبة لضمان عدم انزلاقها، غير أنه يوجد قيمة عظمى لقوة الاحتكاك السكوني وهذا يعني أنه عند سرعة معينة تصبح هذه القوة غير قادرة على توفير القوة اللازمة لضمان استقرار السيارة في المنعطف فتنزلق خارجه.

منتدى معلمي الاردن