

١٢

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دولة فلسطين  
وَأَرْزُقْنَا مِنْ تَعْلِيمِكَ وَتَعْجِيزِكَ

# الفيزياء

## الفترة المتمازجة الأولى

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولة فلسطين  
وَأَرْزُقْنَا مِنْ تَعْلِيمِكَ وَتَعْجِيزِكَ



مركز المناهج

mohe.ps | mohe.pna.ps | mohe.gov.ps

MinistryOfEducationWzartAltrbytWalHlym

+970-2-2983280 هاتف | +970-2-2983250 فاكس

حي الماصيون، شارع المعاهد

ص. ب 719 - رام الله - فلسطين

pedc.mohe@gmail.com | pedc.edu.ps



# الوحدة الأولى: الميكانيكا



## المحتويات

الوحدة الأولى	الميكانيكا
الفصل الأول	الزخم (كمية التحرك) الخطي والدفع
الفصل الثاني	التصادمات
الفصل الثالث	الحركة الدورانية
	الاختبارات

## Mechanics الميكانيكا

يتوقع من الطلبة بعد دراستهم هذه الوحدة المتمازجة والتفاعل مع أنشطتها أن يكونوا قادرين على تطبيق مفاهيم الميكانيكا في حل مسائل تتعلق بالزخم الخطي والتصادمات والحركة الدورانية من خلال تحقيق الآتي:

1. اكتساب مهارة إجراء التجارب العلمية وحل المشكلات الفيزيائية.
2. تقدير جهود العلماء في اكتشاف قوانين الفيزياء التي تفسر الظواهر الطبيعية، وما ينبثق عنها من تطبيقات عملية.
3. تصميم مشروع حول أسباب حوادث الطرق وسبل الحد منها.
4. المقارنة بين الأنواع المختلفة من التصادمات من حيث حفظ الطاقة الحركية.
5. المقارنة بين متغيرات الحركة الخطية ومتغيرات الحركة الدورانية والعلاقة بينها (الموضع، السرعة، والتسارع، والقوة، وعزم القوة).
6. تفسير بعض التطبيقات العملية على الحركة الدورانية.



## الزخم (كمية التحرك) الخطي والدفع (Linear Momentum and Impulse)



### الزخم الخطي (Linear Momentum)

1-1

عندما يتحرك جسم ما فإنه يؤثر بقوة في أي جسم آخر يحاول إيقافه أو يغيّر حركته، وكلما كانت كتلة الجسم المتحرك ( $m$ ) أو سرعته ( $v$ ) كبيرة كانت الصعوبة في إعاقته أكبر، ويعبر عن ذلك بمفهوم الزخم .

الزخم: كمية فيزيائية متجهة تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في سرعته، وتكون باتجاه السرعة.

الزخم = كتلة الجسم × سرعته

$$P = m v \quad (1-1)$$



أناقش:

١. ما وحدة قياس الزخم في النظام الدولي؟
٢. ما العوامل التي يعتمد عليها الزخم؟
٣. أثبت أن  $(\frac{J \cdot s}{m})$  هي وحدة قياس للزخم.
٤. ما العلاقة بين زخم الجسم وطاقته الحركية؟

مثال (1): احسب الزخم لكل مما يأتي:

١. سيارة كتلتها 1000 kg تسير بسرعة 20 m/s تجاه الشرق.

٢. كرة كتلتها 2 kg تتحرك نحو الجنوب بطاقة حركية 16 J

الحل:

1)  $P = m v$  للسيارة :

$$= 1000 \times 20$$

$$= 2 \times 10^4 \text{ kg. m/s}$$

باتجاه الشرق

$$2) K = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m}$$

$$p = \sqrt{2 m K}$$

$$= \sqrt{2 \times 2 \times 16}$$

$$= \sqrt{64}$$

$$p = 8 \text{ kg. m/s} \quad (\text{جنوباً})$$





سؤال: مركبتان متساويتان في الكتلة، وسرعة إحداهما ضعفا سرعة الأخرى، أيهما تحتاج قوة أقل لإيقافها في نفس الفترة الزمنية ولماذا؟

## 2-1 الدفع (Impulse)

يلعب الدفع دوراً مهماً في حياتنا؛ لأن له تطبيقات كثيرة، مثل دفع كرة تنس، وكرة قدم، وكرة البيسبول، وكرة بلياردو، ودفع القذيفة.

فلماذا تدفع سيارة عندما لا يعمل محركها؟ لا شك أنك تدفعها لتزيد من سرعتها إلى حد يكفي لتشغيل محركها. فلو فرضنا أنك دفعت سيارة لفترة زمنية  $(\Delta t)$  بقوة  $(F)$  فإن دفع تلك القوة يعطى بالعلاقة:

الدفع = متوسط القوة المؤثرة  $\times$  زمن تأثيرها

$$I = F \Delta t \quad (1-2)$$

الدفع: كمية فيزيائية متجهة تساوي حاصل ضرب متوسط القوة في زمن تأثيرها، واتجاهه باتجاه القوة.



أناقش:

١. ما وحدة قياس الدفع؟

٢. ما العوامل التي يعتمد عليها الدفع؟

٣. بين أن وحدة الدفع هي وحدة الزخم نفسها.

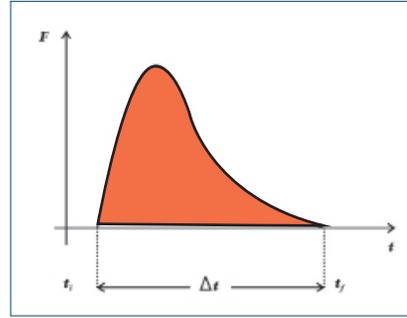
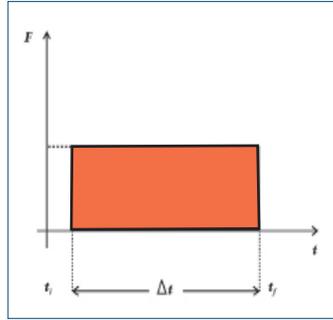
٤. أذكر أمثلة أخرى على قوة تكسب الأجسام دفعا؟

إذا أثرت مجموعة من القوى الثابتة على جسم، فإن الدفع الكلي على الجسم يساوي حاصل ضرب محصلة القوى المؤثرة في الجسم في فترة زمن تأثيرها، وتعطى من العلاقة:

$$I = \sum F \Delta t \quad (1-3)$$

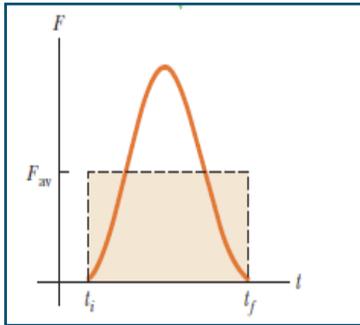
أما إذا أثرت قوة متغيرة على الجسم خلال فترة زمنية، فإنه يمكن تمثيل مقدار الدفع بيانياً بالمساحة المحصورة تحت منحنى (القوة - الزمن)، كما في الشكل (1-1).





الشكل (1-1)

ويعرف متوسط قوة الدفع: القوة الثابتة التي إذا أثرت في الجسم خلال نفس المتغيرة أكسبته نفس الكمية من الدفع. والشكل (2-1) يوضح ذلك.



الشكل (2-1)

### 3-1 نظرية الدفع - الزخم Momentum- Impulse Theorem

يُعد الركض على الأقدام عملاً شاقاً؛ فعندما يضرب العداء الأرض بقدمه تؤثر الأرض في القدم بقوة قد تزيد عن وزنه. ويصمم الحذاء الرياضي بحيث يكون نعله مزوداً بوسائد امتصاص؛ لتقليل القوة المؤثرة في القدم، من خلال إطالة زمن تأثير القوة.



نفرض أن قوة محصلة  $F$  أثرت في جسم ما كتلته  $(m)$  في زمن مقداره  $(\Delta t)$  فغيرت سرعته بمقدار  $\Delta v$ ، فإن التغير في زخمه  $\Delta P$ :

$$\Delta P = \Delta(m v) = m \Delta v$$

وبقسمة طرفي المعادلة على الزمن ينتج:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{m \Delta v}{\Delta t}$$

وبما أن:  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  حيث  $a$  تمثل متوسط التسارع الذي يكتسبه الجسم تحت تأثير القوة)

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = m a$$

أي أن:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = F \quad (1-4)$$

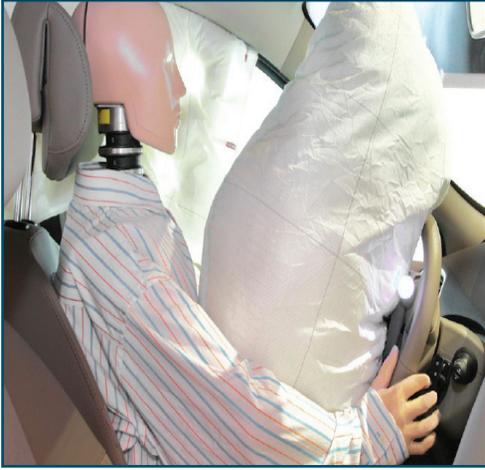


تعد المعادلة (1-4) الصيغة العامة للقانون الثاني لنيوتن، ويمكن من خلالها تعريف القوة المحصلة بأنها:  
المعدل الزمني للتغير في الزخم.

وبالضرب التبادلي تستنتج أن:

$$\Delta P = F \Delta t \quad (1-5)$$

وتعرف العلاقة (1-5) بنظرية الدفع - الزخم، وتشير إلى أن « الدفع الذي تحدثه القوة المحصلة في الجسم خلال فترة زمنية ما يساوي التغير في زخم الجسم خلال تلك الفترة. »



سؤال:



1. مستخدماً نظرية الدفع - الزخم، بين أهمية تزويد المركبات الحديثة بوسادات هوائية (Air Bags).
2. كيف يحدث تغير في زخم الجسم؟ أعط أمثلة وشواهد من الحياة.

مثال (2):

سيارة كتلتها 1200 kg تسير بسرعة 20 m/s نحو السينات الموجب، فإذا ضغط السائق على كوابح السيارة فانخفضت سرعتها إلى 8 m/s في نفس الاتجاه في زمن مقداره 6 s، احسب متوسط القوة التي أثرت في السيارة خلال هذه الفترة.

الحل:

$$F \Delta t = \Delta P = P_f - P_i$$

$$= m v_f - m v_i$$

$$F \times 6 = 1200 (8 - 20)$$

$$F \times 6 = -14400$$

$$F = -2400 \text{ N}$$

الإشارة السالبة تشير إلى أن القوة المؤثرة عكس اتجاه الحركة، أي في اتجاه المحور السيني السالب.



## 4-1 Conservation of Momentum حفظ الزخم

توصلنا إلى أن التغير في زخم جسم يساوي الدفع الذي يتلقاه بفعل القوة المحصلة المؤثرة فيه خلال فترة تأثيرها. فإذا كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة في مجموعة من الأجسام تساوي صفرًا سمّيت مجموعة الأجسام بالنظام المعزول. والقوى الوحيدة التي تؤثر في النظام المعزول: هي القوى المتبادلة بين الأجسام أو الجسيمات داخل النظام.

بمعنى في النظام المعزول ميكانيكياً يمكن كتابة المعادلة (5 - 1) كما يأتي:

$$\mathbf{F} \Delta t = \Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_f - \mathbf{p}_i = 0$$

$$\mathbf{p}_f = \mathbf{p}_i = \text{مقدار ثابت}$$

حيث  $\mathbf{p}_f$  ،  $\mathbf{p}_i$  ترموزان لزخم النظام قبل التصادم وبعده.

ويقال عند ثبوت أية كمية فيزيائية خلال أية عملية إن هذه الكمية محفوظة.

### قانون حفظ الزخم:

إذا كانت محصلة القوى الخارجية المؤثرة في مجموعة من الأجسام بينها تأثير متبادل في نظام مغلق (مجموعة الأجسام التي تبقى كتلتها ثابتة خلال أية عملية تبادل للقوى) تساوي صفرًا، فإن مجموع زخم هذه الأجسام يبقى ثابتاً أو محفوظاً.

$$\sum \mathbf{P}_i = \sum \mathbf{P}_f \quad (1-6)$$

### مثال (3):



يجلس طالب كتلته (35 kg) في قارب ساكن كتلته (65 kg)، ويحمل صندوقاً كتلتها (6 kg) إذا قذف الولد الصندوق أفقياً بسرعة مقدارها (10 m/s). ويإهمال مقاومة الماء، جد سرعة القارب بعد قذف الصندوق مباشرة.

الحل:

$$\sum \mathbf{P}_i = \sum \mathbf{P}_f$$

$$(m_1 + m_2)v_i = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$0 = 6 \times 10 + 100v_{2f}$$

$$v_{2f} = -0.60 \text{ m/s}$$

**سؤال:** انفجر جسم ساكن إلى جزأين، كتلة الأول مثلي كتلة الثاني. إذا كانت الطاقة الحركية الناتجة عن



الانفجار تساوي 7500 J ، ما الطاقة الحركية التي يكتسبها كل منهما؟





## أسئلة الفصل

س١: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

١. أي الكميات الآتية تمثل ( المعدل الزمني للتغير في الزخم )؟

(أ) الدفع (ب) الشغل (ج) القوة (د) التسارع

٢. ما مقدار الدفع على الحائط عند اصطدام جسم كتلته 2 kg يتحرك أفقياً بسرعة 4 m/s بحائط وارتداده بنفس السرعة بوحدة (N.s) باتجاه معاكس لحركته؟

(أ) 8 (ب) 16 (ج) 0 (د) 32

٣. إذا مثلت العلاقة بيانياً بين الزخم لجسم على المحور الصادي والزمن على المحور السيني، ماذا يمثل ميل المنحنى؟

(أ) الزخم (ب) مقلوب الدفع (ج) الطاقة الحركية (د) القوة

٤. جسم كتلته 0.5 kg سقط من السكون من ارتفاع 180 cm عن سطح الأرض، ما مقدار زخمه عند وصوله الأرض بوحدة (kg.m/s)؟

(أ) 5 (ب) 6 (ج) 3 (د) 9

٥. يدور قمر صناعي حول الأرض فإذا كانت كتلته (m) ومقدار سرعته (v) ثابت، فما مقدار التغير في زخمه لدى اجتيازه نصف المدار حول الأرض؟

(أ) 0 (ب)  $\frac{1}{2} m v$  (ج)  $m v$  (د)  $2 m v$

٦. جسم كتلته 4 kg يتحرك بسرعة 2 m/s أثرت عليه قوة 8N بنفس اتجاه حركته لمدة 5s، كم يصبح مقدار زخمه بوحدة (kg.m/s)؟

(أ) 32 (ب) 8 (ج) 40 (د) 48

٧. كرة كتلتها 0.2 kg تقترب أفقياً من مضرب لاعب بسرعة 40 m/s وترتد عنه بالإتجاه المعاكس بسرعة 50 m/s إذا دام التلامس 0.2s، فكم يساوي مقدار متوسط القوة التي يؤثر بها المضرب على الكرة بوحدة N؟

(أ) 18 (ب) 10 (ج) 90 (د) 2



٨. في منحني (القوة - الزمن)، ماذا تمثل المساحة تحت المنحني؟

(أ) التغير في السرعة (ب) التسارع (ج) الدفع (د) الزخم

٩. إذا دفع رجل كتلته 70 kg يقف على أرض جليدية أفقية ولدأ ساكناً كتلته 50 kg، فكم يساوي التغير في زخم الرجل والولد معاً بوحدة (kg.m/s)؟

(أ) 0 (ب) 100 (ج) 140 (د) 240

١٠. إذا علمت مقدار الدفع المؤثر على جسم كتلته (m)، فأني مما يأتي تستطيع حسابه؟

(أ) سرعته الابتدائية (ب) سرعته النهائية (ج) تسارعه (د) التغير في سرعته

١١. قذيفة كتلتها 2 kg انطلقت أفقياً بسرعة 200 m/s من فوهة مدفع ساكن كتلته 500 kg، ما سرعة ارتداد المدفع بوحدة (m/s)؟

(أ) 1.25 (ب) 0.75 (ج) 0.8 (د) 2.5

س٢: وضع المقصود بكل من: الزخم، والدفع، والنظام المعزول.

س٣: علل:

١. تنكسر بيضة نيئة إذا سقطت من ارتفاع ما باتجاه أرض صلبة من الإسمنت وقد لا تنكسر البيضة نفسها إذا وقعت على أرض رملية من نفس الارتفاع.

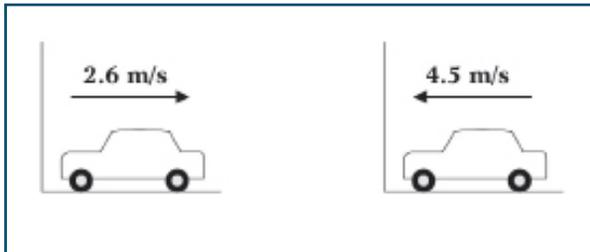
٢. تكون مواشير بنادق الصيد طويلة.

٣. سرعة ارتداد المدفع أقل بكثير من سرعة انطلاق القذيفة.

س٤: ضرب لاعب كرة ساكنة كتلتها 0.6 kg، فانطلقت بسرعة 15 m/s، احسب:

أ- التغير في زخم الكرة.

ب- متوسط القوة التي أثر بها اللاعب على الكرة إذا دام التلامس 0.06s



س٥: في الشكل تقترب سيارة كتلتها 1600 kg من جدار وترتد عنه في الإتجاه المعاكس، فما:

١. التغير في زخم السيارة.

٢. الطاقة الحركية المفقودة.





تزخر الطبيعة بأمتلة كثيرة على التصادم في العالم الجاهري فهناك تصادم كرات البلياردو، والكرات الزجاجية، والسيارات وغيرها. أما في العالم المجهرى فهناك تصادم جزيئات الغاز بعضها مع بعض ومع جدران الوعاء الذي يحويها، وتصادم النيوترونات مع أنوية الذرات في التفاعلات النووية. وعند التصادم يكون التفاعل المتبادل بين الأجسام المتصادمة في النظام غالباً أكبر بكثير من التفاعل بين النظام والمحيط، عندها يمكننا إهمال أي قوى أخرى خلال فترة التصادم القصيرة. وبذلك يُعدّ النظام معزولاً، ويكون الزخم الكلي محفوظاً. فماذا نعني بالتصادم؟

**التصادم:** تأثير متبادل بين جسمين أو أكثر أحدهما على الأقل متحرك، وتؤثر خلاله الأجسام المتصادمة بعضها في بعض بقوة خلال فترة زمنية قصيرة نسبياً.



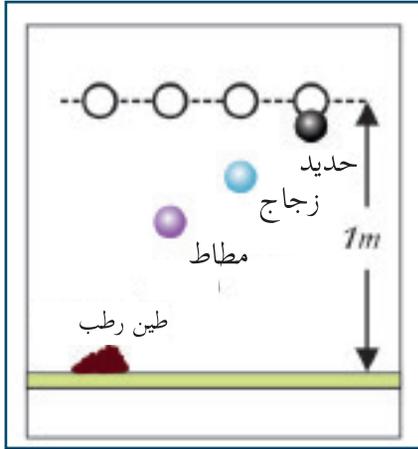
وتأتي أهمية دراسة التصادم بين الأجسام المختلفة في الحياة العملية كونه أساساً لكثير من الألعاب الرياضية والترفيهية، كما تفيد في تحليل حوادث السير، وتعطي معلومات عن طبيعة الأجسام المتصادمة ومرونتها. وأسهمت دراسة نتائج تصادم الجسيمات الأولية في بناء النماذج الذرية.



في أي نظام معزول ميكانيكياً يكون الزخم محفوظاً، فهل يعتبر التصادم نظاماً معزولاً، وهل جميع التصادمات متماثلة؟ نتيجة التصادم ليست دائماً واحدة، فهي لا تتأثر بحفظ الزخم فقط وإنما تتأثر بطبيعة القوى المؤثرة أثناء التصادم. للتعرف إلى أنواع التصادمات، يمكنك إجراء النشاط التالي:



المواد والأدوات: أربع كرات متقاربة الحجم من المواد الآتية: حديد، وزجاج، ومطاط، ومعجون (صلصال).



الخطوات:

١. حدد ارتفاعاً ليكن 1 m ثم أسقط منه الكرات المختلفة الواحدة تلو الأخرى على سطح صلب أملس.
٢. لاحظ الارتفاع الذي ارتدت إليه كل من الكرات بعد اصطدامها بالسطح، وسجل النتائج.
٣. كرر المحاولة من ارتفاعات مختلفة. ماذا تلاحظ؟
٤. هل هناك علاقة بين الطاقة الحركية التي ترتد بها الكرة والارتفاع الذي تصل إليه؟

٥. ما تحولات الطاقة من لحظة سقوط الكرة حتى ارتدادها ووصولها الى أقصى ارتفاع؟

إن النقص في طاقة وضع كل كرة من الكرات بين الارتفاع الذي سقطت منه والارتفاع الذي ارتدت إليه يمثل مقدار الطاقة الحركية التي فقدتها نتيجة التصادم حسب قانون حفظ الطاقة.

لاحظت من النشاط السابق أن هناك تفاوتاً في الارتفاعات التي وصلت إليها الكرات المختلفة بعد ارتدادها، ما يدل على تفاوت في مقدار النقص في طاقة الحركة لهذه الكرات عند اصطدامها بالسطح.

يسمى التصادم مرناً في حال عدم وجود أي نقص في هذه الطاقة نتيجة للتصادم. أما في حال نقصان الطاقة الحركية فيكون التصادم غير مرن، وإذا التحم الجسمان معاً وتحركا كجسم واحد بعد التصادم تكون حالة خاصة من التصادم غير المرن ويسمى تصادماً عديم المرونة.



أناقش:

١. ما أشكال فقدان الطاقة الحركية نتيجة التصادم؟
٢. علام يعتمد مقدار الطاقة الحركية المفقودة نتيجة التصادم؟
٣. أذكر أمثلة من الحياة اليومية على أنواع التصادم محدداً نوعه بناء على ما سبق.



عند تصادم جسمين معاً يؤثران في بعضهما بقوى تأثير متبادلة حسب القانون الثالث لنيوتن:

$$\mathbf{F}_{21} = -\mathbf{F}_{12}$$

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta t} = - \frac{\Delta P_2}{\Delta t}$$

أي أن التغير في زخم كلتا العربتين:

$$\Delta P_1 + \Delta P_2 = 0$$

$$m_1 v_{1f} - m_1 v_{1i} + m_2 v_{2f} - m_2 v_{2i} = 0$$

$$m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} = m_2 v_{2i} + m_1 v_{1i} \quad (2-1)$$

حيث :  $v_{1i}$  : سرعة الجسم الأول قبل التصادم مباشرة.

$v_{2i}$  : سرعة الجسم الثاني قبل التصادم مباشرة.

$v_{1f}$  : سرعة الجسم الأول بعد التصادم مباشرة.

$v_{2f}$  : سرعة الجسم الثاني بعد التصادم مباشرة.

نستنتج مما سبق أنه في النظام المعزول يكون الزخم للنظام قبل التصادم مباشرة يساوي الزخم له بعد التصادم مباشرة.

كذلك فإن مجموع الطاقة الحركية للعربتين قبل التصادم مباشرة يساوي مجموع الطاقة الحركية لهما بعد التصادم مباشرة إذا كان التصادم مرناً؛ وهذا يعني أن الطاقة الحركية محفوظة.  $\sum K_i = \sum K_f$

$$\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2 = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2 \quad (2-2)$$

ويمكن من المعادلتين (1-2) و (2-2) اثبات أن :

$$v_{12i} = - v_{12f} \quad (2-3)*$$

حيث:

$v_{12i}$ : تعني سرعة الجسم الأول بالنسبة للجسم الثاني قبل التصادم مباشرة.

$v_{12f}$ : تعني سرعة الجسم الأول بالنسبة للجسم الثاني بعد التصادم مباشرة.

ويمكن استخدام المعادلة (2-3) بدل قانون حفظ الطاقة الحركية. وكذلك، نستنتج منها أنه في حالة التصادم المرن في بُعدٍ واحدٍ فإن السرعة النسبية للجسمين قبل التصادم تساوي السرعة النسبية للجسمين بعد التصادم في المقدار وتعاكسها في الاتجاه.

التصادم المرن: تأثير متبادل بين جسمين (أو أكثر) أحدهما على الأقل متحرك بحيث يتحرك كل منهما بشكل مفرد قبل التصادم وبعده، ويتحقق فيه قانونا حفظ الزخم وحفظ الطاقة الحركية.

## مثال (1):

جسم كتلته (4 kg) يتحرك لليمين بسرعة (2 m/s)، اصطدم بجسم آخر كتلته (2 kg)، ويتحرك في اتجاه معاكس وبمقدار السرعة نفسها، احسب سرعة كل من الجسمين بعد التصادم مباشرة إذا كان التصادم مرناً.

الحل:

على اعتبار أن الكميات الفيزيائية المتجهة تكون موجبة في اتجاه الإحداثيات الموجبة، وسالبة في اتجاه الإحداثيات السالبة، فإن:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$4 \times 2 + 2 \times -2 = 4 v_{1f} + 2v_{2f}$$

$$2 = 2v_{1f} + v_{2f}$$

$$v_{2f} = 2 - 2 v_{1f}$$

$$v_{1i} - v_{2i} = v_{2f} - v_{1f}$$

$$2 - -2 = 2 - 2v_{1f} - v_{1f}$$

$$4 = 2 - 3 v_{1f}$$

$$v_{1f} = -\frac{2}{3} \text{ m/s}$$

$$v_{2f} = \frac{10}{3} \text{ m/s}$$

وكذلك من المعادلة (2-3)

**سؤال:** كرة كتلتها 0.4 kg وسرعتها 3 m/s تتصادم تصادماً مرناً وبشكل مباشر مع كرة أخرى ساكنة



كتلتها 0.6 kg . جد سرعة كل من الكرتين بعد التصادم مباشرة. معظم التصادمات في الحياة اليومية تصادمات غير مرنة. وكغيره من أنواع التصادمات يحقق قانون حفظ الزخم.

$$\sum P_f = \sum P_i$$
$$m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f} = m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i}$$

إذا تصادم جسمان أو أكثر فإن المجموع الاتجاهي للزخم قبل التصادم يساوي المجموع الاتجاهي للزخم بعد التصادم.

$$\left(\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2\right) = \text{مجموع الطاقة الحركية للجسمين قبل التصادم}$$

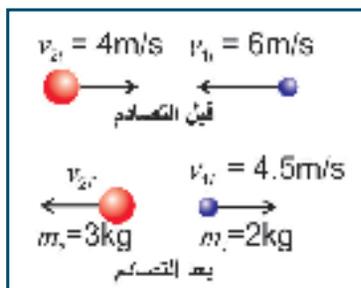
$$\left(\frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2\right) = \text{مجموع الطاقة الحركية للجسمين بعد التصادم}$$

$$\Delta K = \sum K_f - \sum K_i = \text{التغير في الطاقة الحركية للجسمين}$$

$$\Delta K = \left(\frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2\right) - \left(\frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2\right)$$



## مثال (2):



تتحرك كرة كتلتها 2 kg تجاه الغرب بسرعة 6 m/s فتصطدم بأخرى كتلتها 3 kg تتحرك تجاه الشرق بسرعة 4 m/s. إذا أصبحت سرعة الأولى بعد التصادم 4.5 m/s مباشرة ، كما في الشكل حيث بقي الجسمان يتحركان

على نفس الخط قبل وبعد التصادم ودام التصادم 0.02 s، جد:

١. سرعة الكرة الثانية بعد التصادم مباشرة.
٢. متوسط القوة التي أثرت بها الكرة الأولى على الكرة الثانية أثناء التصادم.
٣. حدد نوع التصادم.

الحل:

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = m_1 v_{1f} + m_2 v_{2f}$$

$$2 \times -6 + 3 \times 4 = 2 \times 4.5 + 3v_{2f}$$

$$v_{2f} = -3 \text{ m/s}$$

$$F \Delta t = m_2 (v_{2f} - v_{2i})$$

$$F \times 0.02 = 3(-3-4)$$

$$F = -1050 \text{ N}$$

$$\sum K_i = \frac{1}{2} m_1 v_{1i}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2i}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 2 \times 36 + \frac{1}{2} \times 3 \times 16 = 60 \text{ J}$$

$$\sum K_f = \frac{1}{2} m_1 v_{1f}^2 + \frac{1}{2} m_2 v_{2f}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 2 \times 20.25 + \frac{1}{2} \times 3 \times 9 = 33.75 \text{ J}$$

$$\Delta K = \sum K_f - \sum K_i = 33.75 - 60 = -26.25 \text{ J}$$

2: الدفع على الكرة الثانية  $\Delta P_2 =$

3: لتحديد نوع التصادم نحسب  $\Delta K$

الإشارة السالبة تعني أن النظام فقد طاقة.

بما أن الطاقة الحركية ليست محفوظة، وتحرك كل من الجسمين بشكل منفرد بعد التصادم مباشرة، فهو تصادم غير مرن.



أما عندما يصطدم الجسمان ويلتصمان ويتحركان كجسم واحد بعد التصادم، ويصبح لهما سرعة واحدة. حيث تبقى كمية التحرك محفوظة بينما هناك نقصان للطاقة الحركية، وهذا النقص يتحول إلى أشكال أخرى للطاقة فإن هذا التصادم يسمى عديم المرونة، ومن الأمثلة عليه تصادم السهم وقرص التصويب المعلق عندما يستقر فيه .

وبتطبيق قانون حفظ الزخم للجسمين:

مجموع الزخم للجسمين قبل التصادم مباشرة = مجموع الزخم للجسمين بعد التصادم مباشرة

$$\sum P_i = \sum P_f$$

$$m_1 v_{1i} + m_2 v_{2i} = (m_1 + m_2) v_f \quad (2-4)$$

عندما تكون الكرتان متساويتين في الكتلة وإحدهما ساكنة ( على اعتبار سرعة الكرة المتحركة  $v$  )، فإن

$$mv_1 + mv_2 = (m + m) v_f$$

$$mv = 2m v_f$$

$$v = 2 v_f$$

$$v_f = \frac{1}{2} v$$

أي أن المجموعة تتحرك بسرعة تساوي نصف سرعتها قبل التصادم.

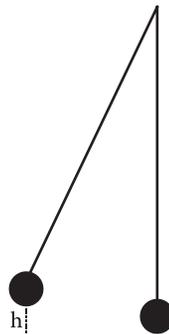
ومن قوانين حفظ الطاقة الميكانيكية فإن الكرتان ستصلان بعد التصادم إلى ارتفاع  $h'$ ، ويساوي ربع الارتفاع الذي أفلتت منه الكرة الأولى قبل التصادم  $h$ .

$$h' = \frac{1}{4} h$$

سؤال: كرتان لهما نفس الكتلة معلقتان بخيطين متماثلين، اذا سحبت احدهما الى ارتفاع  $h$  ثم

افلتت فالتحمت بالكرة الثانية عند الوضع الرأسي فإن أقصى ارتفاع لهما بعد التصادم يعطى بالعلاقة

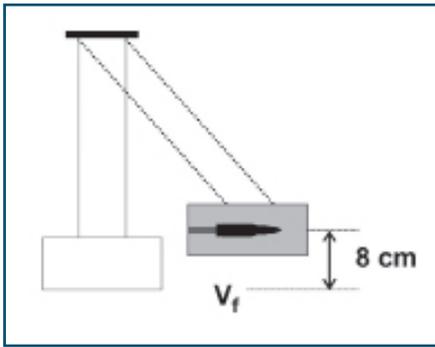
$$h' = \frac{1}{4} h$$



من الأمثلة على التصادم عديم المرونة:

البندول القذفي البسيط المستخدم لحساب سرعة اصطدام رصاصة تستقر في القطعة الخشبية، ويتكون من كتلة خشبية معلقة بحبلين متساويين في الطول متوازيين غير مرنين، حيث كتلة الخشبة المعلقة أكبر بكثير من كتلة الرصاصة.

### مثال (3):



أطلقت رصاصة كتلتها 30 g على كتلة خشبية كتلتها 4.97 kg معلقة كما في الشكل المجاور، فكان أكبر ارتفاع رأسي وصلته المجموعة 8 cm عن المستوى الأفقي الأصلي احسب كلاً من:

١. سرعة المجموعة بعد التصادم مباشرة.
٢. سرعة الرصاصة قبل الاصطدام مباشرة.
٣. مقدار الطاقة الحركية المفقودة.

الحل:

لإيجاد سرعة الجسمين بعد التصادم (من قانون حفظ الطاقة الميكانيكية)

$$1) U = K$$

$$m g h = \frac{1}{2} m v_f^2 \rightarrow v_f = \sqrt{2gh}$$

$$v_f = 1.26 \text{ m/s}$$

$$2) m_1 v_{1i} + 0 = (m_1 + m_2) v_f$$

$$0.03 \times v_{1i} = 5 \times 1.26 \rightarrow v_{1i} = 210 \text{ m/s}$$

$$\text{حيث: } m = m_1 + m_2$$

$$3) \Delta K = \sum K_f - \sum K_i = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) v_f^2 - \frac{1}{2} m v_{1i}^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 5 \times 1.26^2 - \frac{1}{2} \times 0.03 \times 210^2$$

$$= 4 - 661.5 = - 657.5 \text{ J}$$

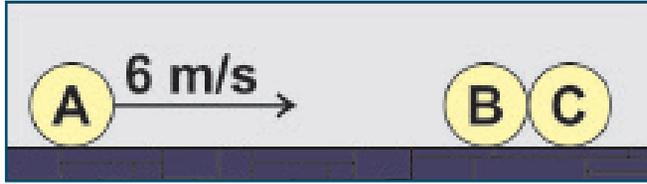


## أسئلة الفصل

س ١: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

١. تدافع صديقان في صالة تزلج بحيث تحركا في اتجاهين متعاكسين، إذا كانت كتلة أحدهما 55kg وتحرك بسرعة 3 m/s وكتلة الآخر 50 kg وتحرك بسرعة 3.3 m/s، إن التغير في الزخم للصديقين معا بوحدة (kg.m/s):

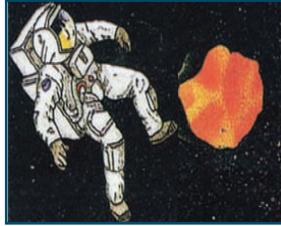
- (أ) 165      (ب) 330      (ج) 1050      (د) 0



٢. في الشكل المجاور (A,B,C) ثلاث كرات زجاجية متماثلة . إذا تحركت الكرة (A) بسرعة مقدارها (6 m/s) نحو الكرتين (B,C) الساكنتين والمتلامستين فاصطدمت بالكرة (B) تصادماً مرناً - بإهمال الاحتكاك - فإنه بعد التصادم مباشرة:

- (أ) تسكن الكرتان (A) و (B) وتحرك الكرة (C) بسرعة 6 m/s .  
(ب) تسكن الكرتان (A) و (B) وتحرك الكرة (C) بسرعة 3 m/s .  
(ج) تسكن الكرة (A) وتحرك الكرتان (B) و (C) بسرعة 2 m/s .  
(د) تتحرك الكرات الثلاث بسرعة مقدارها 2 m/s .

٣. إذا ركل رائد فضاء حجراً صغيراً وهو في الفضاء الخارجي، أي العبارات الآتية صحيحة:



- (أ) يتحرك رائد الفضاء والحجر بنفس السرعة ولكن باتجاهين متعاكسين .  
(ب) يتحرك رائد الفضاء والحجر بسرعتين مختلفتين مقداراً ولكن بالاتجاه نفسه .  
(ج) يتحرك رائد الفضاء بسرعة أقل من سرعة الحجر وباتجاه معاكس لحركة الحجر .  
(د) لا يتحرك أي منهما .

٤. جسمان A، B، لهما نفس الكتلة إذا كان زخم A مثلي زخم B، فإن:

(أ)  $K_A = 2 K_B$       (ب)  $K_A = 4 K_B$       (ج)  $K_A = \frac{1}{2} K_B$       (د)  $K_A = \frac{1}{4} K_B$

٥. تصادم جسم كتلته m وسرعته v تصادماً عديم المرونة بجسم آخر ساكن مماثل له في الكتلة، فإن الطاقة الضائعة:

(أ)  $\frac{1}{2} mv^2$       (ب)  $\frac{1}{4} mv^2$       (ج)  $\frac{3}{4} mv^2$       (د)  $mv^2$



٦. في التصادم عديم المرونة تكون النسبة بين الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم إلى الطاقة الحركية للنظام بعد التصادم:

(أ) أقل من واحد (ب) واحداً (ج) أكبر من واحد (د) صفرًا

٧. أي الكميات الفيزيائية تبقى محفوظة دائماً في أية عملية تصادم في نظام معزول؟

(أ) طاقة الحركة (ب) الزخم (ج) السرعة (د) الطاقة الميكانيكية

٨. عندما يصطدم جسمان مختلفان في الكتلة فإن الدفع الذي يؤثر به كل جسم على الآخر:

(أ) متساوٍ في المقدار ومتعاكس في الاتجاه لكل أنواع التصادمات.

(ب) متساوٍ في المقدار ومتعاكس في الاتجاه للتصادمات المرنة فقط.

(ج) متساوٍ لكل أنواع التصادمات.

(د) متساوٍ في المقدار ومتعاكس في الاتجاه للتصادمات عديمة المرونة فقط.

٩. يتحرك جسمان نجو بعضهما بسرعة  $5\text{m/s}$ ،  $2\text{m/s}$  فاصطدما معاً تصادماً مرناً فارتد الثاني بنصف سرعته فما سرعة الأول بعد التصادم مباشرة بوحدة  $\text{m/s}$ ؟

(أ) 2. (ب) 4. (ج) 6. (د) 8

س٢: علل:

١- هناك فقد كبير للطاقة الحركية في التصادم عديم المرونة.

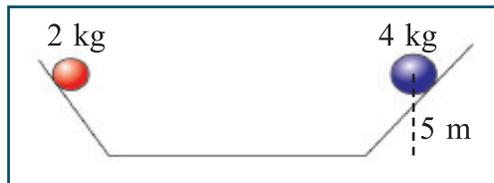
٢- إذا سقطت كرة من الطين تجاه أرضية صلبة فإنها لا ترتد بشكل ملحوظ.

س٣: جسم سرعته  $55\text{ m/s}$  وكتلته  $m_1$  تصادم تصادماً مرناً مع جسم آخر ساكن كتلته  $5\text{ kg}$ ، وبعد التصادم تحرك الجسم الأول في الاتجاه المعاكس بسرعة  $20\text{ m/s}$ ، احسب كلاً من:

١- كتلة الجسم الأول .

٢- سرعة الجسم الثاني بعد التصادم مباشرة .

س٤: عربة قطار كتلتها  $2000\text{ kg}$  تتحرك على قضبان مستقيمة أفقية بسرعة  $2\text{ m/s}$  اصطدمت بها عربة أخرى كتلتها  $3000\text{ kg}$  تسير بالاتجاه نفسه وبسرعة  $5\text{ m/s}$ ، وتحركتا معاً كجسم واحد، فما مقدار السرعة المشتركة بعد التصادم .



س٥: في الشكل تنزلق الكتلتان  $2\text{ kg}$ ،  $4\text{ kg}$  من السكون من ارتفاع  $5\text{ m}$  على مستوى أملس إذا اصطدما تصادماً مرناً، جد:

١- سرعة كل من الكرتين قبل التصادم مباشرة.

٢- سرعة كل من الكرتين بعد التصادم مباشرة.

٣- أقصى ارتفاع تصل إليه كل من الكرتين بعد الاصطدام مباشرة.





### 1-3 القصور الدوراني (Moment of Inertia)

حاول أن تدير عجلة دراجة هوائية حول محورها من السكون، استمر في إدارتها، ثم حاول إيقافها. لا بد أنك تشعر بصعوبة عند بدء إدارتها، كما أنك تشعر بصعوبة عند محاولة إيقافها. إن مقاومة العجلة لتغيير حالتها الدورانية يسمى القصور الدوراني.

القصور الدوراني: مقاومة الجسم لعزم القوة التي تحاول إحداث تغير في حالة حركة الجسم الدورانية، ويرمز له بالرمز  $I$  نفرض أن لدينا جسماً نقطياً كتلته  $m$  يتحرك في مسار دائري طول نصف قطره  $r$ ، فإن القصور الدوراني يعين من العلاقة الآتية:

$$I = m r^2 \quad (3-2)$$

وهو مقدار موجب دائماً



أناقش:

- ما وحدات قياس القصور الدوراني؟
- هل القصور الدوراني كمية فيزيائية قياسية أم متجهة؟
- كيف يتناسب القصور الدوراني لجسم مع كل من كتلة الجسم ونصف قطر الدوران؟

العلاقة السابقة صحيحة لجسم أبعاده صغيرة بالنسبة لبعده عن محور الدوران.

أما لو كان لدينا منظومة مكونة من عدد كبير من الجسيمات، فإن القصور الدوراني يمثل المجموع، أي حاصل جمع الكتل للجسيمات جميعها مضروباً في مربع المسافة للجسيمات من محور الدوران  $(\sum mr^2)$ . وإذا أشرنا إلى الجسيمات برقم (1,2,3)، فإن:

$$I = \sum m_i r_i^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \dots \quad (3-3)$$

أما في حالة جسم صلب كبير فيحسب عن طريق التكامل، مثل: كرة، أسطوانة، سلك رفيع، .....



والجدول الآتي يبين القصور الدوراني لبعض الأجسام.  
جدول (1): القصور الدوراني لبعض الأجسام للاطلاع والاستفادة منه في حل المسائل

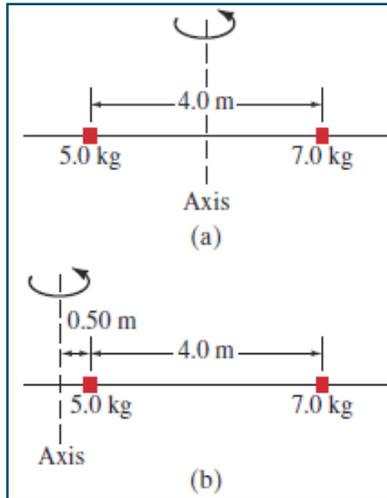
القصور الدوراني	محور الدوران	الجسم
$\frac{1}{12} ML^2$	عمودي على السلك عند المركز	سلك رفيع طوله L
$\frac{1}{3} ML^2$	عمودي على السلك عند الطرف	
$\frac{1}{2} MR^2$	يمر من المركز في مستواه	طوق نصف قطره R
$MR^2$	يمر من المركز عموديا على مستواه	
$\frac{1}{4} MR^2$	يمر من المركز في مستواه	قرص رقيق مصمت نصف قطره R
$\frac{1}{2} MR^2$	يمر من المركز عموديا على مستواه	
$\frac{2}{5} MR^2$	أي قطر فيها	كرة صلبة مصمته نصف قطرها R
$\frac{2}{3} MR^2$	أي قطر فيها	قشرة كروية رقيقة نصف قطرها R
$\frac{1}{2} MR^2$	محورها الطولي	أسطوانة مصمته قائمة نصف قطرها R وطولها L

## مثال (2):

وضع جسمان نقطيان كتلتاهما (5 kg)، (7 kg) على بُعد (4 m) على ساق معدني خفيف (مهمل الوزن) كما في الشكل (3-4-a)، احسب القصور الدوراني للنظام:

١. عندما يدور حول محور في منتصف المسافة بينهما.

٢. عندما يدور حول محور على بُعد (0.5 m) إلى يسار الجسم الذي كتلته (5 kg) كما في الشكل (3-4-b).



الحل:

$$1) I = \sum m r^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$$

$$= 5 \times (2)^2 + 7 \times (2)^2$$

$$= 20 + 28 = 48 \text{ kg.m}^2$$

$$2) I = \sum m r^2 = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2$$

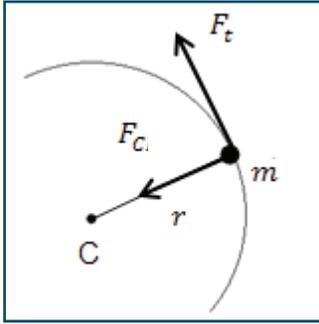
$$= 5 \times (0.5)^2 + 7 \times (4.5)^2$$

$$= 1.3 + 142 = 143 \text{ kg.m}^2$$



مما سبق نستنتج أن القصور الدوراني لنظام معين يختلف باختلاف محاور الدوران.

### القانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية



الشكل (3-5)

في الشكل (3-5) جسم كتلته  $m$  يدور في مسار دائري نصف قطره  $r$  تحت تأثير قوة مماسية  $F_t$ ، فإن قوة مركزية  $F_c$  سوف تتولد أيضاً. وحيث إن القوة المماسية  $F_t$  تعطى حسب القانون الثاني لنيوتن بالعلاقة  $F_t = m a_t$  حيث  $a_t$  تمثل التسارع المماسي وبذلك فإن العزم الناتج هو

$$\tau = F_t r = (m a_t) r$$

$$\tau = (mr\alpha) r = (mr^2) \alpha$$

ويرتبط التسارع الخطي بالتسارع الزاوي من العلاقة:  $a_t = r \alpha$

$$\tau = I \alpha \quad (3-4)$$

حيث:  $I$  تشير للقصور الدوراني.

وهذه العلاقة نتيجة للقانون الثاني لنيوتن في الحركة الدورانية الذي ينص على:

يتناسب التسارع الزاوي لجسم يتحرك دورانياً حول محور طردياً مع محصلة العزوم المؤثرة فيه، وعكسياً مع قصوره الدوراني بالنسبة للمحور نفسه.

ونلاحظ هنا التناظر الواضح بين الحركة الانتقالية والحركة الدورانية.

### نشاط (1-3): المعنى الفيزيائي لعزم القصور

قارن في الجدول التالي بين الحركة الانتقالية والحركة الدورانية كما هو مطلوب في الجدول:

الحركة الدورانية	الحركة الانتقالية	وجه المقارنة
		سبب التحريك
		دليل التحريك
		ممانعة التحريك
		التغير والثبات



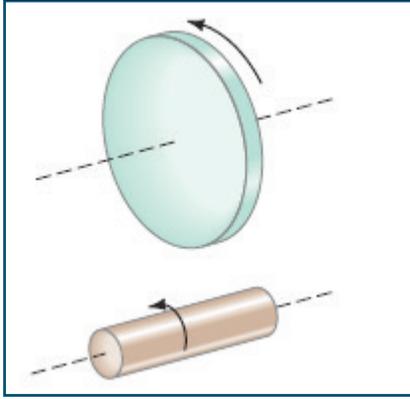
نستنتج من النشاط السابق أن الكتلة هي: ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته الحركية الانتقالية، وأن القصور الدوراني: ممانعة الجسم لأي تغيير في حالته الحركية الدورانية، إلا أن هناك فرقاً أساسياً ففي حين تبقى كتلة الجسم ثابتة كيفما تحرك الجسم، إلا أن القصور الدوراني يعتمد على المحور الذي يدور حوله، فقد يدور الجسم حول محور ما تحت تأثير عزم ما بسهولة، إلا أنه لا يدور حول محور آخر تحت تأثير نفس العزم والسبب هو اختلاف القصور الدوراني للجسم بالنسبة لكل واحد منهما.

لنفترض جسماً جاسئاً يدور، مثل دولاب يدور حول محور في منتصفه، ويمكن اعتباره أنه يتكون من عدد كبير من الجسيمات على أبعاد متعددة من محور الدوران. وبذلك، يمكن تطبيق المعادلة (2-3) لكل جسيم، ومن ثم نجد مجموع عزوم الدوران الناتجة عن كل جسيم. أي:

$$\tau_{\text{net}} = (\sum mr^2) \alpha$$

$$\tau_{\text{net}} = I\alpha$$

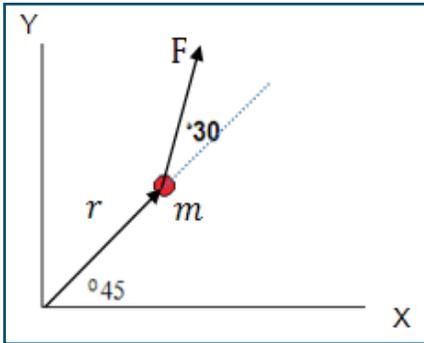
إنه ينطبق على دوران جسم جاسئ حول محور ثابت. نرى أن القصور الدوراني لجسم، يؤدي الدور نفسه في الحركة



الدورانية الذي تؤديه الكتلة في الحركة الانتقالية. كما يعتمد القصور الدوراني ليس على الكتلة فحسب، بل على كيفية توزيع هذه الكتلة بالنسبة إلى المحور أيضاً. فمثلاً، أسطوانة ذات قطر كبير سيكون لها قصور أكبر من أخرى مساوية لها في الكتلة، ولكن بقطر أصغر (ومن ثم طول أكبر) كما هو مبين في الشكل المجاور. فالأولى ستكون أصعب في البدء في الدوران، وكذلك أصعب عند الوقوف. عندما تتوزع الكتلة بعيداً عن محور الدوران، فإن القصور الدوراني سيكون أكبر. وبالنسبة للحركة الدورانية، فإنه لا يمكن اعتبار الكتلة كما لو أنها مركزة في مركز الكتلة.

### مثال (2):

يتحرك جسيم نقطي كتلته 2 kg في المستوى xy الأفقي بحيث يعطى موضعه



الشكل (3-6)

والقوة المؤثرة عليه في لحظة معينة بالمتجهين الموضحين بالشكل (3-6) حيث  $r = 2 \text{ m}$  و  $F = 4 \text{ N}$ . احسب العزم المؤثر على الجسيم بالنسبة لمحور للعمودي على المستوى xy، وما تسارع الجسيم الزاوي؟

الحل:

باستخدام قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه العزم عمودي على مستوى XY خارج الورقة (أي باتجاه محور Z).

$$\tau = r F \sin 30^\circ = 2 \times 4 \times .5 = 4 \text{ N.m}$$

$$\tau = I\alpha$$

$$4 = mr^2 \alpha = 2 \times 2^2 \alpha \rightarrow \alpha = 0.5 \text{ rad/s}^2$$



### الطاقة الحركية الدورانية

تعلمت أن طاقة الحركة تعطى من العلاقة  $K = \frac{1}{2} mv^2$

ولكن السرعة الخطية  $v = r \omega$

وبالتعويض عن السرعة  $v$  ينتج أن  $K = \frac{1}{2} mr^2 \omega^2$

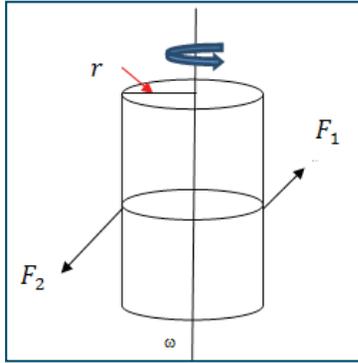
لكن القصور الدوراني للجسم النقطي بالنسبة لمحور الدوران  $I = m r^2$

بالتعويض عن  $I$

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (3-5)$$

مرة أخرى نلاحظ التناظر بين التحريك الانتقالي والتحريك الدوراني، فالطاقة الحركية هي نصف حاصل ضرب الممانعة في مربع السرعة في كلتا الحالتين.

### مثال (3):



الشكل (8-3)

ما الطاقة الحركية الدورانية للأسطوانة الموضحة بالشكل (8-3) بعد ثانيتين من بدء حركتها من السكون تحت تأثير القوتين  $F_1 = 5 \text{ N}$  و  $F_2 = 7 \text{ N}$  وكان القصور الدوراني للأسطوانة حول محور الدوران  $0.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$  ونصف قطر قاعدتها  $0.3 \text{ m}$ ؟

الحل:

من الشكل نلاحظ أن عزم كل قوة يتجه للأعلى حسب قاعدة اليد اليمنى

$$\tau_{\text{net}} = r F_1 \sin 90^\circ + r F_2 \sin 90^\circ$$

$$\tau_{\text{net}} = 0.3 \times (5 \times 1 + 7 \times 1) = 3.6 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\tau = I \alpha$$

$$\alpha = \frac{\tau}{I} = \frac{3.6}{0.2} = 18 \text{ rad/s}^2$$

$$\omega_2 = \omega_1 + \alpha t$$

التسارع الزاوي ثابت

$$\omega_2 = 0 + 18 \times 2 = 36 \text{ rad/s}$$

$$K = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$K = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 36^2 = 0.13 \text{ kJ}$$



### مثال (4):

القصور الدوراني لحجر رحي يساوي  $(1.6 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2)$ . وعند التأثير بعزم دوران ثابت تصل سرعة دوران الحجر إلى 1200 دورة في الدقيقة خلال 15 s. وعلى فرض أن الحجر كان ساكناً قبل بدء الحركة، احسب كلاً من:

- (1) التسارع الزاوي.
- (2) عزم الدوران المؤثر.
- (3) الزاوية التي يدورها حجر الرحي خلال 15 s.

الحل:

$$1) \omega_1 = 0$$

$$\omega_2 = 2\pi f = 2\pi \frac{1200}{60} = 40\pi \text{ rad/s}$$

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{40\pi}{15} = 8.38 \text{ rad/s}^2$$

$$2) \tau = I\alpha = 1.6 \times 10^{-3} \times 8.38 = 0.0134 \text{ N.m}$$

$$3) \theta = \omega_1 t + \frac{1}{2} \alpha t^2 = 0 + \frac{1}{2} \times 8.38 \times 15^2 = 942.75 \text{ rad}$$

### 3-3 الزخم الزاوي (Angular Momentum)

الزخم الزاوي لجسيم نقطي  $m$  يتحرك بسرعة  $v$  بالنسبة لمحور يبعد عن الجسيم مسافة محددة بالمتجه  $r$  (مقاساً من محور الدوران إلى الجسيم) يعطى بالعلاقة:

$$\mathbf{L} = \mathbf{r} \times \mathbf{p} \quad (3-9)$$

حيث:  $\mathbf{p} = m \mathbf{v}$  (الزخم الخطي للجسيم) والزخم الزاوي  $\mathbf{L} = m \mathbf{v} r$

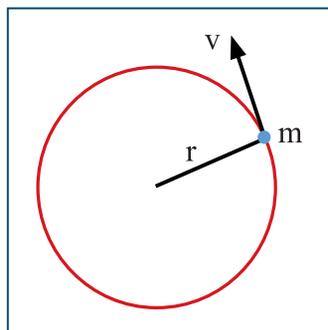
ولكن  $v = r \omega$  ، وبالتعويض في:  $\mathbf{L} = m \mathbf{v} r$

نحصل على:  $L = m r^2 \omega$

وبالتعويض عن  $I = m r^2$  نحصل على علاقة الزخم الزاوي

$$\mathbf{L} = I\omega \quad (3-10)$$

وهو عبارة عن كمية متجهة تعبر عن حاصل ضرب القصور الدوراني في السرعة الزاوية.





أناقش:

- ما وحدة قياس الزخم الزاوي في النظام الدولي؟
- كيف يمكن تعيين اتجاه الزخم الزاوي؟

ومن التماثل بين الحركتين الدورانية والانتقالية، فإن صيغة القانون الثاني لنيوتن بدلالة التغير في الزخم الخطي.

$$\mathbf{F}_{\text{net}} = \frac{\Delta \mathbf{p}}{\Delta t}$$

$$\boldsymbol{\tau}_{\text{net}} = \frac{\Delta \mathbf{L}}{\Delta t} \quad (3-11)$$

حيث:

$\boldsymbol{\tau}_{\text{net}}$ : العزم الكلي الذي يعمل على تدوير الجسم.

$\Delta \mathbf{L}$ : التغير في الزخم الزاوي خلال الفترة الزمنية.

أي أن محصلة العزوم المؤثرة في جسم يتحرك دورانياً حول محور تساوي المعدل الزمني للتغير في الزخم الزاوي.

وللزخم الزاوي دور مهم لأنه تحت شروط معينة، يكون كمية محفوظة. كما نستنتج من المعادلة (3-11) أنه إذا كان العزم الكلي يساوي صفراً، فإن:

$$\frac{\Delta \mathbf{L}}{\Delta t} = 0 \rightarrow \Delta \mathbf{L} = 0 \rightarrow \mathbf{L}_2 - \mathbf{L}_1 = 0$$

$$\mathbf{L}_2 = \mathbf{L}_1 \rightarrow I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \quad (3-12)$$

وينص قانون حفظ الزخم الزاوي على:

(الزخم الزاوي لجسم أو مجموعة من الأجسام ثابت ما لم تؤثر عليها عزوم دوران خارجية)

ومن شروط حفظ الزخم الزاوي:

١- أن تكون محصلة العزوم المؤثرة على الجسم أو المنظومة تساوي صفراً.

٢- أن يبقى محور الدوران ثابتاً من دون تغيير.



أناقش:

- يقوم الغطاس عند القفز بثني جسمه، وضم صدره إلى ركبتيه، وعندما يقترب من الماء يقوم بفرد جسمه، لماذا؟
- اذكر تطبيقات أخرى.

### مثال (5):

تدور الأرض حول محورها مرة واحدة في كل يوم، افترض أن الأرض قد انكمشت بطريقة ما بحيث أصبح قطرها مساوياً لنصف قيمته الحالية، ما سرعة الأرض في الحالة الافتراضية؟ حيث  $I = \frac{2}{5} mr^2$  من الجدول.

الحل:

بما أنه لا يؤثر أي عزم دوران خارجي على الأرض أثناء الانكماش، ومحور الدوران ثابت، فإن الزخم الزاوي يبقى ثابتاً أي:

$L$  في الحالة الافتراضية =  $L$  في الحالة العادية.

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \text{ بالرموز}$$

$$\frac{2}{5} m_1 r_1^2 \omega_1 = \frac{2}{5} m_2 r_2^2 \omega_2$$

باعتبار أن كثافة الأرض منتظمة وكتلتها لم تتغير.

$$\frac{2}{5} m_1 r_1^2 \omega_1 = \frac{2}{5} m_2 \left(\frac{1}{4}\right) r_1^2 \omega_2$$

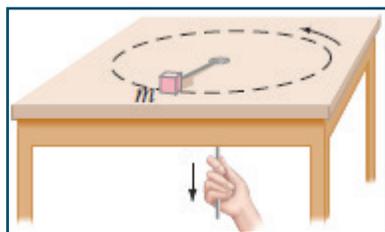
$$r_1 = 2r_2 \text{ لكن}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{4} \omega_2$$

أي 4 دورة / يوم (أي أن طول اليوم سوف يصبح 6 ساعات).

$$\omega_2 = 4\omega_1$$

### مثال (6):



يدور جسم صغير كتلته  $m$  مثبتة في نهاية خيط في مسار دائري على سطح طاولة أفقي أملس، ويمر الطرف الآخر للخيط عبر ثقب في سطح الطاولة كما في الشكل المجاور. إذا كان الجسم يدور بسرعة  $2.4 \text{ m/s}$  في مسار دائري نصف قطره  $0.8 \text{ m}$ ، ثم سُحب الخيط ببطء عبر الثقب، بحيث يقل نصف القطر إلى  $0.48 \text{ m}$ ، فكم تصبح سرعة الجسم  $v_2$ ؟

الحل:

بما أن القوة تمر في مركز كتلة الكرة، فإن ذراع القوة يساوي صفراً، وبالتالي عزم الدوران المحصل يساوي صفراً. أي

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \text{ أن الزخم الزاوي محفوظ:}$$

إن القصور الدوراني للكرة حول مركز الدوران هو  $I = m r^2$ ، ومنها نجد:

$$m r_1^2 \omega_1 = m r_2^2 \omega_2 \rightarrow \omega_2 = \omega_1 \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

$$v_2 = r_2 \omega_2 = r_2 \frac{v_1}{r_1} \frac{r_1^2}{r_2^2} = v_1 \frac{r_1}{r_2} = 2.4 \times \frac{0.8}{0.48} = 4 \text{ m/s}$$



## أسئلة الفصل

س ١: اختر الإجابة الصحيحة فيما يلي:

١. كرتان متجانستان مصمتتان من مادتين مختلفتين لهما الكتلة نفسها، طول نصف قطر الأولى مثلي طول نصف قطر الثانية ( $r_1 = 2r_2$ )، والقصور الدوراني حول محور مار من مركز كل منهما ( $I_2, I_1$ ) على الترتيب، فإن  $I_1$  يساوي:

(أ)  $32 I_2$  (ب)  $8 I_2$  (ج)  $4 I_2$  (د)  $\frac{1}{4} I_2$

٢. ما القصور الدوراني لأربع كتل متماثلة قيمة الواحدة منها (3 kg) موضوعة على رؤوس مستطيل بعدها (40 cm – 30 cm) بالنسبة لمحور عمودي عليه يمر في مركزه بوحدة ( $\text{kg.m}^2$ )؟

(أ) 0.75 (ب) 7.5 (ج) 75 (د) 300

٣. ساق مهملة الكتلة طولها (1 m) يوجد على كل طرف من أطرافها كتلة (5 kg) ما القصور الدوراني عند أحد أطرافها بوحدة ( $\text{kg.m}^2$ )؟

(أ) 10 (ب) 7.5 (ج) 5 (د) 2.5

٤. الطاقة الحركية الدورانية لجسم يدور حول محور ثابت تتناسب:

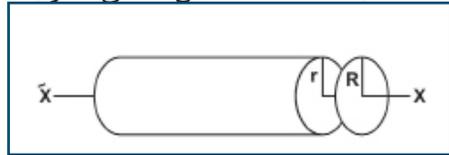
(أ) طردياً مع السرعة الزاوية للجسم ( $\omega$ ) (ب) عكسياً مع مربع السرعة الزاوية ( $\omega^2$ )

(ج) طردياً مع مربع السرعة الزاوية ( $\omega^2$ ) (د) عكسياً مع القصور الدوراني للجسم  $I$

٥. جسم يتحرك دورانياً بسرعة زاوية ( $\omega_1$ ) وطاقته الحركية ( $K_1$ ) فإذا تضاعفت سرعته الزاوية، فما العلاقة التي تصف طاقته الحركية الدورانية ( $K_2$ )؟

(أ)  $K_2 = 4 K_1$  (ب)  $K_2 = 3 K_1$  (ج)  $K_2 = 2 K_1$  (د)  $K_2 = K_1$

٦. أسطوانة وقرص مصمتان لهما الكتلة نفسها ( $M$ ) ويدوران بالسرعة الزاوية نفسها حول محور الأسطوانة الطولي ( $XX$ ) كما هو موضح في الشكل، فإذا كان لهما الطاقة الحركية الدورانية نفسها، فما النسبة بين نصف قطريهما



(ج)

(أ)  $\frac{r}{R}$

(ب)  $\frac{1}{2}$

(د) 1

(أ)  $\frac{1}{4}$

$\sqrt{2}$

٧. مسطرة طولها (1 m) وكتلتها (0.3 kg) ما الفرق بين القصور الدوراني حول محور عمودي عند الطرف والقصور الدوراني حول محور عمودي عند المركز (استعن بالجدول (1))

(د) 0.025

(ج) 0.075

(ب) 0.1

(أ) 0.125



٨. أي الكميات الآتية محفوظة دائماً في أية عملية تلاصق لمنظومة أجسام تتحرك دورانيا حول محور ثابت؟

(أ) الطاقة الحركية الدورانية (ب) الزخم الزاوي (ج) السرعة الزاوية (د) العزم الدوراني

س٢: عرف المفاهيم الآتية: العزم الدوراني، والقصور الدوراني، والزخم الزاوي، وحفظ الزخم الزاوي.

س٣: قارن بين الزخم الخطي والزخم الزاوي من حيث التعريف ونوع الكمية والعلاقة الرياضية ووحدة القياس والعوامل المؤثرة في كل منهما.

س٤: فسر ما يأتي:

أ - ازدياد السرعة الزاوية لراقص على الجليد عندما يضم يديه إلى صدره.

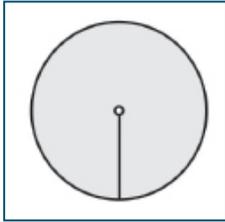
ب - يثبت دولاب معدني قطره كبير وكتلته كبيرة نسبياً على جذع بعض الآلات.

س٥: يدور قرص كتلته 50 kg ونصف قطره 0.5 m بسرعة زاوية 300 rev/min إذا توقفت خلال 10 s، جد كلاً من:

أ - طاقته الحركية الدورانية الابتدائية.

ب - العزم اللازم لإيقاف القرص

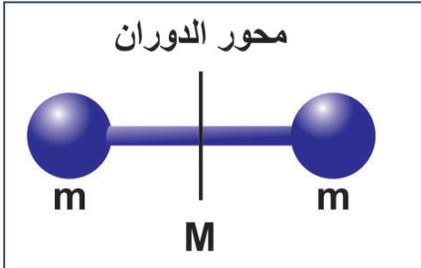
(إذا علمت أن القصور الدوراني للقرص يساوي  $\frac{1}{2} mR^2$ ).



س٦: احسب القصور الدوراني لكل شكل من الأشكال الموضحة بالرسم:

أ - قرص متجانس كتلته (1 kg) ونصف قطره (20 cm) عندما يدور على محور يمر من

المركز عمودياً على مستواه، علماً بأن  $(I = \frac{1}{2} mR^2)$



ب - ساق متجانسة كتلتها (M) وطولها (L) مثبت على كل طرف من

أطرافها كتلة نقطية (m) كما هو موضح في الشكل عندما تدور حول محور

عمودي يمر من المركز  $(I = \frac{1}{12} ML^2)$ ، حيث  $(m = M)$

س٧: يدور إطار قصوره الدوراني  $(I = 0.1 \text{ kg.m}^2)$  بسرعة زاوية (900 rev/min)، عندما يُوصَل بمحور دورانه إطار

آخر ساكن قصوره الدوراني (2 I)، احسب:

أ - السرعة الزاوية للإطارين معاً. ب - مقدار التغير في الطاقة الحركية للنظام.





## أسئلة الوحدة

س1: ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. اصطدم جسم كتلته (m) وسرعته (v) تصادماً عديم المرونة مع جسم آخر ساكن كتلته 3 أمثال الأول، فإن الطاقة الضائعة نتيجة التصادم تساوي:

أ)  $\frac{1}{2} mv^2$       ب)  $\frac{1}{4} mv^2$       ج)  $\frac{1}{8} mv^2$       د)  $\frac{3}{8} mv^2$

2. كرة كتلتها (m) وسرعتها (v) اصطدمت بحائط، وارتدت عنه بثلاث سرعتها، ما الطاقة الضائعة؟

أ)  $\frac{1}{2} mv^2$       ب)  $\frac{1}{4} mv^2$       ج)  $\frac{3}{8} mv^2$       د)  $\frac{4}{9} mv^2$

3. سيارة كتلتها 1200 kg تسير بسرعة 20 m/s انخفضت سرعتها إلى 8 m/s وفي الاتجاه نفسه في زمن قدره 36 s، ما متوسط القوة المؤثرة عليه بوحدة النيوتن؟

أ) 4      ب) 40      ج) 400      د) 800

4. جسمان A, B كتلة B أربعة أمثال كتلة A والطاقة الحركية لهما متساوية فإن:

أ)  $v_A = 4v_B$       ب)  $v_A = v_B$       ج)  $v_A = \frac{1}{2} v_B$       د)  $v_A = 2 v_B$

5. عند مضاعفة الطاقة الحركية لجسم زخمه الخطي 16 kg.m/s بمقدار 4 مرات بثبوت الكتلة فإن الزخم بوحدة kg.m/s يصبح

أ) 16      ب) 4      ج) 64      د) 32

6. قوتان  $F_1, F_2$  تؤثران على جسم، إذا كانت  $F_1 = 3F_2$  وينتج عنهما كمية الدفع نفسها، فإن زمن تأثير  $F_1$  يساوي:

أ) زمن تأثير  $F_2$       ب) 3 أضعاف زمن تأثير  $F_2$

ج)  $\frac{1}{3}$  زمن تأثير  $F_2$       د) 9 أضعاف زمن تأثير  $F_2$

7. أثرت قوة مقدارها 20 N على جسم كتلته 5 kg لمدة 4 s، فإن التغير في سرعته بوحدة m/s يساوي:

أ) 3      ب) 6      ج) 16      د) 26

8. إذا مثلت العلاقة بيانياً بين الدفع المؤثر على جسم على محور الصادات، والتغير في السرعة على محور السينات، ماذا يمثل ميل المنحنى؟

أ) الزخم      ب) كتلة الجسم      ج) التسارع      د) القوة المؤثرة

9. اصطدم جسم كتلته 3 kg أفقياً بحائط رأسي بسرعة 15 m/s، وارتد عن الحائط بسرعة 10 m/s فيكون التغير في الزخم الجسم يساوي بوحدة kg.m/s:

- أ) 10      ب) 75      ج) 25      د) 30

10. كتلتان متماثلتان تتحركان باتجاهين متعاكسين بالسرعة نفسها، فإن زخم النظام:

- أ) mv      ب) 2mv      ج) 0      د)  $\frac{1}{2}mv$

11. ينزلق متزلج كتلته (40 kg) على الجليد بسرعة مقدارها (2 m/s) اصطدم بزلاجة ثابتة كتلتها (10 kg) على الجليد. وواصل المتزلج انزلاقه مع الزلاجة في نفس اتجاه حركته الأصلي، ما مقدار السرعة المشتركة لهما بعد التصادم مباشرة بوحدة (m/s)؟

- أ) 0.4      ب) 0.8      ج) 1.6      د) 3.2

12. يقف متزلج كتلته (45 kg) على الجليد في حالة سكون، رمى إليه صديقه كرة كتلتها (5 kg)، فانزلقا معا إلى الورا بسرعة مقدارها (0.5 m/s)، ما مقدار سرعة الكرة قبل أن يمسكها المتزلج مباشرة بوحدة (m/s)؟

- أ) 2.5      ب) 3      ج) 4      د) 5

13. ما فرق الزخم الخطي بوحدة (kg.m/s)، بين شخص كتلته (50 kg) يجري بسرعة مقدارها (3 m/s)، وشاحنة كتلتها (3000 kg) تتحرك بسرعة مقدارها (1 m/s)؟

- أ) 1275      ب) 2550      ج) 2850      د) 2950

14. أثرت قوة مقدارها (16 N) في حجر بدفع مقداره (0.8 kg.m/s) مسببة حركة الحجر على الأرض بسرعة مقدارها (0.8 m/s). ما كتلة الحجر بوحدة الكيلو غرام؟

- أ) 0.2      ب) 0.8      ج) 1      د) 1.6

15. كرة مصممة نصف قطرها (10 cm) وكتلتها (1 kg) والقصور الدوراني لها ( $I = \frac{2}{5}mr^2$ )، فكم تساوي سرعتها الزاوية بوحدة (rad/s) عندما يبلغ زخمها الزاوي ( $L = 5 \times 10^{-2} \text{ kg.m}^2.\text{rad/s}$ ) حول محور مار من مركزها؟

- أ) 25      ب) 12.5      ج) 2      د)  $2 \times 10^{-2}$

16. يدور إطار قصوره الدوراني (I) بسرعة زاوية ( $\omega_1$ )، عندما يوصل بمحور دورانه إطار آخر ساكن قصوره الدوراني (3 I). ما العلاقة التي تصف السرعة الزاوية للنظام ( $\omega_2$ )؟

- أ)  $\omega_1 = \omega_2$       ب)  $\omega_1 = 2 \omega_2$       ج)  $\omega_1 = 3 \omega_2$       د)  $\omega_1 = 4 \omega_2$

17. ما القصور الدوراني بوحدة  $(\text{kg} \cdot \text{m}^2)$  لأربع كتل متماثلة قيمة الواحدة منها  $(5 \text{ kg})$  موضوعة على رؤوس مربع طول ضلعه  $(0.5 \text{ m})$  بالنسبة لمحور عمودي عليه في مركزه؟

- أ) 0.125      ب) 1.25      ج) 2.5      د) 5

18. مسطرة طولها  $(50 \text{ cm})$  وكتلتها  $(0.2 \text{ kg})$  ما الزخم الزاوي للمسطرة عندما تدور بسرعة زاوية  $(\omega = 3 \text{ rad/s})$  حول محور عمودي عند الطرف (استعن بالجدول 1)؟

- أ) 0.25      ب) 0.05      ج) 0.75      د) 1

19. جسمان A، B، لهما القصور الدوراني نفسه، إذا كان زخم A الزاوي مثلي زخم B الزاوي فإن:

- أ)  $K_A = 2K_B$       ب)  $K_A = 4K_B$       ج)  $K_A = \frac{1}{2} K_B$       د)  $K_A = \frac{1}{4} K_B$

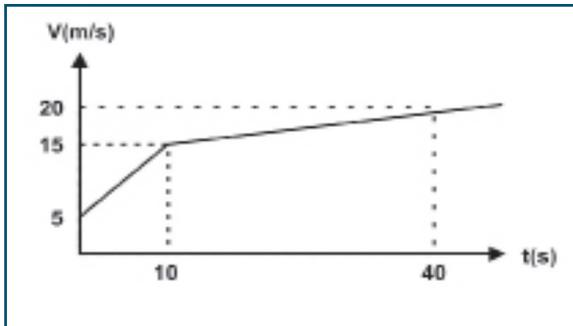
20. جسمان (A , B) فإذا كان  $(I_B = 2 I_A)$  وكان  $(K_B = 8 K_A)$  فكم يساوي الزخم الزاوي  $(L_B)$  ؟

- أ)  $2 L_A$       ب)  $4 L_A$       ج)  $8 L_A$       د)  $16 L_A$

س2: اصطدمت كتلة مقدارها  $50 \text{ g}$  تسير بسرعة  $5 \text{ m/s}$  بجدار ، وارتدت عنه بطاقة حركية تعادل ربع طاقتها الحركية الابتدائية وعلى الخط نفسه . احسب كلاً من:

1-الدفع المؤثر على الكرة

2- متوسط قوة دفع الجدار للكرة إذا كان زمن التصادم  $0.02 \text{ s}$

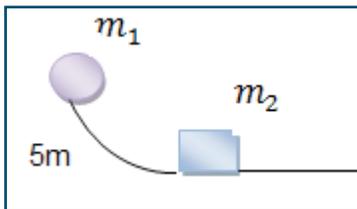


س3: الشكل المقابل يمثل العلاقة البيانية بين السرعة والزمن

لحركة جسم كتلته  $2 \text{ kg}$  . احسب كلاً من:

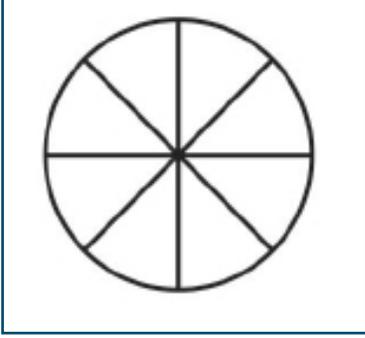
1-الدفع المؤثر على الجسم خلال  $40 \text{ s}$

2-قوة الدفع خلال  $10 \text{ s}$



س4: تنزلق كتلة  $5 \text{ kg}$  من السكون من ارتفاع  $5 \text{ m}$  على مسار أملس، وعند أسفل المسار تصطدم اصطداماً مرناً بكرة أخرى ساكنة كتلتها  $10 \text{ kg}$ ، جد أقصى ارتفاع تصل إليه الكتلة الأولى  $m_1$  بعد الاصطدام مباشرة.





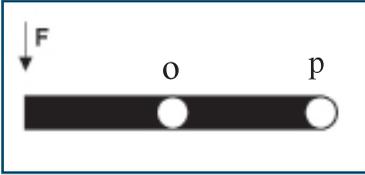
س5: عجلة الدراجة الهوائية الموضحة في الشكل المجاور، طول قطرها (60 cm) وكتلة محيطها (1 kg) وكتلة كل قطر فيها (0.4 kg) وتدور بسرعة زاوية ( $\omega = 1 \text{ rev/s}$ ). احسب كلاً من:

- القصور الدوراني.
- الزخم الزاوي.
- طاقة الحركة الدورانية لها.

إذا كانت تدور حول محور عمودي عليه عند مركزها.

س6: يقف رجل على منصة تدور بسرعة زاوية (1 rev/s) حاملاً في يديه الممدودتين كتلتين متماثلتين، ثم يضم يديه لصدره ليتناقص قصوره الدوراني من ( $6 \text{ kg.m}^2$ ) إلى ( $2 \text{ kg.m}^2$ )، احسب ما يأتي:

- أ - سرعته الزاوية بعد ضم يديه لصدره.
- ب - التغير في طاقته الحركية.



س7: مسطرة طولها (1 m) وكتلتها (0.3 kg) ، تؤثر عليها قوة عمودية (5 N) عند أحد أطرافها، فإذا دارت في مستوى أفقي حول محور عمودي يمر من مركزها (O) مرة وحول محور عمودي يمر بطرفها الآخر (P) مرة ثانية، كما هو موضح في الشكل المجاور. احسب التسارع الزاوي عند كل محور من محاور الدوران.





## اختبار

من: 1. ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لتفقرات الآتية:

1. جسمان X ، Y لهما نفس الكتلة، إذا كانت  $K_x = 4 K_y$  فإن P x تساوي :

- أ .  $\sqrt{2} P_y$       ب .  $\frac{1}{2} P_y$       ج .  $2 P_y$       د .  $4 P_y$

2. أطلقت كرة كتلتها ( m ) سقوطاً حراً فوصلت الأرض بسرعة ( 3 v ) وولدت رأسيًا إلى أعلى بسرعة ( 2 v ) فإن دفع الأرض على الكرة يساوي :

- أ .  $5 m v$  لأعلى      ب .  $m v$  لأعلى      ج .  $m v$  لأسفل      د .  $5 m v$  لأسفل

3. جسمان a ، b حيث (  $m_a = 2 m_b$  ) تتحركان نحو بعضهما بسرعة متساوية ( v ) لكن باتجاهين متعاكسين:

- أ . دفع a على b أكبر من دفع b على a      ب . دفع a على b أقل من دفع b على a

- ج . دفع a على b يساوي دفع b على a      د . دفع a على b يساوي ويعكس دفع b على a

4. جسم كتلته ( m ) يتحرك على خط مستقيم بسرعة ثابتة مقدارها ( v ) ، فإذا تضاعفت طاقة حركته فإن زخمه يساوي :

- أ .  $P_2 = \frac{1}{2} P_1$       ب .  $P_2 = \sqrt{\frac{1}{2}} P_1$       ج .  $P_2 = 2 P_1$       د .  $P_2 = \sqrt{2} P_1$

5. إذا كانت محصلة القوى المؤثرة في جسم كتلته 5 Kg تساوي 50 N وألقت على الجسم لمدة 1 s فإن التغير في سرعة الجسم تساوي:

- أ .  $5 m/s$       ب .  $10 m/s$       ج .  $25 m/s$       د .  $50 m/s$

6. يتحرك جسم نحو المحور السيني الموجب بزخم P ، فإذا أُلقيت عليه قوة فأصبح زخمه 4P نحو المحور السيني السالب فإن دفع محصلة القوى عليه تساوي :

- أ .  $3P$  نحو السيني الموجب      ب .  $3P$  نحو السيني السالب  
ج .  $5P$  نحو السيني الموجب      د .  $5P$  نحو السيني السالب

7. تتحرك كرتان متماثلتان نحو بعضهما وعلى خط مستقيم بسرعتين ( 1 m/s ، 2 m/s ) ، إذا اصطمت الكرتان معاً وكرتا جسمًا واحدًا بعد التصادم وتحرك على نفس الخط ، فإن مقدار السرعة المشتركة للكرتين هو:

- أ .  $3/2 m/s$       ب .  $1 m/s$       ج .  $3 m/s$       د .  $1/2 m/s$

8- إذا كان القصور الدوراني لمسطرة مربعة طولها 1m وكتلتها 4kg حول محور عمودي عند المركز  $I_1 = \frac{1}{12} ML^2$

والقصور الدوراني لها حول محور عمودي عند أطراف  $I_2 = \frac{1}{3} ML^2$  فما النسبة  $I_1 : I_2$

- أ . 1:10      ب . 3:4      ج . 1:8      د . 1:4



9. تدور الأرض حول محورها مرة واحدة يوميا بسرعة زاوية  $\omega$  افترض أن محيطها الزاوية أصبحت  $(\frac{1}{4}\omega)$  وباعتبار أن كثافة الأرض متجانسة وكثافتها ثابتة مثلما حدث لتسطر الأرض في الحالة الإكراهية علما أن  $(I = \frac{2}{5}mr^2)$ .

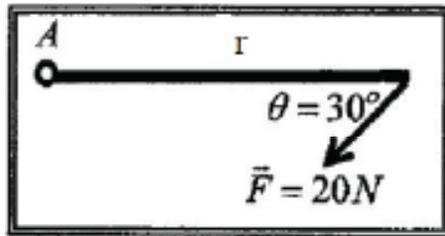
أ. ثم يتغير ب. أصبح مكثي ما كان عليه ج. انكسر إلى النصف د. انكسر إلى الربع

10. ما القصور الدوراني بوحدة  $kg \cdot m^2$  لأربع كتل متساوية قيمة الواحد منها  $3kg$  موضوعة على رؤوس مستطيل أبعده  $(30\text{ cm} - 40\text{ cm})$  بالنسبة لمحور عمودي عليه في مركزه

أ. 0.3 ب. 0.75 ج. 1.08 د. 1.92

11. يدور إطار عزمه الدوراني  $I$  بسرعة زاوية  $\omega_1$  علما يوصل بمحور دورانه إطار آخر مائل قصوره الدوراني  $3I$  ما العلاقة التي تصف السرعة الزاوية للثلاث:

أ.  $\omega_1 = \omega_2$  ب.  $\omega_1 = 2\omega_2$   
ج.  $\omega_1 = \frac{1}{2}\omega_2$  د.  $\omega_1 = 4\omega_2$



12. أقرت قوة مقدارها  $20\text{ N}$  على ساق متجانسة كتلة للدوران حول النقطة A كما هو مبين بالشكل، فإذا كان مقدار عزم القوة المؤثر على الساق يساوي  $25\text{ N}\cdot\text{m}$  فإذن طول ذراع القوة (d) بوحدة المتر يساوي:

أ. 0.4 ب. 0.8 ج. 1.25 د. 2.5

س2: أطلقت رصاصة كتلتها  $g$  و  $20$  من بندقية كتلتها  $3\text{ Kg}$  فركلت بسرعة مقدارها  $2\text{ m/s}$  ، احسب :

1. سرعة انطلاق الرصاصة . 2. الدفع المؤثر على الرصاصة .

س3: كرة كتلتها  $1\text{ kg}$  سقطت نحو حائط بسرعة  $10\text{ m/s}$  فارتدت بعد أن فقد  $19\%$  من طاقتها الحركية وبعد أن أمسته لمدة  $0.1\text{ s}$ ، احسب:

1. سرعة ارتداد الكرة 2. الدفع من الحائط على الكرة

3. التغير في كمية تحرك الجدار 4. متوسط قوة دفع الحائط على الكرة

س4: جسم كتلته  $2\text{ Kg}$  تصادم تصادماً مرئياً مع جسم آخر مائل، ويستمر بعد التصادم بنفس الاتجاه حركته بسرعة تساوي ربع سرعته الأولى، احسب سرعة الجسم الأخر.

س5: كرتان كتلتها  $2\text{ Kg}$  و  $3\text{ Kg}$  وسرعاتهما  $(7, 3)$  على الترتيب وتسيران باتجاه متعاكس حصل بينهما تصادم فكان مقدار الدفع على كل منهما  $18\text{ N}\cdot\text{s}$ ، احسب:

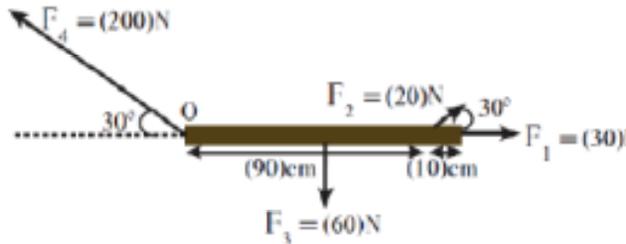
1. سرعة كل منهما بعد التصادم . 2. نوع التصادم .

س6: جسم ساكن كتلته 2 Kg تلقي دحاً مقداره 4 N.S فكتسب سرعة تحرك بها في خط مستقيم اعظم جسم آخر ساكن كتلته 3 Kg فبدأ بالتحرك الجسمان لحظة التصادم وتحركا معاً كجسم واحد ، احسب :-

1. لسرعة المشتركة للجسمين بعد التصادم .
2. مقدار الطاقة الحركية المفقدة نتيجة التصادم .

س7: عمال متجانسة طولها 100 cm وزنها 60 N في

فيها ثلاث قوى كما في الشكل:



1. احسب مقدار عزم القوة لكل من القوى الأربع حول محور الدوران ( O ) وحدد اتجاهها .

2. احسب محصلة العزم على المسانق الناتج من تأثير القوى الأربع .

س8: كتلتان ثقيلتان للوزن حول محور ثابت، لهما مقدار العصور الدوراني نفسه ويساوي  $4 \times 10^{-3} \text{ Kg.m}^2$  ، كتور الكتلة الأولى بسرعة زاوية 10 rad/s ، بينما كتور الكتلة الثانية بسرعة زاوية 15 rad/s بالاتجاه المعكس ، احسب: اقزم اقزوي للتعلم حول محور الدوران.

س9: عجلة قطرها 0.72 m وزم قصورها الدوراني  $4.8 \text{ Kg.m}^2$  ، أُرثت في حافتها قوة مقدارها 10 N

فبدأت الحركة من السكون، احسب بعد مرور نقيقتين:

1. طاقة تحركية الدورانية.

2. عدد الدورات التي صنعها العجلة.

س10: يالغ ولد كتلته 45 Kg على حافة منضخة بوزن كتلتها 200 Kg ونصف قطرها 3 m كتور هذه المنضخة بسرعة زاوية ثابتة مقدارها 4 rad/s ، وأن القصور الدوراني للقراص (  $I = \frac{1}{2} m r^2$  ) ، احسب السرعة الزاوية للمنضخة التتارة حين يالغ الولد على بعد 1.5 m من محور المنضخة .

