أولمبياد العلوم و الرياضيات الوطني "نسمو"

الحقيبة التدريبية لمسار الفيزياء
مسابقـة الفرق الـوطنية 2026م

الفيزيـاء

المحتويات

مقدمة

حتى هذه المرحلة، تم تناول دراسة الحركة في المقام الأول من خلال تحليل القوى المؤثّرة في الأجسام. هناك صياغة بديلة، وغالباً ما تكون أكثر عمومية، تتمثّل في وصف الحركة من حيث كميّتَي الطاقة (موضوع هذا الفصل) والزخم (الذي سيُناقش في الفصل التالي). تكمن الأهمية الأساسية لهاتين الكميّتين في حفظهما داخل أنظمة فيزيائية معيّنة؛ أي إنّ مجموع قيمهما الكلية يبقى ثابتًا في ظلّ نطاق واسع من الظروف. إنّ وجود كميات محفوظة كهذه يوفّر أدوات تحليلية قوية لمعالجة المسائل الفيزيائية المعقّدة.

تُعَدّ مبادئ حفظ الطاقة والزخم ضروريةً على وجه الخصوص في دراسة الأنظمة المكوّنة من العديد من الجسيمات المتفاعلة، حيث يصبح التحليل القائم على القوى تفصيليًا ومعقّدًا إلى حدٍّ قد يجعله غير عملي أو حتى مستحيلاً. وتتميّز هذه القوانين بعموميةٍ مذهلة، إذ تنطبق على مدى واسع من الظواهر الفيزيائية من الأنظمة الميكانيكية الماكروسكوبية إلى المجالات الذرّية وتحت الذرّية حيث لا تعود الميكانيكا النيوتونية كافية لوصفها بدقّة.

يُكرس هذا الفصل لاستكشاف متعمّق لمفهوم الطاقة وللكمية المرتبطة بها ارتباطًا وثيقًا، وهي الشغل .كلٌّ من الطاقة والشغل كميّة عددية (قياسية) تُوصَف بالمقدار فقط دون أيّ اعتمادٍ على الاتجاه. وغالباً ما يجعل هذا الطابع العددي من السهل تحليلها مقارنةً بالكميات المتجهة مثل القوة والتسارع، مع بقائها قادرةً على التعبير عن الجوهر الفيزيائي الذي يحكم سلوك الأنظمة الميكانيكية وتحولاتها.

الفصل 1. الشغل و الطاقة

1.1 الشغل

في اللغة اليومية، يمكن أن يحمل مصطلح الشغل معاني متعددة، لكن في الفيزياء له تعريف محدّد ودقيق. في المصطلح الفيزيائي، يعبّر الشغل عمّا يتم إنجازه عندما تؤثر قوة على جسم فتتسبب في إزاحته.

ولغرض التوضيح، سنقتصر على الحركة الانتقالية فقط، مع افتراض أن الجسم يتصرف كـ جسم صلب لا يتعرض لتشوّه داخلي، ويمكن اعتباره جسيمًا واحدًا. وبناءً على هذه الفرضية

1.1.1 الشغل المبذول بقوة ثابته

يعرف الشغل المبذول على جسم بفعل قوة ثابتة أي قوة تبقى ثابتة في المقدار والاتجاه بأنه حاصل ضرب مقدار الإزاحة في مركبة القوة الموازية للإزاحة.

ويُعبَّر عن هذه العلاقة رياضيًا بالصيغة:

$$W = F_{\parallel} d$$

حيث $F_{\parallel}$هي المركبة الموازية للإزاحة للقوة الثابتة F، وd هو مقدار الإزاحة.

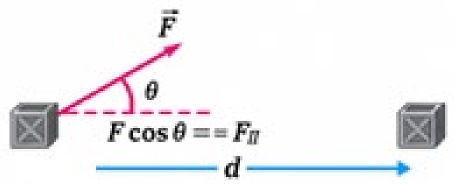
ويمكن أيضًا كتابة العلاقة على النحو الآتي:

$$W = Fd\cos\theta \qquad (1)$$

حيث Fهو مقدار القوة المؤثرة، وd هو مقدار الإزاحة، وθ هو الزاوية بين اتجاهي القوة والإزاحة. وتضمن دالة جيب التمام (cos) أن الجزء الموازي من القوة لحركة الجسم فقط هو الذي يساهم في الشغل المبذول.

إن الشغل كمية عددية (قياسية)، أي أنه يمتلك مقدارًا فقط دون اتجاه. ومع ذلك، يمكن أن يكون موجبًا أو سالبًا تبعًا لما إذا كانت مركبة القوة تعمل في اتجاه الإزاحة أو في الاتجاه المعاكس لها.

وعند دراسة الشغل والقوى، من الضروري تحديد أي قوة تقوم ببذل الشغل وعلى أي جسم. وفي الأنظمة التي تؤثر فيها قوى متعددة، يجب التمييز بين الشغل الذي تبذله كل قوة على حدة، والشغل الكلي (الصافي) الذي تبذله القوة المحصّلة على الجسم.

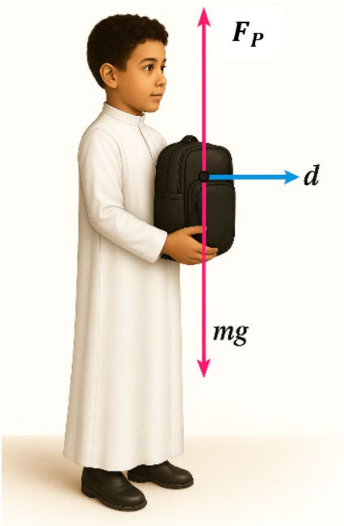


التحقق من المفهوم

يرفع طالب حقيبة كتلتها m مسافة رأسية h بسرعة ثابتة ويمشي أفقيا إزاحة $\vec{d}$، ما هو:

(ا) الشغل الكلي المبذول بوسطة mg على الحقيبة،

(ب) الشغل المبذول بواسطة القوة $\vec{F}_P$ ؟



ملاحظات مهمة:

- الشغل كمية قياسية (عددية) ليس لها اتجاه، ولكن مقدارها قد يكون سالب أو موجب.

-الشغل وسيلة لنقل الطاقة من وإلى الجسم،

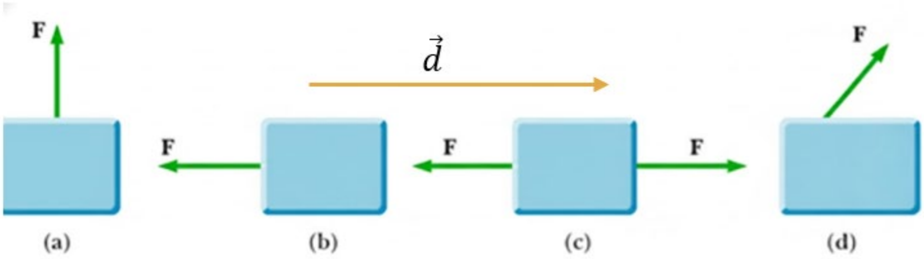
يكون الشغل موجباً: إذا كان للقوة مركبة في اتجاه الحركة، وبالتالي تزيد سرعة الجسم (طاقته الحركية)، وتنتقل طاقة للجسم.

يكون الشغل سالباً: إذا كان للقوة مركبة عكس اتجاه الحركة، وبالتالي تقلل سرعة الجسم (طاقته الحركية)، وتنتقل طاقة من الجسم.

فكر:

يوضح الشكل أربع حالات يتم فيها تطبيق قوة على جسم. في جميع الحالات الأربع: يكون للقوة المقدار نفسه والإزاحة تحدث إلى اليمين وبنفس المقدار.رتب الحالات بالترتيب من حيث الشغل المبذول بواسطة القوة المؤثرة على الجسم، من الأكثر إيجابية إلى الأكثر سلبية.

لاحظ أن الشغل الموجب يعني نقل طاقة للجسم والعكس



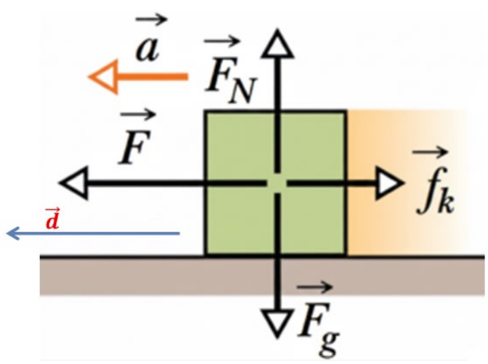
1.1.2 الشغل المبذول بقوة الاحتكاك الحركي

تبذل قوة الاحتكاك الحركي شغلا سالباً لأن اتجاهها يكون معاكساً لاتجاه الإزاحة

شغل قوة الاحتكاك الحركي:

$$W_k = -f_k d \qquad (2)$$

حيث d هي طول المسار المحتك مهما كان شكله (مستقيم أو غير ذلك).



توجيهات لحل المسائل:

1)ارسم مخطط جسم حر مظهراً القوى المؤثرة جميعها في الجسم المراد دراسته.

2)اختر نظاماً إحداثياً مناسباxy ، من المناسب أن تختار اتجاه أحد المحاور موازياً لاتجاه إحدى القوى المؤثرة في الجسم المتحرك، أو موازياً لاتجاه الحركة (أي من الممكن اختيار اتجاه أحد المحاور موازياً لاتجاه حركة الجسم على السطح المائل، وبذلك يكون المحور موازياً للسطح المائل).

3) طبق قوانين نيوتن لتحديد أي قوة مجهولة.

4)أوجد قيمة الشغل المبذول بواسطة أي قوة ثابتة باستخدام$W = Fd\cos\theta$ مع مراعاة كون الشغل سالباً عندما تعاكس القوة اتجاه الإزاحة.

5) لحساب محصلة الشغل المبذول على الجسم عليك أن:

أ) تعمل على إيجاد الشغل المبذول بواسطة كل قوة على حدة، ومن ثم تقوم بجمعها حسابياً.

ب) تعمل على إيجاد محصلة القوى المؤثرة في الجسم F_{net} ، ومن ثم تحسب محصلة الشغل المبذول في حالة القوة الثابتة فتكون: $W = Fd\cos\theta$

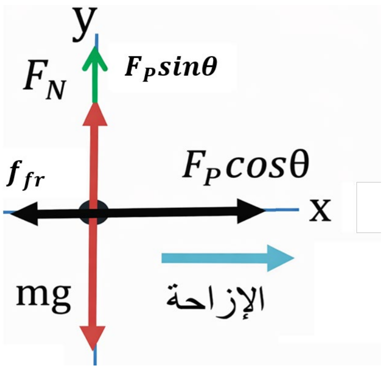
مثال 1.1

يسحب رجل صندوقا كتلته $50kg$ مسافة 40m على أرضية أفقية بقوة ثابتة مقدارها 100N وبزاوية 37درجة، الأرضية خشنة وتمارس قوة احتكاك 50N.

(أ) أحسب الشغل الذي تقوم به كل قوة على الصندوق

ب) حدد محصلة الشغل المبذول على الصندوق.

الحل:



الشغل المبذول عن قوة الجاذبية mg والقوة العمودية F_N صفرا، الان القوتين متعامدتين على الازاحة (cos90=0).

$$W_g = 0 \quad W_N = 0$$

لشغل الناتج عن قوة السحب $W_P = F_P d\cos\theta = 3.2 \times 10^3 J$

شغل قوة الاحتكاك $W_{fr} = F_{fr} d\cos 180 = -1.2 \times 10^3 J$

صافي الشغل:

$$W_{net} = W_g + W_N + W_P + W_{fr} = 1.2 \times 10^3 J$$

أو عن طريق القوة المحصلة

حيث الازاحة في التجاه الراسي صفر، إذا الشغل فقط ناتج عن القوى الأفقية

$$F_{net(x)} = F_P d\cos\theta + F_{fr} d\cos 180 = 30N$$
$$W_{net} = F_{net(x)} \mathrm{d} = 30N \times 40m = 1.2 \times 10^3 J$$

تدريب 1.1

يتحرك جسمٌ كتلته $m = 20.0$ kgعلى سطحٍ أفقيٍّ خشنٍ بسرعةٍ ثابتةٍ، تحت تأثير قوة ثابتة $\vec{F}$تميل بزاوية $\theta = 37.0°$فوق الاتجاه الأفقي.

إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح يساوي $\mu_k = 0.40$،

فاحسب الشغل الذي تبذله القوة عندما يقطع الجسم إزاحة مقدارها $d = 8.50$ m.

تدريب 1.2

أثناء عاصفةٍ هوائية، ينزلق صندوق أملس فوق بقعةٍ زيتية، بحيث تكون إزاحته معطاة بالعلاقة:

$$\vec{d} = (-3.0\,\mathrm{m})\,\hat{\imath}$$

وتؤثر عليه قوة ثابتة من الرياح مقدارها:

$$\vec{F} = (2.0\,\mathrm{N})\,\hat{\imath} + (-6.0\,\mathrm{N})\,\hat{\jmath}$$

احسب ما يلي:

1- مقدار القوة، مقدار الإزاحة، الزاوية بين متجهي القوة والإزاحة

2- الشغل الذي تبذله القوة على الصندوق أثناء الإزاحة:

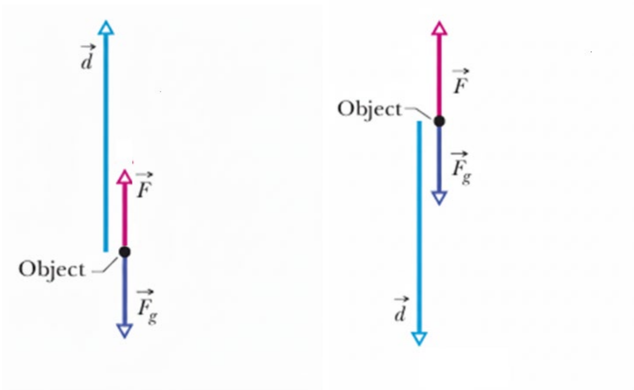
1.1.3 الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية

يوضح الشكل حالتين لحركة جسيم:

قوة مطبقة ترفع الجسيم، إزاحة الجسيم تصنع زاوية°180 مع قوة الجاذبية الأرضية.

قوة مطبقة تؤثر على الجسيم، إزاحة الجسيم تصنع زاوية°0 مع قوة الجاذبية الأرضية.

فسر الإشارات الموجبة والسالبة لشغل القوة المطبقة $\vec{F}$ وقوة الجاذبية الأرضية $\vec{F}_g$



جسم كتلته m يتحرك إزاحة عمودية على سطح الأرض d

في حالة ارتفاع الجسم: فإن الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية يكون سالب المقدار

$$W_g = mgd\cos(180) \qquad (3)$$

في حالة هبوط الجسم: فإن الشغل المبذول بواسطة قوة الجاذبية الأرضية موجب المقدار

$$W_g = mgd\cos(0) \qquad (4)$$

مثال 1.2

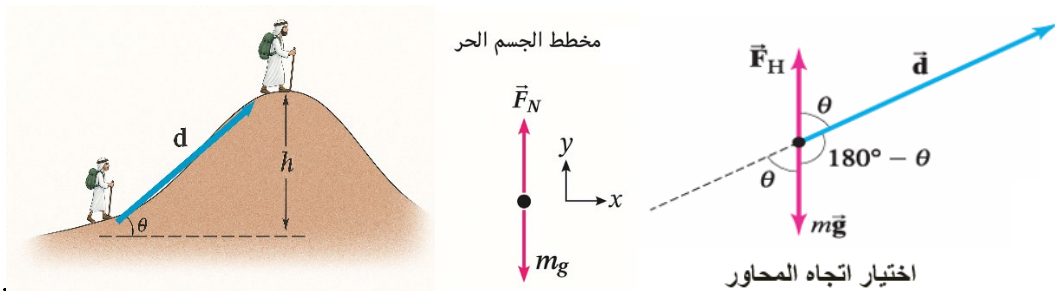
الشغل على الحقيبة: يحمل رجل حقيبة ظهر كتلتها $m = 15.0$ kg إلى أعلى تل بارتفاع رأسي مقداره $h = 10.0$ m، كما هو موضح في الشكل. افترض أن الحركة سلسة وتتم بسرعة ثابتة ($a = 0$). احسب:

(أ) الشغل الذي يبذله الرجل على الحقيبة W_{man}،

(ب) الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية W_g،

(ج) الشغل الصافي المبذول على الحقيبة W_{net}.

استخدم $g = 9.80$ m/s^2، وعبّر عن جميع النتائج العددية بالعدد الصحيح من الأرقام المعنوية



(أ) الشغل الذي يبذله الرجل على الحقيبة W_{man}

القوة المؤثرة إلى الأعلى في نفس اتجاه الإزاحة، إذًا:

$$W_{\text{man}} = F\,h\cos\,0° = Fh$$

وبما أن $F = mg$:

$$W_{\text{man}} = (15.0)(9.80)(10.0) = 1470\text{ J}$$

ومراعاةً للأرقام المعنوية:(3)

$$W_{\text{man}} = 1.47 \times 10^3\text{ J}$$

(ب) الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية على الحقيبة W_g

اتجاه قوة الجاذبية إلى الأسفل، أي عكس الإزاحة، لذلك الزاوية $\theta = 180°$:

$$W_g = F_g\,h\cos\,180° = -mgh$$
$$W_g = -(15.0)(9.80)(10.0) = -1470\text{ J}$$

وبالأرقام المعنوية

$$W_g = -1.47 \times 10^3\text{ J}$$

(ج) الشغل الصافي المبذول على الحقيبة W_{net}

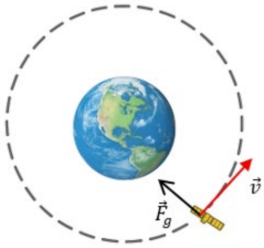
$$W_{\text{net}} = W_{\text{man}} + W_g$$
$$W_{\text{net}} = (1.47 \times 10^3) + (-1.47 \times 10^3) = 0$$

الاستنتاج:

لأن الحقيبة تتحرك بسرعة ثابتة (أي بدون تسارع)، فإن الشغل الموجب الذي بذله الرجل يعادل تمامًا الشغل السالب الذي تبذلـه الجاذبية، لذا يكون الشغل الصافي صفراً

التحقق من المفهوم

ما هو الشغل المبذول بواسطة قوة الجذب التي تؤثر بها الأرض على القمر الصناعي وتثبت القمر في مساره الدائري.



ملاحظة:

هذا هو السبب في أن القمر والأقمار الصناعية جميعها تستطيع البقاء في مداراتها الدائرية حول الأرض دون الحاجة إلى صرف أي كمية من الوقود، أي أنها لا تحتاج إلى بذل أي شغل ضد قوة الجاذبية الأرضية وهي في مداراتها.

1.1.4 الشغل المبذول بقوة متغيرة

يمكن حساب الشغل المبذول على جسم ما باستخدام قوة ثابتة بالاعتماد على المعادلة: $W = F\,d\,cos\theta$. غير أن الفكرة الأساسية للشغل تبقى صالحة حتى في الحالات التي تكون فيها القوة متغيّرة مقدارا أو اتجاها.

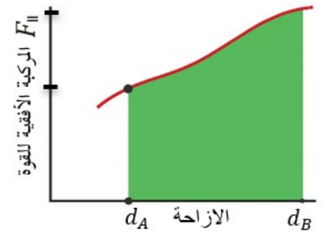
لكن في كثير من الحالات، لا تبقى القوة ثابتة، بل تتغير أثناء حركة الجسم، سواء في مقدارها أو في اتجاهها. على سبيل المثال:

- تقل قوة الجاذبية التي تؤثر على الصاروخ كلما ابتعد عن الأرض، لأنها تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة من مركز الأرض.
- تزداد قوة النابض كلما زادت استطالته.
- تتغير القوة عند دفع عربة أو صندوق على منحدر متغير الميل.

كل هذه الحالات تسمّى قوى متغيرة، أي أنّ القوة تتغير أثناء الإزاحة، ولذلك لا يمكننا استخدام معادلة الشغل للقوة الثابتة بشكل مباشر.

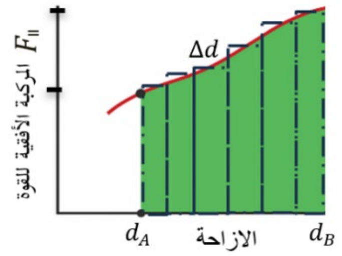
التمثيل البياني لحساب الشغل المتغير

نفترض أن القوة المؤثّرة على جسم ما ليست ثابتة، بل تتغير مع الإزاحة d. يمكن تمثيل مركبة القوة الموازية للإزاحة برسم بياني يوضح العلاقة بين $Fcos\theta$ وd، كما في الشكل.



لتقريب حساب الشغل، نقسم المسافة الكليّة إلى مقاطع صغيرة جدًا مقدار كل منها Δd . نفترض أن مقدار القوة في كل مقطع يساوي قيمة متوسّطة F_i، فيكون الشغل التقريبي لذلك المقطع $\Delta w = F_i\,\Delta d$ ويمثل ذلك هندسيًا بمساحة مستطيل صغير قاعدته Δd وارتفاعه F_i، بجمع الأشغال الجزئية لكل المقاطع نحصل على الشغل الكلّي، أي:

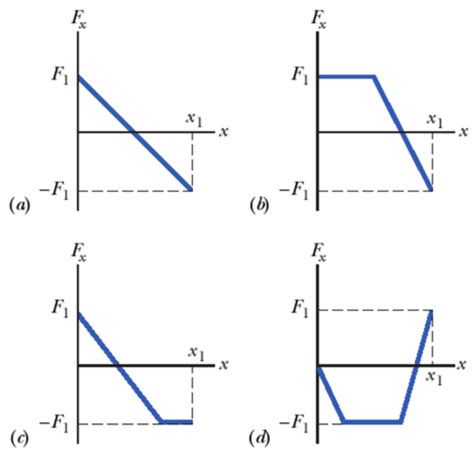
$$W = \sum F_i\,\Delta d \qquad (5)$$



نتيجة: حساب الشغل بيانيا يعادل المساحة المحصورة بين منحنى (مركبة القوة في اتجاه الحركة - الموضع) ومحور الموضع.

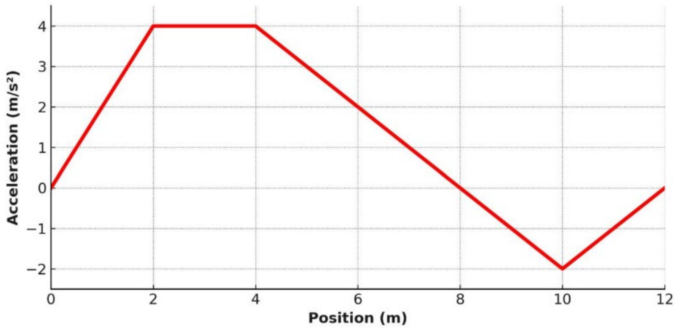
التحقق من المفهوم

أربعة رسوم بيانية (مرسومة بنفس المقياس) للمركبة F_x لقوة متغيرة (موجهة على طول المحور x مقابل الموضع x للجسيم الذي تعمل عليه القوة .رتب الرسوم البيانية وفقًا للشغل الذي تقوم به القوة المؤثرة على الجسيم من $x = 0$ إلى $x = x_1$ ، من الشغل الأكثر إيجابية أولاً إلى الشغل السالب الأكبر أخيراً.



تدريب 1.3

كتلة مقدارها 2.25kg تتحرك بالتسارع المبين في الرسم البياني. كم يبلغ الشغل المبذول على هذه الكتلة بواسطة محصلة القوى؟



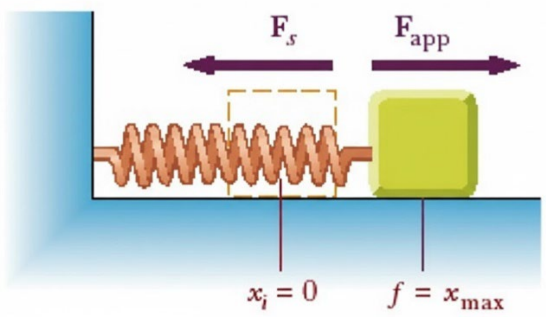
1.1.5 الشغل المبذول بواسطة نابض

نظام كتلة - نابض هو نظام فيزيائي شائع، وفيه تتغير القوة مع الموضع كما في الشكل. افترض ثقل على سطح أفقي أملس مربوط في نابض، إذا تم شد أو ضغط النابض لمسافة صغيرة من نقطة الاتزان بقوة خارجية F_{app} فإن النابض يؤثر على الثقل بقوة مقدارها:

$$F_S = -kx \qquad (6)$$

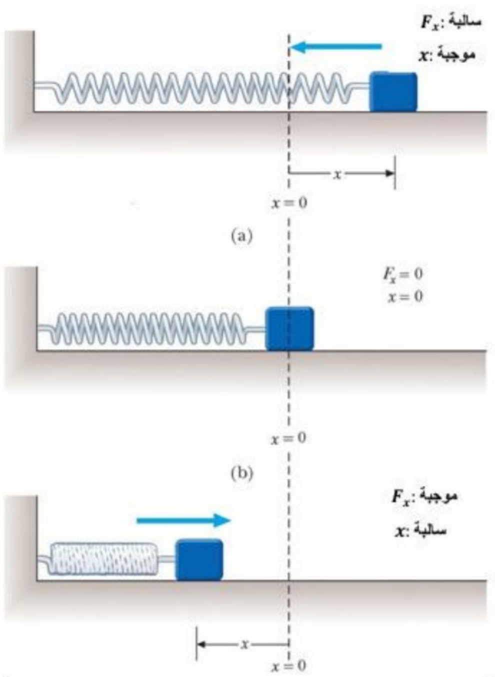
حيث x هي إزاحة الثقل من موضع سكونه $(x = 0)$ و k ثابت موجب يسمى ثابت القوة للنابض أو ثابت النابض.

لاحظ أن القوة الخارجية المستخدمة F_{app} تساوي وتضاد قوة النابض F_S عند أي لحظة.

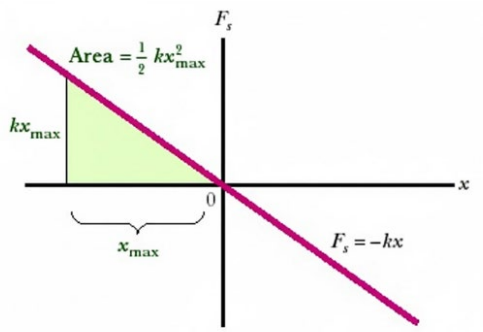


بصورة أخرى فإن القوة اللازمة لانبساط أو انضغاط نابض تتناسب مع مقدار الانبساط أو الانضغاط، يتحقق قانون القوة للنابض ويسمى قانون هوك فقط في الإزاحات الصغيرة، قيم k عبارة عن مقياس لصلابة النابض، النابض الصلب تكون قيمة k كبيرة والنابض الخفيف له قيمة k صغيرة، وكما يلاحظ من المعادلة فإن وحدة k هي N/m

وتعني الإشارة السالبة في المعادلة أن القوة F_S التي يؤثر بها النابض تكون دائما في عكس اتجاه الإزاحة x



$$W_{0\to x} = \frac{kx^2}{2}$$



الشغل يساوي المساحة تحت المنحنى

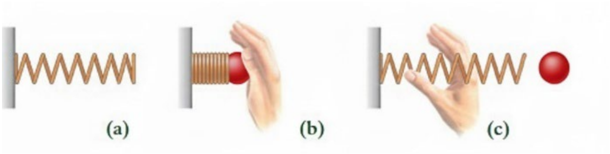
1.2 الطاقة

يعتبر مفهوم الطاقة أحد أهم الموضوعات في العلوم والهندسة، في حياتنا اليومية نرى الطاقة في صورة وقود لوسائل النقل والتدفئة، الكهرباء للإضاءة وتشغيل الأجهزة الكهربائية، والغذاء للاستهلاك. مع ذلك فإن كل هذه الأفكار لا تعرِّف الطاقة، إنها تخبرنا فقط أن الوقود مطلوب لأداء الأعمال وأن هذا الوقود يمدنا بشيء يطلق عليه الطاقة.

الطاقة: أحد مكونات العالم الطبيعي، وتتخذ أشكال متعددة، ويمكن أن تتحول من شكل لآخر.

ويمكن تعريفها (عند التعامل مع الطاقة الميكانيكية) بأنها القدرة على بذل الشغل، أو أنها شي يتسبب في تغيير ما يحيط به، وتقاس بوحدة الجول J

على سبيل المثال: يستطيع الزنبرك a أن يخزن طاقة مرنة عندما يتم ضغطه كما في الشكل b، ويستطيع أن يبذل شغلاً عندما يتحرر كما في الشكل c



1.2.1 الطاقة الحركية

نعني بها الطاقة التي يمتلكها الجسم بسبب حركته

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \tag{7}$$

حيث v : سرعة الجسم (m/s)

التحقق من المفهوم

رتب الثلاث السرعات التالية لجسيم بالنسبة للطاقة الحركية التي يملكها الجسيم لكل منها، الأكبر أولاً.

(a) $\vec{v} = -4\hat{\imath} + 4\hat{\jmath}$

(b) $\vec{v} = -3\hat{\imath} + 4\hat{\jmath}$

(c) $\vec{v} = \frac{5m}{s}.\ \theta = 30°.$

مثال 1.2

تصادم مباشر لقاطرتين: وضعت قاطرتان عند طرفي سكة حديد مستقيمة طولها $6.40\ km$. تبدأ كل قاطرة من السكون وتتحرك نحو الأخرى بتسارع ثابت مقداره

$$a = 0.26\ \text{m/s}^2.$$

وكان وزن كل قاطرة

$$W = 1.2 \times 10^6\ \text{N}.$$

بافتراض أن كل قاطرة تسارعت بانتظام من السكون عبر نصف طول السكة، احسب الطاقة الحركية الكلية للقاطرتين قبل لحظة التصادم مباشرة.

ايجاد الكتلة من الوزن

$$m = \frac{W}{g} = \frac{1.2 \times 10^6}{9.80} = 1.22 \times 10^5 \text{ kg}$$

إيجاد السرعة النهائية باستخدام معادلة الحركة

تبدأ القاطرتان من السكون، أي $v_i = 0$:

$$v^2 = v_i^2 + 2ad \Rightarrow v = \sqrt{2ad}$$
$$v = \sqrt{2(0.26)(3.20 \times 10^3)} = \sqrt{1664} = 40.8 \text{ m/s}$$

حساب الطاقة الحركية لكل قاطرة

$$K = \frac{1}{2}mv^2$$
$$K = \frac{1}{2}(1.22 \times 10^5)(40.8)^2$$
$$K = 0.5(1.22 \times 10^5)(1665) = 1.02 \times 10^8 \text{ J}$$

الطاقة الحركية الكلية للقاطرتين

$$K_{\text{total}} = 2K = 2(1.02 \times 10^8) = 2.04 \times 10^8 \text{ J}$$

1.2.2 نظرية الشغل وطاقة الحركة

اكتسب قانونا حفظ الطاقة والزخم الخطي أهمية واسعة، لسهولة تطبيقهما عند التعامل مع الأنظمة متعددة الأجسام، وخاصة عندما يكون التعامل مع القوة المسببة للحركة صعباً أو مستحيلاً، كما تجدر الإشارة هنا إلى أمكانية استخدام هذين القانونين أيضاً في مجالات الفيزياء المتعددة الأخرى، والذي من ضمنها علم الفيزياء الذرية بفروعه المختلفة، وتحديداً عند تعذر استخدام قوانين نيوتن للحركة، لعدم صلاحيتها تحت تأثير تلك الظروف.

من قانون نيوتن الثاني إذا ثرت محصلة قوى F_{net} (حيث F_{net} قوة ثابتة) على جسم كتلته m فإنها تكسبه تسارعا

$$a = \frac{v_f^2 - v_i^2}{2d} \qquad (8)$$

وبالتعويض $F_{net} = ma$ ونحدد الشغل المبذول على الجسم كما يلي

$$W_{net} = F_{net}d = m\left(\frac{v_f^2 - v_i^2}{2d}\right) \times d$$

$$W_{net} = F_{net}d = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) \qquad (9)$$

$$W_{net} = KE_f - KE_i \qquad (10)$$

تنص نظرية الشغل-طاقة الحركة على أن: الشغل الكلي المبذول من محصلة القوى $\sum F$ التي تؤثر على جسيم تساوي التغير في الطاقة الحركية للجسيم:

$$\sum W = KE_f - KE_i = \frac{1}{2}\, m(v_f^2 - v_i^2) \qquad (11)$$

ملاحظات مهمة:

-تستخدم نظرية الشغل- طاقة الحركة مع القوى الثابتة والمتغيرة.

- عندما نستخدم نظرية الشغل-طاقة الحركة يجب أن نأخذ في الاعتبار جميع القوى التي تبذل شغلاً على الجسم عند حساب الشغل الكلي المبذول.

-من هذه النظرية نلاحظ أن سرعة الجسيم تزداد إذا كان الشغل الكلي المبذول عليه موجباً لأن طاقة الحركة النهائية أكبر من طاقة الحركة الابتدائية.

- تتناقص سرعة الجسيم إذا كان الشغل الكلي المبذول سالباً لأن طاقة الحركة النهائية تكون اقل من طاقة الحركة الابتدائية.

مثال 1.3

سيارة كتلتها $m = 1.0 \times 10^3$ kg تتسارع بانتظام من سرعة ابتدائية $v_i = 15.0$ m/s إلى سرعة نهائية $v_f = 25.0$ m/s. احسب الشغل الصافي W_{net} اللازم لإحداث هذا التغير في الحركة.

الحل:

ينص مبدأ الشغل والطاقة على أن الشغل الصافي المبذول على جسم يساوي مقدار التغير في طاقته الحركية:

$$W_{\text{net}} = \Delta K = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

بالتعويض

$$W_{\text{net}} = \frac{1}{2}(1.0 \times 10^3)[(25.0)^2 - (15.0)^2]$$
$$W_{\text{net}} = 2.0 \times 10^5 \text{ J}$$

تدريب 1.4

يسقط جسم سقوطًا حرًا من حالة السكون، قاطعًا مسافة رأسية مقدارها d تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية فقط. برهن باستخدام العلاقات الرياضية أن الشغل الكلي المبذول على الجسم بواسطة قوة الجاذبية الأرضية يساوي الطاقة الحركية التي يكتسبها الجسم أثناء سقوطه.

التحقق من المفهوم

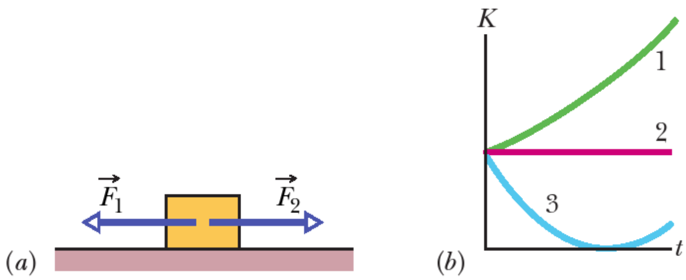
ينزلق جسم على سطح أفقي أملس نحو اليمين، وتؤثر عليه قوتان أفقيتان F_1 وF_2.يُظهر الشكل ثلاث منحنيات للطاقة الحركية K للجسم بدلالة الزمن t.

بناءً على الشكل، حدد أي من المنحنيات الثلاثة يمثل كلًّا من الحالات التالية:

(أ) عندما تكون القوتان متساويتين في المقدار $F_1 = F_2$.

(ب) عندما تكون القوة الأولى أكبر من الثانية $F_1 > F_2$.

(ج) عندما تكون القوة الأولى أصغر من الثانية $F_1 < F_2$.



1.2.3 طاقة الوضع

هي طاقة مصاحبة لمجموعة من الأجسام التي تؤثر بقوى متبادلة بينها، وترتبط بقوى محافظة مثل:

طاقة الوضع الجاذبية: وتصاحب نظام مكون من الأرض وجسم، وترتبط بقوة الجاذبية الأرضية (قوة محافظة).

طاقة الوضع المرونية: وتصاحب نظام مكون من نابض وكتلة مربوطة فيه، وترتبط بقوة النابض (قوة محافظة).

ويمكن اعتبار طاقة الوضع كطاقة مخزونة والتي قد يمكنها بذل شغل أو تحول إلى طاقة حركة.

1.2.4 طاقة الوضع الجاذبية

طاقة يكتسبها الجسم بسبب ارتفاعه أو انخفاضه عن مستوى إسناد معين (مثل سطح الأرض) بإزاحة رأسية y

$$PE_g = mgy \qquad (12)$$

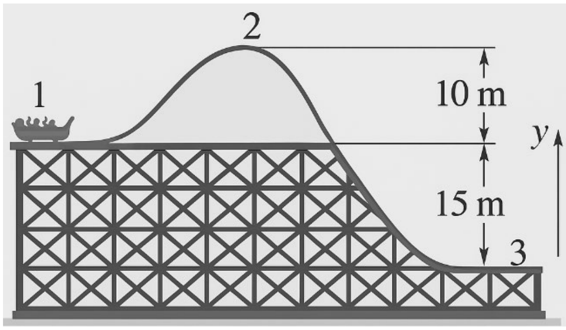
المعادلة صحيحة فقط للأجسام القريبة من سطح الأرض حيث تكون قيمة g ثابتة تقريباً

مثال 1.4

تتحرك عربة أفعوانيه كتلتها $m = 1.00 \times 10^3$ kg من النقطة (1) إلى النقطة (2)، ثم إلى النقطة (3).

(أ) احسب طاقة الوضع الجاذبية للعربة عند النقطتين (2) و(3) بافتراض أن مستوى الإسناد هو عند النقطة (1)، أي $y = 0$ عند النقطة (1).

(ب) احسب التغير في طاقة الوضع الجاذبية عندما تنتقل العربة من النقطة (2) إلى النقطة (3).



الحل:

(أ) حساب طاقة الوضع الجاذبية عند النقطتين (2) و(3):

كتلة عربة الأفعوانية $m = 1.00 \times 10^3$ kg، وتسارع الجاذبية $g = 9.8 m/s^2$.

يُؤخذ مستوى الإسناد عند النقطة (1) حيث $y_1 = 0$.

من الشكل، ارتفاع النقطة (2) هو $y_2 = 10.0$ m، بينما تقع النقطة (3) أسفل المرجع بمقدار $y_3 = -15.0$ m.

إذن:

$$PE_2 = mgy_2 = (1.00 \times 10^3)(9.80)(10.0) = 9.80 \times 10^4 \text{ J}$$
$$PE_3 = mgy_3 = (1.00 \times 10^3)(9.80)(-15.0) = -1.47 \times 10^5 \text{ J}$$

(ب) حساب التغير في طاقة الوضع الجاذبية:

$$\Delta PE = PE_3 - PE_2 = (-1.47 \times 10^5) - (9.80 \times 10^4) = -2.45 \times 10^5 \text{ J}$$

إشارة السالب تدل على أن طاقة الوضع نقصت بمقدار 2.45×10^5 J.

أي أن العربة فقدت جزءًا من طاقتها الموضعية، وتحولت هذه الطاقة إلى طاقة حركية أثناء نزولها من النقطة (2) إلى النقطة (3).

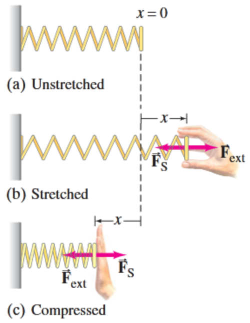
تدريب 1.5

في مثال السابق أعد حل الجزأين السابقين مع أخذ النقطة المرجعية $(y = 0)$ عند النقطة 3، هل يتغير الناتج، ماذا تستنتج؟

1.2.5 طاقة الوضع المرونية

طاقة تختزن في النابض بسبب انضغاطه أو انبساطه عن موضع اتزانه بمقدار x

$$PE_s = \frac{1}{2} kx^2 \quad (13)$$



مثال 1.5

نابض ثابت القوة له kأثرت عليه قوة F فاستطال بمقدار x. ثم أثرت علية قوة جديدة $2F$. ما نسبة طاقة الوضع المرونية الجديدة إلى الطاقة المرونية السابقة. فسر النتيجة التي توصلت لها.

الحل:

من حيث القوى:

عند التأثير بقوة F يستطيل x أي أن $F_1 = kx$، وعند التأثير بقوة $2F$ يستطيل $2x$ أي أن $F_2 = k(2x)$

من حيث الطاقة:

$PE_2 = \frac{1}{2} k(2x)^2$ ، $PE_1 = \frac{1}{2} kx^2$

نسبة الطاقة:

$$\frac{PE_2}{PE_1} = 4$$

القوة تتنسبا خطيا مع الاستطالة $F \propto x$,ولكن الطاقة تتناسب ربيعيا مع الاستطالة $PE \propto x^2$ وعليه بتضاعف القوة مرتين تتضاعف الاستطالة مرتين والطاقة تتضاعف أربع مرات

القوى المحافظة وغير المحافظة

خواص القوى المحافظة: القوى المحافظة لها خاصيتين مهمتين:

(أ) الشغل المبذول بالقوة المحافظة على جسم يتحرك بين أي نقطتين لا يعتمد على مسار الجسم.

(ب) الشغل المبذول بالقوة المحافظة على جسم يتحرك في مسار مغلق يساوي صفراً (المسار المغلق هو المسار الذي ينطبق فيه الموضع الابتدائي على الموضع النهائي).

مثلا: قوة الجاذبية الأرضية وقوة النابض قوى محافظة. ويتضح ذلك من معادلات حساب شغل قوة الجاذبية وقوة النابض

تم دفع صندوق شحن على سطح أفقي من الموضع (1) إلى الموضع (2) عبر مسارين مختلفين: أحدهما مستقيم والآخر منحني على شكل قوس. وبما أن المسافة المقطوعة في المسار المنحني أطول، فإن مقدار الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك يزداد مع زيادة طول المسار. لذا فإن الشغل الذي تبذله قوة الاحتكاك لا يعتمد فقط على موضعي البداية والنهاية (1 و2)، بل يعتمد أيضًا على شكل المسار الذي يسلكه الجسم. وعليه فإن قوة الاحتكاك تُعد قوة غير محافظة.

1.2.6 حفظ الطاقة الميكانيكية

عند تحول الطاقة من صورة لأخرى، فإن الطاقة الكلية المتواجدة لا تتغير، يعني حفظ الطاقة أنه بالرغم من أن صور الطاقة قد تتغير، إذا ما فقد جسم أو منظومة طاقة، فإن نفس الكمية من الطاقة تظهر في جسم آخر، أو في الأوساط المحيطة بالجسم.

ولفهم مبدأ حفظ الطاقة بصورة أفضل، سنقوم بتصنيف النظام الميكانيكي إلى نظام محافظ أو غير محافظ.

النظام المحافظ	النظام غير المحافظ
وهو الذي لا تؤثر عليه قوى غير محافظة. ملاحظة: قوى (الوزن-النابض) قوى محافظة. $E_f = E_i$ (14) $\boldsymbol{E_i E_f}$: مجموع الطاقات الميكانيكية الابتدائية والنهائية. نقصد بالطاقات الميكانيكية (طاقات الحركة والوضع الجاذبية والوضع المرونية).	وهو الذي تؤثر عليه قوى غير محافظة. ملاحظة: قوى (الاحتكاك-الشد والدفع الخارجي - مقاومة الهواء) أمثلة على قوى غير محافظة. $\sum W_{app} - f_k d = E_f - E_i$ (16)

(15	$\frac{1}{2}mv_f^2+\frac{1}{2}kx_f^2+mgy_f=\frac{1}{2}mv_i^2+\frac{1}{2}kx_i^2+mgy_i$	$\sum W_{app}$: مجموع الأشغال الخارجية (ماعدا شغل القوى المحافظة مثل الوزن وقوة النابض إن وجدت). $-f_k d$: شغل قوة الاحتكاك الحركي.

مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية للقوى المحافظة:

إذا كانت القوى المؤثرة هي قوى محافظة فقط، فإن الطاقة الميكانيكية الكلية لا تقل ولا تزداد في أي عملية، بل تبقى ثابتة.

توجيهات لحل مسائل حفظ الطاقة:

1) ارسم صورة لحالة النظام الطبيعية.

2) حدد النظام ذا الطاقة المحفوظة: الجسيم أو الجسيمات والقوى المؤثرة.

3) اسأل نفسك عن الكمية التي تبحث عنها، وقرر موضع كل من نقطتي البداية i والنهاية f

4)إذا تغير ارتفاع الجسم خلال فترة دراستك له، فاختر إطاراً مرجعياً يسهل التعامل معه لتكون عنده $y=0$ بالنسبة لطاقة الوضع الناتجة من الجاذبية الأرضية، عادة ما تكون أخفض نقطة هي الخيار المناسب. أما إذا كان النظام يحتوي على نابض أو أكثر، فإن موضع النابض غير المستطيل هو الخيار المناسب حيث $x=0$

5) طبق معادلة حفظ الطاقة المناسبة. واستخدم حدسك لمعرفة إذا كان الشغل لقوة خارجية موجباً أو سالباً، بناء على إجابتك على التساؤل التالي: هل زادت الطاقة الميكانيكية الكلية أم تناقصت نتيجة هذه العملية.

6) استخدما المعادلة (المعادلات) التي طورتها لإيجاد الكمية المجهولة.

مثال 1.6

إذا أُطلقت صخرة من ارتفاع ابتدائي $h=3.0$ m، احسب سرعتها عندما تصل إلى ارتفاع 1.0 m فوق سطح الأرض، باستخدام مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية

الحل:

نطبق مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية، حيث إن مجموع طاقتي الوضع والحركة يبقى ثابتًا (بإهمال مقاومة الهواء)

$$PE_1+KE_1=PE_2+KE_2$$

عند لحظة الانطلاق من السكون تكون السرعة الابتدائية $v_1=0$ وبالتالي

$$mgh_1=mgh_2+\frac{1}{2}mv_2^2$$

بحذف الكتلة من الطرفين

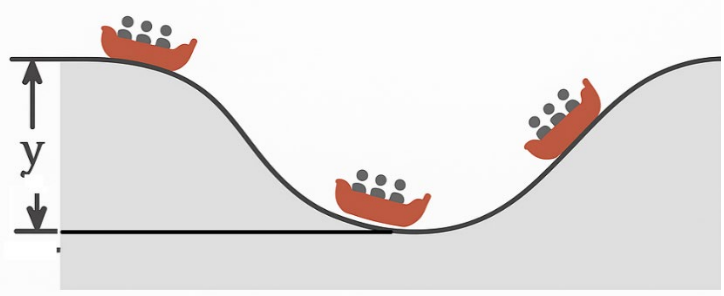
$$gh_1 = gh_2 + \frac{1}{2}v_2^2$$
$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$
$$v_2 = \sqrt{2(9.8)(2.0)} = \sqrt{39.2} = 6.26 \text{ m/s}$$

مراعاة الأرقام المعنوية

$$v_2 = 6.3 \text{ m/s}$$

تدريب 1.6

إذا كان ارتفاع التل في الشكل يساوي $y = 40.0$ m، وكانت عربة الأفعوانية تبدأ حركتها من السكون عند القمة، فاحسب: (ا) سرعة العربة عندما تصل إلى أسفل التلة. (ب) الارتفاع الذي تمتلك عنده العربة نصف هذه السرعة، افترض أن $y = 0$ عند أسفل التلة. (أهمل الاحتكاك).



1.3 القدرة:

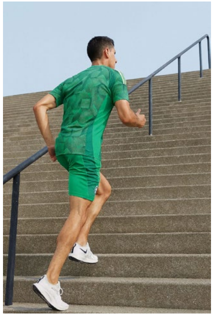
تعرف القدرة بأنها معدل إنجاز الشغل. متوسط القدرة يساوي الشغل المبذول مقسومًا على الوقت المستغرق لإنجازه. كما تُعرَّف القدرة بأنها معدل تحويل الطاقة. وهي كمية قياسية تقاس بوحدة الواط (جول/ثانية) في النظام الدولي، كما تُستخدم أحيانًا وحدة الحصان الميكانيكي في التطبيقات العملية لقياس قدرة المحركات والآلات، حيث يعادل الحصان الميكانيكي الواحد تقريبًا 746 واط (1hp=746J/s)

القدرة المتوسطة	القدرة اللحظية
متوسط الشغل المبذول (أو الناتج) على الجسم أو الآلة في وحدة الزمن: $$\bar{P} = \frac{W}{\Delta t} \qquad (17)$$	معدل الشغل المبذول (أو الناتج) على الجسم أو الآلة في وحدة الزمن. إذا كانت القوة ثابتة المقدار والاتجاه يمكن حساب القدرة اللحظية لها بالقانون: $$P = Fv \qquad (18)$$ حيث v: سرعة الجسم اللحظية. إذا كانت السرعة ثابتة، فإن: القدرة اللحظية = القدرة المتوسطة.

مثال 1.7

عدّاء كتلته $60.0\ \text{kg}$ يستغرق $4.0\ \text{s}$ لصعود درج طويل يبلغ ارتفاعه الرأسي $4.5\ \text{m}$. (أ) احسب قدرة العداء الناتجة بدلالة كل من الواط والحصان (hp).

(ب) مقدار الطاقة اللازمة لذلك.



الحل:

القدرة تساوي:

$$P = \frac{mgh}{t}$$

بالتعويض:

$$P = \frac{(60.0)(9.8)(4.5)}{4.0} = \frac{2646}{4.0} = 661.5\ \text{W}$$

نقرب إلى رقمين معنويين:

$$P = 660\ \text{W} = 6.6 \times 10^2 \text{W}$$

وبالتحويل إلى حصان ميكانيكي:

$$P = \frac{660}{746} = 0.884\ \text{hp}$$

$$P = 6.6 \times 10^2\ \text{W} = 8.8 \times 10^{-1}\ \text{hp}$$

(ب) مقدار الطاقة للازمة لذلك

$$E = Pt = 2.6 \times 10^3 J$$

تدريب 1.7

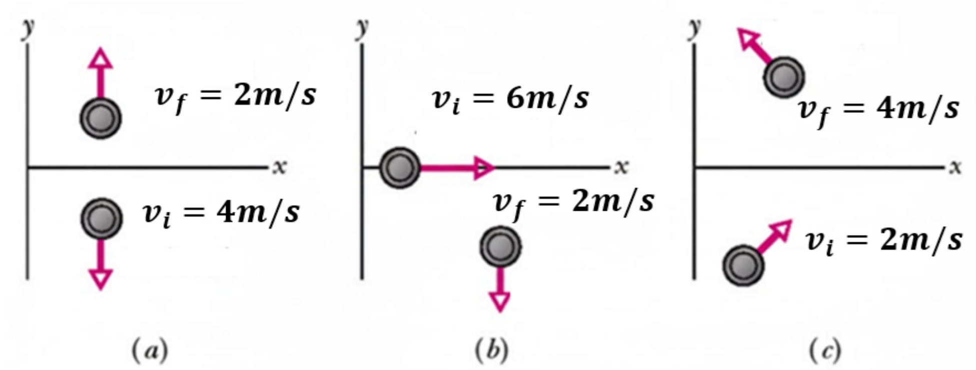
يتحرك جسم كتلته $10.0\ \text{kg}$ من السكون على سطح مائل أملس (مهمل الاحتكاك) تحت تأثير قوة مقدارها $96.0\ \text{N}$ موازية للسطح المائل ومتجهة إلى الأعلى. إذا كان طول السطح المائل $25.0\ \text{m}$ وزاوية ميله $37.0°$، فاحسب القدرة اللحظية للقوة F عند نهاية السطح المائل بوحدة الواط (W).

أسئلة الفصل (1): الشغل والطاقة

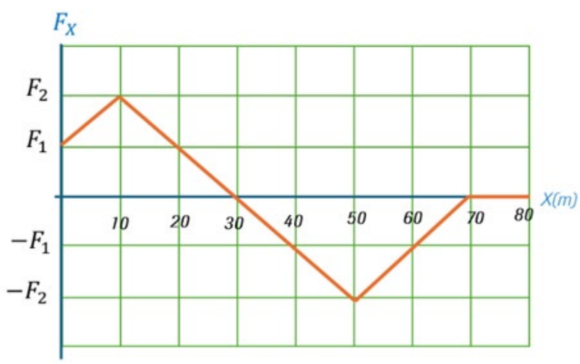
اختبر فهمك:

(1) في ثلاث حالات مختلفة، تؤثّر قوة أفقية مطبّقة لفترة زمنية قصيرة على قرص هوكي ينزلق فوق سطح جليدي عديم الاحتكاك. يوضّح الشكل (منظرًا علويًا) في كل حالة اتجاه السرعة الابتدائية للقرص v_i واتجاه سرعته النهائية v_f.

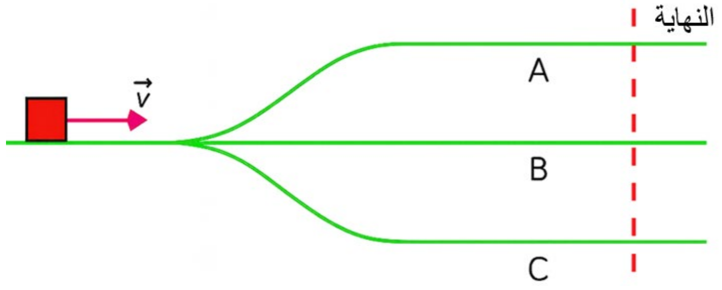
رتّب الحالات الثلاث حسب مقدار الشغل الذي تبذله القوة المطبّقة على القرص، بدءًا من الحالة ذات الشغل الأكبر (الأكثر إيجابية) وانتهاءً بالحالة ذات الشغل الأصغر (الأكثر سلبية).



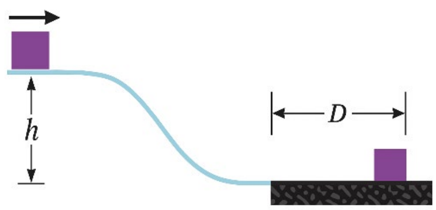
(2) يوضح الشكل المركبة الأفقية F_X لقوة تؤثر على جسيم، إذا تحرك الجسيم من السكون عند $x = 0$ ، ما هو إحداثي الجسيم عندما يمتلك (أ) أكبر طاقة حركية (ب) أكبر سرعة (ج) سرعة تساوي الصفر (د) ما اتجاه حركة الجسيم بعد أن يصل للإحداثي $x = 60\ m$ ؟



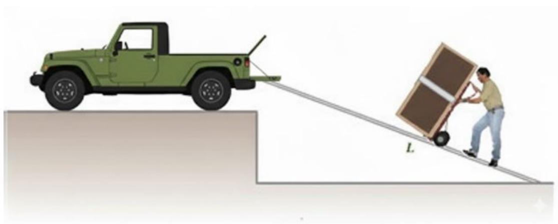
(3) في الشكل، يمكن للكتلة المتحركة أفقيًا أن تأخذ ثلاث مسارات محتكة، تختلف فقط في الارتفاع، للوصول إلى خط النهاية المتقطع .رتب المسارات وفقًا (ا) لسرعة الكتلة عند نهاية الخط و (ب) وقت قطع الكتلة المسار، الأكبر أولاً.



(4) في الشكل، ينزلق قالب على طول مسار يهبط عبر المسافة h والمسار عديم الاحتكاك باستثناء الجزء السفلي .هناك ينزلق القالب إلى نقطة توقف على مسافة معينة D بسبب الاحتكاك (a)إذا قللنا h ، فهل سينزلق القالب إلى نقطة توقف على مسافة أكبر من D أو أقل منها أو مساوية لها؟ (b) إذا قمنا بدلاً من ذلك بزيادة كتلة القالب ، فهل ستكون مسافة التوقف الآن أكبر من أو أقل من أو تساوي D؟



(5) يرغب شخص في تحميل ثلاجة على عربة باستخدام (مستوى مائل) كما في الشكل. يعتقد الشخص أن الشغل المبذول يمكن أن ينخفض وذلك بزيادة طول المستوى المائل L، هل هذا الادعاء صحيح؟ ولماذا؟

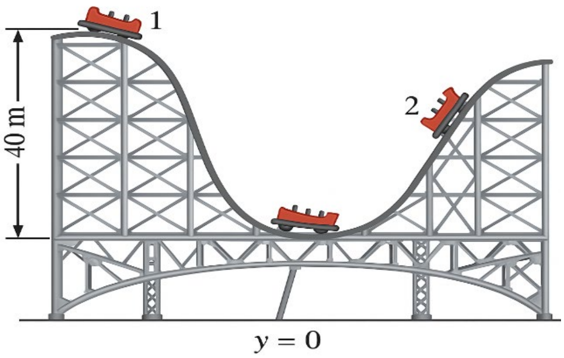


مسائل وتطبيقات:

(1) تحتاج مركبة تسير بسرعة $60.0 km/h$ إلى مسافة $20.0m$ لكي تتوقف تماماً، ما المسافة التي تحتاج إليها المركبة للوقوف إذا كانت تتحرك بضعف سرعتها الابتدائية السابقة أي السرعة $120.0km/h$ افترض أن قوة الإيقاف العظمى لا تعتمد على مقدار السرعة

(2) كتلة $6.0kg$في حالة سكون مبدئيًا يتم سحبها إلى اليمين على طول سطح أفقي بقوة أفقية ثابتة مقدارها $12.0N$.أوجد سرعة الكتلة بعد تحركها بمقدار $3.0\ m$ إذا كان معامل الاحتكاك الحركي للأسطح المتلامسة يساوي 0.15.

(3) تصل العربة الأفعوانية إلى ارتفاع رأسي مقداره $25.0\ m$ فقط أعلى التلة الثانية قبل أن تتوقف تماماً لوهلة، إذا قطعت العربة مسافة $4.0 \times 10^{2}\ m$ أوجد مقدار متوسط قوة الاحتكاك (على افتراض أنها ثابتة) للعربة ذات الكتلة $1.0x10^{3}\ kg$

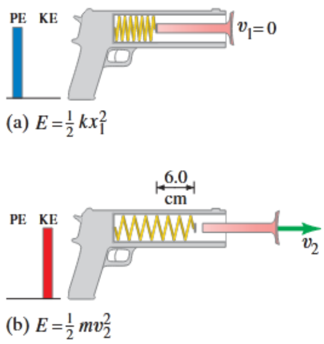


(4) تم ضغط نابض مسدس لعبة أطفال (ثابت القوة له $2.5 \times 10^{2} N/m$) مسافة $6.0\ cm$ بسهم مطاطي كتلته $0.100\ kg$ ثم ترك كما هو مبين في الشكل، ما السرعة التي سيصل إليها السهم المطاطي عند تحرره من النابض لحظة رجوع هذا النابض إلى طوله في حالة الاسترخاء (x=0)

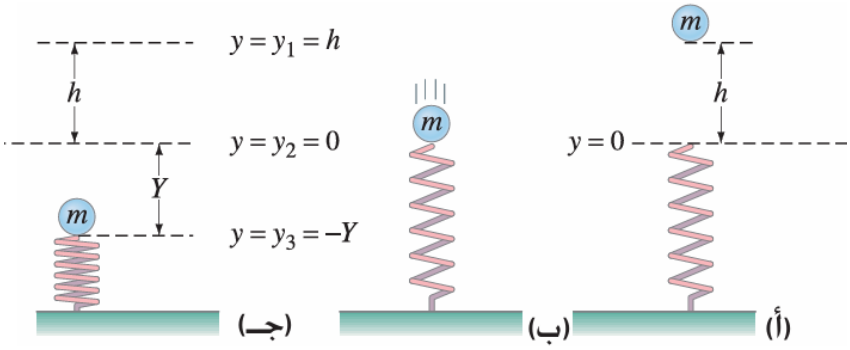
لو أطلق السهم المطاطي رأسياً: احسب:

(ا)اقصى ارتفاع يصل إليه مركز كتلة السهم.

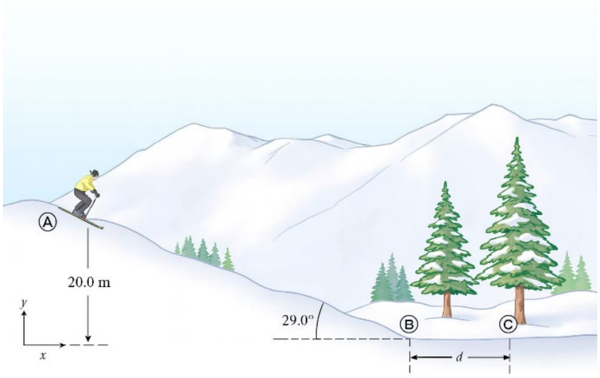
(ب)سرعة مركز كتلة السهم لحظة رجوع النابض إلى طوله الأصلي



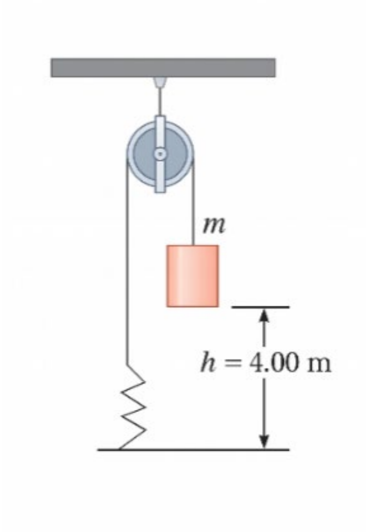
(5) تسقط كرة كتلتها $m = 2.60\ kg$ من السكون من ارتفاع رأسي $h = 55.0\ cm$ لتصطدم بنابض، وتضغطه مسافة $Y = 15.0\ cm$ كما في الشكل. حدد مقدار ثابت النابض (أهمل كلا من مقاومة الهواء وكتلة النابض).



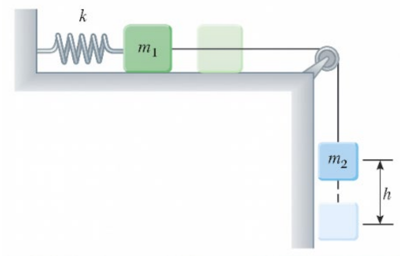
(6) تبدأ متزلجة من السكون عند قمة منحدر أملس ارتفاعه $20.0\ m$ كما هو موضح بالشكل. ثم تواصل المتزلجة الحركة من عند قاع المنحدر على سطح أفقي حيث يكون معامل الاحتكاك الحركي بين المزلاج والجليد. 0.210ما المسافة التي تقطعها على السطح الأفقي قبل أن تتوقف؟ استخدم مبدأ حفظ الطاقة



(7) كتلة معلقة بنابض بطوله الطبيعي، هبطت الكتلة مسافة h قبل أن تسكن، إذا كان ثابت النابض $4.0 \times 10^2 N/m$ احسب قيمة الكتلة.



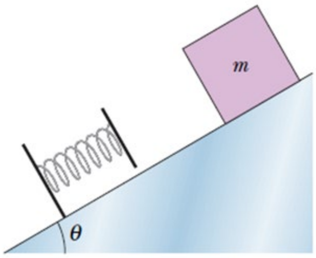
(8) ثقلان متصلان ببعضهما بحبل يمر على بكرة ملساء كما في الشكل، يوضع الثقل m_1 على السطح الأفقي ومتصل بزنبرك له ثابت قوة k ، ترك الجسم ليتحرك من السكون عندما يكون الزنبرك غير ممتد أو مضغوط، إذا هبط الثقل m_2 مسافة h قبل أن يصل إلى السكون، احسب معامل الاحتكاك الحركي بين الثقل m_1 والسطح



(9) كتلة m=12 kg تنطلق من السكون على منحدر غير محتك يميل بزاوية30°. يوجد أسفل الكتلة نابض يمكن ضغطه بمقدار $2.0cm$ إذا أثرت عليه قوة $270N$. تتوقف الكتلة مؤقتًا عندما تضغط النابض بمقدار $5.5cm$.

(ا) إلى أي مدى تتحرك الكتلة أسفل المنحدر من موضعها من السكون إلى نقطة التوقف هذه؟

(ب) ما سرعة الكتلة لحظة لمسها للنابض؟



الفصل 2. الزخم الخطي والتصادم

2.1 الزخم الخطي

إن قانون حفظ الطاقة الذي ناقشناه في الفصل السابق، واحد من قوانين الحفظ العظيمة في الفيزياء، ومن بين الكميات المحفوظة الأخرى نجد كلا من الزخم الخطي، والزخم الزاوي، والشحنة الكهربائية، وفي هذا الفصل سنناقش الزخم الخطي وقانون حفظه، وفي الواقع فإن قانون حفظ الزخم الخطي هو إعادة تناول لقوانين نيوتن، وهذا يوفر لنا نظرة فيزيائية عميقة، وقدرة على حل المسائل.

وسوف نستفيد من قوانين حفظ الزخم الخطي والطاقة لتحليل التصادمات، وفي الحقيقة، فإن قانون حفظ الزخم الخطي مفيد بصورة خاصة عند معالجة نظام من جسمين أو أكثر يتفاعلان معاً، كما هو الحال في التصادمات للأجسام العادية أو الجسيمات الذرية.

2.1.1 الزخم الخطي وعلاقته بالقوة

الزخم الخطي (أو الزخم اختصارًا) لجسم ما يعرف بأنه حاصل ضرب كتلته في سرعته المتجهة، ويعبر عنه بالعلاقة

$$p = mv \tag{19}$$

وبما أن السرعة كمية متجهة، فإن الزخم أيضًا كمية متجهة؛ أي إن له مقدارًا واتجاهًا. ويتخذ الزخم نفس اتجاه السرعة، ويُعطى مقداره بالعلاقة: $p = mv$

وعندما يتحرك جسيم في اتجاهٍ عشوائي في الفضاء، فإن زخمه يمتلك ثلاث مركّبات تتوافق مع الأبعاد الفراغية الثلاثة، ويمكن التعبير عنه كما يلي:

$$P = mv = m\left(v_x\hat{\imath} + v_y\hat{\jmath} + v_z\hat{k}\right) \tag{20}$$

أو بشكلٍ مركّبات

$$P_X = mv_x \quad , \quad P_y = mv_y \quad , \quad P_z = mv_z$$

في حياتنا اليومية، تمتلك السيارة السريعة زخمًا أكبر من سيارةٍ بطيئةٍ لها الكتلة نفسها، كما أن الشاحنة الثقيلة تمتلك زخمًا أكبر من سيارةٍ صغيرةٍ تسير بالسرعة نفسها. وكلما ازداد زخم الجسم، أصبح إيقافه أصعب، وازداد الأثر الذي يُحدثه عند توقفه نتيجة تصادم.

نظرًا لأن السرعة تعتمد على الإطار المرجعي المختار، فإن الزخم أيضًا يعتمد عليه. لذلك يجب دائمًا تحديد الإطار المرجعي عند وصف الزخم. وحدة قياس الزخم في النظام الدولي للوحدات (SI) هي حاصل ضرب الكتلة في السرعة $(\boldsymbol{kg \cdot m/s})$ وهي لا تحمل اسمًا خاصًا.

يتغير زخم الجسم في المقدار أو الاتجاه عندما تؤثر عليه قوة محصلة، وقد صاغ نيوتن قانونه الثاني للحركة في الأصل على أساس الزخم، ويمكن كتابته بالصيغة الحديثة على النحو التالي

$$\sum F = \frac{\Delta P}{\Delta t} \qquad (21)$$

أي أن القوة المحصلة المؤثرة على جسمٍ ما تساوي معدل تغيّر زخمه بالنسبة للزمن.

وعندما تكون كتلة الجسم ثابتة، تختزل هذه العلاقة إلى الصيغة المألوفة لقانون نيوتن الثاني:

$$\sum F = ma \qquad (22)$$

ومع ذلك، في الأنظمة التي تتغير فيها الكتلة أثناء الحركة، مثل الصواريخ التي تقذف غازات العادم أو الأجسام التي تفقد كتلتها أثناء الحركة، يظل الشكل الأكثر عمومية $\sum F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$ هو التعبير الأكثر دقة وفائدة.

مثال 2.1

تُضرب كرة تنس أثناء الإرسال فتغادر المضرب بسرعة $55\ m/s$ أي ما يعادل $1.98 \times 10^2\ km/h$.

إذا كانت كتلة الكرة $0.060\ kg$ ومدة ملامستها للمضرب $4.0 \times 10^{-3}\ s$، فاحسب متوسط القوة المؤثرة على الكرة.

وهل تكون هذه القوة كافية لرفع شخص كتلته $60\ kg$؟

الحل:

تغيرت سرعة الكرة من $v_1 = 0$ إلى $v_1 = 55m/s$ خلال $\Delta t = 4 \times 10^{-3} s$

متوسط القوة

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t} = 8.3 \times 10^2 N$$

هذه القوة أكبر من القوة اللازمة لرفع شخص كتلته 60kg حيث تلزم قوة تساوي تقريبا 600N

تدريب 2.1

يمكن بسهولة اشتقاق الصيغة المعتادة للقانون الثاني لنيوتن: $\sum F = ma$ من قانون نيوتن الثاني بدلالة الزخم: $\sum F = \frac{\Delta P}{\Delta t}$ جرب ذلك.

التحقق من المفهوم

جسمان لهما نفس طاقة الحركة، وضح الحالات التي لا تكون لهما نفس كمية الحركة(الزخم)

2.1.2 الدفع والزخم الخطي

دفع قوة خلال فترة زمنية معينة هو كمية متجهة في نفس اتجاه القوة ويحسب بالعلاقة:

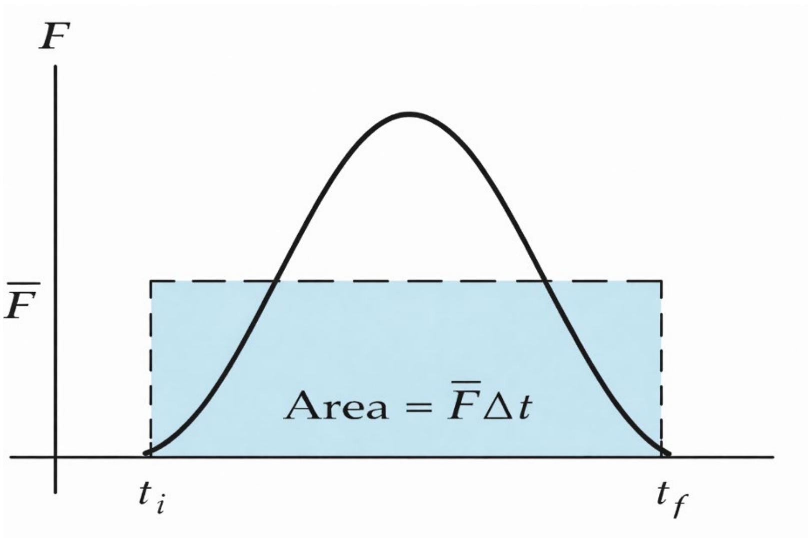
$$I = F\Delta t \qquad (23)$$

I: دفع القوة (N.s) $\mathbf{F}$: القوة (N) Δt: زمن تأثير القوة (s)

ملاحظة مهمة:

إذا كانت القوة تتغير بانتظام (تزداد أو تنقص) نأخذ متوسط القوة في حساب الدفع: $I = \bar{F}\,\Delta t$

حساب الدفع بيانيا: يعادل المساحة المحصورة بين منحنى (القوة - الزمن) ومحور الزمن.

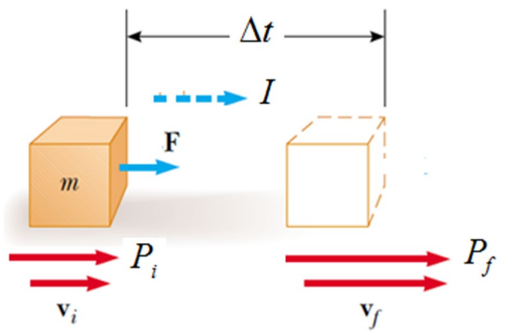


ويمكن اعتبار متوسط القوة $\bar{F}$ الموضحة في الشكل، على أنها القوة الثابتة التي يجب أن تعطي لجسم في الفترة الزمنية Δtنفس الدفع الذي تعطيه القوة المتغيرة مع الزمن F في نفس الفترة.

2.1.3 نظرية الدفع - الزخم

تنص على أن: دفع القوة التي تؤثر على جسم يساوي التغير في كمية حركة الجسم (زخم الجسم) الناتج عن القوة.

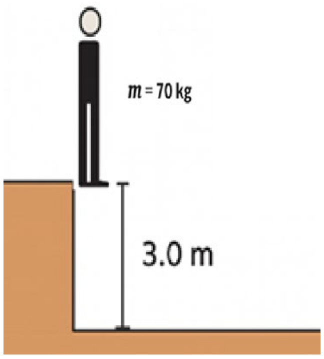
اتجاه الدفع هو اتجاه التغير في كمية الحركة.



$$\mathrm{I} = \mathrm{F}\,\Delta\mathrm{t} = \Delta \boldsymbol{P} = \boldsymbol{m}(\boldsymbol{v}_f - \boldsymbol{v}_i) \qquad (24)$$

مثال 2.2

أحسب الدفع الناتج عندما يصطدم شخص كتلته 70.0 kg بأرض صلبة إذا قفز من ارتفاع 3.0m



الحل:

نعتبر قفزة الشخص سقوطا حرا بسرعة ابتدائية صفرا وعند مستوى الأرض y=0وبالتالي

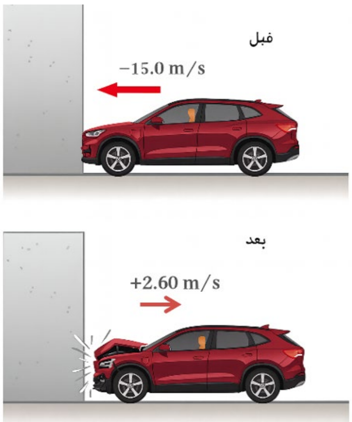
$$v^2 = v_1^2 + 2g(\Delta y)$$
$$v = \sqrt{2g(y_0 - y)}$$
$$v = \sqrt{2(9.8\,m/s^2)(3m)} = v = 7.7\ m/s$$

الدفع يعطى بالعلاقة $F\Delta t = m\Delta v$

$$F\Delta t = 70.0kg(7.7m/s - 0) = 5.4 \times 10^2 N.s$$

تدريب2.2

في تجربة تصادم خاصة، تصطدم سيارة كتلتها 1500 kgبجدار كما هو موضح في الشكل. إذا كانت السرعة الابتدائية للسيارة $\overrightarrow{v_i} = (-15\,\hat{\imath})$ m/sوالسرعة النهائية بعد التصادم $\overrightarrow{v_f} = (2.6\,\hat{\imath})$ m/s، وكان زمن التصادم 0.150 s، فاحسب متوسط قوة الدفع المؤثرة على السيارة.



التحقق من المفهوم

أنقذت الوسائد الهوائية في السيارات (بعد فضل الله) أرواحًا لا حصر لها في الحوادث .فسر ذلك باستخدام نظرية الدفع-كمية الحركة.

2.1.4 قانون حفظ الزخم:

النص: الزخم الخطي الكلي لمنظومة (أي عدد من الأجسام) مغلقة ومعزولة تكون محفوظة، أي أن :

الزخم الخطي الابتدائي الكلي= الزخم الخطي النهائي الكلي

$$\sum\vec{P_i} = \sum\vec{P_f} \qquad (25)$$

هذا القانون يوضح لنا أن الزخم الخطي الكلي لمنظومة معزولة في كل لحظة تساوي الزخم الخطي الابتدائي الكلي.

ويمكن كتابتها في المحاور الثلاث: $\sum\vec{P}_{xI} = \sum\vec{P}_{xf}$ $\quad \sum\vec{P}_{yI} = \sum\vec{P}_{yf}$ $\quad \sum\vec{P}_{zI} = \sum\vec{P}_{zf}$

$$\mathrm{I} = \mathrm{F}\,\Delta\mathrm{t} = \Delta\boldsymbol{P} \qquad \boldsymbol{F} = \boldsymbol{0} = \Delta\boldsymbol{P} = \boldsymbol{P_f} - \boldsymbol{P_I}$$

$$\boldsymbol{P_i} = \boldsymbol{P_f}$$

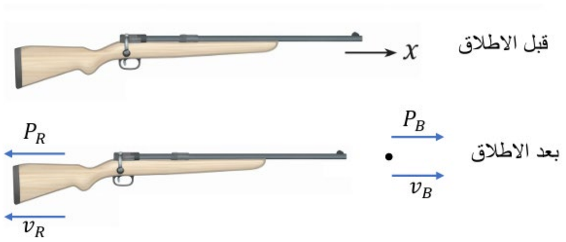
النظام المغلق: هو الذي لا يفقد ولا يكتسب كتلة.

النظام المعزول: محصلة القوى الخارجية عليه تساوي الصفر.

لاحظ أننا لم نذكر أي شيء عن طبيعة القوى التي تؤثر على الأجسام في المنظومة، الشيء الوحيد الذي يتطلبه هذا القانون أن تكون هذه القوى داخلية للمنظومة.

مثال 2.3

احسب سرعة ارتداد بندقية كتلتها 5.0 kg، عندما تطلق رصاصة كتلتها 0.020 kgبسرعة 620 m/s.



الحل:

الزخم بعد الانفجار = الزخم قبل الانفجار

$$m_B\, v_B + m_R\, v_R = m_B\, \acute{v}_B + m_R\, \acute{v}_R$$
$$0 \quad + 0 \quad\quad = m_B\, \acute{v}_B + m_R\, \acute{v}_R$$
$$\acute{v}_R = \frac{m_B\, \acute{v}_B}{m_R} = -2.5 m/s$$

تدريب2.3

يقف صياد من كتلته 60.0 kgساكنًا على سطح جليدي أملس عديم الاحتكاك، ثم يطلق سهمًا كتلته 0.50 kg أفقيًا بسرعة 50.0 m/s. احسب سرعة ارتداد الصياد على الجليد بعد إطلاق السهم.

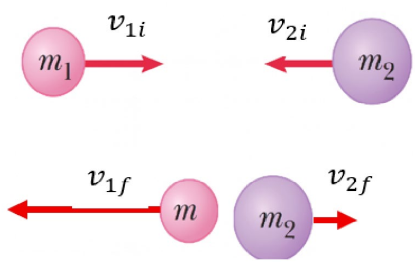
2.2 التصادم:

كمية الحركة محفوظة في أي تصادم: كمية الحركة الكلية لمنظومة معزولة قبل التصادم مباشرة تساوي كمية الحركة الكلية للمنظومة بعد التصادم مباشرة. وهذا هو المتوقع حيث لا تؤثر أي قوة خارجية على المنظومة، لأن القوى المؤثرة داخلية.

ويصنف التصادم بشكل رئيسي إلى قسمين: مرن وغير مرن، فالتصادم الذي تكون فيه الطاقة الميكانيكية محفوظة قبل وبعد التصادم يسمى تصادماً مرناً، والتصادم غير المرن هو الذي لا تكون فيه الطاقة الميكانيكية محفوظة.

2.2.1 التصادم المرن في بعد واحد

تدرس التصادمات المرنة من خلال تطبيق قانوني حفظ الزخم الخطي وحفظ الطاقة الحركية على جسمين صغيرين تصادمان تصادمًا مباشرًا بحيث تكون حركتهما على خط مستقيم واحد.



لنفرض أن الجسمين AوB يتحركان قبل التصادم بسرعتين ابتدائيتين v_Aوv_B على التوالي، ثم أصبحت سرعتاهما بعد التصادم v'_Aوv'_B.

يعد الاتجاه الموجب محورا نحو اليمين، فيكون $v > 0$ إذا تحرك الجسم نحو اليمين، و$v < 0$ إذا تحرك نحو اليسار.

قانون حفظ الزخم

ينصّ القانون على أن مجموع زخم الجسمين قبل التصادم يساوي مجموع زخمهما بعد التصادم:

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B \tag{26}$$

قانون حفظ الطاقة الحركية

في التصادم المرن، تحفظ أيضا الطاقة الحركية الكلية للنظام:

$$\frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 = \frac{1}{2} m_A v_A'^2 + \frac{1}{2} m_B v_B'^2 \tag{27}$$

اشتقاق العلاقة بين السرعات

نستخدم معادلتي (الزخم والطاقة الحركية) وسرعتي الجسمين بعد التصادم v'_Aوv'_B.

بطرح طرفَي معادلة الزخم قبل وبعد التصادم، نحصل على المعادلة الأولى

$$m_A(v_A - v'_A) = m_B(v'_B - v_B)$$

وباستخدام معادلة الطاقة الحركية يمكن كتابة المعادلة السابقة كالتالي:

$$m_A(v_A^2 - v_A'^2) = m_B(v_B'^2 - v_B^2)$$

وباستخدام المتطابقة الجبرية $a^2 - b^2 = (a-b)(a+b)$، تصبح المعادلة الثانية

$$m_A(v_A - v'_A)(v_A + v'_A) = m_B(v'_B - v_B)(v'_B + v_B)$$

بقسمة المعادلة (الثانية) على المعادلة (الأولى) نحصل على:

$$v_A + v'_A = v_B + v'_B$$

أي:

$$v_A - v_B = -(v'_A - v'_B) \qquad (28)$$

نتيجة مهمة:

من العلاقة السابقة نستنتج أن السرعة النسبية للجسمين قبل التصادم تساوي في المقدار السرعة النسبية نفسها بعد التصادم، ولكن باتجاه معاكس.

بمعنى آخر، إذا اقترب الجسمان من بعضهما بسرعة نسبية مقدارها $v_A - v_B$، فإنهما يبتعدان بعد التصادم بسرعة نسبية مقدارها نفسها، ولكن في الاتجاه المعاكس:

$$v_A - v_B = -(v'_A - v'_B)$$

وهذه النتيجة تميز التصادمات المرنة في خط مستقيم، وتُستخدم كثيرًا في تبسيط الحسابات دون الحاجة إلى تطبيق معادلة الطاقة الحركية مباشرة.

مثال 2.4

تتحرك كرة بلياردو A كتلتها m بسرعة مقدارها v، لتصطدم مباشرةً بكرة أخرى B ساكنة، كتلتها مساوية لكتلة الكرة الأولى ($v_B = 0$). أوجد سرعتي الكرتين بعد التصادم، بافتراض أن التصادم مرن.

الحل

بما أن $m_A = m_B = m$، و$v_B = 0$ قبل التصادم، فإن معادلة حفظ الزخم تكون:

$$mv = mv'_A + mv'_B$$

وبقسمة الطرفين على m:

$$v = v'_A + v'_B$$

هذه هي المعادلة الأولى.

ولإيجاد معادلة ثانية، نستخدم حفظ الطاقة الحركية:

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv'^2_A + \frac{1}{2}mv'^2_B$$

وبتبسيطها (بعد حذف العامل $\frac{1}{2}m$) نحصل على:

$$v^2 = v'^2_A + v'^2_B$$

أو يمكن استخدام صيغة أبسط مشتقة من شرط التصادم المرن:

$$v - v_B = -(v'_A - v'_B)$$

وبالتعويض عن $v_B = 0$:

$$v = v'_B - v'_A$$

وبحل المعادلتين معًا نحصل على:

$$v'_A = 0 \text{ و } v'_B = v$$

النتيجة: يتبيّن أن الكرة Aتتوقف تمامًا بعد التصادم نتيجة انتقال زخمها وطاقتها الحركية إلى الكرة B، بينما تتحرك الكرة Bبسرعة تساوي تماما السرعة الابتدائية للكرةA. أي أن الكرة الساكنة تكتسب السرعة الأصلية للكرة المتحركة.

ملاحظة: هذا السلوك يُشاهد عادةً في تصادم كرات البلياردو عندما تكون الكرتان متساويتين في الكتلة ولا توجد حركة دورانية (مغزلية) ملحوظة. أما إذا اختلفت الكتلتان أو وُجدت حركة دورانية، فلن تنتقل السرعة بهذه الصورة الكاملة.

2.2.2 التصادمات عديم المرونة

نوع من التصادم غير المرن، يتصادم الجسمان تصادما مواجهاً ثم يلتحمان مع بعضهما ويتحركان بسرعة مشتركة v_f بعد التصادم.

قانون حفظ الزخم

$$m_A v_A + m_B v_B = (m_A + m_B) v_f$$

التغير في الطاقة الحركية

$$\Delta K = \frac{1}{2} m_A v_A^2 + \frac{1}{2} m_B v_B^2 - \frac{1}{2}(m_A + m_B) {v_f}^2 \qquad (29)$$

ويمثّل هذا الفرق مقدار الطاقة المفقودة، والتي تتحول إلى حرارة أو تشوه ميكانيكي أو اهتزازات صوتية.

مثال 2.5

تصادم عديم المرونة: تحركت عربة كتلتها $m_1 = 3.0\text{ kg}$بسرعة $v_1 = 4.0\text{ m/s}$فتصادمت بعربة ساكنة كتلتها $m_2 = 2.0\text{ kg}$. إذا التصقت العربتان بعد التصادم، أوجد:

(أ) سرعتهما المشتركة، (ب) مقدار النقص في الطاقة الحركية.

الحل:

(أ)من قانون حفظ الزخم: $v_f = \frac{(3)(4)+(2)(0)}{3+2} = 2.4\text{ m/s}$

(ب)الطاقة قبل التصادم: $K_i = \frac{1}{2}(3)(4^2) = 24\text{ J}$

الطاقة بعد التصادم: $K_f = \frac{1}{2}(5)(2.4^2) = 14.4\text{ J}$

النقص في الطاقة: $\Delta K = 9.6\text{ J}$

التصادم عديم المرونة تتحرك العربتان معًا بسرعة 2.4 m/sبعد التصادم، وتُفقد طاقة مقدارها 9.6 Jنتيجة التحول إلى أشكال أخرى من الطاقة.

ملاحظات مهمة:

- التصادم المرن والتصادم عديم المرونة هما حالتان حديتان، أغلب التصادمات تقع بين هاتين الحالتين.

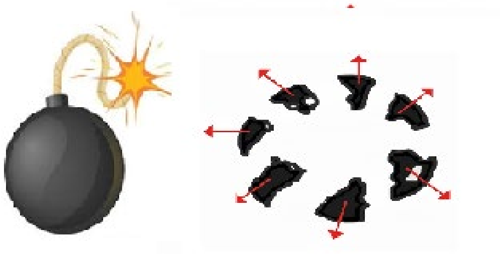
- لو أخذنا نظام صخرة تسقط تحت تأثير الجاذبية، فإن زخم هذا النظام غير محفوظ، حيث القوة الخارجية هي قوة الجاذبية الأرضية الناتجة من الأرض، وهذه تغير الزخم، ولكن لو أن نظامنا تضمن الأرض أيضا، فسيكون الزخم الكلي

للصخرة والأرض محفوظاً (هذا يعني أن الأرض ترتفع قليلاً لتقابل الصخرة، لكن كتلة الأرض كبيرة جداً، لدرجة أن سرعتها نحو الأعلى تكون صغيرة جداً).

-برغم وجود قوى خارجية في أنظمة التصادمات مثل قوة الاحتكاك وقوة الجاذبية، فإنه يمكن إهمالها خلال فترة التصادم القصيرة جدا، ويصبح قانون حفظ الزخم صالحاً للتطبيق قبل وبعد التصادم مباشرة.

الانشطار: مثل انفجار قذيفة

بما أن القذيفة كانت ساكنة قبل الانفجار: $P_i = 0$ لذلك لابد أن تكون محصلة الزخم لجميع الشظايا تساوي صفراً: $P_f = 0$



التحقق من المفهوم

دعنا ندرس بعض الحالات الخاصة باستخدام المعادلات أعلاه، لجسمين يتصادمان وجهاً لوجه:

الجسمان لهما نفس الكتلة (يحدث في كرات البلياردو):

- إذا كانت كتلة الجسم الأول أكبر كثيرا من الجسم الثاني، والجسم الثاني ساكن (مثل تصادم ذرة ثقيلة مثل اليورانيوم مع ذرة خفيفة مثل الهيدروجين):

-إذا كانت كتلة الجسم الثاني أكبر كثيراً من كتلة الجسم الأول، وكان الجسم الثاني ساكناً في البداية:

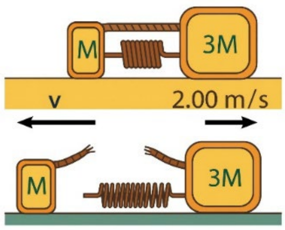
ملاحظات مهمة:

1)قد يحدد السؤال نوع التصادم، أو تستنتجه أنت من خلال حدوث فقد للطاقة أثناء الاصطدام.

2)انتبه لإشارات السرعات عند التعويض، في حالة ايجاد سرعة مجهولة فاترك إشاراتها موجبة، حتى لو كنت تعلم أنها في الاتجاه السالب، حيث ستظهر إشارتها الصحيحة مع الحسابات النهائية.

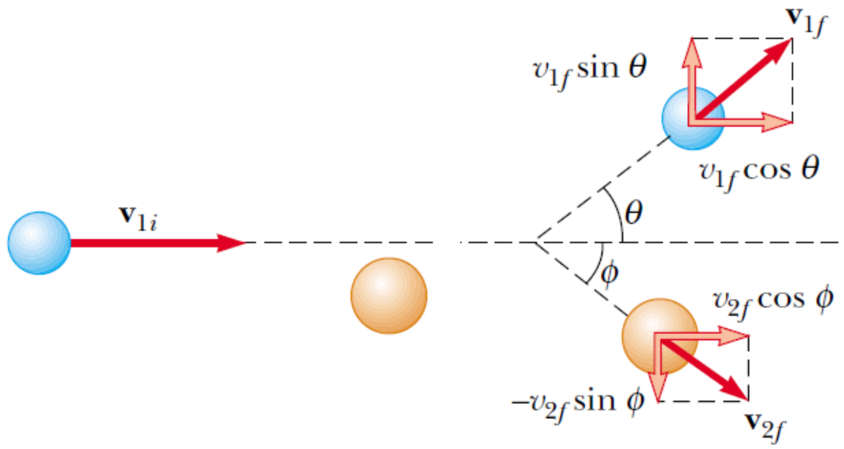
تدريب 2.4

كتلتان تستقران على سطح أملس، ومتصّلتان بنابض مضغوط .عند احتراق الخيط الذي يربط بينهما، تنطلق الكتلة الأكبر مبتعدة بسرعة معينة. احسب طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض ، معتبرا M=1.0kg



2.2.3 التصادم في بعدين:

دعنا ندرس مسألة التصادم في بعدين، والتي يتصادم فيها الجسم 1 وكتلته m_1 مع الجسم 2 الساكن وكتلته m_2 كما هو موضح بالشكل،. بعد التصادم تتحرك الكتلة 1 في اتجاه يصنع زاوية $\boldsymbol{\theta}$ مع الاتجاه الأفقي ويتحرك الجسيم 2 بزاوية $\boldsymbol{\varphi}$ مع الأفقي، تسمى هذه الزاوية $\boldsymbol{\varphi}$ بزاوية السقوط المتممة، ويسمى التصادم بالتصادم المنحرف. سنطبق قوانين حفظ كمية الحركة وحفظ الطاقة الحركية.



حفظ الزخم في الاتجاه الأفقي

$$m_1 v_{1i} = m_1 v_{1f}\cos\,\theta + m_2 v_{2f}\cos\,\emptyset$$

حفظ الزخم في الاتجاه الرأسي

$$0 = m_1 v_{1f}\sin\,\theta - m_2 v_{2f}\sin\emptyset$$

الإشارة السالبة تعني أن زاويتي الجسيمتين تكونان في جهتين متعاكستين نسبيًا عن المحور الأفقي

حفظ الطاقة الحركية (لأن التصادم مرن):

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

توجيهات لحل مسائل التصادم

التصادم في بعدين: عند تناول مسائل التصادم بين جسمين يفضل اتباع الطريقة التالية:

-حدد مجموعة المحاور وعرف السرعات بالنسبة للمحاور، أحيانا يكون من الأفضل أن ينطبق المحور x مع إحدى السرعات الابتدائية.

-عند رسم مجموعة المحاور حدد متجهات السرعة وبها جميع المعلومات المعطاة.

- اكتب تعبيراً لمركبات كمية الحركة في الاتجاهين x و y لكل جسم قبل وبعد التصادم، استخدم الإشارات المناسبة لمركبات متجهات السرعة.

-اكتب تعبيراً لكل من كمية الحركة في اتجاه x قبل وبعد التصادم وساويهما ببعضهما، كرر نفس الخطوة على المركبة y، تنبثق هذه الخطوات من كون أن حفظ كمية الحركة الكلي يعني حفظ كمية الحركة في كل الاتجاهات، تذكر أن حفظ كمية الحركة للمنظومة كلها وليس لكل جسم على حدة.

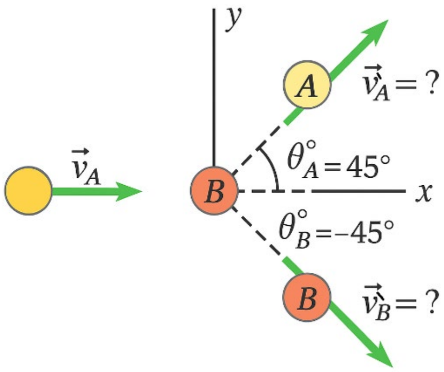
- إذا كان التصادم غير مرن فإن طاقة الحركة ليست محفوظة، هذه الحالة تتطلب معلومات إضافية، إذا كان التصادم عديم المرونة فإن السرعتين النهائيتين متساويتين، بعد ذلك حل معادلات كمية الحركة في الكميات المجهولة.

-إذا كان التصادم مرناً، تكون طاقة الحركة محفوظة ويمكنك مساواة طاقتي الحركة قبل وبعد التصادم، حتى نحصل على علاقات إضافية بين السرعات.

مثال 2.6

تتحرك كرة البلياردو A بسرعة مقدارها $V_A = 3.0$ m/s في اتجاه المحور $+x$، وتصطدم بكرة أخرى B مساوية لها في الكتلة وكانت ساكنة في البداية. بعد التصادم، تتحرك الكرتان بزاويتين مقدار كل منهما °45 بالنسبة للمحور x حيث تتحرك الكرة A فوق المحور، والكرة B تحته كما هو موضح في الشكل.

احسب سرعتي الكرتين بعد التصادم.



الحل:

نطبق قانون حفظ الزخم مع تحليل الحركة في بعدين على محوري XوY مع مراعاة أن الحركة قبل التصادم على محور X فقط

المحور X $\quad m\,v_A = m\acute{v}_A\cos(45) + m\acute{v}_B\cos(-45)$

المحور y $\quad 0 = m\acute{v}_A\,sin(45) + m\acute{v}_B\sin(-45)$

ويمكننا التخلص من الكتل في المعادلتين لتساويهما

نعلم أن: cos(-θ)=cos(θ)و sin(-θ)=-sin(θ)

$$\acute{v}_B = -v_A\frac{\sin\acute{}(45)}{\text{ın}\ (-45)} = \acute{v}_A$$

$$\acute{v}_B = \acute{v}_A = \frac{v_A}{2COS(45)} = \frac{3.0m/s}{2(0.707)} = 2.1m/s$$

لذلك، تتحرك كلتا الكرتين بسرعة تقارب$2.1m/s$ بعد التصادم.

تدريب 2.5

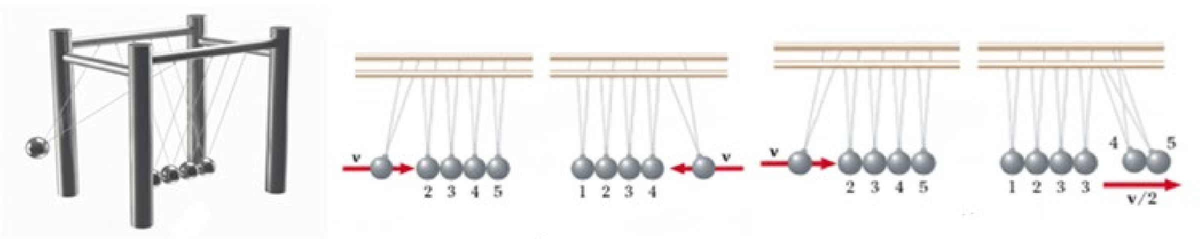
تتحرك سيارة كتلتها $m_1 = 1.0 \times 10^3$ kg في اتجاه الشرق بسرعة مقدارها $v_1 = 20.0$ m/s. تصطدم بشاحنة كتلتها $m_2 = 2.5 \times 10^3$kg تتحرك بسرعة $v_2 = 12.0$ m/s في اتجاه يميل بزاوية $30°$ نحو شمال الشرق. بعد التصادم، تلتصق السيارة والشاحنة معًا وتتحركان كجسم واحد.

احسب السرعة المشتركة v_f والزاوية θ التي يصنعها اتجاه حركتهما مع محور الشرق.

أسئلة الفصل (2): الزخم الخطي

اختبر فهمك:

(1) يوضح الشكل a جهاز يشرح حفظ كمية الحركة وطاقة الحركة، يتكون من خمس كرات صلبة ومعلقة بخيوط لها نفس الطول، عند جذب الكرة 1 ثم تركها تتحرك فإنها تتصادم مع الكرة 2 وتتحرك الكرة 5 إلى الخارج كما في الشكل b ، إذا تم جذب الكرة 1 والكرة 2 ثم تركهما، تتأرجح الكرتان 4 و 5 إلى الخارج، هل من الممكن أن تتأرجح الكرتان 4 و5 في الاتجاه العكسي وبسرعة تساوي نصف سرعة الكرة 1 وذلك عند ترك الكرة 1كما في الشكل c ؟



a b c

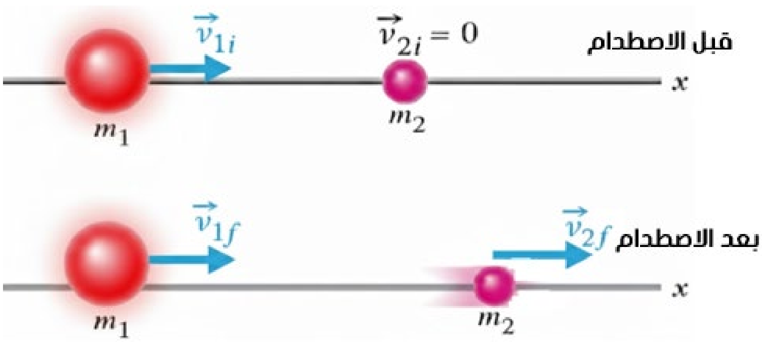
(2) أحسب الزخم الخطي النهائي للهدف الموضح في الشكل، إذا كان الزخم الخطي الابتدائي للمقذوف يساوي $6.0 kg.m/s$ وكان زخمه الخطي النهائي يساوي:

(أ) $2.0\ kg\ m/s$

(ب) $-2.0\ kg\ m/s$ ؟

(ج) ما هي الطاقة الحركية النهائية للهدف إذا كانت طاقتا الحركة الأولية والنهائية للقذيفة $5.0J$ و $2.0J$ على التوالي؟

اصطدام جسم متحرك بأخر ساكن

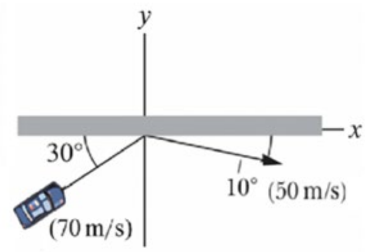


مسائل وتطبيقات

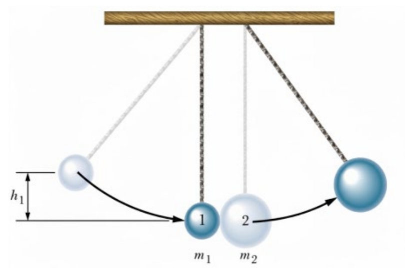
(1) اصطدام سيارة السباق بالحائط .يمثل الشكل منظر علوي للمسار الذي يسلكه سائق سيارة السباق عندما تصطدم سيارته بجدار مضمار السباق .قبل الاصطدام مباشرة، كان يتحرك بسرعة $v_i = 70.0m/s$ على طول خط مستقيم عند $30.0°$ من الحائط .بعد الاصطدام مباشرة، اصبحت سرعته $v_f = 50.0m/s$ على طول خط مستقيم عند $10.0°$من الحائط .كتلة السائق $80.0\ kg$

(ا) ما هو الدفع الذي يتأثر به السائق بسبب الاصطدام؟

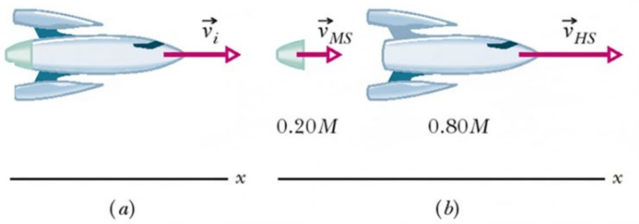
(ب) إذا كان التصادم يستمر $14\ ms$ ما مقدار متوسط القوة المؤثرة على السائق أثناء الاصطدام؟



(2) كرتان معدنيتان معلقتان بواسطة حبال رأسية، تلامسهما في البداية فقط ، كما هو موضح في الشكل. يتم سحب الكرة 1 ، التي كتلتها $m_1 = 30.0\ g$ ، إلى اليسار لارتفاع $h_1 = 8.0\ cm$، ثم يتم تحريرها من السكون .بعد أن تتأرجح لأسفل، فإنها تتعرض لتصادم مرن مع الكرة 2 ، التي كتلتها.$m_2 = 75.0\ g$ ما السرعةv_{1f} للكرة 1 بعد الاصطدام مباشرة؟



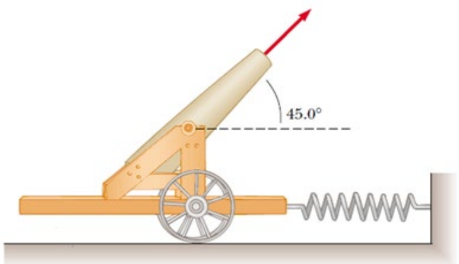
(3) يوضح الشكل سفينة فضائية ووحدة الشحن، ذات الكتلة الكليةM ، تتحرك على طول محور x في الفضاء . سرعتهما الابتدائية مقدارها $2.1 \times 10^3\ km/h$بالنسبة للشمس .مع انفجار صغير، السفينة الفضائية تخرج وحدة الشحن، كتلتها $0.20M$ ثم تنتقل بسرعة $5.0 \times 10^2\ km/h$ أسرع من الوحدة على طول المحور x ؛ وهذا هو السرعة النسبية v_{rel} بين السفينة ووحدة الشحن، فما هي سرعة السفينة بالنسبة للشمس.



(4) مدفع مثبت على مركبة تتحرك على قضبان أفقية، المركبة مربوطة بنابض (غير مضغوط أو مشدود) ثابته $2.0 \times 10^4 N/M$، يقذف المدفع قذائف كتلتها $2.0 \times 10^2 kg$ بسرعة $1.25 \times 10^2 m/s$ وبزاوية $45°$ مع الأفقي، كتلة المدفع ومركبته هي $5.0 \times 10^3 kg$ احسب :

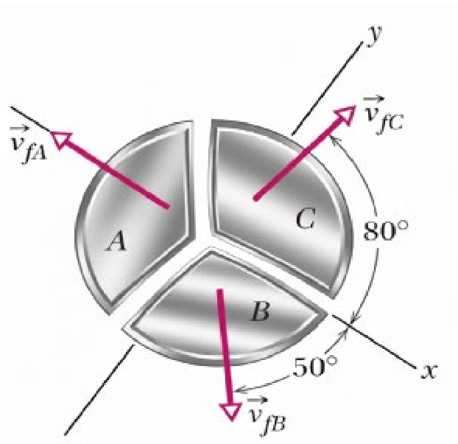
(ا)سرعة ارتداد المدفع. (ب)أقصى تمدد للنابض. (ج)أقصى قوة يؤثر بها النابض على المركبة.

(د) ضع في اعتبارك النظام الذي يتكون من المدفع والعربة والقذيفة .هل زخم هذا النظام محفوظ أثناء إطلاق القذائف؟ لماذا؟



(5) مفرقعة نارية موضوعة داخل ثمرة جوز هند كتلتهاM ، مثبتة في البداية على أرضية خالية من الاحتكاك. ينشطر جوز الهند إلى ثلاث قطع تنزلق على الأرض .يظهر منظر علوي في الشكل. القطعة C كتلتها $0.30M$، وسرعتها النهائية $v_{Fc} = 5.0 m/s$

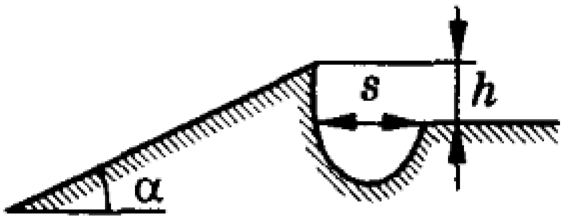
(ا) ما سرعة القطعة B ذات الكتلة $0.20M$ (ب) ما سرعة القطعة A؟



الاختبار التجريبي- المرحلة الثالثة

السؤال 1 (درجتان):

تندفع دراجة نارية نحو الضفة العالية للنهر (كما في الشكل). ما السرعة الدنيا التي يجب أن يمتلكها سائق الدراجة عند لحظة الانطلاق من الضفة اليسرى لكي يتمكن من القفز فوق النهر؟ الزاوية αوالمسافتان sوh موضحة بالشكل.



السؤال 2 (نقطة واحدة):

كرتان متماثلتان، لكل منهما كتلة m، مرتبطتان بخيط خفيف طوله L . يتحرّك هذا النظام بسرعة vعلى طاولة أفقية ملساء، بحيث تكون السرعة عمودية على الخيط .يصطدم الخيط بمسمار في منتصفه.

ما شدّ الخيط مباشرة بعد الاصطدام؟

السؤال 3 (نقطة واحدة):

جسم ساكن ينفجر إلى جزأين كتلتهما mو$2m$.إذا كانت الطاقة الحركية الكلية للشظايا تساوي E، فاحسب سرعة الشظية ذات الكتلة m.

السؤال 4 (3 نقاط):

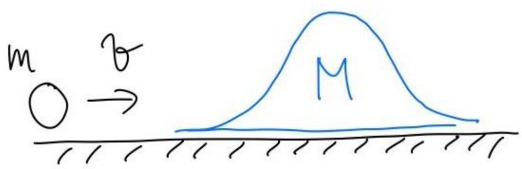
أنبوب اختبار طوله Lوكتلته Mموضوع على طاولة أفقية ملساء. تدخل كرة كتلتها mفي الأنبوب بسرعة v_0على امتداد محور الأنبوب .بعد تصادمٍ مرنٍ مع الطرف الداخلي للأنبوب، تخرج الكرة من الأنبوب مرة أخرى.

احسب الزمن الذي قضته الكرة داخل الأنبوب. أهمل دوران الكرة.

السؤال 5 (نقطتان):

منزلقة ملساء ارتفاعها h وكتلتها M يمكنها الانزلاق على سطح أفقي أملس. تنزلق حلقة صغيرة كتلتها mعلى السطح بسرعة ابتدائية v.

ما القيمة الدنيا للسرعة vالتي تمكن الحلقة من تجاوز المنزلقة (الوصول إلى قمته)؟



السؤال 6 (4 نقاط):

افترض كرة ملساء ثابتة نصف قطرها R تبدأ كرة صغيرة بالحركة من قمة الكرة بسرعة ابتدائية ضئيلة (يمكن إهمالها). عند نقطة ما، تنفصل الكرة الصغيرة عن الكرة الكبيرة. أوجد موضع النقطة (الزاوية التي تصنعها مع الرأسي).

حلول التدريبات

الفصل الأول:

(1) $W = 5.1 \times 10^2$ J

(2) $|\vec{F}| = 6.3$ N, $|\vec{d}| = 3.0$ m, $\theta = 110°$, $W = -6.0$ J

(3) $W_{\text{net}} = m \times A_{\text{total}} = 2.25 \times 16 = 36$ J

(4) $W = \frac{1}{2}mv^2$

(5) $\Delta PE = PE_3' - PE_2' = 0 - 2.45 \times 10^5 = -2.45 \times 10^5$ J

(6) $v = 28m/s$, $y = 30$ m

(7) $P = 1.3 \times 10^3$ W

الفصل الثاني:

(1) $\sum F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$

(2) $I = \Delta p = 2.64 \times 10^4$ N.s

(3) $v_h = -0.42$ m/s

(4) $PE_s = 24.0J$

(5) $v_f = 14$ m/s , $\theta = 18°$ شمال شرق

حلول أسئلة نهاية الفصل

الفصل الأول: اختبر فهمك

(1) $W_c > W_a > W_b$

(2)

(أ) أكبر طاقة	عند $X = 30m$
(ب) أكبر سرعة	عند $X = 30m$
(ج)سرعة تساوي الصفر	عند $X = 60m$
(د) الاتجاه عند $x = 60\ m$	$+x$

(3)

(أ) ترتيب السرعات النهائية $v_C > v_B > v_A$

(ب) ترتيب من يصل أولًا $C \rightarrow B \rightarrow A$

(4)

(أ)تقليل الارتفاع h تتوقف قبل D

(ب)زيادة الكتلة تتوقف عند نفس D

(5) لا يعتمد على طول المسار

المسائل:

(1) 80.0 m

(2) 1.8 m/s

(3) $f_k = 3.7 \times 10^2$ N

(4) $v = 3.0$ m/s , $h = 0.46$ m , $v = 2.8$ m/s ,

(5) $k = 1.59 \times 10^3$ N/m

(6) $d = 95.2$ m

(7) $m = 8.2 \times 10^1$ kg

(8) $\mu_k = \frac{m_2}{m_1} - \frac{kh}{2m_1 g}$

(9) $h = 0.35$ m , $v = 1.7$ m/s

الفصل الثاني:

اختبر فهمك

(1) لا يمكن أن يحدث $K_{\text{initial}} = \frac{1}{2}mv^2$,$K_{\text{final}} = \frac{1}{4}mv^2$

(2) $P_{2f} = 4.0 kg.m/s^2$, $P_{2f} = 8.0 kg.m/s^2$, $KE_{2f} = 3.0 J$

المسائل:

(1) $J = 4 \times 10^3$ N.s $F_{avg} = 3 \times 10^5$ N

(2) $v_{1f} = -0.54$ m/s

(3) $v_s = 2.0 \times 10^3$ km/h

(4) $v_C = -3.5$ m/s $x_{\max} = 1.8$ m $F_{\max} = 3.5 \times 10^4$ N نعم، القوى الداخلية تغير زخم فقط الأجزاء