المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء ٢

التعليم الثانوي- نظام المسارات

السنة الثانية

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة ١٤٤٥ - ٢٠٢٣

يُوزع مجّاناً ولا يُباع

ⓒ وزارة التعليم، ١٤٤٣هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

وزارة التعليم

الفيزياء ٢ -نظام المسارات- الفصل الدراسي الثالث - / وزارة التعليم. الرياض ، ١٤٤٣هـ .

٢٤٢ص ؛ ٢١ X ٢٧,٥ سم

ردمك : ٧-٠٩٠-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

١ ـ الفيزياء٢ ـ كتب دراسية السعودية. أ ـ العنوان

ديوي ٥٣٠,٠٧١٢ ١٤٤٣/٨١١٤

رقم الإيداع : ١٤٤٣/٨١١٤

ردمك : ٧-٠٩٠-٥١١-٦٠٣-٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:

يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق أكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

يأتي اهتمام المملكة العربية السعودية بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب (فيزياء٢) لنظام المسارات في التعليم الثانوي داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيها هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (٢٠٣٠) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ويمكن الرجوع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (٢٠٣٠) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحا وتفسيرا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق، ومظللة باللون الأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

ونسأله سبحانه أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

الفصل 5

الطاقة وحفظها
Energy and Its Conservation

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف الطاقة بوصفها خاصية للجسم تغيـر من موقعه، أو سرعته، أو بيئته.
- توضيح أن الطاقة تتغيّر من شكل إلى آخر، وأن الطاقة الكلية في نظام مغلق ثابتة (المقدار الكلي للطاقة يبقى ثابتًا في النظام المغلق).

الأهمية

تدير الطاقـة عجلة الحياة، حيث يشـتري الناس الطاقة ويبيعونها لتشغيـل الأجهـزة الكهربائية، والسيّارات والمصانع.

التزلج يحدّد ارتفـاع قفزة المتزلج طاقته عند أسفل المنحدر؛ إذ تتحدد طاقته قبل أن يقفـز في الهواء ويطير عـدة أمتار ثم يسقط أسـفل المنحدر الثلجي. وتعتمد المسـافة التي يقطعها المتزلج على مبادئ فيزيائية منهـا مقاومة الهواء، والتوازن، والطاقة.

فكّر

كيف يؤثر ارتفـاع منحدر التزلج في المسافة التي يقطعها المتزلج في قفزته؟

أثنـاء حركـة المتزلج إلى أسـفل المنحدر تتحـول طاقة وضعـه إلى طاقـة حركيـة وطاقـة حراريـة. ولتقليـل الطاقـة الحراريـة الناتجـة عـن السـطح والاحتـكاك الحركي يتخذ المتزلج وضعًا منحنيًا ويسـتخدم زلّاجة مطليه بالشـمع. وفي الحالـة المثالية يحـدد ارتفاع قفزة المتزلـج أعـلى المنحـدر سرعتـه في أسـفله. إذا كانـت الطاقـة الميكانيكيـة محفوظـة عـلى طـول المنحـدر فإن سرعة التزلج تساوي $\sqrt{(2gh)}$، حيث تمثل g تسارع الجاذبية وتمثل h ارتفاع المنحدر.

موقع واجباتي

تجربة استهلالية

كيف تحلّل طاقة كرة السلة المرتدة؟

سؤال التجربة ما العلاقة بين الارتفاع الذي تسقط منه كرة السلة والارتفاع الذي تصل إليه عندما ترتد إلى أعلى؟

الخطوات

1. ثبت مسطرة مترية بجانب الحائط، ثم اختر ارتفاعًا ابتدائيًّا لتسقط منه كرة سلة، وسجل الارتفاع في جدول البيانات.
2. أسقط الكرة، ثم سجل الارتفاع الذي ترتد إليه.
3. كرّر الخطوتين 1 و 2 بإسقاط الكرة من ثلاثة ارتفاعات مختلفة.
4. **ارسم رسومًا بيانية واستخدمها** مثّل بيانيًّا العلاقة بين الارتفاع الذي ترتد إليه الكرة (y) والارتفاع الذي سقطت منه (x)، ثم ارسم أفضل خط يوائم البيانات.

التحليل

استخدم الرسم البياني لإيجاد الارتفاع الذي ترتد إليه الكرة إذا أسقطت من ارتفاع 10.0 m.

عندما ترتفع الكرة وتتهيأ للسقوط يكون لها طاقة، فما العوامل المؤثرة في هذه الطاقة؟

ستتنوع الإجابات. سيقدر الطلاب ارتفاع الارتداد للكرة الساقطة من ارتفاع 10 m بيانيًّا أو رياضيًّا. بيانيًّا، يمكنهم استقراء الخط من خط المواءمة الأفضل. أما رياضيًّا فيمكنهم افتراض معادلة جبرية تمثل بياناتهم. اعتمادًا على عينة البيانات تكون المعادلة $h = 0.4d$، حيث h ارتفاع الارتداد، و d المسافة التي سقطت منها الكرة. وفي الحالتين يكون ارتفاع الارتداد 4 m.

التفكير الناقد لماذا لا ترتد الكرة إلى الارتفاع نفسه الذي سقطت منه؟

التفكير الناقد تنبعج الكرة عندما تصطدم بالأرض. وهذا الانبعاج يحوّل جزءًا من طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية فترتفع درجة حرارة الكرة والأرضية بقدر ضئيل. وهذا التحول في الطاقة يعني أن الكرة فقدت مقدارًا من الطاقة، لذا ترتد الكرة إلى ارتفاع أقل من الارتفاع الأصلي الذي سقطت منه. ومع كل ارتداد يتحول جزء من الطاقة الحركية إلى طاقة حرارية، وفي نهاية المطاف تفقد الكرة طاقة وضعها الابتدائية جميعها، فتتوقف عن الحركة وتسكن.

تُستخدم كلمة طاقة في سياقات مختلفة في حديثنا اليومي؛ فمثلاً تعرض بعض الإعلانات التجارية أنواعًا من الأغذية باعتبارها مصادر للطاقة، ويستخدم الرياضيون كلمة الطاقة في حديثهم عن التمارين الرياضية، كما تُسمى الشركات التي تزود منزلك بالكهرباء والغاز الطبيعي أو وقود التدفئة بشركات الطاقة.

غير أن العلماء والمهندسين يستخدمون كلمة الطاقة بصورة أكثر تحديدًا. فكما تعلمت سابقًا يسبب الشغل تغيرًا في طاقة النظام؛ أيْ أن الشغل ينقل الطاقة بين النظام والمحيط الخارجي.

وستتعرف في هذا الفصل كيف يمتلك الجسم الطاقة بطرائق مختلفة، وكيف تتحول الطاقة من شكل إلى آخر، وكيف نتتبّع هذه التغيرات.

موقع واجباتي

نموذج لنظرية الشغل – الطاقة

A model of the Work – Energy Theorem

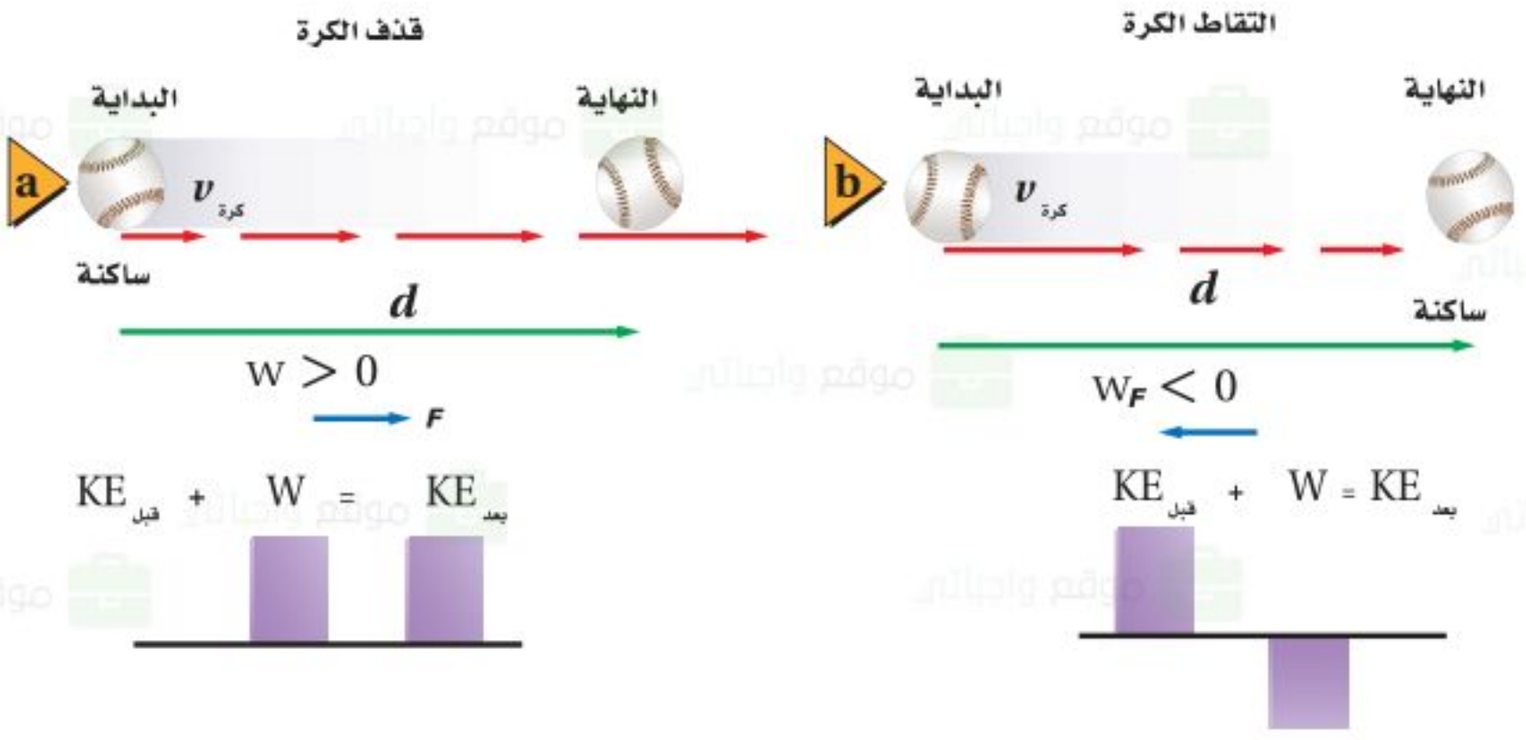
تعرّفت سابقًا نظرية الشغل – الطاقة، وتعلمت أنه عندما يُبذل شغلٌ على نظام معين تزداد طاقته، ومن جهة أخرى إذا بَذل النظامُ شـــغلاً تقل طاقته، وهذه هي فكرة الدرس بصورة عامة، ولكن تتبُّع الطاقة يشبه إلى حد كبير تتبُّع إنفاق المال.

فإذا كان لديك وظيفة فإن كمية المال التي تمتلكها تزداد في كل مرة تستلم فيها راتبك.

ويمكن تمثيل هذه العملية بيانيًّا بالأعمدة، كما في **الشكل 1a–5**، حيث يمثل العمود البرتقالي مقدار المال الذي بدأت به، ويمثل العمود الأزرق مقدار المال الذي دفعته أو اكتسبته، أما العمود الأخضر فيمثل المجموع الكلي للمال (بعد الدفع) سواء الذي دفعته أو كسبته. لاحظ أن المحاســـب يعتبر التدفق المالي لديك موجبًا إذا دُفع المال لك، أما إذا أنفقت المال الذي تمتلكه فسيكون التدفق المالي سالبًا، وبذلك يقل مجموع النقود الكلي، كما في **الشكل 1b–5**. فالعمود الذي يمثل مقدار المال الذي تمتلكه قبل أن تشتري قرصًا مدمجًا (CD) لحاسوبك أعلى من العمود الذي يمثل مقدار المال المتبقي بعد شراء ذلك القرص، والفرق يســـاوي تكلفة القرص. والتدفق المالي في هذه الحالة يبينه العمود أسفل المحور؛ لأنه يمثل المال الخارج ويكون سالبًا. والطاقة تشبه عملية صرفك للمال. فالطاقة إما أن يبذلها النظام أو تبذل عليه.

■ **الشـكل 1–5** عندما تكسب مالاً يزيد مقدار المال لديك (**a**)، وعندما تصرف المال يقل مقداره لديك (**b**).

قذف الكرة يمكن أن نبين كســـب الطاقة أو فقدها بقذف الكرة والتقاطها. تعلمت سابقًا أنه إذا أثرت بقوة ثابتة F في جسم، فتحرك هذا الجسم مسافة d في اتجاه القوة فإنك تكون قد بذلت شـــغلاً يُعبر عنه بالعلاقة $W = Fd$، ويكون الشغل موجبًا لأن القوة والحركة في الاتجاه نفسه، كما أن طاقة الجسم ازدادت بمقدار يساوي الشغل نفسه W. افترض أن هذا الجســـم كرة، وأثرت فيها بقوة وحركتها أفقيًّا، فاكتســـبت الكرة طاقة حركية نتيجة لتأثير القوة، و**الشكل 2a–5** يمثل هذه العملية. كما يمكنك استخدام التمثيل البياني بالأعمدة لتوضيح هذه العملية، حيث يمثل ارتفاع العمود مقدار الشغل المبذول أو الطاقة بالجول. والطاقة الحركية بعد بذل الشغل تساوي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل المبذول على الكرة.



■ **الشـكل 2–5** الطاقة الحركية بعد قذف الكرة أو التقاطها تساوي الطاقة الحركية قبل عملية القذف أو الالتقاط+ الشغل المبذول.

التقاط الكرة ماذا يحدث عندما تلتقط الكرة؟ لقد كانت الكرة تتحرك، ولها طاقة حركية قبل أن ترتطم بيدك. وعندما تلتقطها تؤثر فيها بقوة في الاتجاه المعاكس لاتجاه حركتها، لذا فإنك تبذل عليها شغلاً سالبًا، مما يجعلها تتوقف، لتصبح طاقتها الحركية في النهاية صفرًا. وهذه العملية ممثلة في **الشكل 2b–5**. لاحظ أن الطاقة الحركية موجبة دائمًا، ففي حالة التقاط الكرة مثلا، كانت الطاقة الحركية الابتدائية للكرة موجبة، والشغل المبذول على الكرة سالبًا، والطاقة الحركية النهائية صفرًا. مرة أخرى فإن الطاقة الحركية بعد توقف الكرة هي مجموع الطاقة الحركية الابتدائية والشغل الذي بُذل على الكرة.

الطاقة الحركية Kinetic Energy

تذكّر أن الطاقة الحركية يعبر عنها بالعلاقة الآتية: $KE=\frac{1}{2}mv^2$ حيث m كتلة الجسم، و v مقدار سرعة الجسم. وتتناسب الطاقة الحركية طرديًا مع كتلة الجسم. فكرة حديدية مثلاً كتلتها 7.26 kg مقذوفة في الهواء لها طاقة حركية أكبر مما لكرة بيسبول كتلتها 0.148 kg لها السرعة نفسها؛ لأن كتلة الكرة الحديدية أكبر. كما تتناسب الطاقة الحركية لجسم طرديًا مع مربع سرعته؛ فالطاقة الحركية لسيارة تتحرك بسرعة 20 m /s تعادل أربعة أضعاف الطاقة الحركية لسيارة مماثلة لها في الكتلة تتحرك بسرعة 10 m /s. وهناك أيضًا طاقة حركية ناتجة عن الحركة الدورانية، فإذا دوّرنا لعبة البلبل مثلاً مع الحفاظ على مركز كتلتها في نقطة محددة، فهل تكون له طاقة حركية؟ لعلك تعتقد أنه لا يوجد طاقة حركية للبلبل لأنه لم ينتقل قاطعًا أي مسافة، ولكن حتى تجعل البلبل يدور لا بد أن تبذل عليه شغلاً، لذا لابد أن يكون للبلبل **طاقة حركية دورانية**، وهذا نوع آخر من أنواع الطاقة المختلفة. وكما تعتمد الطاقة الحركية الخطية على سرعة الجسم تعتمد الطاقة الحركية الدورانية على السرعة الزاوية ω. ومن جهة أخرى فالطاقة الحركية الدورانية لا ترتبط بكتلة الجسم فقط وإنما بتوزيع هذه الكتلة أيضًا.

يمثل **الشكل 3a–5** غطّاسًا يقف على لوح الغطس، حيث يبذل شغلاً عندما يدفع لوح الغطس بقدميه إلى الأسفل، فيولد هذا الشغل طاقة حركية خطية وأخرى دورانية؛ حيث تتولد طاقة الحركة الخطية عندما يتحرك مركز كتلة الغطاس في أثناء الوثبة، أما طاقة الحركة الدورانية فتتولد عندما يدور حول مركز كتلته، كما في **الشكل 3b–5**، ولأن الغطاس يتحرك نحو الماء وفي الوقت نفسه يدور حول مركز كتلته، بينما هو في وضع الانثناء (القرفصاء)، فإن له طاقة حركية خطية وطاقة حركية دورانية. أما عندما يدخل الغطاس الماء بقامة مفرودة – كما في **الشكل 3c–5** – فإن طاقته الحركية تظهر على شكل طاقة حركية خطية.

■ **الشكل 3–5** يبذل الغطّاس شغلاً عندما يدفع لوح الغطس إلى أسفل ويثب عنه إلى أعلى (a)، ويتحول جزء من طاقته الحركية المتولدة عن الشغل إلى طاقة حركية دورانية عندما يدور حول مركز كتلته (b)، ويكون له طاقة حركية خطية عندما يدخل إلى الماء (c).

1. يتحـــرك متزلج كتلته 52.0 kg بسرعة 2.5 m /s ، ويتوقف خلال مســـــافة 24.0 m ما مقدار الشغل المبذول بفعل الاحتكاك مع الجليد لجعل المتزلج يتوقف؟ وما مقدار الشـــغل الذي يجب على المتزلج أن يبذله ليصل إلى سرعة 2.5 m /s مرة أخرى؟

لجعل المتزلج يتوقف:

$$W = KE_f - KE_i$$

$$= \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$$

$$= \frac{1}{2}(52.0\,kg)(0.00\,m/s)^2 - \frac{1}{2}(52.0\,kg)(2.5\,m/s)^2$$

$$= -163\,J$$

لزيادة سرعة المتزلج حتى تصبح 2.5 m/s مرة أخرى:

$$W = KE_f - KE_i$$

$$= \frac{1}{2} mv_f^2 - \frac{1}{2} mv_i^2$$

$$= \frac{1}{2}(52.0\,kg)(2.5\,m/s)^2 - \frac{1}{2}(52.0\,kg)(0.00\,m/s)^2$$

$$= +163\,J$$

2. سيارة صغيرة كتلتها 875.0 kg زادت سرعتها من 22.0 m /s إلى 44.0 m /s عندما تجاوزت سيارة أخرى، فما مقدارا طاقتي حركتها الابتدائية والنهائية؟ وما مقدار الشغل المبذول على السيارة لزيادة سرعتها؟

الطاقة الحركية الابتدائية للسيارة تساوي:

$$KE_i = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(875.5\ \text{kg})(22.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 2.12\times10^5\ \text{J}$$

الطاقة الحركية النهائية للسيارة تساوي:

$$KE_f = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(875.5\ \text{kg})(44.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 8.47\times10^5\ \text{J}$$

الشغل المبذول يساوي:

$$KE_f - KE_i = 8.47\times10^5\ \text{J} - 2.12\times10^5\ \text{J}$$

$$= 6.35\times10^5\ \text{J}$$

موقع واجباتي

3. ضرب مذنب كتلته $7.85 \times 10^{11}\,kg$ الأرض بسرعة $25.0\,km/s$. جد الطاقة الحركية للمذنب بوحدة الجول، وقارن بين الشغل المبذول من الأرض لإيقاف المذنب والمقدار $4.2\times10^{15}\,J$ والذي يمثل الطاقة الناتجة عن أكبر سلاح نووي على الأرض.

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

$$= \frac{1}{2}(7.85\times10^{11}\,kg)(2.50\times10^{4}\,m/s)^2$$

$$= 2.45\times10^{20}\,J$$

$$\frac{KE_{\text{المذنب}}}{KE_{\text{القنبلة}}} = \frac{2.45\times10^{20}\,J}{4.2\times10^{15}\,J} = 5.8\times10^{4}$$

يلزم 5.8×10^{4} قنبلة لتوليد المقدار نفسه من الطاقة التي استخدمت من قبل الأرض لإيقاف المذنب.

صفحة 110

4. ما مقدار طاقة الوضع لكرة البولنج في المثال 1، عندما تكون على سطح الأرض، على اعتبار مستوى الإسناد عند سلة الكرات؟

$$PE = mgh$$

$$= (7.30\,kg)(9.80\,m/s^2)(-0.610\,m)$$

$$= -43.6\,J$$

موقع واجباتي

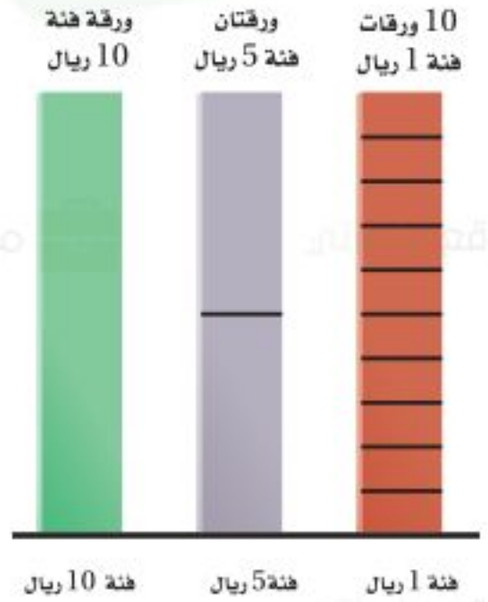
الطاقة المختزنة Stored Energy

تأمّل مجموعة من القطع الصخرية في أعلى تل؛ لابد أن هذه الصخور رُفعت إلى أعلى نتيجة عمليات جيولوجية ضد قوة الجاذبية الأرضية، ونتيجة للشغل المبذول على الصخور فقد اختُزِنت فيها طاقة، وعند حدوث الانزلاقات تصبح الصخور أقل تماسكًا مع الوسط المحيط بها مما يسمح لها بالتساقط، وتتزايد سرعتها في أثناء السقوط بفعل تحول الطاقة المختزنة فيها إلى طاقة حركية.

والألعاب التي تعمل بشد النابض تخزن طاقة في النابض المشدود بالطريقة نفسها. ويعتبر اختزان الطاقة في الصخور وفي النوابض أمثلة على اختزان الطاقة بطرائق ميكانيكية، وهناك طرائق أخرى لاختزان الطاقة، فمثلاً، تختزن السيارة الطاقة في صورة طاقة كيميائية في خزان البنزين. وعمومًا تتحول الطاقة من شكل إلى آخر لتكون مفيدة، أو لتسبب حركة الأشياء.

كيف يوضح نموذج المال الذي نوقش مؤخرا تحولات الطاقة من شكل إلى آخر؟ يأتي المال أيضا بأشكال مختلفة؛ إذ يمكن أن يكون لديك ورقة نقدية من فئة 10ريالات، أو ورقتان من فئة 5 ريالات، أو عشر ورقات من فئة ريال واحد. وفي جميع الحالات سيكون معك عشرة ريالات، فاختلاف أشكال الأوراق النقدية لم يغير من قيمتها الكلية، ويمكن تمثيل ذلك برسم بياني بالأعمدة، كما في **الشكل 4–5**؛ حيث يبين ارتفاع العمود مقدار المال في كل حالة. وبالمثل يمكن استخدام الرسم البياني بالأعمدة لتمثيل كمية الطاقة في أوضاع مختلفة للنظام وبالطريقة نفسها.

■ **الشكل 4–5** يبين فئات نقدية مختلفة: 1ريال، 5ريال، 10ريالات.



طاقة الوضع الجاذبية
Gravitational Potential Energy

انظـر إلى الكرات المقذوفة في الهواء في **الشـكل 5–5**؛ إذا اعتبرنا أن النظام يتكون من كرة واحدة، فسـيكون هناك عدة قوى خارجية تؤثر فيها؛ حيـث تبذل قوة يد اللاعب الذي يقذفها شـغلاً يعطي الكرة طاقة حركية ابتدائية. وبعد أن تخرج الكرة من يد اللاعب تتأثر بقوة الجاذبية الأرضية فقط، فما مقدار الشـغل المبذول من قوة الجاذبية على الكرة في أثناء تغير ارتفاعها؟

الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية تقع الكرة تحت تأثير قوة الجاذبية F_g في أثناء صعودها إلى أعلى، وبذلك فإن اتجاه إزاحتها (إلى أعلى) يكون معاكسًـا لاتجاه تأثير القوة عليها (أسفل)، أي أن الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية الأرضية على الكرة في أثناء صعودها هو شـغل سالب، وإذا كان h هو الارتفاع الذي تصل إليه الكرة فوق يد اللاعب فيمكن التعبير عن شغل الجاذبية بالمعادلة الآتية: $W_g = -mgh$، وأمّا في طريق العودة (السقوط) إلى أسـفل فإن قوة الجاذبية والإزاحة تكونان في الاتجاه نفسـه، وعندئذ يكون شغل قوة الجاذبية الأرضية موجبًا $W_g = mgh$؛ أثناء صعود الكرة تبذل الجاذبية شـغلاً سالبًا يبطئ سرعة الكرة حتى تتوقف. وفي أثناء السقوط تبذل قوة الجاذبية الأرضية شغلاً موجبًا يزيد من سرعتها. لذا فإنّه يزيد من طاقتها الحركية؛ أيْ تستعيد الكرة طاقتها الحركية الابتدائية التي كانت فيها لحظـة قذفها من يد اللاعب إلى أعـلى. وكأن الطاقة الحركية اختزنت في الكرة بشـكل آخر من أشـكال الطاقة عندما ارتفعت إلى أعلى، ثم تحولت ثانية إلى طاقة حركية عندما سقطت إلى أسفل.

■ **الشـكل 5–5** تتغير طاقة وضع الكرة وطاقتها الحركية باستمرار عند قذفها إلى أعلى كما يفعل اللاعب.

لنأخذ نظامًا مكونًا من جسم ما والأرض، حيث تبذل قوة التجاذب بين الجسم والأرض شـغلًا على الجسم ما دام الجسـم يتحرك، فإذا تحرك الجسـم بعيدًا عن الأرض اختُزنت في النظام طاقة نتيجة تأثير قوة الجاذبية بين الجسـم والأرض، وتسـمى هذه الطاقة **طاقة الوضع الجاذبية**، ويرمز لها بالرمز PE. ويُحدَّد الارتفاع الذي يصل إليه الجسـم باستخدام **مستوى الإسناد**، وهو المستوى الذي تكون طاقة الوضع PE عنده صفرًا. فإذا كانت كتلة الجسم m، وارتفاع الجسم الرأسي عن مستوى الإسناد h، فإن طاقة الوضع الجاذبية يعبر عنها بالعلاقة:

طاقة الوضع الجاذبية

$$PE = mgh$$

طاقة الوضع الجاذبية الأرضية لجسم ما تساوي حاصل ضرب كتلته في تسارع الجاذبية الأرضية في ارتفاعه الرأسي عن مستوى الإسناد.

تمثل g تسـارعَ الجاذبية الأرضية، وتقاس طاقة الوضع كـما تقاس الطاقة الحركية بوحدة الجول.

تطبيق الفيزياء

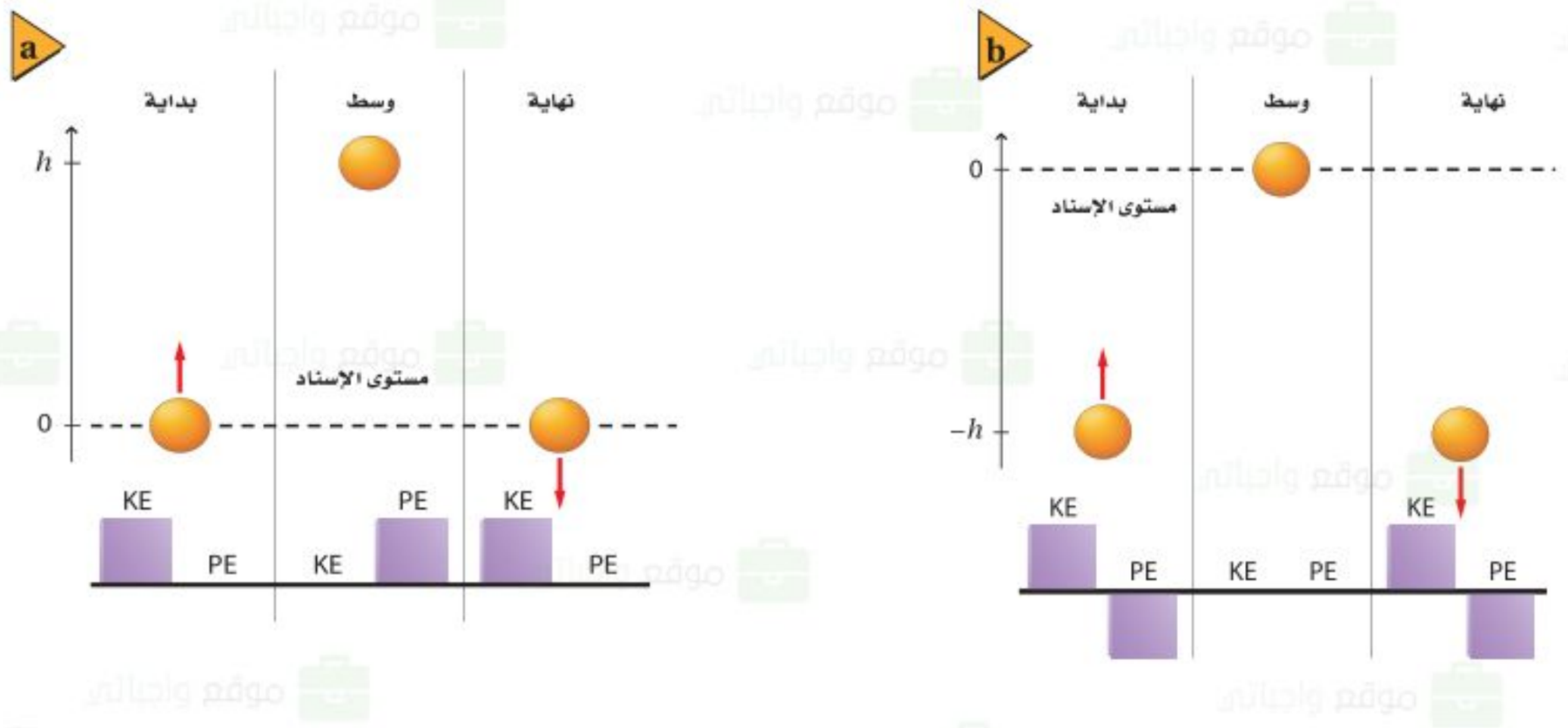
طاقة وضع الذرة

من المثير للاهتمام معرفة المقادير النسبية لطاقة الوضع لكل ذرة. فعلى سبيل المثال كتلة ذرة الكربون 2×10^{-26} kg؛ وإذا رفعتها مسافة 1 m فوق سطح الأرض تصبح طاقة الوضع الجاذبية لها 2×10^{-25} J، وطاقة الوضع الكهرسكونية التي تُبقي الإلكترون مرتبطًا مع ذرته تساوي 10^{-19} J تقريبًا، وطاقة الوضع النووية التي تربط مكونات النواة أكبر من 10^{-12} J، أيْ أن طاقة الوضع النووية أكبر مليون مليون مرة على الأقل من طاقة الوضع الجاذبية.

طاقة الحركة وطاقة الوضع لنظام لنأخذ حالة الكرة التي تقذف إلى أعلى ثم تعاود الهبوط، والتي سبق طرحها: يتكون النظام في هذه الحالة من الكرة والأرض، وتوجد الطاقة في النظام على شكل طاقة حركية، وطاقة وضع جاذبية. وعند بداية قذف الكرة فإن طاقة النظام تتخذ شكل الطاقة الحركية، كما في **الشكل 6a–5**، وفي أثناء صعود الكرة إلى أعلى تتحول الطاقة الحركية تدريجيًّا إلى طاقة وضع، حيث تصبح سرعة الكرة صفرًا عندما تبلغ أقصى ارتفاع لها، وعندئذٍ تصبح الطاقة كلها طاقة وضع جاذبية فقط، وفي أثناء السقوط تتحول طاقة الوضع الجاذبية إلى طاقة حركية. ويبقى مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية ثابتًا في جميع الأوقات؛ لأنه لم يُبذل شغل على النظام من قوة خارجية.

مستوى الإسناد تعدّ يد اللاعب الذي يقذف الكرة، ويتلقفها، هي مستوى الإسناد الذي يقاس منه ارتفاع الكرة، انظر **الشكل 6a–5**، ولذلك عندما تكون الكرة عند يد اللاعب فإن $h = 0\ \text{m}$ و $\text{PE} = 0\ \text{J}$، ويمكن أخذ مستوى الإسناد عند أي ارتفاع مناسب في أثناء حل المسألة. فلو افترضنا أننا أخذنا مستوى الإسناد عند أقصى ارتفاع للكرة، فعندئذ تكون $h=0\ \text{m}$، وطاقة الوضع للنظام $\text{PE} = 0\ \text{J}$ عند هذه النقطة كما في **الشكل 6b–5**، وتكون طاقة الوضع للنظام سالبة عند بداية قذف الكرة إلى أعلى.

أما عند حساب المجموع الكلي للطاقة في النظام فستكون النتيجة كما في **الشكل 6a–5** مختلفة عن المجموع الكلي للطاقة في النظام في **الشكل 6b–5**، ويعود هذا إلى اختلاف مستوى الإسناد في الحالتين. لكن المجموع الكلي لطاقة النظام يبقى مقدارًا ثابتًا في جميع الأوقات خلال تحليق الكرة، وإن كانت قيمة المقدار الثابت تختلف باختلاف مستوى الإسناد في كل حالة. من جهة أخرى فإن تغيرات الطاقة هي وحدها التي تحدد حركة النظام.



■ **الشكل 6–5** تتحوّل طاقة الكرة من شكل إلى آخر في أثناء مراحل تحليقها المختلفة (a)، لاحظ أنه يمكن اختيار مستوى الإسناد بشكل عشوائي. وعلى الرغم من تغير المجموع الكلي للطاقة في النظام بتغير مستوى الإسناد إلا أن المجموع الكلي لطاقة النظام يبقى ثابتًا طوال مراحل التحليق (ما دام مستوى الإسناد محددًا) (b).

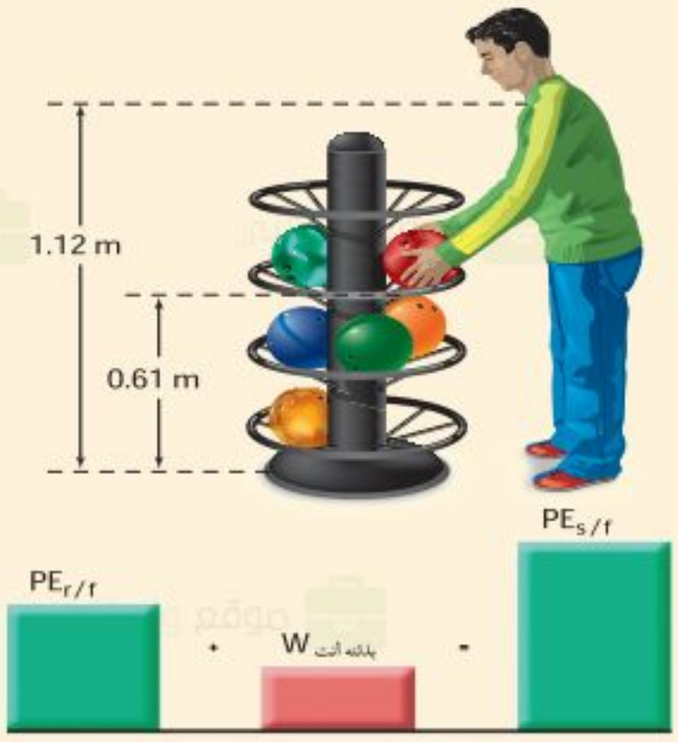
مثـــــال 1

طاقة الوضع الجاذبية إذا رفعت كرة بولنج كتلتها 7.30 kg من سلة الكرات إلى مستوى كتفك، وكان ارتفاع سلة الكرات عن سطح الأرض 0.610 m، وارتفاع كتفك عن سطح الأرض 1.12 m، فما مقدار:

a. طاقة الوضع الجاذبية لكرة البولنج وهي على كتفك بالنسبة إلى سطح الأرض؟

b. طاقة الوضع الجاذبية لكرة بولنج على كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات؟

c. شغل الجاذبية عندما ترتفع الكرة من السلة إلى مستوى كتفك؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطّطًا للحالة.
- اختر مستوى إسناد.
- ارسم أعمدة بيانية بين طاقة الوضع الجاذبية على اعتبار أن سطح الأرض هو مستوى الإسناد.
- يرمز الحرف s إلى الكتف، والحرف r إلى السلة، والحرف f إلى الأرض.

المعلوم

$m = 7.30\ \text{kg}$ ، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

نسبة إلى سطح الأرض $h_r = 0.610\ \text{m}$

نسبة إلى سطح الأرض $h_s = 1.12\ \text{m}$

المجهول

$PE_{s/f} = ?$

$PE_{s/r} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. اختر مستوى الاسناد عند سطح الأرض.

جد طاقة الوضع الجاذبية للكرة عند مستوى الكتف.

عوض مستخدمًا $m = 7.30\ \text{kg}$, $g = 9.80\ \text{m/s}^2$, $h = 1.12\text{m}$

$$PE_{s/f} = mgh_s$$
$$= (7.30\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (1.12\ \text{m})$$
$$= 80.1\ \text{J}$$

b. افترض أن مستوى الإسناد هو سلة الكرات.

جد ارتفاع كتفك بالنسبة إلى سلة الكرات

$$h = h_s - h_r$$

جد طاقة وضع الكرة.

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات213

عوض مستخدمًا $m = 7.30\ \text{kg}$, $g = 9.80\ \text{m/s}^2$, $h_s = 1.12\ \text{m}$, $h_r = 0.610\ \text{m}$

$$PE_{s/r} = mgh$$
$$= mg(h_s - h_r)$$
$$= (7.30\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.12\ \text{m} - 0.610\ \text{m})$$
$$= 36.5\ \text{J}$$

وهذا يساوي الشغل الذي تبذله أنت.

c. الشغل المبذول من الجاذبية هو وزن الكرة مضروبًا في الارتفاع الذي وصلت إليه.

بما أن اتجاه الوزن معاكس لاتجاه حركة الكرة، فإن الشغل يكون سالبًا.

عوض مستخدمًا $m = 7.30\ \text{kg}$, $g = 9.80\ \text{m/s}^2$, $h_s = 1.12\ \text{m}$, $h_r = 0.610\ \text{m}$

$$W = Fd$$
$$= -(mg)h$$
$$= -(mg)\ (h_s - h_r)$$
$$= -(7.30\text{kg})\ (9.80\text{m/s}^2)(1.12\text{m} - 0.610\text{m})$$
$$= -36.5\ \text{J}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** طاقة الوضع والشغل كلاهما يُقاس بوحدة الجول.
- **هل القيمة منطقية؟** يجب أن يكون للكرة طاقة وضع أكبر بالنسبة لسطح الأرض، مقارنة بطاقتها بالنسبة لسلة الكرات؛ لأن ارتفاع الكرة فوق مستوى الإسناد أكبر.

موقع واجباتي

4. ما مقدار طاقة الوضع لكرة البولنج في المثال 1، عندما تكون على سطح الأرض، على اعتبار مستوى الإسناد عند سلة الكرات؟

$$PE = mgh$$

$$= (7.30\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(-0.610\ \text{m})$$

$$= -43.6\ \text{J}$$

5. احسب الشغل الذي تبذله عندما تُنزل بتمهلٍ كيسَ رمل كتلته 20.0 kg مسافة 1.20 m من شاحنة إلى الرصيف؟

$$W = Fd$$

$$= mg(h_f - h_i)$$

$$= (20.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.00\ \text{m} - 1.20\ \text{m})$$

$$= -2.35 \times 10^2\ \text{J}$$

6. رفع طالب كتابًا كتلته 2.2 kg من فوق سطح طاولة ارتفاعها عن سطح الأرض 0.80 m ، ثم وضعه على رف الكتب الذي يرتفع عن سطح الأرض مسافة 2.10 m. ما مقدار طاقة الوضع للكتاب بالنسبة إلى سطح الطاولة؟

$$PE = mg(h_f - h_i)$$

$$= (2.2\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(2.10\ \text{m} - 0.80\ \text{m})$$

$$= 28\ \text{J}$$

7. إذا سـقطت قطعة طوب كتلتها 1.8 kg من مدخنة ارتفاعها 6.7 m إلى سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة وضعها؟

اختر مستوى الإسناد عند سطح الأرض.

$$\Delta PE = mg(h_f - h_i)$$

$$= (1.8\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.0\ \text{m} - 6.7\ \text{m})$$

$$= -1.2 \times 10^2\ \text{J}$$

موقع واجباتي

8. رفع عامل صندوقًا كتلته 10.0 kg من الأرض إلى سطح طاولة ارتفاعها 1.1 m، ثم دفع الصندوق على سطح الطاولة مسافة 5.0 m، ثم أسقطه على الأرض. ما التغيرات في طاقة الصندوق؟ وما مقدار التغير في طاقته الكلية؟ (أهمل الاحتكاك)

لرفع الصندوق إلى الطاولة:

$$W = Fd$$

$$= mg(h_f - h_i)$$

$$= \Delta PE$$

$$= (10.1\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.1\ \text{m} - 0.0\ \text{m})$$

$$= 1.1 \times 10^2\ \text{J}$$

عند دفع الصندوق على الطاولة يكون $W = 0.0$؛ لأن الارتفاع لم يتغير ولأننا أهملنا الاحتكاك.

عند إسقاط الصندوق على الأرض فإن

$$W = Fd$$

$$= mg(h_f - h_i)$$

$$= \Delta PE$$

$$= (10.1\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.0\ \text{m} - 1.1\ \text{m})$$

$$= -1.1 \times 10^2\ \text{J}$$

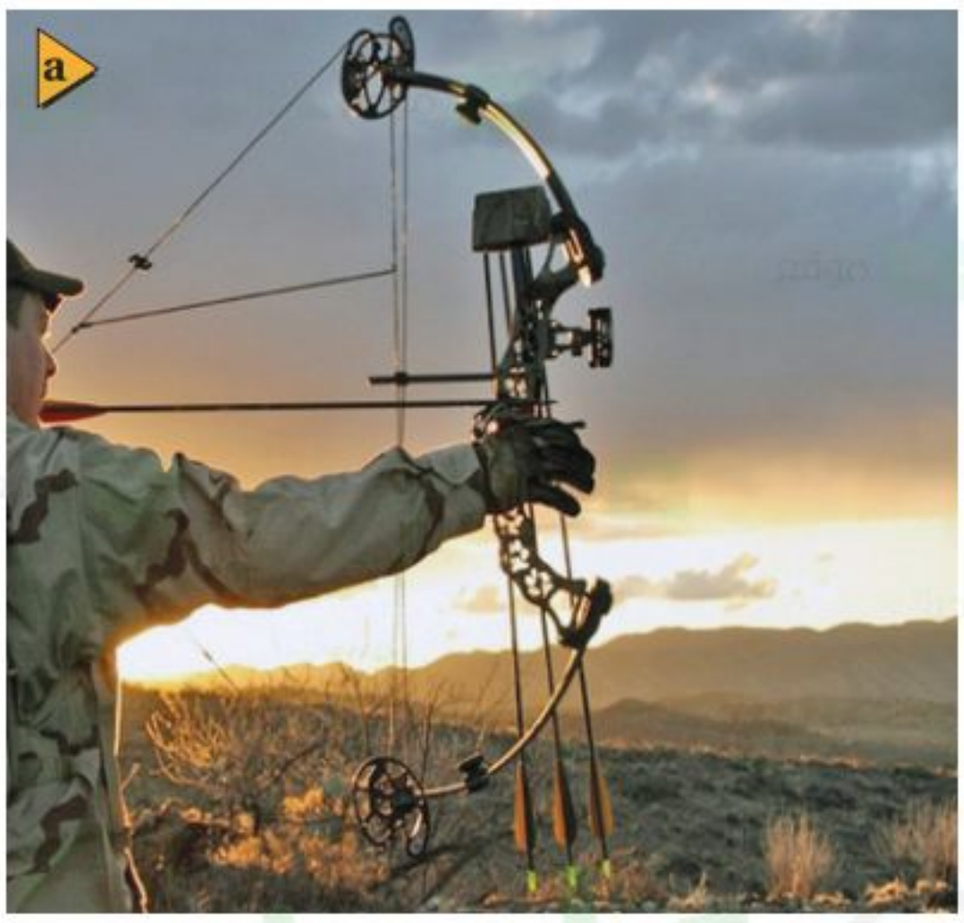
مجموع التغير في الطاقة للحالات الثلاث يساوي:

$$1.1 \times 10^2\ \text{J} + 0.0\ \text{J} + (-1.1 \times 10^2\ \text{J}) = 0.0\ \text{J}$$

طاقة الوضع المرونية Elastic Potential Energy

عند سحب وتر كما في **الشكل 5–7a** يبذل شغل على القوس، مما يخزن طاقة فيه، لذا تزداد طاقة النظام المكوّن من القوس والسهم والأرض. وتسمى الطاقة المختزنة في الوتر المشدود **طاقة وضع مرونية**، والتي تُختزن عادة في كرات المطاط، والأربطة المطاطية، والمقاليع، ومنصات القفز. وعند إفلات الوتر يندفع السهم إلى الأمام وتتحول طاقته إلى طاقة حركية. كما في الشكل 5–7b .

■ **الشكل 7–5** تختزن طاقة الوضع المرونية في وتر القوس، حيث تتخذ الطاقة كلها شكل طاقة الوضع المرونية قبل إفلات الوتر (a). أما عند إفلات الوتر فتنتقل الطاقة إلى السهم على شكل طاقة حركية (b).



وتختزن الطاقة أيضًا في الجسم المثني أو المحني. ففي لعبة القفز بالزانة كانت الزانات المستخدمة سابقًا لا تخزن طاقة وضع كبيرة؛ لأنها من خشب الخيزران أو من مواد فلزية قاسية يصعب انحناؤها، ولذا يصعب بذل شغل عليها، ولكن بعد استحداث زانات مصنوعة من ألياف زجاجية عالية المرونة تمكن اللاعبون من تجاوز القفزات العالية السابقة، وتسجيل أرقام قياسية جديدة في اللعبة.

■ **الشكل 8–5** عندما يقفز اللاعب مستعينًا بالزانة تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية وطاقة وضع جاذبية.

يركض لاعب القفز بالزانة حاملاً عصًا مرنة (الزانة)، ويغرز طرفها السفلي في تراب الملعب، وعندما يثني اللاعب العصا كما في **الشكل 8–5** فإن جزءًا من الطاقة الحركية للاعب تتحول إلى طاقة وضع مرونية. وعندما تستقيم العصا تتحول طاقة الوضع المرونية إلى طاقة وضع جاذبية، وطاقة حركية، فيرتفع اللاعب بالزانة إلى ارتفاع يصل إلى 6 m فوق سطح الأرض.

وعلى عكس القضبان الفلزية القاسية وعصي الخيزران فإن قضبان الألياف الزجاجية لها قابلية أكبر لتخزين طاقة الوضع المرونية، وقد أتاحت للاعبي القفز بالزانة الوثب عن عوارض على ارتفاعات أعلى من ذي قبل.

موقع واجباتي

الكتله قدم ألبرت أينشـــتاين شـــكلاً آخر لطاقة الوضع؛ وهو الكتلة ذاتها! حيث يقول إن الكتلة طاقة بطبيعتها، وتسمى هذه الطاقة E_0 الطاقة السكونيـة، ويعبر عنها بالعلاقة الآتية:

الطاقة السكونية $E_0 = mc^2$

الطاقة السكونية لجسم تساوي كتلة الجسم مضروبة في مربع سرعة الضوء.

وفقًا للمعادلة الســـابقة، فإن ضغط النابض أو ثني الزانة يؤدي إلى إكســـاب كتلة للنابض أو الزانة، ويكون التغير في الكتلة في هذه الحالة قليلاً جدًّا، بحيث يصعب الكشـــف عنه، ولكـــن عندما نتعامل مع قوى كتلك الموجودة في نـــواة الذرة (القوى النووية) فإن الطاقة المتحررة نتيجة تغيرات الكتلة، والتي تظهر على أشكال مختلفة من الطاقة كالطاقة الحركية مثلاً، تكون كبيرة جدًّا.

1–5 مراجعة

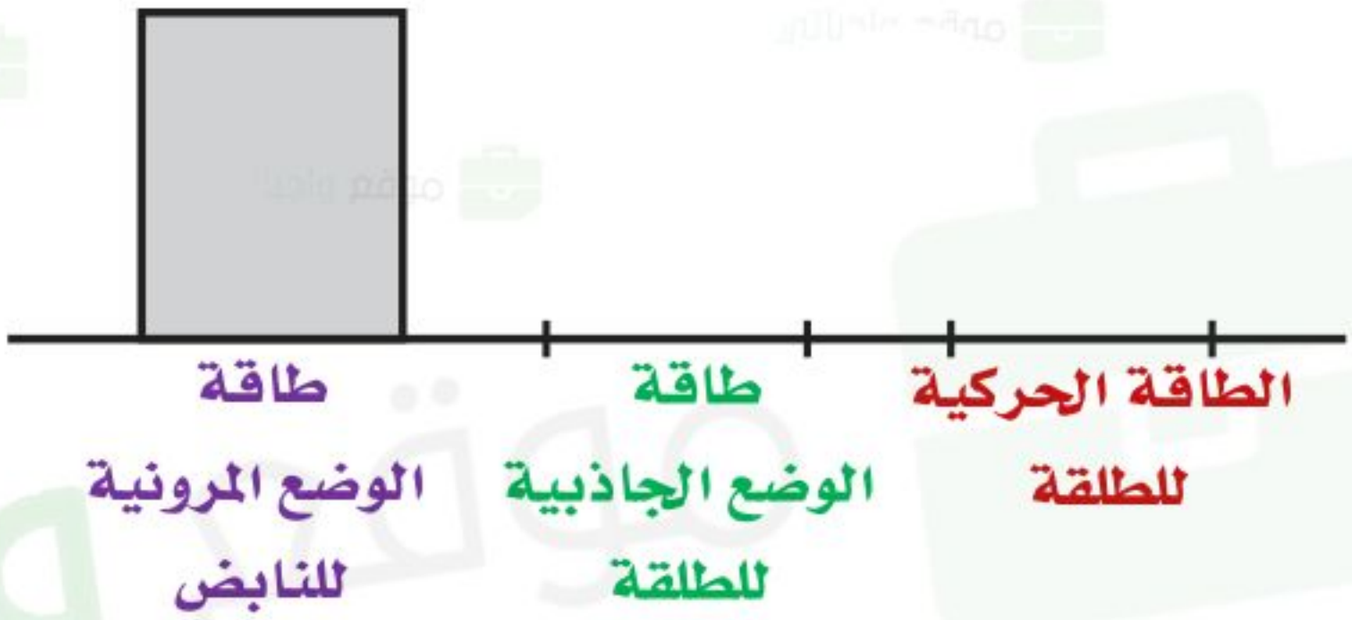
9. **طاقـة الوضع المرونية** لديك مســـدس لعبة، تدفع بداخله الطلقات المطاطية، فتضغط نابضًا، وعندما يتحرر النابض يطلق الرصاصات المطاطية، بفعل طاقة وضعه المرونية، إلى خارج المسدس. فإذا استخدمت هذا النظام لإطلاق الطلقات المطاطية إلى أعلى فارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة يصف أشكال الطاقة في الحالات الآتية:
   a. عند دفع الطلقات المطاطية داخل ماسورة المسدس، مما يؤدي إلى انضغاط النابض.
   b. عند تمدد النابض وخروج الطلقات من ماسورة المسدس بعد سحب الزناد.
   c. عند وصول الخرزات إلى أقصى ارتفاع لها.
10. **طاقة الوضع** أطلقت قذيفة كتلتها 25.0 kg من مدفع على سطح الأرض. فإذا كان مستوى الإسناد هو سطح الأرض فما مقدار طاقة الوضع للنظام عندما تصبح القذيفة على ارتفاع 425 m؟ وما التغير في طاقة الوضع عندما تصل القذيفة إلى ارتفاع 225 m؟
11. **نظرية الشغل – الطاقـة** كيف تطبق نظرية الشغل – الطاقة عند رفع كرة البولينج من سلة الكرات إلى كتفك؟
12. **طاقة الوضـع** متسلق صخور كتلته 90.0 kg تسلق في البداية 45.0 m فوق سطح طبقة صخرية ليصل إلى قمة التل، ثم هبط إلى نقطة تبعد 85.0 m أسفل قمة التل. فإذا كان سطح الطبقة الصخرية هو مستوى الإسناد، فجد طاقة الوضع الجاذبية للنظام (المتسلق والأرض) عند أعلى ارتفاع وصله المتسلق، وكذلك عند أدنى نقطة. وارسم مخطـطًا بيانيًّا بالأعمدة لكلا الوضعين.
13. **التفكير الناقد** اســـتخدم زياد خرطومًا هوائيًّا ليؤثر بقوة أفقية ثابتة في قرص مطاطي موجود فوق مضمار هوائي عديم الاحتكاك، فجعل الخرطوم مصوبًا نحو القرص طوال تحركه لمسافة محددة؛ ليضمن التأثير بقوة ثابتة في أثناء حركة القرص.
   a. وضح ما حدث بدلالة الشغل والطاقة، واستعن برسم مخططٍ بيانيٍّ بالأعمدة.
   b. افترض أن زيادًا استخدم قرصًا مطاطيًّا آخر كتلته نصف كتلة القرص الأول، وبقيت الظروف كلها كما هي، فكيف تتغير طاقة الحركة والشغل في هذا الوضع عن الوضع الأول؟
   c. وضح ما حدث في **a** و **b** بدلالة الدفع والزخم.

الحل في الصفحة التالية

موقع واجباتي

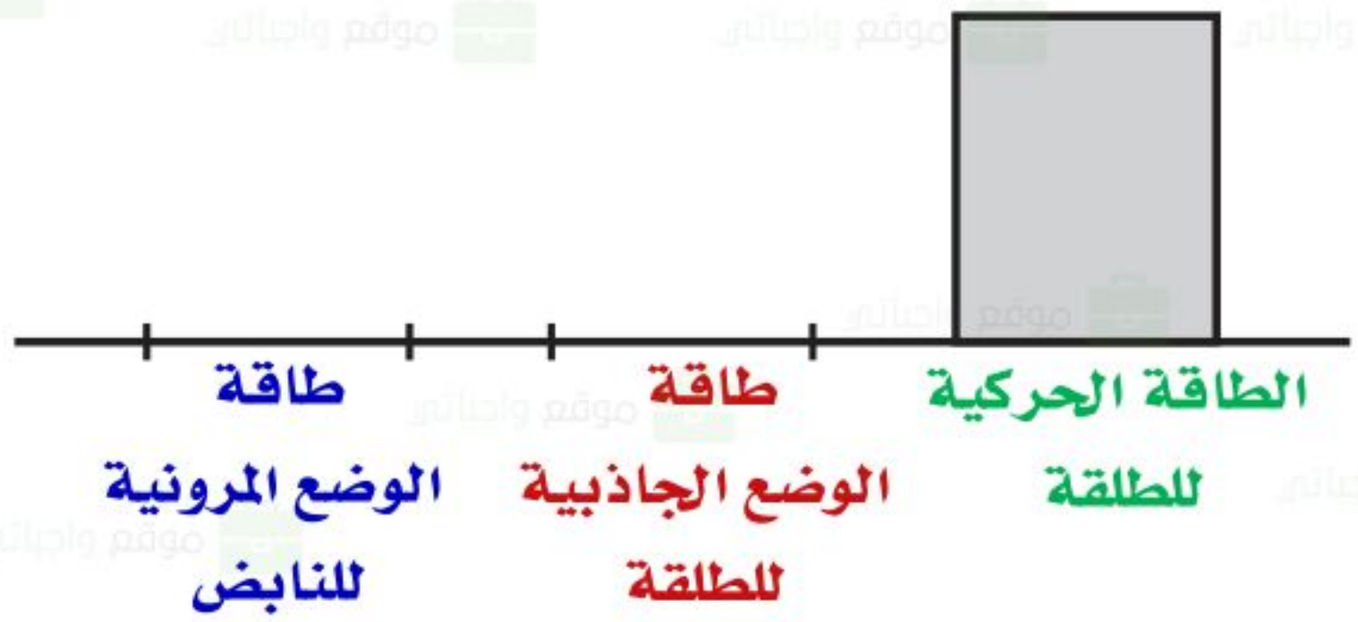
9. طاقة الوضع المرونية لديك مسدس لعبة، تدفع بداخله الطلقات المطاطية، فتضغط نابضًا، وعندما يتحرر النابض يطلق الرصاصات المطاطية، بفعل طاقة وضعه المرونية، إلى خارج المسدس. فإذا استخدمت هذا النظام لإطلاق الطلقات المطاطية إلى أعلى فارسم مخططًا بيانيًّا بالأعمدة يصف أشكال الطاقة في الحالات الآتية:

a. عند دفع الطلقات المطاطية داخل ماسورة المسدس، مما يؤدي إلى انضغاط النابض.



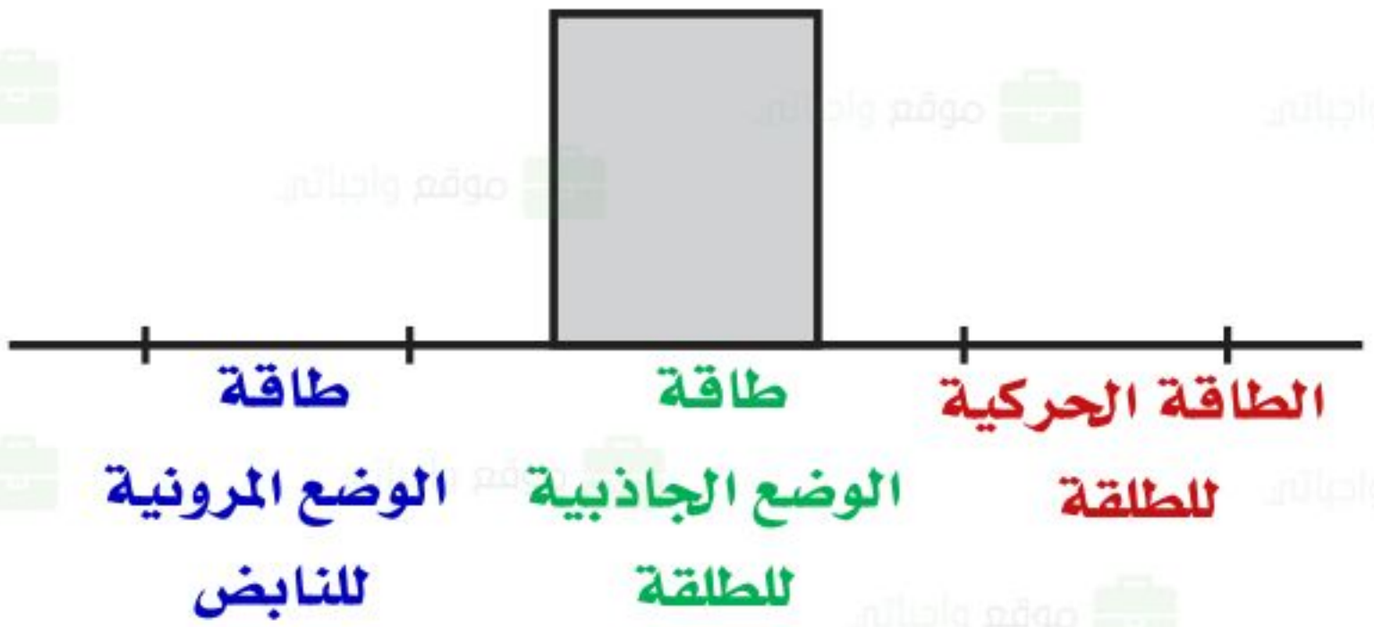
ينبغي أن يكون هناك ثلاثة أعمدة: أحدها لطاقة الوضع المرونية للنابض، والثاني لطاقة الوضع الجاذبية للطلقة، والثالث للطاقة الحركية للطلقة. ويكون عمود طاقة الوضع المرونية للنابض على مستوى الحد الأقصى، أما العمودان الآخران فيكون مستوى كل منهما يساوي صفرًا.

b. عند تمدد النابض وخروج الطلقات من ماسورة المسدس بعد سحب الزناد.



يكون عمود الطاقة الحركية في مستوى الحد الأقصى، أما العمودان الآخران فيكون مستوى كل منهما يساوي صفرًا.

c. عند وصول الخرزات إلى أقصى ارتفاع لها.



يكون عمود طاقة الوضع الجاذبية في مستوى الحد الأقصى، أما العمودان الآخران فيساوي مستوى كل منهما صفرًا.

10. طاقة الوضع أطلقت قذيفة كتلتها 25.0 kg من مدفع على سطح الأرض. فإذا كان مستوى الإسناد هو سطح الأرض فما مقدار طاقة الوضع للنظام عندما تصبح القذيفة على ارتفاع 425 m؟ وما التغير في طاقة الوضع عندما تصل القذيفة إلى ارتفاع 225 m؟

طاقة الوضع عند ارتفاع 425 m:

$$PE = mgh$$

$$= (25.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(425\ \text{m})$$

$$= 1.04\times10^5\ \text{J}$$

طاقة الوضع عند ارتفاع 225 m:

$$PE = mgh$$

$$= (25.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(225\ \text{m})$$

$$= 5.51\times10^4\ \text{J}$$

التغير في الطاقة يساوي:

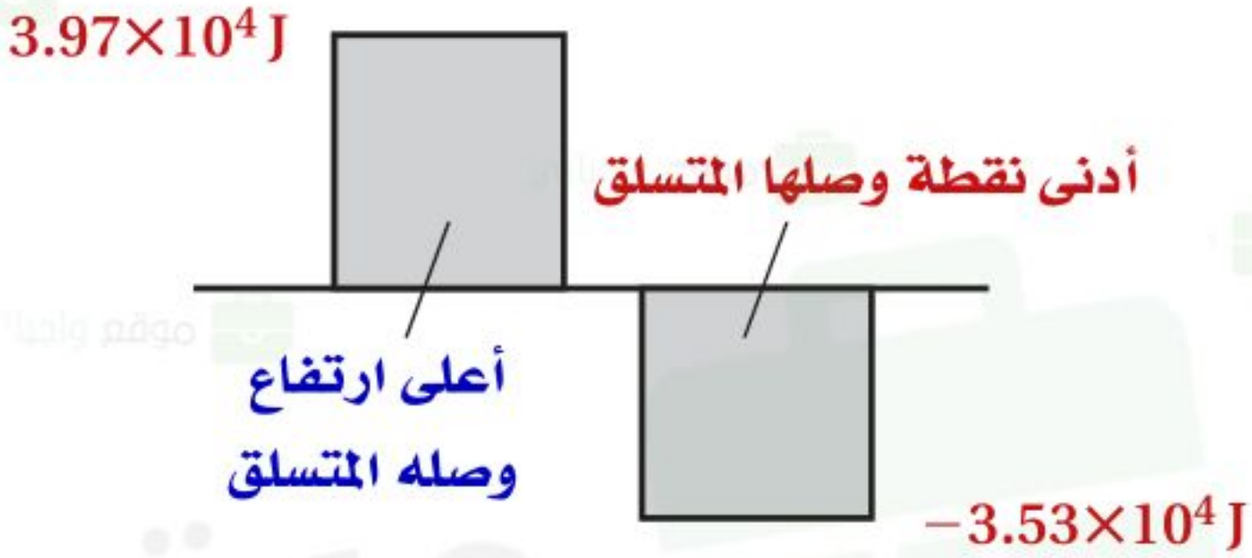
$$(1.04\times10^5\ \text{J}) - (5.51\times10^4\ \text{J}) = 4.89\times10^4\ \text{J}$$

11. نظرية الشغل – الطاقة كيف تطبق نظرية الشغل – الطاقة عند رفع كرة البولينج من سلة الكرات إلى كتفك؟

الطاقة الحركية لكرة البولنج تساوي صفرًا عندما تكون مستقرة في حمالة الكرات، وتساوي صفرًا أيضًا عندما تكون عند مستوى الكتف بعد أن ترفعها؛ لذا فالشغل الكلي المبذول منك ومن الجاذبية على الكرة يجب أن يكون صفرًا.

موقع واجباتي

12. **طاقة الوضع** متسلق صخور كتلته 90.0 kg تسلق في البداية 45.0 m فوق سطح طبقة صخرية ليصل إلى قمة التل، ثم هبط إلى نقطة تبعد 85.0 m أسفل قمة التل. فإذا كان سطح الطبقة الصخرية هو مستوى الإسناد، فجد طاقة الوضع الجاذبية للنظام (المتسلق والأرض) عند أعلى ارتفاع وصله المتسلق، وكذلك عند أدنى نقطة. وارسم مخطـطًا بيانيًّا بالأعمدة لكلا الوضعين.



$$PE = mgh$$

عند أعلى ارتفاع وصله المتسلق:

$$PE = (90.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(+45.0\ \text{m})$$

$$= 3.97\times10^4\ \text{J}$$

عند أدنى نقطة وصلها المتسلق:

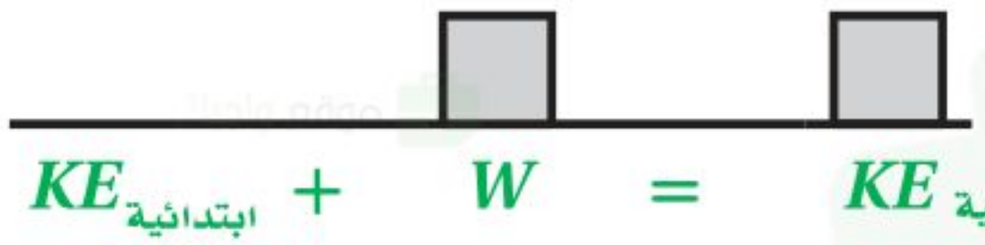
$$PE = (90.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)\ (+45.0\ \text{m} - 85.0\ \text{m})$$

$$= -3.53\times10^4\ \text{J}$$

13. **التفكير الناقد** استخدم زياد خرطومًا هوائيًّا ليؤثر بقوة أفقية ثابتة في قرص مطاطي موجود فوق مضمار هوائي عديم الاحتكاك، فجعل الخرطوم مصوبًا نحو القرص طوال تحركه لمسافة محددة؛ ليضمن التأثير بقوة ثابتة في أثناء حركة القرص.

a. وضح ما حدث بدلالة الشغل والطاقة، واستعن برسم مخططٍ بيانيٍّ بالأعمدة.

مخططٍ بيانيٍّ بالأعمدة.



أثّر زياد بقوة ثابتة F خلال مسافة d، وبذل شغلا $W = Fd$ على القرص المطاطي. وهذا الشغل يغير الطاقة الحركية للقرص المطاطي بمقدار يساوي:

$$W = (KE_f - KE_i)$$

$$= \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$$

$$= \frac{1}{2}mv_f^2$$

موقع واجباتي

b. افترض أن زيادًا استخدم قرصًا مطاطيًا اخر كتلته نصف كتلة القرص الأول، وبقيت الظروف كلها كما هي، فكيف تتغير طاقة الحركة والشغل في هذا الوضع عن الوضع الأول؟

إذا استخدم قرصًا مطاطيًّا آخر كتلته نصف كتلة القرص الأول فعندئذٍ يأخذ القرص المطاطي المقدار نفسه من الشغل، والتغير نفسه في الطاقة الحركية، لكنه يتحرك أسرع بمعامل مقداره 1.414.

c. وضح ما حدث في **a** و **b** بدلالة الدفع والزخم.

ليس للقرصين المطاطيين الزخم النهائي نفسه.

زخم القرص المطاطي الأول يساوي:

$$p_1 = m_1 v_1$$

زخم القرص المطاطي الثاني يساوي:

$$p_2 = m_2 v_2$$

$$= \left(\frac{1}{2} m_1\right)(1.414 v_1)$$

$$= 0.707\, p_1$$

القرص المطاطي الثاني له زخم أقل من القرص الأول. ويتعرض القرص المطاطي الثاني لدفع أقل؛ وذلك لأن التغير في الزخم يساوي الدفع المزود بواسطة خرطوم الهواء.

موقع واجباتي

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2 حفظ الطاقة Conservation of Energy

عندما تتحرك كرة قريبًا جدًّا من سطح الأرض يكون المجموع الكلي لطاقة الوضع الجاذبية والطاقــة الحركية في النظام مقدارًا ثابتًا. وعند تغير ارتفاع الكرة تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع، ولكن يبقى المجموع الكلي للطاقة هو نفسه.

الأهداف

- **تحل** مسـائل باسـتخدام قانون حفظ الطاقة.
- **تحلّل** التصادمـات لإيجاد التغير في الطاقة الحركية.

المفردات

قانون حفظ الطاقة

الطاقة الميكانيكية

التصادم فوق المرن

التصادم المرن

التصادم العديم المرونة

حفظ الطاقة Conservation of Energy

قد لا تبدو الطاقة محفوظة في حياتنا اليومية. فالقرص المطاطي في لعبة الهوكي يفقد طاقته الحركية ويتوقف عن الحركة في النهاية، حتى على السطح الجليدي الأملس. ويتوقف البندول عن الحركة بعد فترة زمنية ما. ويمكننا استخدام نموذج المال مرة أخرى لنبيِّن ما يحدث في هذه الحالات.

افترض أن لديك 50 ريالاً، وقمت في أحد الأيام بعدّ نقودك فوجدتها ناقصة 10 ريالات. فهل اختفت النقود؟ ربما تحاول أن تتذكّر هل أنفقتها، وقد تحاول البحث عنها، لكنك بكل تأكيد لن تتخلى عن مبدأ "حفظ المال"، وستحاول أن تتذكر كيف أنفقت النقود، أو أين ذهبت.

قانون حفظ الطاقة يعمل العلماء كما فعلت عندما لم يكن مجموع المال صحيحًا، فإذا لاحظوا أن الطاقة تُفقد من النظام، فإنهم يبحثون عن شكل جديد يمكن أن تكون الطاقة قد تحولت إليه؛ هذا لأن المجموع الكلي للطاقة في أي نظام يبقى ثابتًا ما دام النظام مغلقًا ومعزولاً عن القوى الخارجية. وينص **قانون حفظ الطاقة** على أنه في النظام المعزول المغلق، لا تفنى الطاقة ولا تستحدث، إلا بقدرة الله تعالى، أيْ تبقى الطاقة محفوظة تحت هذه الشروط، وتتحول من شكل إلى آخر، بحيث يبقى المجموع الكلي للطاقة في النظام ثابتًا.

حفظ الطاقة الميكانيكية يُسمى مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية للنظام **الطاقة الميكانيكيــة** E. وفي أي نظام إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة فإن الطاقة الميكانيكية يُعبر عنها بالمعادلة:

الطاقة الميكانيكية لنظام $E = KE + PE$

"الطاقة الميكانيكية لنظام تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع الجاذبية إذا لم يكن هناك أنواع أخرى من الطاقة".

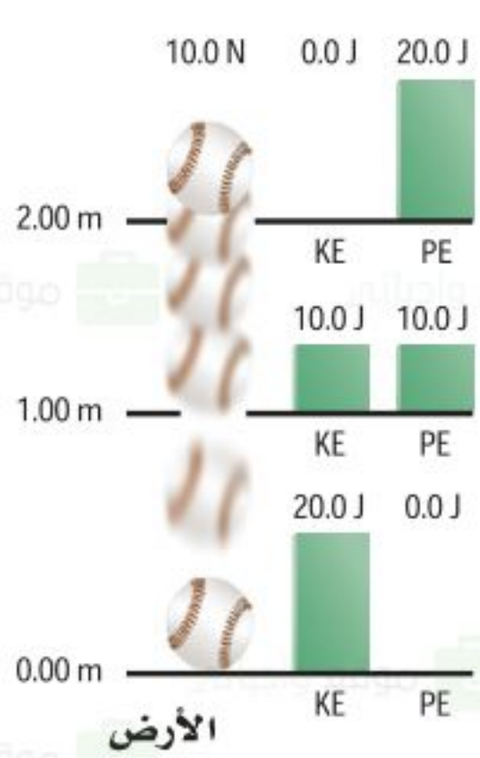
تخيل نظامًا يتكون من كرة وزنها 10.0 N والأرض، كما في **الشكل 9–5**، وافترض أن الكرة موجودة على ارتفاع 2.00 m فوق سطح الأرض الذي سنعدّه مستوى الإسناد، ولأن الكرة الآن لا تتحرك فإنه ليس لها طاقة حركية. ويعبر عن طاقة وضعها بالمعادلة الآتية:

$$PE = mgh = (10.0\ \text{N})\ (2.00\ \text{m}) = 20.0\ \text{J}$$

إن المجموع الكلي للطاقة الميكانيكية للكرة 20.0 J، وبسقوط الكرة فإنها تفقد طاقة وضع وتكتسب طاقة حركية، وعندما تصبح الكرة على ارتفاع 1.0m فوق سطح الأرض فإن:

$$PE = mgh = (10.0\ \text{N})\ (1.00\ \text{m}) = 10.0\ \text{J}$$

الشكل 9–5 النقص في طاقة الوضع يساوي الزيادة في الطاقة الحركية.



موقع واجباتي

موقع واجباتي

مـا مقدار الطاقة الحركية للكـرة عندما تكون على ارتفاع 1.00 m من سـطح الأرض؟ يتكون النظام من الكـرة والأرض وهو مغلق ومعزول؛ لأنه لا يوجد قوى خارجية تؤثر فيه؛ لذا فالمجموع الكلي لطاقة النظام E يبقى ثابتًا عند 20.0 J.

$$E = KE + PE$$

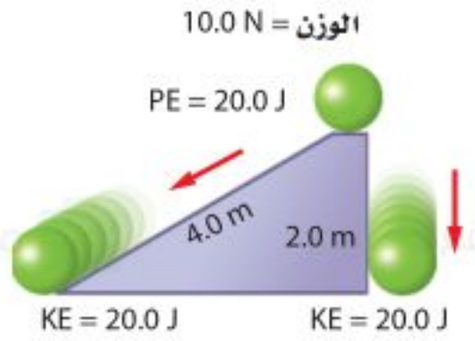
$$KE = E - PE$$

$$KE = 20.0\,\text{J} - 10.0\,\text{J} = 10.0\,\text{J}$$

وعندما تصل الكرة إلى سـطح الأرض تصبـح طاقة وضعها صفـرًا، وطاقتها الحركية 20.0 J، وتكتب المعادلة التي تصف حفظ الطاقة الميكانيكية على النحو الآتي:

حفظ الطاقة الميكانيكية $KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}} = KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}}$

عندما تكون الطاقة الميكانيكية محفوظة فإن مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع في النظام قبل وقوع الحدث تساوي مجموع الطاقة الحركية وطاقة الوضع في النظام بعد الحدث.



■ **الشكل 10–5** لا يؤثر المسار الذي يتبعه الجسم حتى يصل الأرض في مقدار الطاقة الحركية النهائية للجسم.

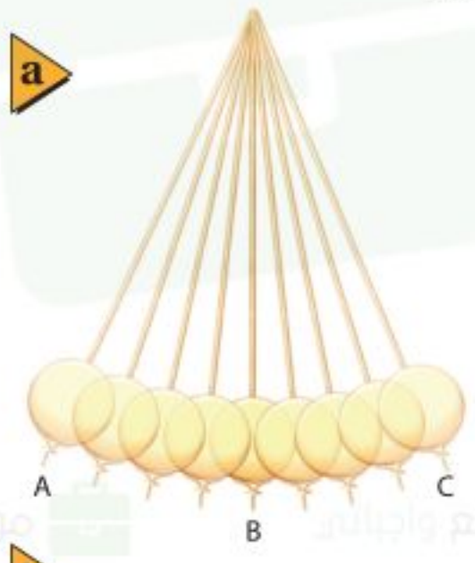
ماذا يحدث إذا تدحرجت الكرة على سطح مائل، كما في **الشكل 10–5**، بدلاً من أن تسقط رأسيًّا إلى أسـفل؟ إذا كان السطح مهمل الاحتكاك فهذا يعني أن النظام لم يتأثر بأية قوى خارجية، أيْ أن النظام مغلق ومعزول؛ لذا فإن الكرة ستهبط مسافة رأسية 2.0 m، فتفقد طاقة وضع مقدارها 20.0 J، كما في الحالة السـابقة، وستكتسـب طاقـة حركية مقدارها 20.0 J . أي أنه في غياب الاحتكاك، لا يكون للمسار الذي تسلكه الكرة أي تأثير.

عربة التزلج في حالة التزلج على المنحدرات المتعرجة، إذا كانت العربة سـاكنة في أعلى منحـدر فعند هذه النقطة يكون مجموع الطاقة الميكانيكية في النظام يسـاوي طاقة الوضع الجاذبية. افترض وجود منحدر آخر على المسار أكثر ارتفاعًا من المنحدر الأول فإن العربة لا تستطيع الصعود إليه؛ لأن الطاقة اللازمة لذلك أكبر من الطاقة الميكانيكية في النظام.

التزلج افترض أنك بدأت التزلج من السـكون هابطًا منحدرًا شديد الانحدار. إن الطاقة الميكانيكية الكلية للنظـام هي طاقة الوضع التي بدأت بها التزلج، وعند هبوطك المنحدر تتحول طاقة الوضع الجاذبية لديك إلى طاقة حركية، وكلما هبطت إلى أسفل تزداد سرعتك، حيث تتحول طاقة الوضـع الجاذبية إلى طاقة حركية، وفي رياضـة القفز عن المنحدرات الجليدية يُحدّد ارتفاع قفزة اللاعب في الهواء مقدار الطاقة التي سـتتحول لاحقًا إلى طاقة حركية عندما يبدأ تزلجه.

البندول تبرهن الحركة التوافقية البسيطة للبندول على مبدأ حفظ الطاقة، حيث يتكون النظام من ثقل البندول المتذبذب والأرض **شكل 11a–5**، وعادة يختار مستوى الإسناد عند ارتفاع ثقل البندول وهو سـاكن، أي عند أدنى نقطة في مسار البندول. إذا أثرت قوة خارجية في ثقل البندول فأزاحته إلى أحد الجانبين فإن القوة تبذل شغلاً يكسب النظام طاقة ميكانيكية. وفي اللحظة التي يُترك فيها البندول فإن الطاقة الكلية تتخذ شـكل طاقة الوضع، وعندما يبدأ البندول أرجحته هابطًا إلى أدنى نقطة في مساره، تتحول طاقة النظام إلى طاقة حركية.

■ **الشكل 11–5** الحركة التوافقية البسيطة لرقاص البندول (a). الطاقة الميكانيكية هي مجموع طاقتي الحركة والوضع وهي مقدار ثابت (b).



علاقة الطاقة والموقع

موقع واجباتي

والشـــكل **11b–5** يوضح العلاقـــة البيانية لتغير طاقة الوضع وطاقـــة الحركة للبندول. فعندمـــا يكون البندول عند أدنى نقطة في مســـاره تكون طاقة الوضـــع له صفرًا، وتكون طاقته الحركية مساوية للطاقة الميكانيكية الكلية للنظام. لاحظ أن الطاقة الميكانيكية الكلية في النظام تبقى ثابتة على افتراض أن الاحتكاك معدوم.

فقـدان الطاقـة الميكانيكيـة نلاحظ في حياتنا اليومية أن تذبـــذب البندول يتوقف في نهاية المطاف، وأن الكرة المرتدة عن ســـطح الأرض تؤول إلى الســـكون، كما أن الارتفاع الذي تصل إليه عربة التزلـــج يقل تدريجياً، فأين تذهب الطاقة في هـــذه الأنظمة؟ يتعرض أي جســـم يتحرك في الهواء لقوة مقاومة الهـــواء، كما تتعرض عربة قطـــار الملاهي لتأثير قوة الاحتكاك بين عجلات العربة والسكة.

وعندما ترتد الكرة عن ســـطح الأرض، لا تتحول جميع طاقة الوضع المرونية المختزنة فيها إلى طاقـــة حركية بعد الارتـــداد، بل يتحول جزء من هذه الطاقـــة إلى طاقة حرارية وطاقة صوتيـــة، وفي حالتي البندول وعربة التزلج تتحول بعـــض الطاقة الميكانيكية الابتدائية في النظام إلى أشـــكال أخرى من الطاقة، إما إلى طاقة داخـــل أجزاء النظام أو خارجه، كما في مقاومة الهواء. وترفع عادة هذه الطاقة درجة حرارة الجســـم تدريجيًّا، وستعرف المزيد عن هذا النوع من الطاقة المســـمى الطاقة الحرارية في الفصل 6. وستساعدك الاستراتيجيات الآتية على حلّ المسائل المتعلقة بحفظ الطاقة.

تجربة عملية

هل الطاقة محفوظة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

استراتيجية حلّ المسائل

حفظ الطاقة

استعن بالاســـتراتيجيات الآتية عند حل المسائل المتعلقة بحفظ الطاقة:

1. حدّد النظام بدقة، وتأكد أنه مغلق (تذكر أن النظام المغلق لا يدخل إليه أو يخرج منه أي جسم).
2. عين أشكال الطاقة في النظام.
3. حدّد الوضع الابتدائي والنهائي للنظام.
4. هل النظام معزول؟

a. إذا لم تكـــن هناك قوة خارجيـــة تؤثر في النظام يكون النظام معزولًا ويكون مجموع الطاقة الكلية فيه ثابتًا.

$$E_{\text{قبل}} = E_{\text{بعد}}$$

b. إذا كان هناك قوة خارجية تؤثر في النظام فإنّ $E_{\text{قبل}} + W = E_{\text{بعد}}$

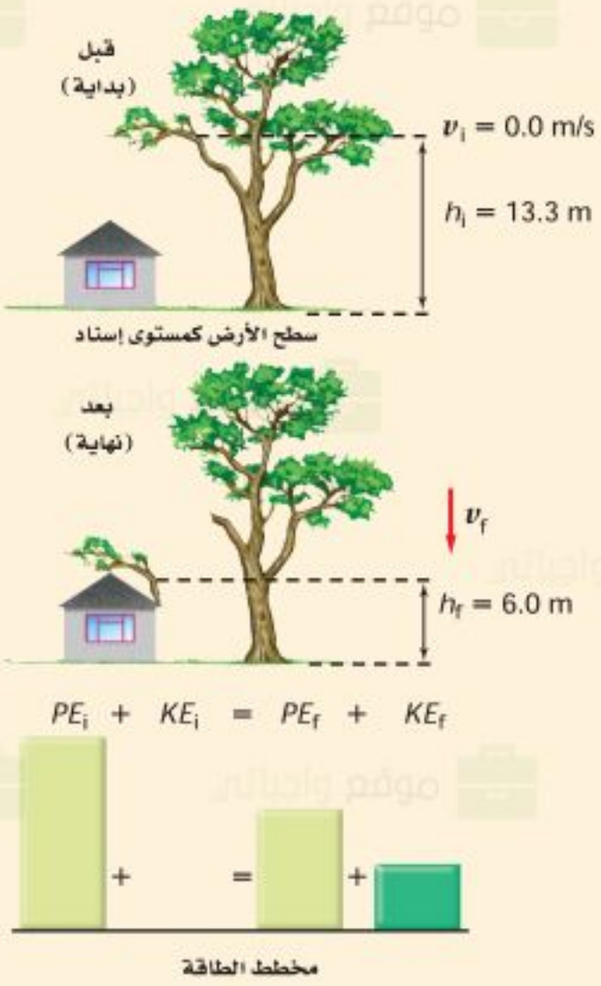
5. إذا كانت الطاقة الميكانيكية محفوظةً فحدّد مستوى إســـناد لحساب طاقة الوضع، ومثّل بيانيًّا بالأعمدة كلًّا من الطاقة الابتدائية والطاقة النهائية، كما في الشكل المرفق.

مثـــــال 2

حفظ الطاقة الميكانيكية خلال إعصار، سقط غصن شجرة كبيرة كتلته 22.0 kg ومتوسط ارتفاعه عن سطح الأرض 13.3 m على سقف كوخ يرتفع 6.0 m عن سطح الأرض. احسب مقدار:

a. الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف، وذلك بإهمال مقاومة الهواء.

b. سرعة الغصن عندما يصل إلى السقف.



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع الابتدائي والوضع النهائي.
- اختر مستوى الإسناد.
- مثّل بيانيًّا بالأعمدة.

المعلوم

$m = 22.0\ \text{kg}$ ، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$v_i = 0.0\ \text{m/s}$ ، $h_{\text{غصن}} = 13.3\ \text{m}$

$KE_i = 0.0\ \text{J}$ ، $h_{\text{سقف}} = 6.0\ \text{m}$

المجهول

$KE_f = ?$ $\quad PE_i = ?$

$v_f = ?$ $\quad PE_f = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. افترض أن مستوى الإسناد هو ارتفاع السقف، ثم أوجد الارتفاع الابتدائي للغصن بالنسبة للسقف.

$$h = h_{\text{غصن}} - h_{\text{سقف}}$$

عوض مستخدمًا $h_{\text{غصن}} = 13.3\ \text{m}$ ، $h_{\text{سقف}} = 6.0\ \text{m}$

$$= 13.3\ \text{m} - 6.0\ \text{m}$$

$$= 7.3\ \text{m}$$

أوجد طاقة الوضع الابتدائية للغصن

$$PE_i = mgh$$

عوض مستخدمًا $m = 22.0\ \text{kg}$ ، $g = 9.80\ \text{m/s}^2$ ، $h = 7.3\ \text{m}$

$$= (22.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(7.3\ \text{m})$$

$$= 1.6 \times 10^3\ \text{J}$$

حدد الطاقة الحركية الابتدائية للغصن

غصن الشجرة في البداية ساكن

$$KE_i = 0.0\ \text{J}$$

الطاقة الحركية للغصن عندما يصل إلى السقف تساوي طاقة الوضع الابتدائية؛ لأن الطاقة محفوظة.

وبما أن الارتفاع صفر عند مستوى الإسناد فإن $PE_f = 0.0\ \text{J}$.

$$KE_f = PE_i$$

$$= 1.6 \times 10^3\ \text{J}$$

b. أوجد سرعة الغصن.

$$KE_f = \frac{1}{2}mv^2{}_f$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2KE_f}{m}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(1.6\times10^3\ \text{J})}{22.0\ \text{kg}}}$$

$$= 12\ \text{m/s}$$

عوض مستخدمًا $m = 22.0\ \text{kg}, KE_f = 1.6 \times 10^3\ \text{J}$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بوحدة m /s، والطاقة بوحدة $\text{kg.m}^2/\text{s}^2 = \text{J}$.
- **هل الإشارات منطقية؟** الطاقة الحركية (KE) ومقدار السرعة دائمًا موجب.

موقع واجباتي

14. يقترب سائق دراجة من تل بسرعة 8.5 m /s. فإذا كانت كتلة السائق والدراجة 85.0 kg، فاختر نظام إسناد مناسب، ثم احسب طاقة الحركة الابتدائية للنظام. وإذا صعد السائق التل بالدراجة، فاحسب الارتفاع الذي ستتوقف عنده الدراجة بإهمال المقاومات.

النظام هو الدرّاجة + السائق + الأرض.

والطاقة الكلية محفوظة؛ لأنه لا يوجد قوى خارجية.

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

$$= \frac{1}{2}(85.0\ \text{kg})(8.5\ \text{m/s})^2$$

$$= 3.1 \times 10^3\ \text{J}$$

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$\frac{1}{2}mv^2 + 0 = 0 + mgh$$

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(8.5\ \text{m/s})^2}{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 3.7\ \text{m}$$

15. افترض أن السائق في السؤال السابق استمرّ في الحركة عن طريق التدوير المستمر للبدّالات (الدوّاسات) ولم يتوقف، ففي أي نظام تعتبر الطاقة محفوظة؟ وأي أشكال الطاقة اكتسبت منها الدراجة طاقتها؟

يبقى نظام الأرض، والدراجة الهوائية والسائق كما هو، ولكن الطاقة الموجودة الآن ليست طاقة ميكانيكية فقط، بل يجب أخذ الطاقة الكيميائية المختزنة في جسم السائق في الاعتبار؛ فبعض هذه الطاقة يتحول إلى طاقة ميكانيكية.

16. بدأ متزلج بالانزلاق من السكون من قمة تل ارتفاعه 45.0 m يميل بزاوية 30 على الأفقي في اتجاه الوادي، ثم استمرّ في الحركة حتى وصل إلى التل الآخر الذي يبلغ ارتفاعه 40.0 m. حيث يقاس ارتفاع التلين بالنسبة لقاع الوادي. ما سرعة المتزلج عندما يمر بقاع الوادي، مع إهمال الاحتكاك وتأثير أعمدة التزلج؟ وما مقدار سرعة المتزلج عند أعلى التل الثاني؟ وهل لزاوية ميل التل أي تأثير في الجواب؟

عند قاع الوادي:

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + 0$$

$$v^2 = 2gh$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$= \sqrt{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)(45.0\ \text{m})}$$

$$= 29.7\ \text{m/s}$$

عند أعلى التل الثاني:

$$KE_i + PE_i = KE_f + PE_f$$

$$0 + mgh_i = \frac{1}{2}mv^2 + mgh_f$$

$$v^2 = 2g(h_i - h_f)$$

$$= \sqrt{2g(h_i - h_f)}$$

$$= \sqrt{(2)(9.80\,\text{m/s}^2)(45.0\,\text{m} - 40.0\,\text{m})}$$

$$= 9.90\,\text{m/s}$$

لا يوجد لزاوية ميل التل أي تأثير.

موقع واجباتي

17. تقرر في إحدى مسابقات الغوص أن يكون الرابح هو من يثير أكبر كمية من رذاذ الماء عندما يغوص فيه. ولا تعتمد كميـــة الرذاذ على طريقة الغواص فقط، وإنما على مقدار الطاقة الحركية للغواص أيضًا. وفي هذه المســـابقة قفز جميع الغواصين عن عارضة غوص ارتفاعها 3.00 m، فإذا كانت كتلة أحدهم 136 kg وقام بحركته بأن ألقى نفســـه عن العارضة ببســـاطة. أمّا الغواص الثاني فكانت كتلته 102 kg وقفز عن العارضة إلى أعلى، فما الارتفاع الذي يجب أن يصل إليه اللاعب الثاني حتى يثير رذاذًا مساويًا لما أثاره الغواص الأول؟

باستخدام سطح الماء بوصفه مستوى الإسناد، تكون الطاقة الحركية للغواص لحظة دخوله الماء مساوية لطاقة الوضع الجاذبية له عند أعلى نقطة وصلها في قفزته. فالغواص الذي كتلته أكبر له طاقة وضع جاذبية تساوي:

$$PE = mgh = (136\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(3.00\ \text{m})$$

$$= 4.00\times10^3\ \text{J}$$

ولمعادلة هذه الطاقة فإنه على الغواص الذي كتلته أصغر أن يقفز إلى ارتفاع يساوي:

$$h = \frac{4.00\times10^3\ \text{J}}{(102\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)} = 4.00\ \text{m}$$

لذا، فإن على الغواص الذي كتلته أصغر أن يقفز إلى أعلى ارتفاع فوق المنصة، 1.00 m.

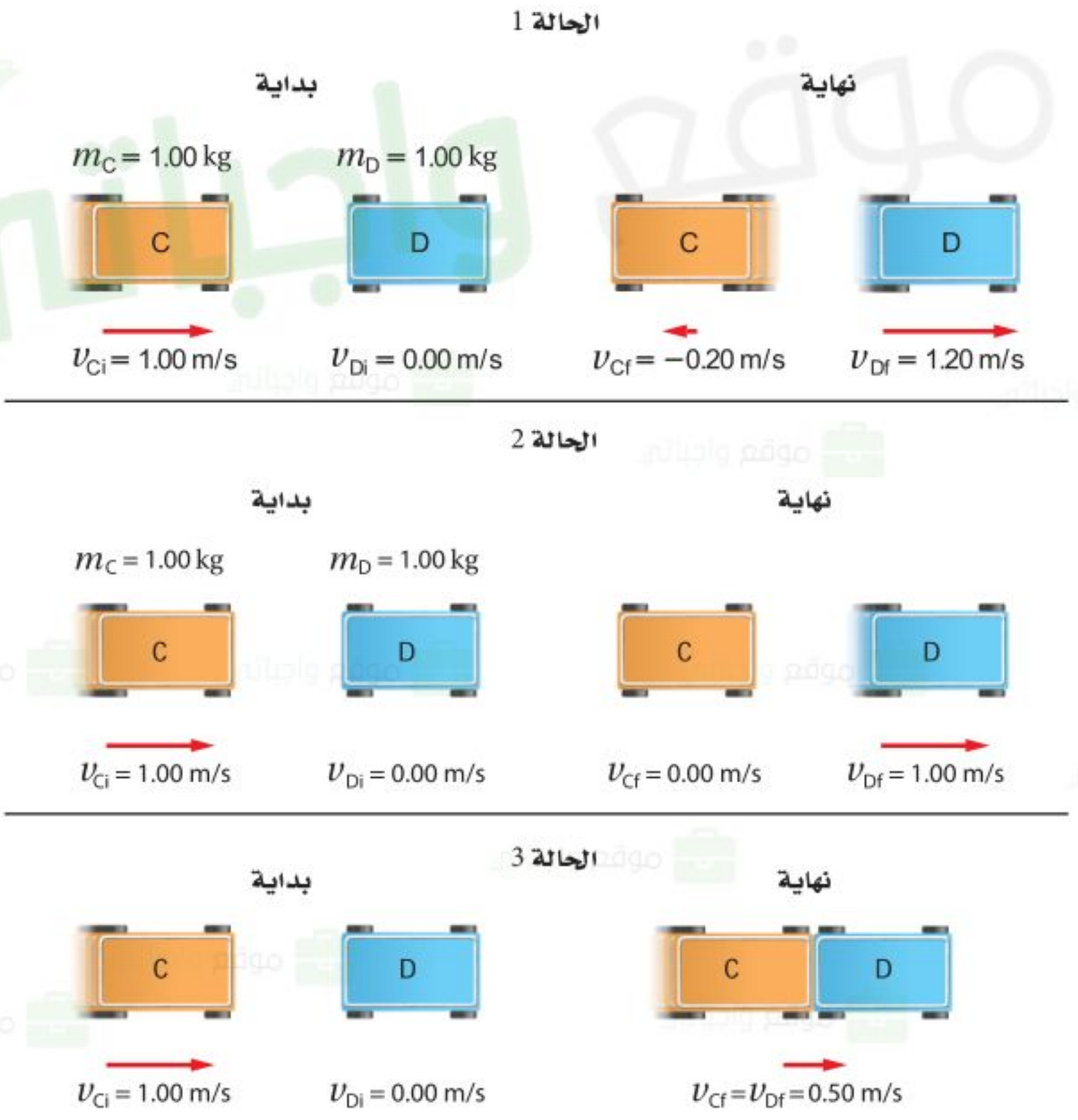
موقع واجباتي

تحليل التصادمات Analyzing collisions

من الحالات الشائعة التي تُطرح في موضوعات الفيزياء التصادم بين السيارات، أو اللاعبين، أو الجسيمات المكونة للذرة، بعضها مع بعض. وعادة ما تكون تفاصيل التصادم معقدة جدًّا في أثناء التصادم. لذلك تعتمد استراتيجية التعامل مع التصادم على دراسة حركة الأجسام قبل التصادم مباشرة، وبعده مباشرة. لكن ما الكميات الفيزيائية المحفوظة لنستخدم قوانينها عند تحليل النظام؟ إذا كان النظام معزولاً فإن الزخم والطاقة محفوظان، إلا أن طاقة الوضع أو الطاقة الحرارية في النظام يمكن أن تقل، أو تبقى ثابتة، أو تزداد؛ لذا لا نستطيع أن نقرر هل الطاقة الحركية محفوظة أم لا. ويبين **الشكل 12–5** ثلاثة أنواع مختلفة من التصادمات. ففي الحالة 1 زخم النظام قبل التصادم وبعده يعبر عنه بالمعادلة:

$$\boldsymbol{p}_i = \boldsymbol{p}_{ci} + \boldsymbol{p}_{Di} = (1.00\ \text{kg})(1.00\ \text{m/s}) + (1.00\ \text{kg})(0.00\ \text{m/s})$$
$$= 1.00\ \text{kg.m/s}$$
$$\boldsymbol{p}_f = \boldsymbol{p}_{cf} + \boldsymbol{p}_{Df} = (1.00\ \text{kg})(-0.20\ \text{m/s}) + (1.00\ \text{kg})(1.20\ \text{m/s})$$
$$= 1.00\ \text{kg.m/s}$$

لذا فإن الزخم في الحالة 1 محفوظ. انظر مجددًا **الشكل 12–5**، وبيِّن أن الزخم محفوظ في الحالتين 2 و 3.



■ **الشكل 12–5** يمكن أن يُحدث جسمان متحركان تصادمات مختلفة. الحالة 1 يتباعد الجسمان في اتجاهين متعاكسين. الحالة 2 يتوقف الجسم المتحرك ويتحرك الجسم الساكن. وفي الحالة 3 يلتحم الجسمان ويتحركان كجسم واحد.

■ **الشكل 13–5** التمثيل البياني بالأعمدة لأنواع التصادمات الثلاثة.

والآن لندرس الطاقة الحركية في النظام في كل حالة من الحالات الثلاث: ففي الحالة 1 يعبر عن الطاقة الحركية للنظام قبل التصادم وبعده بالمعادلة الآتية:

$$KE_{Ci} + KE_{Di} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(1.00\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.00\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.50\ \text{J}$$

$$KE_{Cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(-0.20\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(1.20\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.74\ \text{J}$$

أيْ زادت الطاقة الحركية للنظام في الحالة 1. وإذا كانت الطاقة محفوظة في النظام فلابد أن واحدًا أو أكثر من أشكال الطاقة قد قل، ربما انفلت نابض مضغوط في أثناء تصادم العربتين مما زوّد النظام بطاقة حركية، وهذا النوع من التصادم يُسمى **التصادم فوق المرن** superelastic أو الانفجاري explosive.

أمّا الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة 2 فتساوي:

$$KE_{Cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.00\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(1.0\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.50\ \text{J}$$

أي أن الطاقة الحركية بعد التصادم كما هي قبل التصادم، ويسمى هذا النوع من التصادم الذي لا تتغير فيه الطاقة الحركية **التصادم المرن** elastic collision، وعادة ما تسمى التصادمات التي تحدث بين الأجسام المرنة الصلبة –ومنها الأجسام المصنوعة من الفولاذ والزجاج أو البلاستيك الصلب – بالتصادمات شبه المرنة.

أما الطاقة الحركية بعد التصادم في الحالة 3 فهي

$$KE_{Cf} + KE_{Df} = \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.50\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1.00\ \text{kg})(0.50\ \text{m/s})^2$$
$$= 0.25\ \text{J}$$

أي أن الطاقة الحركية قلت لتحوّل جزء منها إلى طاقة حرارية. ويسمى هذا النوع من التصادم الذي تقل فيه الطاقة الحركية **بالتصادم العديم المرونة** inelastic collision، والأجسام المصنوعة من مواد ناعمة أو لزجة مثل الطين تتبع هذا النوع من التصادم.

يمكن تمثيل أنواع التصادم الثلاثة باستخدام التمثيل البياني بالأعمدة انظر إلى **الشكل 13–5**، كما يمكن أيضًا حساب الطاقة الحركية قبل التصادم وبعده، ويكون الفرق في الطاقة الحركية هو التغير في الأشكال الأخرى للطاقة، إذْ تتحول الطاقة الحركية في تصادم السيارات إلى أنواع أخرى من الطاقة، منها الطاقة الحرارية والطاقة الصوتية.

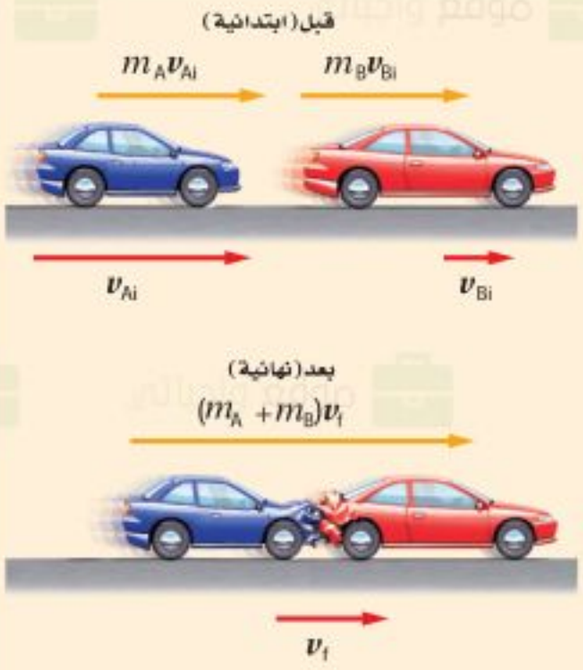
مثـــــال 3

الطاقة الحركية تتحرك سيارة صغيرة كتلتها 575 kg بسرعة 15.0 m /s، ثم اصطدمت بمؤخرة سيارة أخرى كتلتها 1575 kg تتحرك بسرعة 5.00 m /s في الاتجاه نفسه.

a. ما السرعة النهائية للسيارتين إذا التحمتا معًا وكوّنتا جسمًا واحدًا؟

b. ما مقدار الطاقة الحركية المفقودة نتيجة التصادم؟

c. ما نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى مقدار الطاقة الأصلية؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع الابتدائي والوضع النهائي.
- مثّل مخطط الزخم.

المعلوم

$m_A = 575\ \text{kg}$ ، $m_B = 1575\ \text{kg}$

$v_{Ai} = 15.0\ \text{m/s}$ ، $v_{Bi} = 5.00\ \text{m/s}$

$v_{Af} = v_{Bf} = v_f$

المجهول

$v_f = ?$ ، $\Delta KE = KE_f - KE_i = ?$

نسبة الطاقة الحركية المفقودة $\Delta KE/KE_i = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

فصل المتغير 215

a. استخدم معادلة حفظ الزخم لإيجاد السرعة النهائية.

$$p_{Ai} + p_{Bi} = p_{Af} + p_{Bf}$$

$$m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi} = (m_A + m_B) v_f$$

$$v_f = \frac{(m_A v_{Ai} + m_B v_{Bi})}{(m_A + m_B)}$$

عوض مستخدمًا $m_A = 575\ \text{kg}, v_{Ai} = 15.0\ \text{m/s}$
$m_B = 1575\ \text{kg}, v_{Bi} = 5.00\ \text{m/s}$

$$= \frac{(575\ \text{kg})(15.0\ \text{m/s}) + (1575\ \text{kg})(5.00\ \text{m/s})}{(575\ \text{kg} + 1575\ \text{kg})}$$

$= 7.67\ \text{m/s}$ في اتجاه الحركة نفسه قبل التصادم

b. لتحديد التغير في الطاقة الحركية للنظام نحتاج إلى KE_f و KE_i

$$KE_f = \frac{1}{2} mv^2$$

عوض مستخدمًا $m = m_A + m_B$

$$= \frac{1}{2} (m_A + m_B) v_f^2$$

$$= \frac{1}{2}(575\ \text{kg} + 1575\ \text{kg})\ (7.67\ \text{m/s})^2$$

$$= 6.32 \times 10^4\ \text{J}$$

عوض مستخدمًا $m_A = 575\ \text{kg}, m_B = 1575\ \text{kg}, v_f = 7.67\ \text{m/s}$

$$KE_i = KE_{Ai} + KE_{Bi}$$

عوض مستخدمًا $KE_{Ai} = \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2$, $KE_{Bi} = \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$

$$= \frac{1}{2} m_A v_{Ai}^2 + \frac{1}{2} m_B v_{Bi}^2$$

عوض مستخدمًا $m_A = 575\ \text{kg}$, $m_B = 1575\ \text{kg}$,
$v_{Ai} = 15.0\ \text{m/s}$ و $v_{Bi} = 5.00\ \text{m/s}$

$$= \frac{1}{2}(575\text{kg})(15.0\text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(1575\text{kg})(5.00\text{m/s})^2$$

$$= 8.44 \times 10^4\ \text{J}$$

أوجد التغير في الطاقة الحركية للنظام.

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$

$$= 6.32 \times 10^4\ \text{J} - 8.44 \times 10^4\ \text{J}$$

$$= -2.12 \times 10^4\ \text{J}$$

عوض مستخدمًا $KE_f = 6.32 \times 10^4\ \text{J},\ KE_i = 8.44 \times 10^4\ \text{J}$

c. أوجد نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى الطاقة الحركية الأصلية.

$$\frac{\Delta \text{KE}}{\text{KE}_i} = \frac{-2.12 \times 10^4\ \text{J}}{8.44 \times 10^4\ \text{J}} = -0.251$$

عوض مستخدمًا $\Delta KE = -2.11 \times 10^4\ \text{J}, KE_i = 8.44 \times 10^4\ \text{J}$

نسبة الطاقة الحركية المفقودة إلى الطاقة الحركية الأصلية للنظام 25.1 %

3 تقويم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس السرعة بوحدة m /s، وتقاس الطاقة بوحدة J.
- **هل الإشارات منطقية؟** السرعة موجبة، مما يتوافق مع السرعات الابتدائية.

مسائل تدريبية

18. انطلقت رصاصة كتلتها 8.00 g أفقيًّا نحو قطعة خشبية كتلتها 9.00 kg موضوعة على سطح طاولة، واستقرت فيها، وتحركتا كجسم واحد بعد التصادم على سطح عديم الاحتكاك بسرعة 10.0 m /s. ما مقدار السرعة الابتدائية للرصاصة؟

حفظ الزخم:

$$mv = (m + M)v_f$$

أو

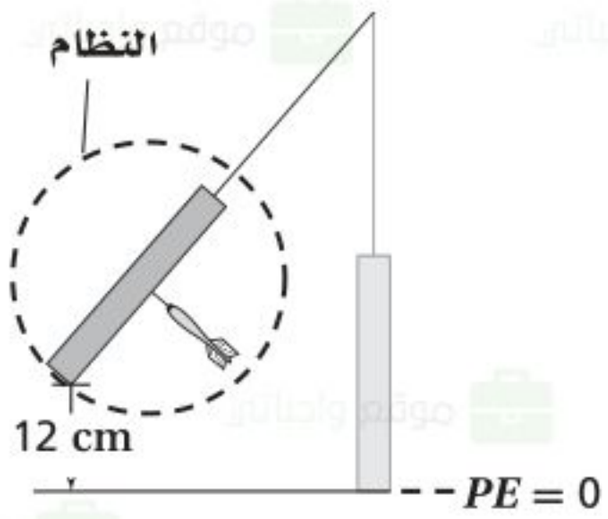
$$v = \frac{(m + M)v_f}{m}$$

$$= \frac{(0.00800\ \text{kg} + 9.00\ \text{kg})(0.100\ \text{m/s})}{0.00800\ \text{kg}}$$

$$= 1.13 \times 10^2\ \text{m/s}$$

19. هدف مغناطيسي كتلته 0.73 kg معلق بخيط، أُطلق سهم حديدي كتلته 0.0250 kg أفقيًّا في اتجاه الهدف، فاصطدم به، والتحما معًا، وتحركا كبندول ارتفع 12.0 cm فوق المستوى الابتدائي قبل أن يتوقف لحظيًّا عن الحركة.

a. مثّل الحالة (الوضع)، ثم اختر النظام.



يتضمن النظام الهدف المعلق والسهم.

b. حدّد الكمية الفيزيائية المحفوظة في كل جزء من أجزاء الحركة كلها، ثم فسر ذلك.

يكون الزخم فقط محفوظًا في التصادم العديم المرونة بين السهم والهدف؛ لذا فإن

$$mv_i + MV_i = (m + M)v_f$$

حيث تكون $v_i = 0$، أي الهدف في البداية ساكنًا، وتمثل v_f سرعة الجسمين بعد التصادم والالتحام. تكون الطاقة محفوظة في أثناء التحام السهم بالهدف وارتفاعهما إلى أعلى؛ لذا فإن $\Delta PE = \Delta KE$، أو عند أعلى ارتفاع للتأرجح

$$(m + M)gh_f = \frac{1}{2}(m + M)(v_f)^2$$

c. ما السرعة الابتدائية للسهم؟

حل بالنسبة إلى v_f

$$v_f = \sqrt{2gh_f}$$

عوض v_f في معادلة الزخم، وحل بالنسبة إلى v_i

$$v_i = \left(\frac{m+M}{m}\right)\sqrt{2gh_f}$$

$$= \left(\frac{0.025\ \text{kg} + 0.73\ \text{kg}}{0.025\ \text{kg}}\right)\left(\sqrt{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)(0.120\ \text{m})}\right)$$

$$= 46\ \text{m/s}$$

20. يتزلج لاعب كتلته 91.0 kg على الجليد بسرعة 5.50 m /s، ويتحرك لاعب آخر له الكتلة نفسها بسرعة 8.1 m /s في الاتجاه نفسه ليضرب اللاعب الأول من الخلف، ثم ينزلقان معًا.

a. احسب المجموع الكلي للطاقة، والمجموع الكلي للزخم في النظام قبل التصادم.

$$KE_i = \frac{1}{2}m_1v_1^2 + \frac{1}{2}m_2v_2^2$$

$$= \frac{1}{2}(91.0\ \text{kg})(5.50\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(91.0\ \text{kg})(8.1\ \text{m/s})^2$$

$$= 4.4\times10^3\ \text{J}$$

$$p_i = m_1v_1 + m_2v_2$$

$$= (91.0\ \text{kg})(5.5\ \text{m/s}) + (91.0\ \text{kg})(8.1\ \text{m/s})$$

$$= 1.2\times10^3\ \text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار سرعة اللاعبين بعد التصادم؟

بعد التصادم:

$$p_i = p_f$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v_f$$

$$v_f = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_1}$$

$$= \frac{(91.0\ \text{kg})(5.50\ \text{m/s}) + (91.0\ \text{kg})(8.1\ \text{m/s})}{91.0\ \text{kg} + 91.0\ \text{kg}}$$

$$= 6.8\ \text{m/s}$$

c. ما مقدار الطاقة المفقودة في التصادم؟

الطاقة الحركية النهائية تساوي

$$KE_f = \frac{1}{2}(m_1 + m_2) v_f^2$$

$$= \frac{1}{2}(91.0\ \text{kg} + 91.0\ \text{kg})(6.8\ \text{m/s})^2$$

$$= 4.2 \times 10^3\ \text{J}$$

لذا فإن الطاقة المفقودة في التصادم تساوي

$$KE_i - KE_f = 4.4 \times 10^3\ \text{J} - 4.2 \times 10^3\ \text{J}$$

$$= 2 \times 10^2\ \text{J}$$

يمكنـــك أن ترى أن هناك اختلافًا حقيقيًّـــا بين الزخم والطاقة. فالزخـــم غالبًا ما يكون محفوظًـــا في التصادم أيًّا كان نوعه، أمّا الطاقة فتكون محفوظـــة فقط في التصادمات المرنة، والزخم هـــو الذي يوقف الأجســـام؛ فمثلاً جســـم كتلتـــه 10.0 kg، ويتحرك بسرعة 5.00 m /s يمكنـــه إيقاف جســـم آخر كتلته 20.0 kg يتحرك بسرعـــة 2.5 m /s عندما يصطدمـــان، على الرغم مـــن أن الطاقة الحركية للجســـم الصغير الكتلـــة في هذه الحالة أكـــبر من الطاقة الحركية للجســـم الكبير الكتلة، فالطاقة الحركية للجســـم الأصغر هي: $KE = \frac{1}{2}(10.0\ kg)\ (5.0\ m/s)^2 = 125\ J$، أمـــا الطاقـــة الحركية للجســـم الأكبر فهي $KE = \frac{1}{2}(20.0\ kg)\ (2.50\ m/s)^2 = 62.5\ J$. ويمكنـــك اعتـــمادًا على نظرية الشـــغل – الطاقة أن تستنتج أنه لجعل الجســـم الذي كتلته 10.0 kg يتحرك بسرعة 5.00 m /s فإنه يتطلب شغلاً أكبر من الشغل اللازم لجعل الجسم الذي كتلتـــه 20.0 kg يتحرك بسرعة 2.50 m /s. في تصادم الســـيارات يؤدي الزخم إلى إيقافها، أما الطاقة فإنها تسبب الضرر (التحطم) الذي يلحق بها.

ومن الممكن إيجاد تصادم دون حدوث ارتطام فعلي بين الأجســـام. فإذا وُصلت عربتا مختـــبر بنابض مضغوط دون حركة على طاولة، يكون مجمـــوع الزخم للعربتين صفرًا، وعند إفلات النابض تبتعد العربتان إحداهما عن الأخرى، حيث تتحول طاقة الوضع في النابض إلى طاقة حركية في العربتين. ولأن العربتين تبتعد إحداهما عن الأخرى فيكون مجموع الزخم صفرًا.

من المفيد ذكر مثالين لتصادمين بسيطين. المثال الأول لتصادم مرن بين جسمين متساويين في الكتلة، مثل تصادم كرة بلياردو متحركة بسرعة متجهة $\boldsymbol{v}$ بكرة بلياردو أخرى ســـاكنة، حيث تتوقف الكرة الأولى بعد التصادم، وتتحرك الكرة الأخرى بالسرعـــة المتجهـــة نفسهـــا $\boldsymbol{v}$. ومن السهل إثبات مبدأ حفظ الزخم وحفظ الطاقة في هذا التصادم.

والمثـــال الثاني لتصادم يحـــدث بين متزلجين؛ المتزلـــج الأول كتلتـــه m، ويتحرك بسرعة متجهة $\boldsymbol{v}$ في اتجاه متزلج آخر ساكن له الكتلة ذاتها، فيصطدم به ويلتصقان معًا بعد التصادم ويتحركان كجسم واحد، ونتيجة لحفظ الزخم لابد أن تكون سرعتهما معًا $\frac{1}{2}\boldsymbol{v}$. إن الطاقة الحركية النهائية للمتزلجين KE هـــي: $KE = \frac{1}{2}(2m)\ (\frac{1}{2}v)^2 = \frac{1}{4}\ m\ v^2$، أيْ نصف الطاقة الحركية الابتدائية، وذلك لأن التصادم عديم المرونة.

لقد درســـت حالات طبقت فيها قانون حفظ الطاقة، وفي بعض الأحيان قانون حفظ الزخم لتحديد حركة الأجسام المكونة للنظام. إن فهم أنظمة الأجسام باستخدام قانون نيوتن الثاني في الحركة وحده قد يكون بالغ التعقيد. ولذلك يعد فهم أشكال الطاقة في النظام، وتحولاتها من شكل لآخر أحد أكثر المفاهيم فائدة في العلوم. ويظهر مفهوم حفظ الطاقة كثيرًا في البحوث العلمية والتطبيقات الكهربائية والتجارية، حيث يســـتخدمه العلماء لاستقصاء موضوعات أكثر تعقيدًا من تصادم كرات البلياردو.

تجـربة

تحويل الطاقة

1. اختر كرات فولاذية مختلفة الحجم، ثم أوجد كتلها.
2. ثبت عربة ميكانيكية ذات نابض رأسي على أن يكون نابضها متجهًا إلى أعلى.
3. ثبت مسطرة رأسيًا بجوار النابض لقياس ارتفاع الكرة.
4. ضع إحدى الكرات على الطرف العلوي للنابض، واضغط النابض إلى أسفل حتى تتلامس الكرة مع العربة.
5. اترك الكرة بسرعة ليدفعها النابض رأسيًا إلى أعلى.

تحذير: ابتعد عن الكرة قبل قذفها.

6. كرّر الخطوات عدة مرات للكرة ذاتها، ثم احسب متوسط الارتفاع.
7. قدّر ارتفاع الكرات الفولاذية المختلفة في الحجم.

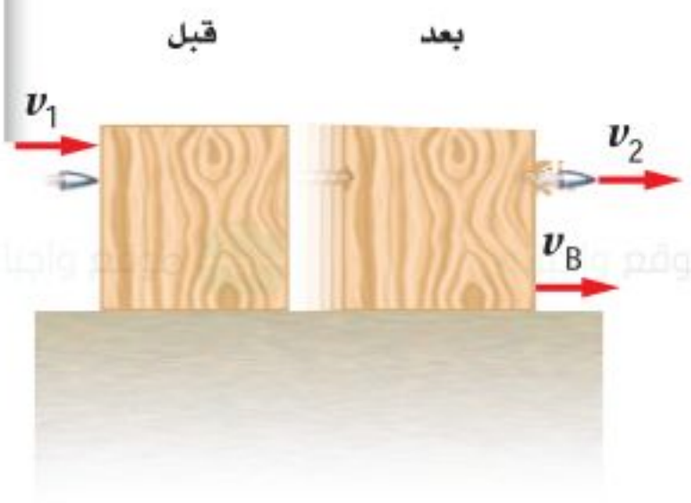
التوقع: سوف تتحرك الكرة الصغيرة ضعف الارتفاع، وسوف تتحرك الكرة الكبيرة نصف الارتفاع. فعليًّا لـن ترتفع الكرة الصغرى إلى الارتفاع المتوقع وسوف ترتفع الكرة الكبرى أكثـر قليلاً من نصف الارتفاع. تذهب بعض الطاقة في تحريك النابض والقضيب المعدني.

التحليل والاستنتاج

8. رتـب الكرات وفق الارتفاع الذي تصل إليه. ماذا تستنتج؟

موقع واجباتي

مسألة تحفيز



تحركت رصاصة كتلتها m بسرعة v_1 فاخترقت قطعة خشب ساكنة وخرجت منها بسرعة v_2، فإذا كانت كتلة القطعة الخشبية m_B، وتحركت بعد التصادم بسرعة v_B، فما مقدار:

1. السرعة النهائية لقطعة الخشب v_B؟

باستخدام حفظ الزخم

$$mv_1 = mv_2 + m_B v_B$$

$$m_B v_B = m(v_1 - v_2)$$

$$v_B = \frac{m(v_1 - v_2)}{m_B}$$

2. الطاقة التي فقدتها للرصاصة؟

بالنسبة إلى الرصاصة وحدها

$$KE_1 = \frac{1}{2} mv_1^2$$

$$KE_2 = \frac{1}{2} mv_2^2$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m(v_1^2 - v_2^2)$$

3. الطاقة التي فقدت بسبب الاحتكاك داخل القطعة الخشبية؟

الطاقة المفقودة بسبب الاحتكاك $= E_{\text{مفقودة}} = KE_1 - KE_2 - KE_{\text{خشب}}$

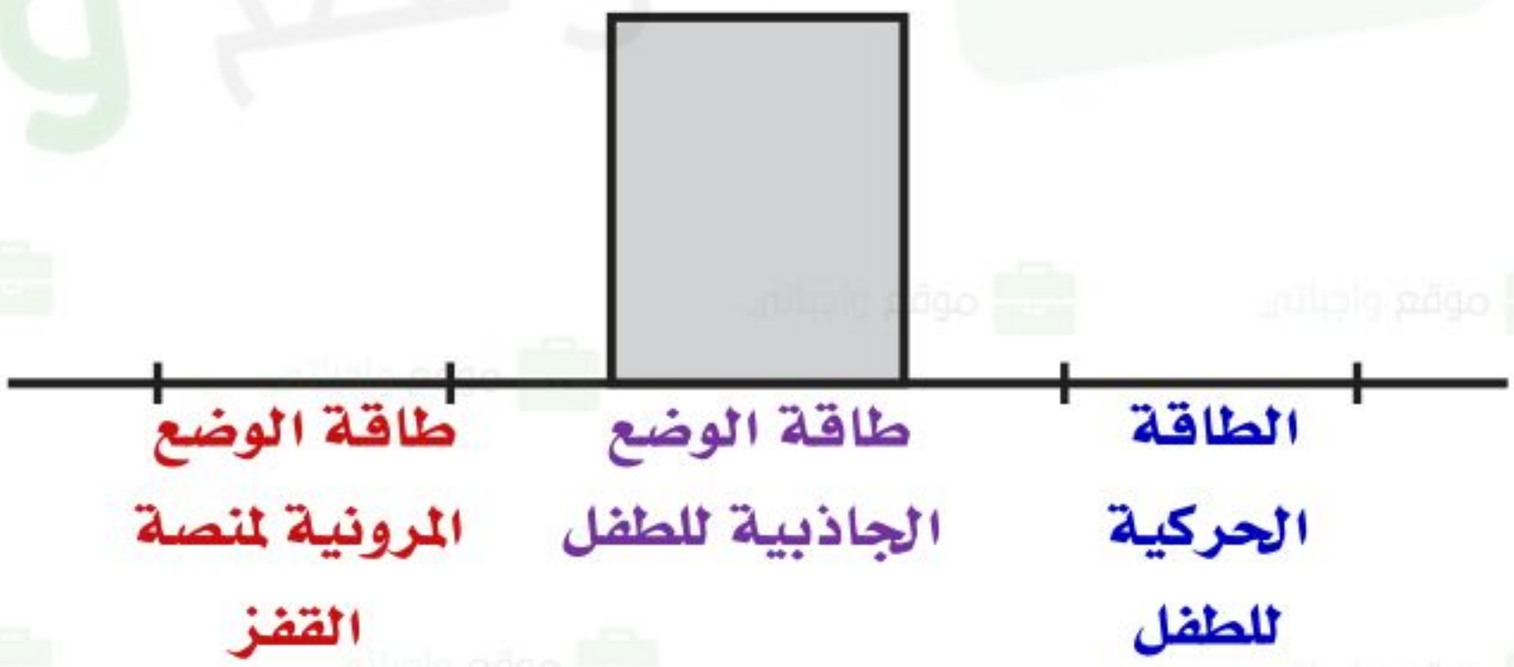
$$E_{\text{مفقودة}} = \frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} m_B v_B^2$$

21. **النظام المغلق** هل الأرض نظام مغلق ومعزول؟ دعّم إجابتك.

لتبسيط المسائل التي تحدث خلال فترة زمنية قصيرة تعد الأرض نظامًا مغلقًا. وفي الواقع الأرض ليست نظامًا معزولًا؛ لأنها تتأثر بقوى جاذبية مصدرها الكواكب والشمس والنجوم الأخرى.
وبالإضافة إلى ذلك فإن الأرض تستقبل بشكل مستمر الطاقة الكهرومغناطيسية، المشعة في المقام الأول من الشمس.

22. **الطاقة** قفز طفل عن منصة القفز (منصة البهلوان)، ارسم تمثيلاً بيانيًّا بالأعمدة يبين أشكال الطاقة الموجودة في الأوضاع الآتية:

a. الطفل عند أعلى نقطة في مساره.



b. الطفل عند أدنى نقطة في مساره.

23. **الطاقة الحركية** افترض أن كرة من اللبان (العلكة) تصادمت مع كرة مطاطية صغيرة في الهواء، ثم ارتدتا إحداهما عن الأخرى. هل تتوقع أن تبقى الطاقة الحركية محفوظة؟ وإذا كان الجواب بالنفي فماذا حدث للطاقة؟

على الرغم من أن الكرة المطاطية قد ارتدت مع خسارة القليل من الطاقة إلا أن الطاقة الحركية لن تكون محفوظة؛ وذلك لأن العلكة غالبًا قد تشوهت بسبب التصادم.

24. **الطاقة الحركية** تكون الكرة المستخدمة في تنس الطاولة كرة خفيفة جدًّا وصلبة، وتضرب بمضرب صلب (خشبي مثلاً). أما في التنس الأرضي فتكون الكرة أكثر ليونة، وتضرب بمضرب شبكي. فلماذا صُمّمت الكرة والمضرب في كل لعبة بهذه الطريقة؟ وهل تستطيع التفكير في كيفية تصميم كرة ومضرب تستخدمان في ألعاب رياضية أخرى؟

صُمّمت عناصر اللعبة بحيث تنقل أكبر كمية من الطاقة الحركية إلى الكرة. وتأخذ الكرة اللينة طاقة مع خسارة أقل من المضرب الشبكي. ويمكن اتخاذ تصميم آخر لعناصر اللعبة، وذلك بأن يكون كل من كرة الجولف والمضرب صلبًا.

موقع واجباتي

25. طاقة الوضع سقطت كرة مطاطية من ارتفاع 0 m. على أرض أسمنتية صلبة، فاصطدمت بها وارتدت عنها عدة مرات، وفي كل مرة كانت تخسر $\frac{1}{5}$ مجموع طاقتها. كم مرة ستصطدم الكرة بالأرض حتى تصل إلى ارتفاع 4 m بعد الارتداد؟

$$E_{\text{كلية}} = mgh$$

لما كان ارتفاع الارتداد يتناسب مع الطاقة، فإنه في كل ارتداد سوف ترتد الكرة إلى $\frac{4}{5}$ ارتفاع الارتداد السابق.

بعد ارتداد واحد:

$$h = \left(\frac{4}{5}\right)(8\ \text{m}) = 6.4\ \text{m}$$

بعد ارتدادين:

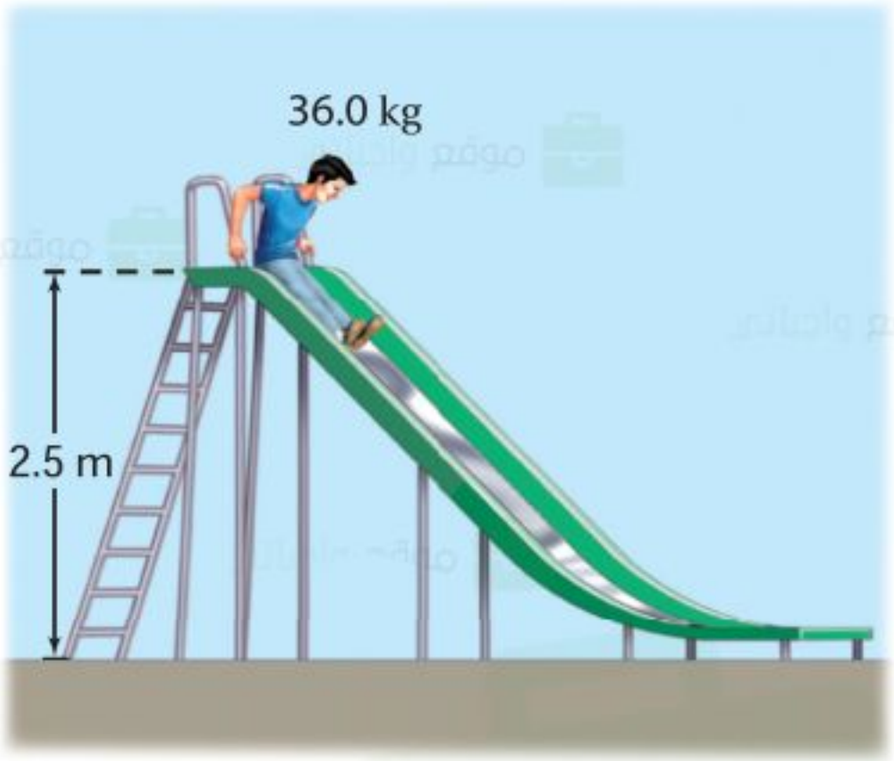
$$h = \left(\frac{4}{5}\right)(6.4\ \text{m}) = 5.12\ \text{m}$$

بعد ثلاثة ارتدادات:

$$h = \left(\frac{4}{5}\right)(5.12\ \text{m}) = 4.1\ \text{m}$$

موقع واجباتي

26. الطاقة ينزلق طفل كتلته 36.0 kg على لعبة انزلاق ارتفاعها 2.5 m كما في **الشكل 14–5**. ويتحرك عند أدنى نقطة في اللعبة بسرعة 3.0 m /s، فما مقدار الطاقة المفقودة خلال انزلاقه؟



■ الشكل 14–5

$$E_i = mgh$$

$$= (36.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(2.5\ \text{m})$$

$$= 880\ \text{J}$$

$$E_f = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(36.0\ \text{kg})(3.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 160\ \text{J}$$

$$E_{\text{مفقودة}} = 880\ \text{J} - 160\ \text{J} = 720\ \text{J}$$

27. التفكير الناقد سقطت كرة من ارتفاع 20.0 m وعندما وصلت إلى نصف الارتفاع، أي 10 m، كان نصف طاقتها طاقة وضع، والنصف الآخر طاقة حركة. عندما تستغرق الكرة في رحلتها نصف زمن سقوطها، فهل ستكون طاقة الوضع للكرة نصف طاقتها أم أقل أم أكثر؟

ستسقط الكرة ببطء أكثر خلال الجزء الأول من سقوطها. لذا فإن الكرة لن تقطع نصف المسافة التي ستسقطها خلال النصف الأول من زمن سقوطها. ومن ثم سيكون معظم طاقة الكرة طاقة وضع مقارنة بطاقتها الحركية.

مختبر الفيزياء

حفظ الطاقة Conservation of Energy

يوجد عدة أمثلة لحالات تكون فيها الطاقة محفوظة، منها سقوط صخرة من ارتفاع معلوم. فإذا سقطت الصخرة من السكون تكون طاقتها عند البدء طاقة وضع فقط، وفي أثناء السقوط تقل طاقة الوضع بتناقص الارتفاع، وفي الوقت نفسه تزداد الطاقة الحركية. ويبقى مجموع طاقتي الحركة والوضع ثابتًا إذا أهملنا الاحتكاك. وعند لحظة اصطدام الصخرة بالأرض فإن طاقة الوضع كلها تكون قد تحولت إلى طاقة حركية. ستصمّم في هذه التجربة نموذجًا لإسقاط جسم من ارتفاع معين وتحسب سرعته عندما يرتطم بالأرض.

سؤال التجربة

كيف يوضح "تحول طاقة الوضع لجسم ما إلى طاقة حركية" مبدأ حفظ الطاقة؟

الأهداف

- **تحسب** سرعة الجسم الساقط عند لحظة ارتطامه بالأرض باستخدام النموذج.
- **تفسر البيانات** لإيجاد علاقة بين طاقة وضع الجسم الساقط وطاقته الحركية.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

قطعتان خشبيتان أو بلاستيكيتان محفور فيهما أخدود (مسار) مستقيم يتكون من جزأين، ميزان إلكتروني، كرة فولاذية أو زجاجية، مسطرة مترية، ساعة إيقاف، آلة حاسبة بيانية، قطعة خشبية.

ملاحظة: *يفضل استخدام بوابات إلكترونية لقياس السرعة على المسار الأفقي، أو المؤقت ذي الشريط الورقي، وفي حال عدم توافر أي منهما يجب أن لا يقل طول المسار الأفقي عن 1.5 m.*

الخطوات

1. ثبت القطعتين ذواتي الأخدود كما في **الشكل 1**. وارفع طرف أحد المسارين ليرتكز على القطعة الخشبية، بحيث تبعد نقطة ارتكازه على الخشبة مسافة 5 cm عن طرف المسار. تأكد أنه يمكن للكرة التدحرج بسهولة عبر نقطة اتصال المسارين.
2. سجل طول الجزء الأفقي من المسار في جدول البيانات. وضع كرة على المسار فوق القطعة الخشبية مباشرة واترك الكرة لتتدحرج. شغل ساعة الإيقاف عندما تصل الكرة إلى الجزء الأفقي، ثم أوقفها عندما تصل الكرة إلى نهاية المسار الأفقي. وسجل الزمن اللازم للكرة لقطع المسافة الأفقية في جدول البيانات.
3. حرّك القطعة الخشبية بحيث تصبح تحت نقطة منتصف الجزء المائل من المسار كما في **الشكل 2**. وضع الكرة على المسار فوق القطعة الخشبية مباشرة، ثم اترك الكرة لتتدحرج وقس الزمن اللازم لقطع الجزء الأفقي من المسار وسجّله في جدول البيانات. ولاحظ أنه حتى لو ارتفع السطح المائل فإن الكرة تسقط من الارتفاع نفسه كما في الخطوة 2.
4. احسب سرعة الكرة على المسار الأفقي في الخطوتين 2و3، وحرّك القطعة الخشبية الآن إلى نقطة تشكّل ثلاثة أرباع طول السطح المائل كما في **الشكل 3**.
5. توقع الزمن اللازم لوصول الكرة إلى نهاية السطح الأفقي للمسار، وسجل توقعك ثم اختبره.

شكل 1

شكل 2

شكل 3

ارتفاع السقوط (m)	المسافة (m)	الزمن (s)	السرعة (m /s)
0.050 (شكل 1)	0.5750	0.92	0.63
0.050 (شكل 2)	0.5750	0.90	0.64
0.050 (شكل 3)	0.5750	0.91	0.63
0.010	0.5750	2.05	0.281
0.020	0.5750	1.27	0.453
0.030	0.5750	1.09	0.528
0.040	0.5750	0.95	0.61
0.050	0.5750	0.85	0.68
0.060	0.5750	0.71	0.81

التحليل

1. **استدل** ما أثر تغير ميل السطح المائل في سرعة الكرة على السطح الأفقي للمسار في الخطوات 6–2؟

تبقى سرعة الكرة نفسها لأن ارتفاعها الأولي كان دائمًا هو نفسه.

2. **حلّل** ارسم رسمًا بيانيًّا يمثل سرعة الكرة على المسار الأفقي (y) مقابل الارتفاع الذي سقطت منه الكرة (x). هل العلاقة خطية؟ ثم ارسم رسمًا بيانيًّا يمثل مربع السرعة مقابل الارتفاع. هل العلاقة خطية الآن؟

لا، أما عند رسم مربع السرعة مقابل الارتفاع فالعلاقة خطية.

3. استخدم المعلومات في الخطوة 9 عند ارتفاع السقوط 8 cm لإيجاد طاقة الوضع للكرة قبل سقوطها مباشرة. استخدم الميزان الإلكتروني لإيجاد كتلة الكرة، ولاحظ أن الارتفاع يجب أن يكون مقيسًا بوحدة m، والكتلة بوحدة kg.

$$PE = mgh$$

$$=(5.0\times10^{-3}\,kg)\,(9.8\,m/s^2)(8.0\times10^{-2}\,m)$$

$$=3.9\times10^{-3}\,J$$

4. استخدم بيانات السرعة في الخطوة 9 عند ارتفاع السقوط 8 cm في حساب الطاقة الحركية للكرة في المستوى الأفقي للمسار. وتذكّر أن وحدة قياس السرعة m/s والكتلة بوحدة kg.

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

$$=(5.0\times10^{-3}\,kg)(0.83\,m/s)^2/2$$

$$=1.7\times10^{-3}\,J$$

الاستنتاج والتطبيق

1. أوجد معادلة حساب السرعة y بدلالة الارتفاع x، وابدأ من $PE_i = KE_f$.

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$\frac{1}{2}my^2 = mgx$$

$$y^2 = 2gx \Rightarrow y = 4.4\,x^{0.5}$$

2. هل تتفق العلاقة المستنتجة في السؤال السابق مع العلاقة من الرسم البياني؟

المعادلة التجريبية $y = 3.4\,x^{0.5}$ أقل من المعادلة النظرية $y = 4.4\,x^{0.5}$ ويعود ذلك إلى أخطاء بشرية في قياس الزمن.

3. طبق العلاقة التي استنتجتها لحساب الارتفاع الذي يجب أن تسقط الكرة منه لتكون سرعتها على المسار الأفقي ضعف ما كانت عليه عندما أسقطت من ارتفاع 2 cm.

اترك الكرة حتى تسقط من ارتفاع 8.3 cm.

4. وضح كيف تمثل هذه التجربة نموذجًا لسقوط الكرة مباشرة في اتجاه الأرض، ومن ثم تحديد الطاقة الحركية للكرة لحظة ارتطامها بالأرض.

من الصعب جمع المعلومات عن سقوط الجسم واصطدامه بالأرض، يمكن استخدام الممر المنحدر لأن الارتفاع فوق مستوى المسار يحدد سرعة الكرة على المسار المستوي، وتكون سرعتها المتجهة ثابتة بسبب حفظ الطاقة.

5. **قارن** قارن بين طاقة الوضع للكرة قبل السقوط والطاقة الحركية للكرة على السطح الأفقي (الخطوتان 8،9) ووضح لماذا تساوتا أو اختلفتا؟

ستتنوع الإجابات، بسبب حفظ الطاقة ستكون PE_i و KE_f هي نفسها. عمليًّا سوف يُبذل شغل بوساطة الاحتكاك مما يؤدي إلى تقليل الطاقة الحركية.

6. **استخلص النتائج** هل تثبت هذه التجربة قانون حفظ الطاقة؟ وضح ذلك.

الرسم البياني منسجم بصورة كافية لإثبات أن الطاقة محفوظة (حتى مع وجود الاحتكاك).

التوسع في البحث

ما مصادر الخطأ في هذه التجربة؟ وكيف تستطيع التقليل منها؟

ستتنوع الإجابات، إذا اصطدمت الكرة بطرف المسار فقد تصبح حركتها متعرجة بسبب حدوث تصادمات متتالية مع طرفي المسار، وهذا يؤدي إلى زيادة المسافة الفعلية التي تقطعها الكرة، مما يعطي نتائج غير صحيحة. وكذلك إذا لامس المسار الكرة بجانب محور دورانها أمكن أن يصبح دورانها سريعًا جدًّا. يساعد استخدام كرة أصغر على تقليل طاقة الحركة الدورانية.

الفيزياء في الحياة

كيف توضح حركة العربات على المسارات المتعرجة في مدينة الملاهي مبدأ حفظ الطاقة بتحوّل طاقة الوضع إلى طاقة حركية؟

في أثناء هبوط العربة على المنحدرات المتعرجة تتحول طاقة وضع الجاذبية للكرة إلى طاقة حركية فتزيد سرعة العربة.

التقنية والمجتمع

Running Smarter تقنيات ذكية للجري

الفيزياء والأحذية الرياضية أصبحت أحذية الجري اليوم ذات تقنية عالية ومدهشة، وقد تحسّن أداؤها بصورة رائعة، بحيث تحمي الجسم وتعمل عمل ماصّ للصدمات. كيف يساعدك حذاء الجري على الفوز في المسابقة؟ يقلل حذاء الجري من استهلاك الطاقة كما يجعلك توظفها بفاعلية أكبر.

ويكون الحذاء الرياضي الجيد مرنًا بصورة كافية للانحناء مع قدمك في أثناء الجري، ويدعم قدميك ويثبتهما في مكانهما، وهو خفيف الوزن يشدّ قدميك ويمنعهما من الانزلاق.

حذاء الجري ماص للصدمة هناك اهتمام كبير بتقنيات وسادة الامتصاص في حذاء الجري، وتطوير دوره الأساسي بوصفه ماصًّا للصدمات وتحسين عمله. يدفع حذاء لاعب الجري الأرض، وفي الوقت نفسه تؤثر الأرض في الحذاء بمقدار القوة نفسه في الاتجاه المعاكس. و يساوي مقدار هذه القوة أربعة أمثال وزن اللاعب تقريبًا. كما تسبب هذه القوة الألم والجهد، والتهاب عضلة الساق، وتؤذي الكاحل والركبة خلال الجري لمسافات طويلة.

وتستخدم وسادة الامتصاص في حذاء الجري لتقليل القوة التي يمتصها اللاعب؛ فعندما تضرب قدم اللاعب الأرض وتتوقف يتغير زخمها. ويعبر عن التغير في الزخم بـ $\Delta \boldsymbol{p} = \boldsymbol{F}\Delta t$ ، حيث F القوة المؤثرة في الجسم، Δt زمن تأثير القوة. وتعمل البطانة هنا على جعل زمن التغير في الزخم طويلاً، مما يقلّل من تأثير قوة دفع القدم للأرض، وهذا يقلل أيضًا من الضرر الذي يلحق بجسم اللاعب.

حذاء الجري يزيد الأداء يؤثر نظام وسادة الامتصاص في الحذاء في استهلاك الطاقة؛ فالعظام والعضلات والأربطة والأوتار تشكّل نظام امتصاص طبيعي، ولكن استخدام هذا النظام الطبيعي يستهلك قدرًا من طاقة الجسم، وعند استخدام نظام الامتصاص في الحذاء يتمكّن الجسم من تحويل هذه الطاقة المختزنة للاستخدام في انقباض العضلات، حيث يستغلها اللاعب في الجري بسرعة أكبر.

توظف الأحذية الرياضية قانون حفظ الطاقة؛ فهي مزودة بنعل داخلي ذي بطانة مرنة يعيد للاعب أكبر مقدار ممكن من الطاقة التي يستهلكها، حيث تتحول الطاقة الحركية للاعب إلى طاقة وضع مرونية وطاقة حرارية عندما تضرب قدم اللاعب أرضية الملعب. وإذا استطاع اللاعب التقليل من الطاقة الحرارية الضائعة تتحول طاقة الوضع المرونية مرة أخرى إلى طاقة حركية مفيدة.

وتستخدم عادة المواد المرنة واللينة والمطاطية التي تقاوم التحطم في صناعة بطانة النعل الداخلي للحذاء، ومن أمثلتها لبادة جل السليكون، ونظم الموائع المعقدة والنوابض.

التوسع في البحث

1. **فسّر علميًّا** استخدم المفاهيم الفيزيائية لتفسير سبب وضع المصانع وسادة امتصاص في أحذية الجري.
2. **حلّل** أي الأسطح الآتية يعطي اللاعب مرونة أكثر عند الركض: الملعب العشبي أم أرضية المشاة؟ وضح إجابتك.
3. **ابحث** لماذا يفضل بعض الناس الجري وهم حفاة، حتى في سباق الماراثون؟

التقنية والمجتمع

Running Smarter تقنيات ذكية للجري

التوسع في البحث

1. **فسّر علميًّا** استخدم المفاهيم الفيزيائية لتفسير سبب وضع المصانع وسادة امتصاص في أحذية الجري.

يستخدم أصحاب المصانع وسادة تخميد في النعل الأوسط لإطالة الزمن الذي يتم خلاله تأثير الزخم، مما يقلل من القوة ويعمل على حماية الجسم.

2. **حلّل** أي الأسطح الآتية يعطي اللاعب مرونة أكثر عند الركض:

الملعب العشبي أم أرضية المشاة؟ وضح إجابتك.

الجري على السطح العشبي أفضل كثيرًا لأنه يسمح بحدوث التغير في زخم قدمي العداء خلال فترة زمنية أطول، وهذا يقلل من تأثير القوة في القدم.

3. **ابحث** لماذا يفضل بعض الناس الجري وهم حفاة، حتى في سباق الماراثون؟

يقدم بعض العدائين أدلة قصصية تثبت أن العدو حافيًا قد يقلل الإصابات والضرر في القدم.

الفصل 5

دليل مراجعة الفصل

5–1 الأشكال المتعدّدة للطاقة The many Forms of Energy

المفردات

- طاقة الحركة الدورانية
- طاقة وضع الجاذبية
- مستوى الإسناد
- طاقة الوضع المرونية

المفاهيم الرئيسة

- تتناسب الطاقة الحركية لجسم طرديا مع كتلته و مربع سرعته.
- يمكن أن تكون الطاقة الحركية خطية أو دورانية.
- عندما تشـكّل الأرض جزءًا من نظام معزول فإن الشغل المبذول من الجاذبية الأرضية يستبدل به طاقة الوضع الجاذبية.
- تعتمد طاقة الوضع الجاذبية لجسم ما على وزن الجسم وعلى ارتفاعه عن سطح الأرض.

$$PE = mgh$$

- يكون موقع مستوى الإسناد في النقطة التي نفترض عندها طاقة الوضع الجاذبية الأرضية صفرًا.
- يمكن أن تُختزن طاقة الوضع المرونية في جسم نتيجة تغير شكل الجسم.
- يقول أينشتاين: إن للكتلة نفسها طاقة وضع، وتُسمى هذه الطاقة بالطاقة السكونية.

$$E_0 = mc^2$$

5–2 حفظ الطاقة Conservation of Energy

المفردات

- قانون حفظ الطاقة
- الطاقة الميكانيكية
- التصادم فـوق المرن (الانفجاري).
- التصادم المرن
- التصادم العديم المرونة

المفاهيم الرئيسة

- يُسمّى مجموع طاقتي الوضع والحركة الطاقة الميكانيكية $E = KE + PE$
- إذا لم يدخل أي جسم إلى النظام أو يخرج منه فإن هذا النظام يعدّ نظامًا مغلقًا.
- إذا لم تؤثر قوة خارجية في النظام فإن هذا النظام يعد نظامًا معزولاً.
- مجموع الطاقة في النظام المغلق المعـزول ثابت داخل النظام الواحد، حيث تتغير الطاقة من شكل إلى آخر، ويبقى مجموعها ثابتًا؛ لذا فالطاقة محفوظة.

$$KE_{\text{قبل}} + PE_{\text{قبل}} = KE_{\text{بعد}} + PE_{\text{بعد}}$$

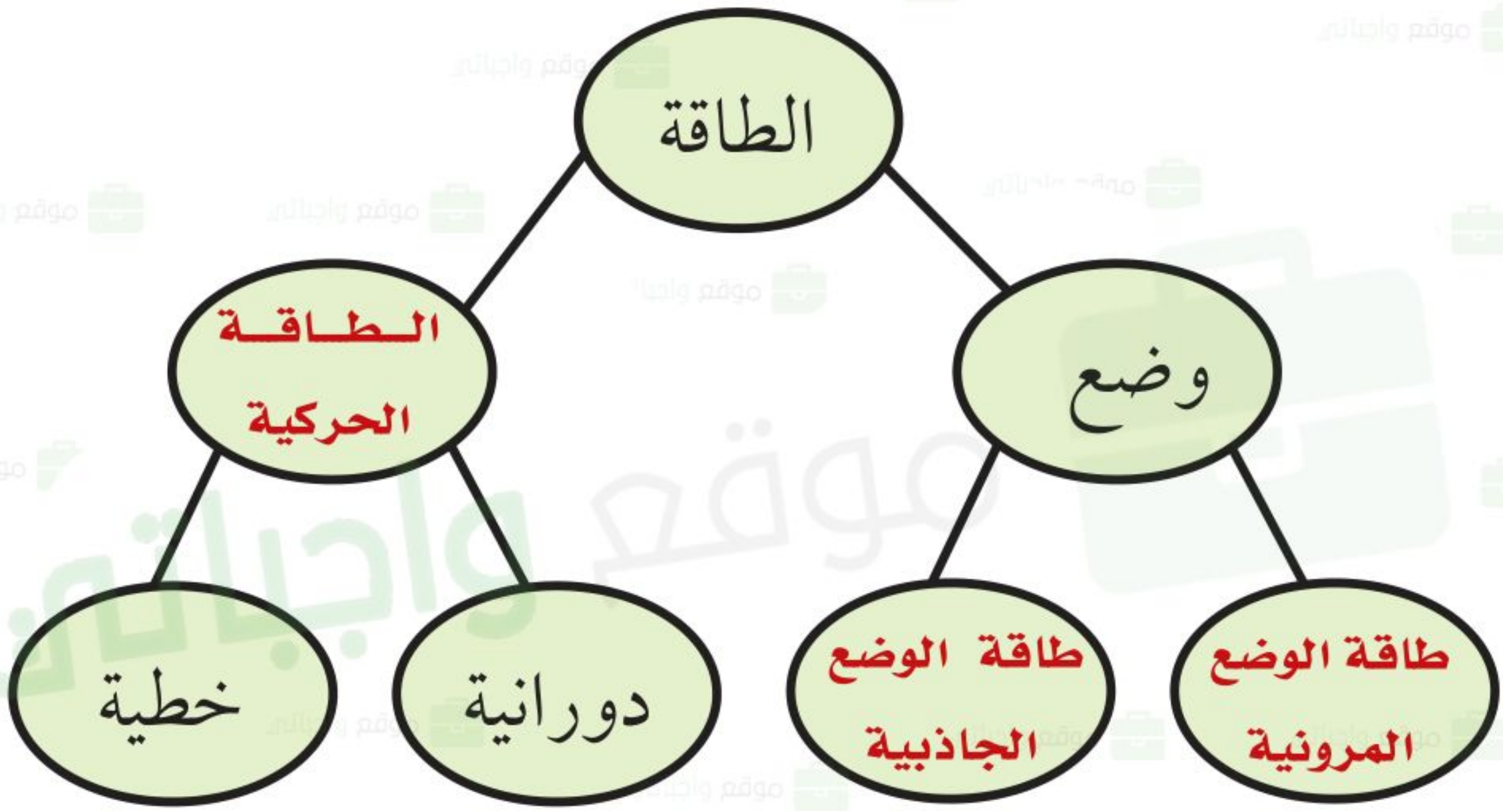
- يُسـمى التصادم الذي تزيد فيه الطاقة الحركية بعد التصادم عنها قبل التصادم بالتصادم الفوق مرن
- يُسمى التصادم الذي تكون الطاقة الحركية بعده أقل منها قبله التصادم العديم المرونة.
- يُسمى التصادم الذي تكون الطاقة الحركية قبله مساوية لما بعده التصادم المرن.
- إذا كانت القوة الخارجية المؤثرة صفرًا، فالزخم محفوظ في التصادم. أما بالنسـبة للطاقة الحركية فقد تبقى محفوظة أو تقل نتيجة التصـادم، حيث يعتمد ذلك على نوع التصادم (مرنًا أم عديم المرونة).

موقع واجباتي

الفصل 5
التقويم

خريطة المفاهيم

28. أكمل خريطة المفاهيم بالمصطلحات الآتية: طاقة الوضع الجاذبية، طاقة الوضع المرونية، الطاقة الحركية.



موقع واجباتي

الفصل 5 التقويم

إتقان المفاهيم

في جميع المسائل اللاحقة، افترض أن مقاومة الهواء مهملة، إلا إذا أعطيت قيمتها.

29. وضّح العلاقة بين الشغل المبذول والتغير في الطاقة. (1–5)

الشغل المبذول على الجسم يسبب تغير طاقة الجسم. وهذه هي نظرية الشغل–الطاقة.

30. ما نوع الطاقة في ساعة تعمل بضغط النابض؟ وما نوع الطاقة في الساعة الميكانيكية؟ وماذا يحدث للطاقة عندما تتوقف الساعة عن العمل؟ (1–5)

يختزن نابض الساعة طاقة وضع مرونية، والساعة التي تعمل لها طاقة وضع مرونية وطاقة حركة دورانية. وتتوقف الساعة عن العمل عندما تتحول الطاقة كلها التي فيها إلى حرارة نتيجة الاحتكاك في نواقل الحركة والوصلات.

31. وضح كيفية ارتباط تغير الطاقة مع القوة؟ (1–5)

تبذل القوة شغلاً عندما تؤثر في جسم فتحركه مسافة في اتجاهها، وهذا ينتج تغيرًا في الطاقة.

32. أُسقطت كرة من أعلى مبنى، فإذا اخترت أعلى المبنى بوصفه مستوى إسناد، في حين اختار زميلك أسفل المبنى بوصفه مستوى إسناد، فوضح هل تكون حسابات الطاقة نفسها أم مختلفة وفقًا لمستوى الإسناد في الحالات الآتية؟ (1–5)

a. طاقة وضع الكرة عند أي نقطة.

تختلف طاقات الوضع باختلاف مستويي الإسناد.

b. التغير في طاقة وضع الكرة نتيجة السقوط.

التغيرات في طاقات الوضع الناتج عن السقوط متساوية؛ لأن التغير في h هو نفسه بالنسبة إلى مستويي الإسناد.

c. الطاقة الحركية للكرة عند أي نقطة.

الطاقة الحركية للكرة عند أي نقطة متساوية؛ لأن السرعة المتجهة هي نفسها.

33. هل هناك حالة يمكن أن تكون فيها الطاقة الحركية لكرة البيسبول سالبة؟ (1–5)

لا يمكن أن تكون الطاقة الحركية لكرة البيسبول سالبة؛ لأن الطاقة الحركية تعتمد على مربع السرعة المتجهة، وهي موجبة دائمًا.

موقع واجباتي

الفصل 5 التقويم

34. هل هناك حالة يمكن أن تكـــون فيها طاقة الوضع لكرة البيسبول ســـالبة؟ وضح ذلك دون استخدام معادلات. (1–5)

قد تكون طاقة وضع الجاذبية لكرة البيسبول سالبة إذا كان ارتفاع الكرة تحت مستوى الإسناد.

35. إذا زادت سرعة عدّاء إلى ثلاثة أضعاف سرعته الابتدائية، فما معامل تزايد طاقته الحركية؟ (1–5)

تزداد الطاقة الحركية للعدّاء 9 مرات؛ لأنه تم تربيع السرعة.

36. ما تحولات الطاقة عندما يقفز لاعب الوثب بالزانة؟ (2–5)

يركض لاعب الوثب بالزانة (طاقة حركية)، وعند ثني الزانة تضاف طاقة وضع مرونية إلى الزانة، وعندما ترفع الزانة جسم اللاعب تتحول الطاقة الحركية وطاقة الوضع المرونية إلى طاقة حركية وطاقة وضع جاذبية. وعندما يترك اللاعب الزانة تكون جميع طاقته طاقة حركية وطاقة وضع جاذبية.

37. لماذا تتغير الوثبة كثيرًا في رياضة الوثب بالزانة عندما تستبدل بالعصا الخشبية القاسية عصا مرنة أو عصا مصنوعة من الألياف الزجاجية؟ (2–5)

يمكن لقضيب الليف الزجاجي المرن أن يختزن طاقة وضع مرونية؛ لأنه ينثني بسهولة. ويمكن لهذه الطاقة أن تتحرر وتدفع اللاعب رأسيًّا إلى أعلى. أما قضيب الخشب فلا يختزن طاقة وضع مرونية. وأقصى ارتفاع للاعب القفز العالي محدد بالتحول المباشر للطاقة الحركية إلى طاقة وضع جاذبية.

38. عندما قُذفت كرة طينية في اتجاه قرص الهوكي المطاطي الموضوع على الجليد التحمت الكرة المندفعة وقرص الهوكي المطاطي معًا، وتحركا ببطء. (2–5)

a. هل الزخم محفوظ في التصادم؟ وضح ذلك.

الزخم الكلي للكرة والقرص المطاطي محفوظ في التصادم بسبب عدم وجود قوى غير متزنة في هذا النظام.

b. هل الطاقة الحركية محفوظة في التصادم؟ وضح ذلك.

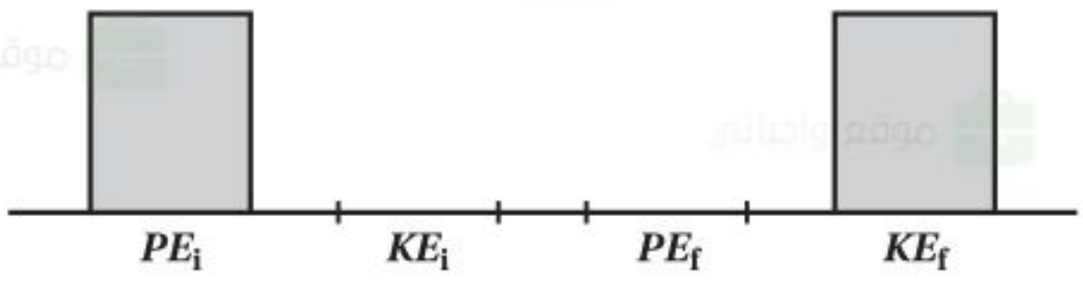
الطاقة الحركية الكلية غير محفوظة بسبب ضياع جزء منها في أثناء تغير شكل الكرة عند ضربها، وعند التحام الكرة بالقرص المطاطي.

موقع واجباتي

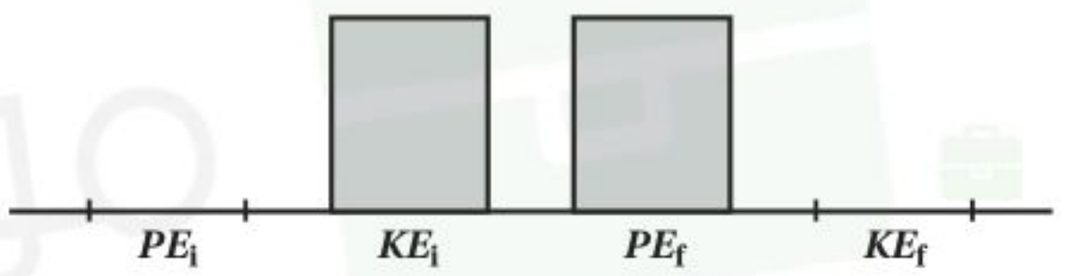
الفصل 5
التقويم

39. مثّل بيانيًّا بالأعمدة كلاًّ من العمليات التالية: (2–4)

a. انزلاق مكعب من الجليد، بادئًا حركته من السكون، على سطح مائل عديم الاحتكاك.



b. انزلاق مكعب من الجليد صاعدًا أعلى سطح مائل عديم الاحتكاك، ثم توقفه لحظيًّا.



40. صف تحول الطاقة الحركية إلى طاقة وضع وبالعكس لشخص يركب في الأفعوانية جولة كاملة. (2–5)

تكون معظم طاقة الشخص والعربة خلال جولة الأفعوانية على شكل طاقة وضع عند قمة المنحدر، وطاقة حركية عند أسفل المنحدر.

41. صف كيفية فقدان طاقة الحركة وطاقة الوضع المرونية عند ارتداد كرة مطاطية، وصف ما يحدث لحركة الكرة. (2–5)

يختزن في كل ارتداد جزء من الطاقة الحركية للكرة على شكل طاقة وضع مرونية، ويبدّد التشوه في الكرة ما تبقى من طاقتها في صورة طاقة حرارية وصوت. وبعد الارتداد تتحول طاقة الوضع المرونية المختزنة إلى طاقة حركية. وكل ارتداد تال للكرة يبدأ بطاقة حركية أقل؛ وذلك بسبب الطاقة الضائعة في التشوه، مما يجعل الكرة تصل إلى ارتفاع أقل، وفي النهاية تتبدد طاقة الكرة كلها وتتوقف عن الحركة (تسكن).

تطبيق المفاهيم

42. استخدم سائق سيارة سباق الكوابح لإيقافها. طبق نظرية الشغل – الطاقة في الأوضاع الآتية: (على اعتبار أن النظام يحوي السيارة ولا يتضمن الطريق).

a. إذا كانت عجلات السيارة تتدحرج دون انزلاق.

إذا لم تنزلق إطارات السيارة فستحتكّ سطوح الكوابح بالإطارات فتبذل شغلا يؤدي إلى إيقاف السيارة. والشغل الذي تبذله المكابح يساوي التغير في الطاقة الحركية للسيارة. ونلاحظ ارتفاع حرارة سطح الكوابح؛ لأن الطاقة الحركية تتحوّل إلى طاقة حرارية.

موقع واجباتي

b. انزلقت عجلات السيارة عندما استخدمت الكوابح.

إذا استخدمت الكوابح وانزلقت إطارات السيارة فهذا يعني أن الكوابح انغلقت وتوقفت عن الاحتكاك وعندئذ تحتكّ الإطارات بالطريق وتبذل شغلا يعمل على إيقاف السيارة. وترتفع درجة حرارة سطح الإطار وليس درجة حرارة المكابح. ولا تعد هذه الطريقة فعّالة في إيقاف السيارة، كما أنها تتلف الإطارات.

43. تسير سيارة صغيرة وشاحنة كبيرة بالسرعة نفسها. أيهما يبذل شغلاً أكبر: محرك السيارة أم محرك الشاحنة؟

الشاحنة الكبيرة لها طاقة حركية أكبر $KE = \frac{1}{2}mv^2$؛ لأن كتلتها أكبر من كتلة السيارة الصغيرة، وبحسب نظرية الشغل–الطاقة فإن محرك الشاحنة الكبيرة يبذل شغلاً أكبر.

44. **المنجنيق** استخدمت جيوش المسلمين مدفع المنجنيق في فتوحاتهم. حيث يعمل بعض هذه الأنواع باستخدام حبل مشدود، وعندما يُرخى الحبل ينطلق ذراع المنجنيق. ما نوع الطاقة المستخدمة عند قذف الصخرة بالمنجنيق؟

تختزن طاقة الوضع المرونية في حبل الربط المشدود، والذي يبذل شغلا على الصخرة. وللصخرة طاقة حركية وطاقة وضع خلال حركتها في الهواء. وعندما تصطدم الصخرة بالحائط يؤدّي التصادم العديم المرونة إلى تحول معظم الطاقة الميكانيكية إلى طاقة حرارية وطاقة صوتية وإلى بذل شغل يعمل على تحطيم جزء من الحائط، وتظهر بعض الطاقة الميكانيكية في الشظايا المتناثرة الناتجة عن الاصطدام.

45. تصادمت سيارتان وتوقفتا تمامًا بعد التصادم، فأين ذهبت طاقتاهما؟

تستهلك الطاقة في ثني الصفائح الفلزية في السيارة. كما تفقد الطاقة أيضًا بسبب قوى الاحتكاك بين السيارتين والإطارات، كما تفقد على شكل طاقة حرارية وصوت.

46. بُذل شغل موجب على النظام خلال عملية معينة، فقلّت طاقة الوضع. هل تستطيع أن تستنتج أي شيء حول التغير في الطاقة الحركية للنظام؟ وضح ذلك.

الشغل يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية الكلية، $W = \Delta(KE + PE)$. إذا كانت W موجبة و ΔPE سالبة، فيجب أن تكون ΔKE موجبة وأكبر من W.

تقويم الفصل 5

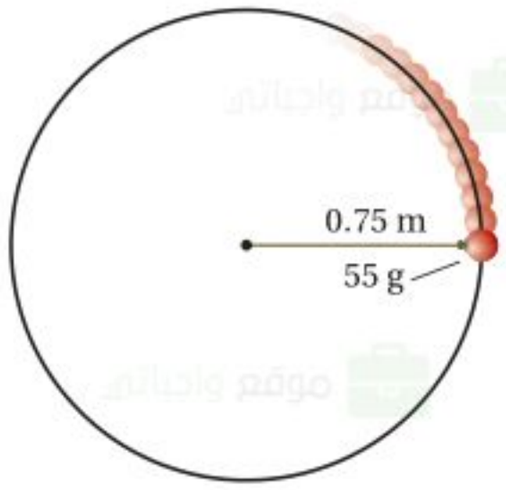
47. بُذل شـــغل موجب على النظام خلال عملية معينة، فزادت طاقة الوضع. هل تستطيع أن تحدد ما إذا كانت الطاقة الحركية للنظام زادت، أو قلت، أو بقيت كما هي؟ وضح ذلك.

الشغل يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية الكلية، $W = \Delta(KE + PE)$. إذا كانت W موجبة و ΔPE موجبة أيضًا فعندئذٍ لا يمكنك الحديث على نحوٍ جازم عن ΔKE.

48. **التزلج** يتحرك متزلجـــان مختلفان في الكتلة بالسرعة نفسها وفي الاتجاه نفسه، فإذا أثر الجليد في المتزلجين بقوة الاحتكاك نفسها فقارن بين مسافة التوقف لكل منهما.

سيكون للمتزلج ذي الكتلة الأكبر طاقة حركية أكبر. وستتبدّد الطاقة الحركية لكلا المتزلجين بالشغل السالب، $W = Fd$ المبذول بالاحتكاك مع الجليد. ولما كانت قوى الاحتكاك متساوية فإن المتزلج ذا الكتلة الأكبر سيقطع مسافة أكبر قبل التوقف.

49. إذا دوّرت جسمًا كتلته 55 g في نهاية خيط طولـه 0.75 m حول رأسك في مستوى دائري أفقي بسرعة ثابتة، كما في الشكل 15–5



الشكل 15–5

b. وهل تتفق إجابتك في الفرع(a)مع نظرية الشغل – الطاقة؟ وضح ذلك.

لا تبذل قوة الشد شغلاً على الكتلة؛ لأن قوة الشد تسحب في اتجاه عمودي على اتجاه حركة الكتلة.

a. فما مقدار الشغل المبذول على الجسم من قوة الشد في الخيط في دورة واحدة؟

لا يتعارض ذلك مع نظرية الشغل–الطاقة؛ لأن الطاقة الحركية للكتلة ثابتة فهي تتحرك بسرعة ثابتة.

50. أعطِ أمثلة محددة توضح العمليات الآتية:

a. بُذل شغل على نظام ما فازدادت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

دفع قرص الهوكي أفقيًّا على الجليد: النظام يحتوي على قرص الهوكي فقط.

b. تحول طاقة الوضع إلى طاقة حركية دون أن يُبذل شغل على النظام.

إسقاط كرة: النظام مكون من الأرض والكرة.

c. بُذل شغل على النظام، فازدادت طاقة الوضع ولم تتغير الطاقة الحركية.

ضغط النابض في مسدس لعبة: النظام مكون من النابض فقط.

d. بذل النظام شغلا فقلت الطاقة الحركية ولم تتغير طاقة الوضع.

سيارة مسرعة تتحرك على طريق مستوٍ، حيث يتم التأثير بالكوابح مما يؤدي إلى تقليل سرعتها.

51. **الأفعوانية** إذا كلفت بتعديل تصميم أفعوانية، وطلب المالك إليك أن تجعل اللعب عليها أكثر إثارة عن طريق جعل السرعة في أسفل المنحدر الأول ضعف السرعة قبل التعديل. فكم يكون ارتفاع المنحدر الأول للأفعوانية بالنسبة لارتفاعه الأصلي؟

يكون ارتفاع المنحدر مضاعفًا أربع مرات.

52. قُذفت كرتان متماثلتان من قمة منحدر عالٍ، إحداهما رأسيًّا إلى أعلى، والأخرى رأسيًا إلى أسفل وكان لها مقدار السرعة الابتدائية نفسه. قارن بين طاقتيهما الحركية، وسرعتيهما عندما ترتطمان بالأرض؟

على الرغم من أن الكرتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين إلا أن لهما نفس الطاقة الحركية وطاقة الوضع عند لحظة قذفهما. وسيكون لهما نفس الطاقة الميكانيكية والسرعة عندما ترتطمان بالأرض.

إتقان حلّ المسائل

5–1 الأشكال المتعددة للطاقة

53. تتحرك سيارة كتلتها 1600 kg بسرعة 12.5 m/s. ما طاقتها الحركية؟

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

$$= \frac{1}{2}(1600\ \text{kg})(12.5\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.3\times10^5\ \text{J}$$

54. ما مقدار الطاقة الحركية لسيارة سباق كتلتها 1525 kg، عندما تكون سرعتها 108 km /h؟

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

$$= \frac{1}{2}(1525\ \text{kg})$$

$$\left(\frac{(108\ \text{km/h})(1000\ \text{m/km})}{3600\ \text{s/h}}\right)^2$$

$$= 6.86\times10^5\ \text{J}$$

55. مجموع كتلتي خليل ودراجتــه 45.0 kg. فإذا قطع خليل 1.80 km خلال 10.0 min بسرعة ثابتة، فما مقدار طاقته الحركية؟

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{d}{t}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2}(45.0\text{ kg})\left(\frac{(1.80\text{ km})((1000\text{ m/km})}{(10.0\text{ min})(60\text{ s/min})}\right)^2$$

$$= 243\text{ J}$$

56. كتلة خالد 45 kg ويسير بسرعة 10.0 m /s.

a. أوجد طاقته الحركية.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(45\text{ kg})(10.0\text{ m/s})^2$$

$$= 2.3\times10^3\text{ J}$$

b. إذا تغيرت سرعة خالد إلى 5.0 m /s، فاحسب طاقته الحركية الآن.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(45\text{ kg})(5.0\text{ m/s})^2$$

$$= 5.6\times10^2\text{ J}$$

c. أوجد نسبة الطاقة الحركية في الفرع **a** إلى الطاقة الحركية في الفرع **b**. وفسر ذلك.

$$\frac{\frac{1}{2}(mv_1^2)}{\frac{1}{2}(mv_2^2)} = \frac{v_1^2}{v_2^2} = \frac{(10.0)^2}{(5.0)^2} = \frac{4}{1}$$

مضاعفة السرعة المتجهة يضاعف الطاقة الحركية أربع مرات. تتناسب الطاقة الحركية طرديًا مع مربع السرعة.

57. كتلة كل من أسماء وآمنة متساويتان وتساوي 45 kg، وقد تحركتا معًا بسرعة 10.0 m /s كجسم واحد.

a. ما مقدار الطاقة الحركية لهما معًا؟

$$KE_{\text{لأسماء وآمنة}} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}})v^2$$

$$= \frac{1}{2}(45\text{ kg} + 45\text{ kg})(10.0\text{ m/s})^2$$

$$= 4.5\times10^3\text{ J}$$

b. ما نسبة كتلتيهما معًا إلى كتلة أسماء؟

$$\frac{m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}}}{m_{\text{أسماء}}} = \frac{45\ \text{kg} + 45\ \text{kg}}{45\ \text{kg}}$$

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

c. ما نسبة طاقتيهما الحركية معًا إلى الطاقة الحركية لأسماء؟ فسر إجابتك.

$$KE_{\text{أسماء}} = \frac{1}{2} m_{\text{أسماء}} v^2 = \frac{1}{2}(45\ \text{kg})(10.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 2.3 \times 10^3\ \text{J}$$

$$\frac{KE_{\text{لأسماء وآمنة}}}{KE_{\text{أسماء}}} = \frac{\frac{1}{2}(m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}})v^2}{\frac{1}{2} m_{\text{أسماء}} v^2} = \frac{m_{\text{أسماء}} + m_{\text{آمنة}}}{m_{\text{أسماء}}}$$

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

نسبة طاقتهما الحركية إلى الطاقة الحركية لأسماء هي نفسها النسبة بين كتلتهما إلى كتلة أسماء. تتناسب الطاقة الحركية طرديًّا مع الكتلة.

58. القطار في فترة الخمسينيات من القرن الماضي، استُخدم قطار تجريبي كتلته $2.5 \times 10^4\ \text{kg}$، وقد تحرك في مسار مستو بمحرك نفاث يؤثر بقوة دفع مقدارها $5.00 \times 10^5\ \text{N}$ خلال مسافة $509\ \text{m}$. فما مقدار:

a. الشغل المبذول على القطار؟

$$W = Fd = (5.00 \times 10^5\ \text{N})(509\ \text{m})$$

$$= 2.55 \times 10^8\ \text{J}$$

b. التغير في الطاقة الحركية للقطار؟

$$\Delta KE = W = 2.55 \times 10^8\ \text{J}$$

c. الطاقة الحركية النهائية للقطار إذا بدأ حركته من السكون؟

$$\Delta KE = KE_f - KE_i$$

$$KE_f = \Delta KE + KE_i$$

$$= 2.55 \times 10^8\ \text{J} + 0.00\ \text{J}$$

$$= 2.55 \times 10^8\ \text{J}$$

d. السرعة النهائية للقطار إذا أهملنا قوى الاحتكاك؟

$$KE_f = \frac{1}{2}mv_f^2$$

لذا فإن:

$$v_f^2 = \frac{KE_f}{\frac{1}{2}m}$$

$$= \frac{2.55\times 10^8\,\text{J}}{\frac{1}{2}(2.50\times 10^4\,\text{kg})}$$

لذا فإن:

$$v_f = \sqrt{2.04\times 10^4\,\text{m}^2/\text{s}^2} = 143\,\text{m/s}$$

59. **مكابح السيارة** تتحرك سيارة وزنها 14700 N بسرعة 25 m /s، وفجأة استخدم السائق المكابح، وأخذت السيارة في التوقف، كما في **الشكل 16–5**. فإذا كان متوسط قوة الاحتكاك بين عجلات السيارة والطريق تساوي 7100 N فما المسافة التي تتحركها السيارة قبل أن تتوقف؟

الشكل 16–5

$$W = Fd = \frac{1}{2}mv^2$$

$$m = \frac{F_g}{g}$$

لذا فإن:

$$d = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{F}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{F_g}{g}\right)v^2}{F}$$

$$= \frac{\frac{1}{2}\left(\frac{14700\,\text{N}}{9.80\,\text{m/s}^2}\right)(25.0\,\text{m/s})^2}{7100\,\text{N}}$$

$$= 66\,\text{m}$$

60. تتحرك عربة صغيرة كتلتها 15.0 kg بسرعة متجهة مقدارها 7.50 m /s على مسار مستوٍ، فإذا أثرت فيها قوة مقدارهـــا 10.0 N فتغيرت سرعتها وأصبحت 3.20 m /s، فما مقدار:

a. التغير في الطاقة الحركية للعربة؟

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

$$= \frac{1}{2}(15.0\,\text{kg})((3.20\,\text{m/s})^2 - (7.50\,\text{m/s})^2)$$

$$= -345\,\text{J}$$

b. الشغل المبذول على العربة؟

$$W = \Delta KE = -345\ \text{J}$$

c. المسافة التي ستتحركها العربة خلال تأثير القوة؟

$$W = Fd$$

لذا فإن:

$$d = \frac{W}{F} = \frac{-346\ \text{J}}{-10.0\ \text{N}} = 34.5\ \text{m}$$

61. يتسلق عليّ حبلاً في صالة اللعب مسافة 3.5 m. ما مقدار طاقة الوضع التي يكتسبها إذا كانت كتلته 60.0 kg؟

$$PE = mgh$$

$$= (60.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(3.5\ \text{m})$$

$$= 2.1\times10^3\ \text{J}$$

62. البولنج احسب الزيادة في طاقة الوضع لكرة بولنج كتلتها 6.4 kg عندما ترفع 2.1 m إلى أعلى نحو رف الكرات.

$$PE = mgh$$

$$= (6.4\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(2.1\ \text{m})$$

$$= 1.3\times10^2\ \text{J}$$

63. احسب التغير في طاقة الوضع لخديجة عندما تهبط من الطابق العلوي إلى الطابق السفلي مسافة 5.50 m، علمًا بأن وزنها 505 N؟

$$PE = mg\Delta h = F_g\Delta h$$

$$= (505\ \text{N})(-5.50\ \text{m})$$

$$= -2.78\times10^3\ \text{J}$$

64. رفع الأثقال يرفع لاعب أثقالاً كتلتها 180 kg مسافة 1.95 m. فما الزيادة في طاقة وضع الأثقال؟

$$PE = mgh$$

$$= (180\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(1.95\ \text{m})$$

$$= 3.4\times10^3\ \text{J}$$

65. أطلق صاروخ تجريبي كتلته 10.0 kg رأسيًّا إلى أعلى من محطة إطلاق. فإذا أعطاه الوقود طاقة حركية مقدارها 1960 J خلال زمن احتراق وقود المحرك كله. فما الارتفاع الإضافي (عن ارتفاع المنصة) الذي سيصل إليه الصاروخ؟

$$PE = mgh = KE$$

$$h = \frac{KE}{mg} = \frac{1960}{(10.0\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 20.0\ \text{m}$$

تقويم الفصل 5

66. ترفع نبيلة كتاب فيزياء وزنه 12.0 N من سطح طاولة ارتفاعها عن سطح الأرض 75 cm إلى رف يرتفع 2.15 m فوق سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة الوضع للنظام؟

$$PE = mg\Delta h = F_g \Delta h = F_g(h_f - h_i)$$

$$= (12.0\ \text{N})(2.15\ \text{m} - 0.75\ \text{m})$$

$$= 17\ \text{J}$$

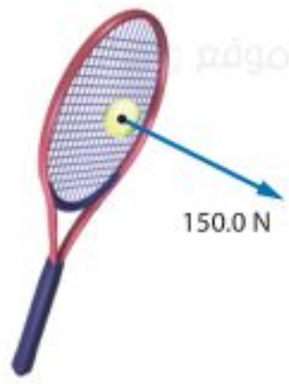
67. صُمّم جهازٌ ليظهر مقدار الطاقة المبذولة. يحوي الجهاز جسمًا مربوطًا بحبل، فإذا سحب شخص الحبل ورفع الجسم مسافة 1.00 m، فسيشير مقياس الطاقة إلى أن 1.00 J من الشغل قد بُذل. فما مقدار كتلة الجسم؟

$$W = PE = mgh$$

$$m = \frac{W}{gh} = \frac{1.00\ \text{J}}{(9.80\ \text{m/s}^2)(1.00\ \text{m})}$$

$$= 0.102\ \text{kg}$$

68. **التنس** من الشائع عند لاعبي التنس الأرضي المحترفين أن المضرب يؤثر في الكرة بقوة متوسطة مقدارها 150.0 N. فإذا كانت كتلة الكرة 0.060 kg ولامست أسلاك المضرب مدة 0.030 s كما في **الشكل 17–5**، فما مقدار الطاقة الحركية للكرة لحظة ابتعادها عن المضرب؟ افترض أن الكرة بدأت الحركة من السكون.



الشكل 17–5

$$Ft = m\Delta v = mv_f - mv_i,\ v_i = 0$$

لذا فإن

$$v_f = \frac{Ft}{m} = \frac{(150.0\ \text{N})(3.0\times10^{-2}\ \text{s})}{6.0\times10^{-2}\ \text{kg}}$$

$$= 75\ \text{m/s}$$

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

$$= \frac{1}{2}(6.0\times10^{-2}\ \text{kg})(75\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.7\times10^2\ \text{J}$$

تقويم الفصل 5

69. يحمل طارق صاروخ دفع نفاث، ويقف على سطح جليدي عديم الاحتكاك. فإذا كانت كتلة طارق 45 kg وزوّد الصاروخ طارقًا بقوة ثابتة لمسافة 22.0 m فاكتسب طارق سرعة مقدارها 62.0 m/s .

a. ما مقدار الطاقة الحركية النهائية لطارق؟

$$KE_f = \frac{1}{2} m v_f^2$$

$$= \frac{1}{2} (45\ \text{kg})(62.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 8.6 \times 10^4\ \text{J}$$

b. ما مقدار القوة؟

الشغل المبذول على طارق يساوي التغير في طاقته الحركية.

$$W = Fd = \Delta KE = KE_f - KE_i$$

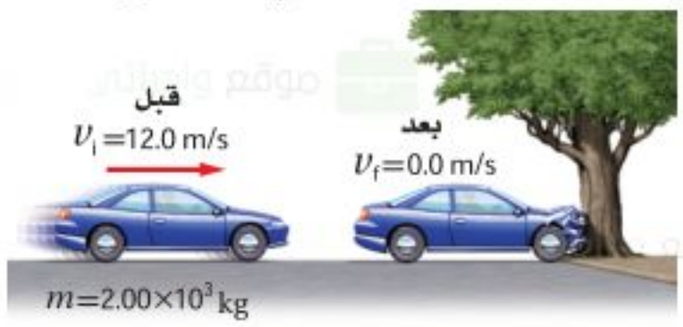
$$KE_i = 0\ \text{J}$$

لذا فإن

$$F = \frac{KE_f}{d} = \frac{8.6 \times 10^4\ \text{J}}{22.0\ \text{m}}$$

$$= 3.9 \times 10^3\ \text{N}$$

70. التصادم اصطدمت سيارة كتلتها 2.00×10^3 kg وسرعتها 12.0 m/s بشجرة، فلم تتحرك الشجرة وتوقفت السيارة كما في **الشكل 18–5**.



الشكل 18–5

a. ما مقدار التغير في الطاقة الحركية للسيارة؟

$$\Delta KE = KE_f - KE_i = \frac{1}{2} m(v_f^2 - v_i^2)$$

$$= \frac{1}{2} (2.00 \times 10^3\ \text{kg})((0.0\ \text{m/s})^2 - (12.0\ \text{m/s})^2)$$

$$= -1.44 \times 10^5\ \text{J}$$

b. ما مقدار الشغل المبذول عندما ترتطم مقدمة السيارة بالشجرة؟

$$W = \Delta KE = -1.44 \times 10^5\ \text{J}$$

c. احسب مقدار القوة التي أثرت في مقدمة السيارة لمسافة 50.0 cm.

$$W = Fd$$

لذا فإن

$$F = \frac{W}{d}$$

$$= \frac{-1.44 \times 10^5\ \text{J}}{0.500\ \text{m}}$$

$$= -2.88 \times 10^5\ \text{N}$$

تقويم الفصل 5

71. أثرت مجموعة من القوى على حجر وزنه 32 N، فكانت محصلة القوى عليه ثابتة ومقدارها 410 N، وتؤثر في اتجاه رأسي، فإذا استمر تأثير القوة المحصلة على الحجر حتى رفعته إلى مسافة 2.0 m، ثم توقف تأثير القوة، فما المسافة الرأسية التي سيرتفعها الحجر من نقطة توقف تأثير القوة فيه؟

$$W = Fd = (410\ \text{N})(2.0\ \text{m}) = 8.2\times10^{2}\ \text{J}$$

ولكن

$$W = \Delta PE = mg\Delta h$$

لذا فإن

$$\Delta h = \frac{W}{mg} = \frac{8.0\times10^{2}\ \text{J}}{32\ \text{N}} = 26\ \text{m}$$

5–2 حفظ الطاقة

72. رُفع كيس حبوب وزنه 98.0 N إلى غرفة تخزين ارتفاعها 50.0 m فوق سطح الأرض باستخدام رافعة الحبوب.

a. ما مقدار الشغل المبذول؟

$$W = \Delta PE = mg\Delta h = F_g\Delta h$$

$$= (98.0\ \text{N})(50.0\ \text{m})$$

$$= 4.90\times10^{3}\ \text{J}$$

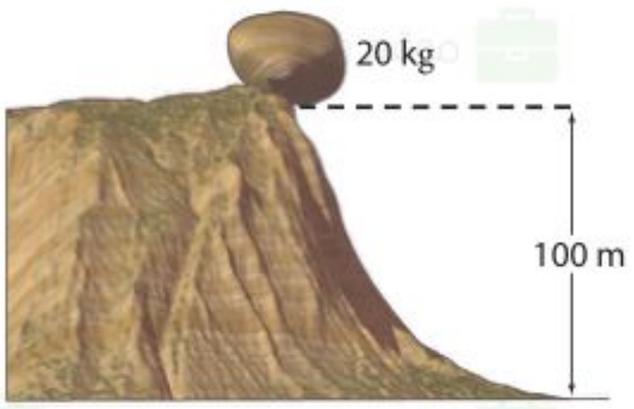
b. ما مقدار الزيادة في طاقة وضع كيس الحبوب عند هذا الارتفاع ؟

$$\Delta PE = W = 4.90\times10^{3}\ \text{J}$$

c. إذا انقطع الحبل المستخدم لرفع كيس الحبوب بالضبط عندما وصل الكيس إلى ارتفاع غرفة التخزين، فما مقدار الطاقة الحركية للكيس قبل أن يصطدم بسطح الأرض مباشرة؟

$$KE = \Delta PE = 4.90\times10^{3}\ \text{J}$$

73. تستقر صخرة كتلتها 20 kg على حافة منحدر ارتفاعه 100 m كما في **الشكل 19–5**.



الشكل 19–5

a. ما مقدار طاقة وضعها بالنسبة لقاعدة الجرف؟

$$PE = mgh = (20\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(100\ \text{m})$$

$$= 2\times10^{4}\ \text{J}$$

74. **الرماية** وضع أحد الرماة سهمًا كتلته 0.30 kg في القوس، وكان متوسط القوة المؤثرة عند سحب السهم للخلف مسافة 1.3 m تساوي 201 N.

a. إذا اختزنت الطاقة كلها في السهم، فما سرعة انطلاق السهم من القوس؟

الشغل المبذول على الحبل يزيد طاقة الوضع المرونية للحبل.

$$W = \Delta PE = Fd$$

يتم تحويل طاقة الوضع المختزنة جميعها إلى طاقة حركية للسهم.

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 = \Delta PE = Fd$$

$$v^2 = \frac{2Fd}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{2Fd}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(201\ \text{N})(1.3\ \text{m})}{0.30\ \text{kg}}}$$

$$= 42\ \text{m/s}$$

b. إذا انطلق السهم رأسيًّا إلى أعلى، فما الارتفاع الذي يصل إليه؟

التغير في طاقة وضع السهم يساوي الشغل المبذول لسحب الحبل.

$$\Delta PE = mg\Delta h = Fd$$

$$\Delta h = \frac{Fd}{mg} = \frac{(201\ \text{N})\ (1.3\ \text{m})}{(0.30\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)}$$

$$= 89\ \text{m}$$

b. إذا سقطت الصخرة فما مقدار الطاقة الحركية للصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟

$$KE = \Delta PE = 2\times10^4\ \text{J}$$

c. ما مقدار سرعة الصخرة لحظة ارتطامها بالأرض؟

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

$$v = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(2\times10^4\ \text{J})}{20\ \text{kg}}}$$

$$= 45\ \text{m/s}$$

تقويم الفصل 5

75. صخرة كتلتها 2.0 kg في حالة سكون، ثم سقطت إلى الأرض ففقدت 407 J من طاقة وضعها. احسب الطاقة الحركية التي اكتسبتها الصخرة بسبب سقوطها، وما مقدار سرعة الصخرة قبل ارتطامها بالأرض مباشرة؟

$$PE_i + KE_i = PE_f + KE_f$$

$$KE_i = 0$$

لذا فإن

$$KE_f = PE_i - PE_f = 407\ \text{J}$$

$$KE_f = \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$v_f^2 = \frac{2KE_f}{m}$$

$$v_f = \sqrt{\frac{2KE_f}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(407\ \text{J})}{(2.0\ \text{kg})}}$$

$$= 2.0 \times 10^1\ \text{m/s}$$

76. سقط كتاب فيزياء مجهول الكتلة من ارتفاع 4.50 m. ما مقدار سرعة الكتاب لحظة ارتطامه بالأرض؟

$$KE = PE$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

وبقسمة طرفي المعادلة السابقة على كتلة الكتاب نحصل على:

$$\frac{1}{2}v^2 = gh$$

$$v = \sqrt{2gh} = \sqrt{2(9.80\ \text{m/s}^2)(4.50\ \text{m})}$$

$$= 9.39\ \text{m/s}$$

تقويم الفصل 5

77. عربة القطار اصطدمت عربة قطار كتلتها $5.0 \times 10^5\ \text{kg}$ بعربة أخرى ساكنة لها الكتلة نفسها، وتحركت العربتان معًا بعد التصادم كجسم واحد بسرعة 4.0 m /s كما في الشكل **20–5**.

$m = 5.0 \times 10^5\ \text{kg}$

$v = 4.0\ \text{m/s}$

■ الشكل 20–5

a. فإذا كانت سرعة العربة الأولى قبل التصادم 8.0 m /s، فاحسب زخمها؟

$$mv = (5.0\times10^5\ \text{kg})(8.0\ \text{m/s})$$

$$= 4.0\times10^6\ \text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار الزخم للعربتين معًا بعد التصادم؟

يجب أن يساوي $4.0\times10^6\ \text{kg.m/s}$؛ وذلك لأن الزخم محفوظ.

c. ما مقدار الطاقة الحركية للعربتين قبل التصادم وبعده؟

قبل التصادم:

$$KE_i = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(5.0\times10^5\ \text{kg})(8.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.6 \times 10^7\ \text{J}$$

بعد التصادم:

$$KE_f = \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(5.0\times10^5\ \text{kg} + 5.0\times10^5\ \text{kg})(4.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 8.0\times10^6\ \text{J}$$

d. أين ذهبت الطاقة الحركية التي خسرتها العربتان؟

يكون الزخم محفوظا في أثناء التصادم، أما الطاقة الحركية فليست محفوظة في أثناء التصادم. وتتحوّل الكمية غير المحفوظة (الطاقة الحركية) إلى حرارة وصوت.

موقع واجباتي

78. أي ارتفاع يجب أن تسـقط منه سيارة صغيرة حتى يكون لها الطاقة الحركية نفسـها عندما تسير بسرعة $1.00 \times 10^2 \text{ km/h}$؟

$$v = \left(1.00 \times 10^2 \frac{\text{km}}{\text{h}}\right)\left(\frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}}\right)\left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)$$

$$= 27.8 \text{ m/s}$$

$$KE = PE$$

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

$$\frac{1}{2}v^2 = gh$$

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{(27.8 \text{ m/s})^2}{2(9.80 \text{ m/s}^2)}$$

$$= 39.4 \text{ m}$$

تقويم الفصل 5

79. تزن عبير 420 N وتجلس على أرجوحة ترتفع 0.40 m عن سطح الأرض. فإذا سحبت أمها الأرجوحة إلى الخلف حتى أصبحت على ارتفاع 1.0 m عن سطح الأرض ثم تركتها.

a. ما مقدار سرعة عبير عندما تمر بالنقطة الأقل ارتفاعًا عن سطح الأرض في مسارها؟

$$\Delta PE = mg\Delta h = mg(h_f - h_i)$$

$$KE = \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2}mv_f^2$$

ومن خلال مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكية:

$$\Delta PE + \Delta KE = 0$$

$$mg(h_f - h_i) + \frac{1}{2}mv_f^2 = 0$$

$$v_f = \sqrt{2g(h_i - h_f)}$$

$$= \sqrt{(2)\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (1.00\ \text{m} - 0.40\ \text{m})}$$

$$= 3.4\ \text{m/s}$$

b. إذا مرت عبير بالنقطة الأقل ارتفاعًا عن سطح الأرض بسرعة 2.0 m /s، فما مقدار شغل الاحتكاك المبذول على الأرجوحة؟

الشغل المبذول من الاحتكاك يساوي التغير في الطاقة الميكانيكية.

$$W = \Delta PE + \Delta KE$$

$$= mg(h_f - h_i) + \frac{1}{2}mv_f^2$$

$$= (420\ \text{N})(0.40\ \text{m} - 1.00\ \text{m}) + \frac{1}{2}\left(\frac{420\ \text{N}}{9.80\ \text{m/s}^2}\right)(2.0\ \text{m/s})^2$$

$$= -1.7 \times 10^2\ \text{J}$$

موقع واجباتي

80. أسقطت ليلى رأسـيًّا كرة كتلتها 10.0 g من ارتفاع 2.0 m عن سطح الأرض. فإذا كانت سرعة الكرة عند ملامستها سـطح الأرض 7.5 m /s فما مقدار السرعة الابتدائية للكرة؟

$$KE_f = KE_i + PE_i$$

$$\frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}mv_i^2 + mgh$$

وبقسمة طرفي المعادلة السابقة على كتلة الكرة نحصل على:

$$v_i^2 = v_f^2 - 2gh,$$

$$v_i = \sqrt{v_f^2 - 2gh}$$

$$= \sqrt{(7.5\ \text{m/s})^2 - (2)\ (9.80\ \text{m/s}^2)(2.0\ \text{m})}$$

$$= 4.1\ \text{m/s}$$

81. **الانـزلاق** تسلق منذر سُلّم منحدر تزلج ارتفاعـه 4.8 m، ثم انزلق فكانت سرعته في أسـفل منحدر التزلج 3.2 m /s. ما مقدار الشغل المبذول من قوة الاحتكاك على منذر إذا كانت كتلته 28 kg؟

الشغل المبذول من الاحتكاك على منذر يساوي التغير في طاقته الميكانيكية.

$$W = \Delta PE + \Delta KE$$

$$= mg(h_f - h_i) + \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2)$$

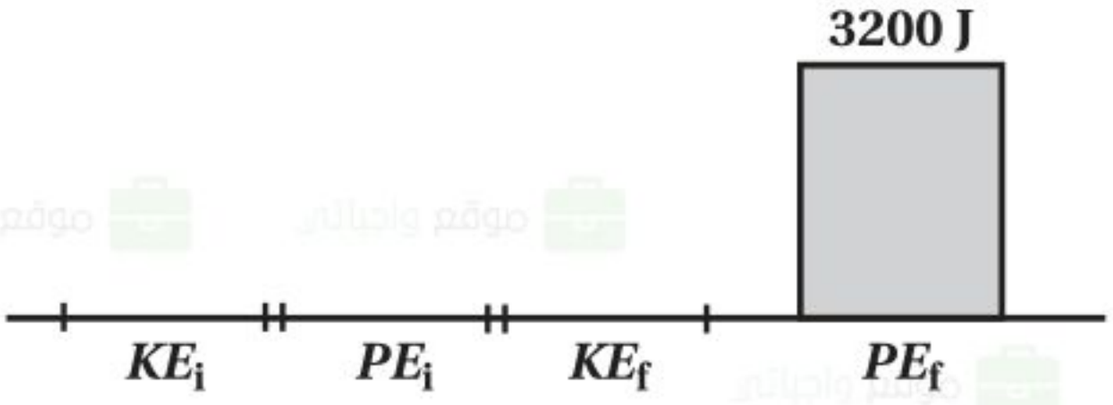
$$= (28\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.0\ \text{m} - 4.8\ \text{m}) + \frac{1}{2}(28\ \text{kg})\ [(3.2\ \text{m/s})^2 - (0.0\ \text{m/s})^2]$$

$$= -1.2 \times 10^3\ \text{J}$$

تقويم الفصل 5

82. يتسلق شخص وزنه 635 N سُلّمًا رأسيًّا ارتفاعه 5.0 m. أجب عما يأتي معتبرًا أن الشخص والأرض يشكلان نظامًا واحدًا.

a. مثّل بيانيًّا بالأعمدة الطاقة في النظام قبل بدء الشخص في التسلق، وبعد وصوله إلى أقصى ارتفاع. هل تتغير الطاقة الميكانيكية؟ وإذا كان كذلك، فما مقدار التغير؟



نعم، لقد تغيرت الطاقة الميكانيكية؛ حيث زادت طاقة الوضع بمقدار

$$(635\ \text{N})(5.0\ \text{m}) = 3200\ \text{J}$$

b. من أين جاءت الطاقة؟

من الطاقة الداخلية للشخص.

83. يتأرجح شمبانزي من شجرة لأخرى في غابة. إذا تعلّق بغصن متدلٍّ طوله 13 m ثم بدأ تأرجحه بزاوية تميل عن الرأسي بمقدار 45°، فما سرعة الشمبانزي عندما يكون الغصن المتدلي رأسيًّا تمامًا؟

الارتفاع الابتدائي للشمبانزي يساوي

$$h = (13\ \text{m})(1 - \cos 45°) = 3.8\ \text{m}$$

ومن حفظ الطاقة الميكانيكية

$$\Delta PE + \Delta KE = 0$$

$$mg\,(h_f - h_i) + \frac{1}{2}m(v_f^2 - v_i^2) = 0$$

$$-mgh_i + \frac{1}{2}mv_f^2 = 0$$

$$v_f = \sqrt{2gh_i} = \sqrt{2(9.80\ \text{m/s}^2)(3.8\ \text{m})}$$

$$= 8.6\ \text{m/s}$$

تقويم الفصل 5

مراجعة عامة

84. عربة صغيرة كتلتها 0.80 kg تهبط من فوق تل عديم الاحتكاك ارتفاعه 0.32 m عن سطح الأرض، وفي قاع التل سارت العربة على سطح أفقي خشن يؤثر في العربة بقوة احتكاك مقدارها 2.0 N، ما المسافة التي تتحركها العربة على السطح الأفقي الخشن قبل أن تتوقف؟

$$E = mgh = W = Fd$$

$$d = \frac{mgh}{F} = \frac{(0.80\ \text{kg})\ (9.80\ \text{m/s}^2)\ (0.32\ \text{m})}{2.0\ \text{N}}$$

$$= 1.3\ \text{m}$$

85. القفز بالزانة السجل العالمي للقفز بالزانة (الوثب العالي) للرجال 2.45 m تقريبًا. فما أقل مقدار من الشغل يجب أن يُبذل لدفع لاعب كتلته 73.0 kg عن سطح الأرض حتى يصل إلى هذا الارتفاع؟

$$W = \Delta E = mgh$$

$$= (73.0\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(2.45\ \text{m})$$

$$= 1.75\ \text{kJ}$$

86. كرة القدم تصادم لاعب كتلته 110 kg بلاعب آخر كتلته 150 kg، وتوقف اللاعبان تمامًا بعد التصادم. فأي اللاعبين كان زخمه قبل التصادم أكبر؟ وأيهما كانت طاقته الحركية قبل التصادم أكبر؟

الزخم بعد التصادم يساوي صفرًا، لذا فإن للاعبين زخمين متساويين في المقدار ومتعاكسين في الاتجاه قبل التصادم.

$$m_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} v_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} = p_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأكبر}} = p_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}} = m_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}} v_{\text{اللاعب ذو الكتلة الأقل}}$$

وبعد التصادم أصبح طاقة كل لاعب تساوي صفرًا.

الطاقة المفقودة من كل لاعب:

$$\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \left(\frac{m^2v^2}{m}\right) = \frac{p^2}{2m}$$

لأن الزخمين كانا متساويين، ولكن أحدهما كتلته أقل من الآخر، فاللاعب ذو الكتلة الأقل خسر طاقة أكثر.

87. عربتا مختبر كتلتاهما عـــلى الترتيب 1.0 kg، 2.0 kg رُبطتا معًا بنهايتي نابض مضغوط. وتحركتا معًا بسرعة 2.1 m/s في الاتجاه نفسه. وفجأة تحرر النابض ليصبح غير مضغوط فدفـــع العربتين بحيث توقفت العربة ذات الكتلة 2 kg، في حين تحركت العربة ذات الكتلة 1.0 kg إلى الأمام. ما مقدار الطاقة التي أعطاها النابض للعربتين؟

$$E_i = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}(2.0\ \text{kg} + 1.0\ \text{kg})(2.1\ \text{m/s})^2$$

$$= 6.6\ \text{J}$$

$$p_i = mv = (2.0\ \text{kg} + 1.0\ \text{kg})\ (2.1\ \text{m/s})$$

$$= 6.3\ \text{kg.m/s} = p_f = (1.0\ \text{kg})v_f$$

لذا فإن

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

$$E_f = \frac{1}{2}mv_f^2 = \frac{1}{2}(1.0\ \text{kg})(6.3\ \text{m/s})^2 = 19.8\ \text{J}$$

$$\Delta E = 19.8\ \text{J} - 6.6\ \text{J} = 13.2\ \text{J}$$

13.2 J أضيفت بواسطة النابض

88. تأرجح لاعب سيرك كتلته 55 kg بحبلٍ بادئًا من منصة ارتفاعها 12.0 m، وفي أثناء نزوله حمل قرداً كتلته 21.0 kg ليضعه على منصة أخرى، فما أقصى ارتفاع ممكن للمنصة؟

$$E_i = m_{\text{اللاعب}} gh$$

سرعة اللاعب عندما يصل إلى الأرض تساوي

$$E_i = \frac{1}{2} m_{\text{اللاعب}} v^2 = m_{\text{اللاعب}} gh$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_i}{m}} = \sqrt{\frac{2m_{\text{اللاعب}} gh}{m_{\text{اللاعب}}}} = \sqrt{2gh}$$

يكون الزخم محفوظًا عندما يمسك اللاعب بالقرد

$$m_{\text{اللاعب}} v = (m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}) v_f$$

لذا فإن

$$v_f = \frac{m_{\text{اللاعب}} v}{(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}})} = \left(\frac{m_{\text{اللاعب}}}{m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}}\right)\sqrt{2gh}$$

الطاقة النهائية لكل منهما تساوي

$$E_f = \frac{1}{2}(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}) v_f^2$$

تابع حل السؤال

وزارة التعليم
Ministry of Education
2022 - 1444
موقع واجباتي

$$E_f = \frac{1}{2}\left(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}\right)\left(\frac{m_{\text{اللاعب}}}{m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}}\right)^2 (2gh)$$

$$= \left(m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}\right) gh_f$$

لذا فإن

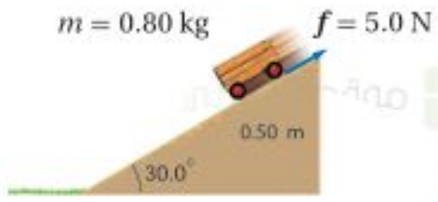
$$h_f = \left(\frac{m_{\text{اللاعب}}}{m_{\text{اللاعب}} + m_{\text{القرد}}}\right)^2 h$$

$$= \left(\frac{55.0\ \text{kg}}{55.0\ \text{kg} + 21.0\ \text{kg}}\right)^2 (12.0\ \text{m})$$

$$= 6.28\ \text{m}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2022 - 1444
موقع واجباتي

89. سـقطت عربة كتلتها 0.8 kg من أعلى مسـار مائل يرتفـع 0.50 m عـن سـطح الأرض، ويميل على الأفقي بزاويـة 30° كما في **الشـكل 21–5**، وكانت المسـافة التي تتحركها العربة حتى أسـفل المسـار (0.5 m /sin 30° = 1.0 m). فإذا أثرت قوة احتكاك السـطح في العربة بقوة 5.0 N، فهل تصل العربة إلى أسفل المسار؟



الشكل 21–5

$$E_i = mgh$$

$$= (0.80\ \text{kg})(9.80\ \text{m/s}^2)(0.50\ \text{m})$$

$$= 3.9\ \text{J}$$

الشغل المبذول من الاحتكاك خلال مسافة 1 m يساوي

$$W = Fd = (5.0\ \text{N})(1.0\ \text{m}) = 5.0\ \text{J}$$

الشغل المبذول من الاحتكاك أكبر من طاقة العربة؛ لذا فإن العربة لن تصل إلى أسفل السطح المائل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2022 - 1444
موقع واجباتي

90. الهوكي تحرك لاعب هوكي كتلته 90.0 kg بسرعة 5.0 m /s، واصطدم بلاعب هوكي آخر كتلته 110 kg يتحرك بسرعة 3.0 m /s في الاتجاه المعاكس، وتحركا بعد التصادم كجسم واحد بسرعة 1.0 m /s. ما مقدار الطاقة المفقودة نتيجة التصادم؟

قبل:

$$E = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

$$= \frac{1}{2}(90.0\ \text{kg})\ (5.0\ \text{m/s})^2 + \frac{1}{2}(110\ \text{kg})(3.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.6 \times 10^3\ \text{J}$$

بعد:

$$E = \frac{1}{2}(m + m)v_f^2$$

$$= \frac{1}{2}\ (200.0\ \text{kg})\ (1.0\ \text{m/s})^2$$

$$= 1.0 \times 10^2\ \text{J}$$

$$\text{الطاقة المفقودة} = 1.6 \times 10^3\ \text{J} - 1.0 \times 10^2\ \text{J}$$

$$= 1.5 \times 10^3\ \text{J}$$

موقع واجباتي

تقويم الفصل 5

التفكير الناقد

91. تطبيق المفاهيم تستقر كرة جولف كتلتها 0.046 kg على الحامل الخاص بها. فإذا ضُربت بمضرب كتلته 0.220 kg فانطلقت الكرة بسرعة 44 m /s، فاحسب سرعة الكرة لحظة انطلاقها على افتراض أن التصادم مرن.

حفظ الزخم

$$m_{\text{المضرب}} v_{\text{المضرب}1} = m_{\text{المضرب}} v_{\text{المضرب}2} + m_{\text{الكرة}} v_{\text{الكرة}2}$$

وبحل المعادلة لإيجاد $v_{\text{المضرب}2}$

$$v_{\text{المضرب}2} = v_{\text{المضرب}1} - \frac{m_{\text{الكرة}} v_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}}$$

ومن حفظ الطاقة

$$\frac{1}{2} m_{\text{المضرب}} v^2_{\text{المضرب}1} = \frac{1}{2} m_{\text{المضرب}} v^2_{\text{المضرب}2} + \frac{1}{2} m_{\text{الكرة}} v^2_{\text{الكرة}2}$$

من خلال الضرب في 2، والتعويض نحصل على

$$m_{\text{المضرب}} v^2_{\text{المضرب}1} = m_{\text{المضرب}} \left(v_{\text{المضرب}1} - \frac{m_{\text{الكرة}} v_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}} \right)^2 + m_{\text{الكرة}} v^2_{\text{الكرة}2}$$

أو

$$m_{\text{المضرب}} v^2_{\text{المضرب}1} = m_{\text{المضرب}} v^2_{\text{المضرب}1} - 2m_{\text{الكرة}} v_{\text{المضرب}2} v_{\text{المضرب}1} + \frac{m^2_{\text{الكرة}} v^2_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}} + m_{\text{الكرة}} v^2_{\text{الكرة}2}$$

وبالتبسيط

$$0 = (m_{\text{الكرة}} v_{\text{الكرة}2}) \left(-2v_{\text{المضرب}1} + \frac{m_{\text{الكرة}} v_{\text{الكرة}2}}{m_{\text{المضرب}}} + v_{\text{الكرة}2} \right)$$

تابع حل السؤال

وزارة التعليم
Ministry of Education
2022 - 1444
موقع واجباتي

فيكون

$$m_{\text{الكرة}}\, v_{\text{الكرة}\,2} = 0$$

أو

$$-2v_{\text{المضرب}\,1} + \left(\frac{m_{\text{الكرة}}}{m_{\text{المضرب}}} + 1\right) v_{\text{الكرة}\,2} = 0$$

بإهمال الحل الذي يعطي $v_{\text{الكرة}2} = 0$، نحصل على

$$v_{\text{الكرة}2} = \frac{2v_{\text{المضرب}\,1}}{\left(\frac{m_{\text{الكرة}}}{m_{\text{المضرب}}} + 1\right)}$$

$$= \frac{2(44\ \text{m/s})}{\left(\frac{0.046\ \text{kg}}{0.220\ \text{kg}} + 1\right)} = 73\ \text{m/s}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2022 - 1444
موقع واجباتي

تقويم الفصل 5

92. تطبيق المفاهيم يعد اصطدام طائر بالزجاج الأمامي لسيارة متحركة مثالاً على تصادم جسمين كتلة أحدهما عدة أضعاف كتلة الآخر، ومن ناحية أخرى يعد تصادم كرتي بلياردو مثالاً على تصادم جسمين متساويين في الكتلة، فكيف تتحول الطاقة في هذه التصادمات؟ ادرس تصادمًا مرنًا بين كرة بلياردو كتلتها m_1 وسرعتها v_1 وكرة أخرى ساكنة كتلتها m_2.

a. إذا كانت $m_1 = m_2$، فما النسبة بين الطاقة المنقولة إلى m_2 والطاقة الابتدائية؟

إذا كانت $m_1 = m_2$، فنحن نعلم أن m_1 ستصبح ساكنة بعد التصادم، وستتحرك الكتلة m_2 بسرعة v_1، وكل الطاقة ستنتقل إلى الكتلة m_2.

b. إذا كانت $m_1 >> m_2$، فما النسبة بين الطاقة المنقولة إلى m_2 والطاقة الابتدائية؟

إذا كانت $m_1 >> m_2$، فنحن نعلم أن حركة الكتلة m_1 لن تتأثر بالتصادم، وستكون الطاقة المنتقلة إلى الكتلة m_2 قليلة.

c. يتم تبطئة النيوترونات في المفاعل النووي عن طريق تصادمها بالذرات (كتلة النيوترون تساوي تقريبًا كتلة البروتون)، فأيّ الذرات الآتية مناسبة لتحقيق الهدف: الهيدروجين، أم الكربون، أم الأرجون؟

تتمثل أفضل وسيلة لوقف النيوترون بجعله يصطدم بذرة الهيدروجين؛ التي تكون كتلتها مساوية لكتلة النيوترون تقريبًا.

93. التحليل والاستنتاج يكون كل من الزخم والطاقة الميكانيكية محفوظًا في التصادم التام المرونة. فإذا تصادمت كرتان كتلتاهما على الترتيب m_A ،m_B، وسرعتاهما v_A ،v_B تتجهان إحداهما نحو الأخرى. فاستنتج المعادلات المناسبة لحساب سرعة كل منهما بعد التصادم؟

حفظ الزخم

$$(1)\quad m_A v_{A1} + m_B v_{B1} = m_A v_{A2} + m_B v_{B2}$$

$$m_A v_{A1} - m_A v_{A2} = -m_B v_{B1} + m_B v_{B2}$$

$$(2)\quad m_A(v_{A1} - v_{A2}) = -m_B(v_{B1} - v_{B2})$$

حفظ الطاقة

$$\frac{1}{2} m_A {v_{A1}}^2 + \frac{1}{2} m_B {v_{B1}}^2 = \frac{1}{2} m_A {v_{A2}}^2 + \frac{1}{2} m_B {v_{B2}}^2$$

$$m_A {v_{A1}}^2 - m_A {v_{A2}}^2 = -m_B {v_{B1}}^2 + m_B {v_{B2}}^2$$

$$m_A({v_{A1}}^2 - {v_{A2}}^2) = -m_B({v_{B1}}^2 - {v_{B2}}^2)$$

$$(3)\ m_A(v_{A1}+v_{A2})(v_{A1}-v_{A2})=-m_B(v_{B1}+v_{B2})(v_{B1}-v_{B2})$$

إذا قسمت المعادلة 3 على المعادلة 2 تحصل على:

$$(4)\ v_{A1}+v_{A2}=v_{B1}+v_{B2}$$

حل المعادلة 1 بالنسبة إلى v_{A2} و v_{B2}

$$v_{A2}=v_{A1}+\frac{m_B}{m_A}(v_{B1}-v_{B2})$$

$$v_{B2}=v_{B1}+\frac{m_A}{m_B}(v_{A1}-v_{A2})$$

عوّض في المعادلة 4، وحلّ بالنسبة إلى v_{B2} و v_{A2}

$$v_{A1}+v_{A1}+\frac{m_B}{m_A}(v_{B1}-v_{B2})=v_{B1}+v_{B2}$$

$$2m_Av_{A1}+m_Bv_{B1}-m_B\,v_{B2}=m_Av_{B1}+m_Av_{B2}$$

$$v_{B2}=\left(\frac{2m_A}{m_A+m_B}\right)v_{A1}+\left(\frac{m_B-m_A}{m_A+m_B}\right)v_{B1}$$

$$v_{A1}+v_{A2}=v_{B1}+v_{B1}+\frac{m_A}{m_B}(v_{A1}-v_{A2})$$

$$m_Bv_{A1}+m_Bv_{A2}=2m_Bv_{B1}+m_Av_{A1}-m_A\,v_{A2}$$

$$v_{A2}=\left(\frac{m_A-m_B}{m_A+m_B}\right)v_{A1}+\left(\frac{2m_B}{m_A+m_B}\right)v_{B1}$$

موقع واجباتي

94. التحليل والاستنتاج قذفت كرة كتلتها 25 g بسرعة v_1 نحو كرة أخرى ساكنة كتلتها 125 g ومعلقة بخيط رأسي طوله 1.25 m. فإذا كان التصادم بين الكرتين تام المرونة، وتحركت الكرة المعلقة بحيث صنع خيط التعليق زاوية 37.0° مع الرأسي، حيث توقفت لحظيًّا فاحسب v_1.

أفترض أن الكرة التي قذفت هي الجسم 1، وأن الكرة المعلقة بالخيط هي الجسم 2.

يكون الزخم في أثناء التصادم محفوظًا.

$$p_{1i} = p_{1f} + p_{2f}$$

أو

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

وتكون الطاقة الحركية في التصادم محفوظة.

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

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

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

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

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

$$p_{1i}^{\ 2} = p_{1f}^{\ 2} + \left(\frac{m_1}{m_2}\right) p_{2f}^{\ 2}$$

أهْمل v_{1f}، لذا تخلص من p_{1f} باستخدام $p_{1f} = p_{1i} - p_{2f}$

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

$$p_{1i}^{\,2} = p_{1i}^{\,2} - 2p_{1i}\,p_{2f} + p_{2f}^{\,2} + \frac{m_1}{m_2} p_{2f}^{\,2}$$

$$2p_{1i}\,p_{2f} = \left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) p_{2f}^{\,2}$$

$$p_{1i} = \left(\frac{1}{2}\right)\left(1 + \frac{m_1}{m_2}\right) p_{2f}$$

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

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

والآن ننظر في أمر البندول.

$$\frac{1}{2} m_2 v_{2f}^{\,2} = m_2 gh$$

أو

$$v_{2f} = \sqrt{2gh}$$

ولما كانت

$$h = L(1 - \cos\theta)$$

فإن

$$v_{2f} = \sqrt{2gL(1 - \cos\theta)}$$

$$v_{2f} = \sqrt{(2)(9.80\ \text{m/s}^2)(1.25\ \text{m})(1 - \cos 37.0°)}$$

$$= 2.22\ \text{m/s}$$

$$v_{1i} = \frac{1}{2}\left(\frac{125\ \text{g}}{25\ \text{g}} + 1\right)(2.22\ \text{m/s})$$

$$= 6.7\ \text{m/s}$$

تقويم الفصل 5

الكتابة في الفيزياء

95. **الشمس مصدر طاقة** في أي شكل من أشكال الطاقة تصل إلينا الطاقة الشمسية لتجعلنا نحيا وتجعل مجتمعنا يعمل؟ ابحث في الطرائق التي تتحول بها الطاقة الشمسية إلى أشكال يمكن لنا استخدامها. وأين تذهب الطاقة الشمسية بعد أن نستخدمها؟ وضح ذلك.

تُنتج الشمس الطاقة من خلال الاندماج النووي وتُشع تلك الطاقة على شكل إشعاع كهرومغناطيسي، وينتقل الإشعاع الكهرومغناطيسي في الفضاء عبر الفراغ ليصل إلى الأرض. وتمتص الأرض تلك الأشعة الكهرومغناطيسية من خلال غلافها الجوي واليابسة والمحيطات على شكل طاقة حرارية أو حرارة. وتحول النباتات جزءًا من الأشعة المرئية إلى طاقة كيميائية من خلال عملية البناء الضوئي. وهناك العديد من التفاعلات الكيميائية الأخرى التي تحدث بواسطة أشعة الشمس، مثل إنتاج الأوزون. ثم تتحول الطاقة إلى أشكال أخرى مختلفة، يتمثل بعضها في العمليات الكيميائية التي تسمح لنا بهضم الطعام وتحويله إلى طاقة كيميائية لبناء الأنسجة والحركة والتفكير. وفي النهاية، وبعد أن نكون قد استخدمنا الطاقة، يُشَع جزء من الطاقة عائدًا إلى الفضاء.

موقع واجباتي

تقويم الفصل 5

96. تصنف جميع أشكال الطاقة إلى طاقة حركية أو طاقة وضع. فكيف تصف كلاً من الطاقة النووية، والكهربائية والكيميائية والبيولوجية والشمسية والضوئية؟ ولماذا؟

ابحث في الأجسام المتحركة في كل شكل من أشكال الطاقة هذه، وكيف تختزن الطاقة في هذه الأجسام؟

تكون طاقة الوضع مختزنة على شكل طاقة ربط بين البروتونات والنيوترونات في النواة. وتتحرر الطاقة عن طريق تحويل نواة ثقيلة إلى أجزاء أصغر (الانشطار)، أو عندما الجمع بين أنوية صغيرة جدًّا لإنتاج أنوية أكبر (الاندماج). وبالطريقة نفسها يتم تخزين طاقة الوضع الكيميائية عندما ترتبط الذرات معًا لتكوين جزيئات، وتتحرّر تلك الطاقة عندما تتفكّك الجزيئات أو يتم إعادة ترتيبها. ويولّد فصل الشحنات الكهربائية طاقة وضع كهربائية، كما هو الحال في البطارية. وتتحوّل طاقة الوضع الكهربائية إلى طاقة حركية في أثناء حركة الشحنات الكهربائية في التيار الكهربائي عندما يتم توفير مسار موصل، أو دائرة كهربائية. والعمليات الحيوية جميعها عمليات كيميائية، لذا فالطاقة الحيوية ما هي إلا مجرد شكل من أشكال الطاقة الكيميائية. أما الطاقة الشمسية فهي طاقة اندماج تحولت إلى إشعاع كهرومغناطيسي. (انظر الإجابة عن السؤال السابق). والضوء شكل موجه للطاقة الكهرومغناطيسية التي ترددها في مدى تحسس العين البشرية.

موقع واجباتي

تقويم الفصل 5

مراجعة تراكمية

97. تنطلق رصاصة كتلتها 5.00 g بسرعة 100.0 m /s في اتجاه جسم صلب كتلته 10.0 kg مستقر على سطح مستوٍ عديم الاحتكاك. (الفصل 3)

a. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا استقرت داخل الجسم الصلب؟

$$m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}} = m_{\text{رصاصة}} v_2 - m_{\text{جسم صلب}} v_2$$

$$= (m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}) v_2$$

لذا فإن

$$v_2 = \frac{m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}}$$

ومن ثم فإن

$$\Delta pv = m_{\text{رصاصة}} (v_2 - v_{1\,\text{رصاصة}})$$

$$= m_{\text{رصاصة}} \left(\frac{m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} - v_{1\,\text{رصاصة}} \right)$$

$$= m_{\text{رصاصة}} v_{1\,\text{رصاصة}} \left(\frac{m_{\text{رصاصة}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} - 1 \right)$$

$$= -\left(\frac{m_{\text{رصاصة}} m_{\text{جسم صلب}}}{m_{\text{رصاصة}} + m_{\text{جسم صلب}}} \right) v_{1\,\text{رصاصة}}$$

$$= -\frac{(5.00\times10^{-3}\,\text{kg})(10.00\,\text{kg})}{5.00\times10^{-3}\,\text{kg} + 1.000\,\text{kg}} \quad (100.0\,\text{m/s})$$

$$= -0.500\,\text{kg.m/s}$$

b. ما مقدار التغير في زخم الرصاصة إذا ارتدت في الاتجاه المعاكس بسرعة 99 m /s؟

$$\Delta pv = m_{\text{رصاصة}}(v_2 - v_{1\text{رصاصة}})$$

$$= (5.00\times10^{-3}\,\text{kg})(-99.0\,\text{m/s} - 100.0\,\text{m/s})$$

$$= -0.995\,\text{kg.m/s}$$

c. في أي الحالتين السابقتين سيتحرك الجسم بسرعة أكبر؟

عندما ترتد الرصاصة، يكون التغير في زخمها أكبر في المقدار، وكذلك للجسم الصلب يكون التغير في زخمه أكبر في المقدار، ومن ثم

فإن الجسم سيتحرك بسرعة أكبر.

98. يجب التأثير بقوة رفع مقدارها 15 kN على الأقل لرفع سيارة. (الفصل 3)

a. ما مقدار الفائدة الميكانيكية للرافعة القادرة على تقليص القوة (المسلّطة) إلى 0.10 kN؟

$$MA = \frac{15\,\text{kN}}{0.10\,\text{kN}} = 150$$

b. إذا كانت فاعلية الرافعة 75%، فما المسافة التي يجب أن تؤثر خلالها القوة لترفع السيارة مسافة 33 cm؟

$$IMA = \frac{MA}{e} = 2.0\times10^2$$

ولما كانت

$$\frac{d_e}{d_r} = IMA$$

فإن

$$d_e = \frac{IMA}{d_r} = (2.0\times10^2)(33\,\text{cm})$$

$$= 66\,\text{m}$$

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. زادت سرعة دراجة هوائية من 4.0 m /s إلى 6.0 m /s. فإذا كانت كتلة راكب الدراجة والدراجة 55 kg، فما الشغل الذي بذله سائق الدراجة لزيادة سرعتها؟

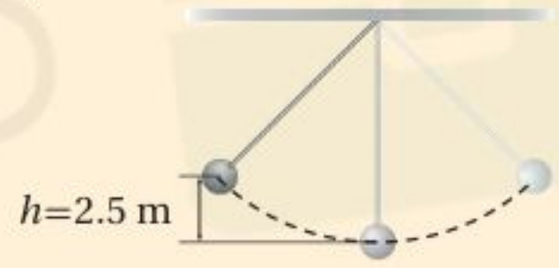
(A) 11 J (C) 55 J

(B) 28 J (D) **550 J**

2. يبين الشكل أدناه كرة كتلتها 4.0 kg معلقة بخيط، تتأرجح بشكل حرّ في مستوى محدد. فإذا كانت مقاومة الهواء مهملة، فما أقصى سرعة تبلغها الكرة في أثناء تأرجحها؟

(A) 0.14 m /s (C) **7.0 m /s**

(B) 98 m /s (D) 49 m /s



3. ما مقدار الطاقة اللازمة لرفع صندوقٍ كتلته 4.5 kg من الأرض إلى رف يرتفع 1.5 m فوق سطح الأرض؟

(A) 9.0 J (C) 11 J

(B) 49 J (D) **66 J**

4. أسقطت كرة كتلتها 6.0×10^{-2} kg من ارتفاع 1.0 m فوق سطح مستوٍ صلب، وعندما ضربت الكرة بالسطح فقدت 0.14 J من طاقتها، ثم ارتدت مباشرة إلى أعلى. ما مقدار الطاقة الحركية للكرة لحظة ارتدادها عن السطح المستوي؟

(A) 0.20 J (C) **0.45 J**

(B) 0.59 J (D) 0.73 J

5. عند رفع جسم كتلته 2.5 kg من رف يرتفع 1.2 m عن سطح الأرض إلى رف يرتفع 2.6 m فوق سطح الأرض، فما مقدار التغير في طاقة وضع الجسم؟

(A) 1.4 J (C) 3.5 J

(B) 25 J (D) **34 J**

6. تتحرك كرة كتلتها m بسرعة v_1 على سطح أفقي عندما اصطدمت بحائط مبطن، ثم ارتدت عنه في الاتجاه المعاكس. فإذا أصبحت طاقتها الحركية نصف ما كانت عليه قبل التصادم، وأهملنا الاحتكاك، فأي مما يأتي يعبر عن سرعة الكرة بعد التصادم بدلالة سرعتها قبل التصادم؟

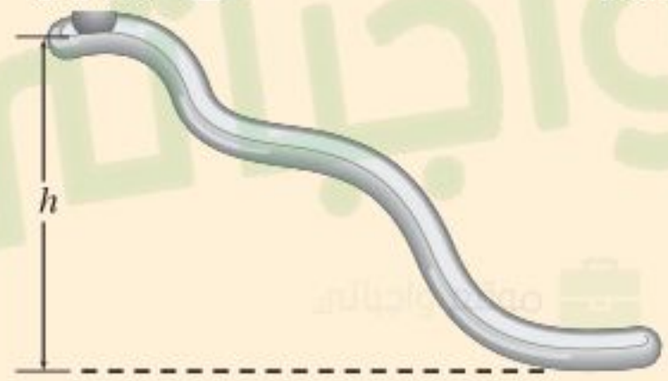
(A) $\frac{1}{2} v_1$ (C) $\sqrt{2}\ v_1$

(B) $\frac{\sqrt{2}}{2}\ v_1$ (D) $2v_1$

7. يبين الشكل أدناه كرة على مسار منحنٍ، فإذا تحركت الكرة بدءًا من السكون في أعلى المسار ووصلت إلى السطح الأفقي في أسفله على الأرض بسرعة 14 m /s، وأهملنا الاحتكاك، فما الارتفاع h من سطح الأرض حتى أعلى نقطة في المسار؟

(A) 7 m (C) **10 m**

(B) 14 m (D) 20 m



الأسئلة الممتدة

8. وضع صندوق على نابض مضغوط على منصة، وعند إفلات النابض زود الصندوق بطاقة مقدارها 4.9 J، فاندفع الصندوق رأسيًّا إلى أعلى، فإذا كانت كتلة الصندوق 1.0 kg، فما أقصى ارتفاع يصل إليه الصندوق قبل أن يبدأ في السقوط؟

0.50 m