

دليل المعلم

الفيزياء

الصف العاشر

10

الفصل الدراسي الثاني

موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

خلدون سليمان المصاروه

أ.د. محمود إسماعيل الجاغوب

يحيى أحمد طواها

موسى محمود جرادات

شفاء طاهر عباس (منسقاً)

إضافة إلى جهود فريق التأليف، فقد جاء هذا الكتاب ثمرة جهود وطنية مشتركة من لجان مراجعة وتقييم علمية وتربوية ولغوية، ومجموعات مُركّزة من المعلمين والمُشرّفين التربويين، وملاحظات مجتمعية من وسائل التواصل الاجتماعي، وإسهامات أساسية دقيقة من اللجنة الاستشارية والمجلس التنفيذي والمجلس الأعلى في المركز، ومجلس التربية والتعليم ولجانه المتخصصة.

الناشر

المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج، ووزارة التربية والتعليم - إدارة المناهج والكتب المدرسية، استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الدليل

عن طريق العناوين الآتية: هاتف: 4617304/5-8، فاكس: 4637569، ص.ب: 1930، الرمز البريدي: 11118،

أو بوساطة البريد الإلكتروني: scientific.division@moe.gov.jo

الوحدة الرابعة: تطبيقات على قوانين نيوتن Applications of Newton's Laws

تجربة استهلاكية: الكتلة والوزن.			
الدرس	النتائج	التجارب والأنشطة	عدد الحصص
الأول: الوزن وقانون الجذب العام (الكوني).	- يوضح الفرق بين الكتلة والوزن. - يذكر نص قانون الجذب العام لنيوتن. - يستنتج العلاقة بين قانون الجذب العام وقوة جذب الأرض للأجسام. - يطبق بحل مسائل على الوزن وقانون الجذب العام لنيوتن.	الكتلة والوزن.	3
الثاني: تطبيقات على القوى.	- يوضح مفهوم كل من: قوة الشد، والقوة العمودية، وقوة الاحتكاك. - يحسب مقدار القوة العمودية في أوضاع مختلفة. - يستقضي العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك بين جسمين. - يفسر سبب نقصان قوة الاحتكاك عند بدء حركة جسم. - يطور وسائل تقلل من الآثار السلبية لقوة الاحتكاك. - يطبق بحل مسائل على قوة الشد، والقوة العمودية، وقوة الاحتكاك.	- قوة الشد. - العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي.	6
الثالث: القوة المركزية.	- يستنتج أن الحركة الدائرية لجسم تتطلب تأثير قوة فيه باستمرار نحو مركز المسار الدائري. - يستقضي العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية. - يطبق بحل مسائل على القوة المركزية.	العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.	3

النتائج السابقة	الصف	النتائج اللاحقة	الصف
- يوضح أثر القوى المتزنة والقوى غير المتزنة في الأجسام (تتضمن القوى: الاحتكاك، والجاذبية، والمغناطيسية). - يستقضي أثر القوة في الأجسام باستخدام قوانين نيوتن.	السابع	- يحسب الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية في تحريك جسم مسافة ما. - يعبر عن شغل القوى المحافظة وعن شغل القوى غير المحافظة.	الحادي عشر
- يوضح المفاهيم المتعلقة بقوانين نيوتن. - يوظف معرفته بقوانين نيوتن في حل مسائل حسابية، وتفسير مواقف حياتية وتطبيقات.	التاسع	يصف القوة المغناطيسية التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في الشحنة الكهربائية المتحركة فيه.	الثاني عشر

تطبيقات على قوانين نيوتن

Applications of Newton's Laws

- ما دور علم الفيزياء في هذا التصميم؟
يوفر المنعطف المائل قوة إضافية نحو مركز المنعطف (إضافة إلى قوة الاحتكاك السكوني الجانبية)؛ مما يمكن السائق من التحرك بسرعة أكبر فيه دون الانزلاق خارج المنعطف.
- ما قوانين الفيزياء التي ينبغي مراعاتها في هذا التصميم؟
القانون الأول لنيوتن، القانون الثاني لنيوتن، القوة المركزية، قوة الاحتكاك السكوني الجانبية... لا تستبعد أيًا من إجابات الطلبة.

• عند تصميم طريق فيه منعطف خطر، سواء في الطرق العامة أم حلبات السباق، يراعى أن يكون الطريق عند هذا المنعطف مائلًا في اتجاه مركز المسار الدائري الذي يشكله المنعطف.

• بيّن للطلبة أنه عند تحرك سيارة في منعطف طريق أفقية، فإن قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة وسطح الطريق تمنع انزلاق السيارة إلى خارج المنعطف.

• وضح للطلبة دور علم الفيزياء، ممثلًا بهندسة الطرق، في تطوير تصاميم المنعطفات في حلبات السباق، وعند المواقع الخطرة في الطرقات.

• بيّن للطلبة أن المنعطفات المائلة تسمح للسائقين بالحركة في المنعطفات بسرعات كبيرة، وأنه كلما زادت زاوية ميلان المنعطف أمكن للسيارات التحرك بسرعات أكبر، وعند زوايا ميلان معينة يمكن الاستغناء عن قوة الاحتكاك السكوني الجانبية، حيث توفر مركبة القوة العمودية القوة المركزية اللازمة.

• اطلب إلى الطلبة تحديد القوى المؤثرة في السيارة في المنعطف، وتوضيح أهمية المركبة الأفقية للقوة العمودية.

تطبيقات على قوانين نيوتن

Applications of Newton's Laws



أتأمل الصورة

أهمية علم الفيزياء في تصميم الطرق
عند تصميم طريق فيه منعطف خطر، سواء في الطرق العادية أم في حلبات السباق، يراعى أن يكون الطريق عند هذا المنعطف مائلًا في اتجاه مركز المسار الدائري الذي يشكله المنعطف.
لماذا يصمم المنعطف بهذا الشكل؟ وهل لقوانين نيوتن دور في هذا التصميم؟

7

أتأمل الصورة

- الفت انتباه الطلبة إلى الصورة، ثم اطرح عليهم الأسئلة الآتية:
- لماذا يصمم المنعطف بهذا الشكل؟
لمنع انزلاق السيارة خارج المنعطف، عند حركتها بسرعة كبيرة فيه.
- هل تتسارع السيارات عند حركتها في المنعطف؟
نعم.
- هل يلزم تأثير قوة محصلة في السيارة عند حركتها في المنعطف؟ نعم.
- في أي اتجاه تؤثر هذه القوة المحصلة؟
تؤثر نحو مركز المسار الدائري الذي يشكله المنعطف.
- لماذا؟
ليتغير اتجاه سرعة السيارة يجب تأثير قوة محصلة فيها بحسب القانون الأول لنيوتن.

الفكرة العامة:

- وُضِّح للطلبة أن لقوانين نيوتن الثلاثة في الحركة، وقانون الجذب الكوني أهمية كبيرة في حياتنا عند دراسة حركة الأجسام والأجرام السماوية، وعند تحديد القوى المؤثرة فيها، ودراسة قوة الاحتكاك، وتحليل الحركة الدائرية، ودراسة بعض التطبيقات والظواهر المرتبطة بهذه القوى، وحساب كل من: الوزن، والقوة العمودية، وقوة التجاذب الكلي، وقوتا الاحتكاك السكوني والحركي، والقوة المركزية، وبعض المفاهيم الفيزيائية المرتبطة بها.

مشروع الوحدة:

- أخبر الطلبة أن مشروع الوحدة هو تصميم جهاز أو نموذج جهاز لدراسة العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة. وأنه يتعين عليهم تنفيذه بناء على ما تعلموه عن قوانين الحركة لنيوتن (بخاصة القانون الثاني)، والقوة المركزية، وأنهم سيختارون المواد والأدوات اللازمة لتصميم الجهاز بمواصفات معينة، بناء على العلاقة بين القوة المركزية والكتلة والتسارع المركزي، وقوة الشد، بحيث يتم تحريك كرة خفيفة في مسار دائري أفقي تقريباً باستخدام محرك كهربائي.
- بعد الانتهاء من عمل التصميم، أدر نقاشاً بين الطلبة يتناول مزايا كل تصميم، ثم أخبرهم بالتصميم الذي استوفى الشروط المطلوبة.

الفكرة العامة:

لقوانين نيوتن تطبيقات كثيرة ومتنوعة في حياتنا وأنشطتنا اليومية.

الدرس الأول: الوزن وقانون الجذب العام (الكوني)

Weight and the Law of Universal Gravitation

الفكرة الرئيسة: توجد قوة تجاذب بين أي

كتلتين في الكون، يمكن حسابها باستخدام قانون الجذب العام. فالأرض تؤثر بقوة جذب في الأجسام يكون اتجاهها نحو مركز الأرض، وتُعرف هذه القوة بالوزن.

الدرس الثاني: تطبيقات على القوى

Applications of Forces

الفكرة الرئيسة: تؤثر قوة الشد بواسطة الحبال

والأسلاك، وتؤثر الأسطح بقوة عمودية في الأجسام الموضوعة عليها وتؤثر قوة الاحتكاك في حركة الأجسام، ومن الصعب ممارسة حياتنا اليومية من دونها.

الدرس الثالث: القوة المركزية

Centripetal Force

الفكرة الرئيسة: تؤثر قوة مركزية في الأجسام التي

تتحرك حركة دائرية منتظمة. وللحركة الدائرية تطبيقات كثيرة في حياتنا اليومية.

تجربة استعلاية

الهدف:

- استنتاج أن مفهومي الكتلة والوزن غير مترادفين.
- اشتقاق علاقة رياضية للتحويل بين الكتلة والوزن.

زمن التنفيذ: 10 دقائق

إرشادات السلامة:

وجّه الطلبة إلى ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، واطلب إليهم توخي الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على أقدامهم.

المهارات العلمية:

الملاحظة، المقارنة، الاستنتاج، تحليل البيانات وتفسيرها.

الإجراءات والتوجيهات:

اطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية، والحذر من سقوط الأجسام والأدوات على أقدامهم، ومعايرة الميزان النابضي قبل البدء في تنفيذ التجربة.

النتائج المتوقعة:

إحدى القراءتين على الميزان النابضي تمثل الكتلة بوحدة (g أو kg)، والقراءة الثانية تمثل الوزن بوحدة (N)، وألاحظ أن قراءة الوزن أكبر من قراءة الكتلة. وتكون قراءة الوزن تساوي كتلة الثقل ضرب تسارع السقوط الحر (g).

التحليل والاستنتاج:

- 1 إحدى القراءتين تمثل كتلة الثقل بوحدة (g أو kg)، والقراءة الثانية تمثل وزنه بوحدة (N). الكتلة كمية قياسية وتمثل مقدار ما في الجسم من مادة، بينما الوزن كمية متجهة يمثل مقدار قوة جذب الأرض للجسم.
- 2 ألاحظ أن قراءة الوزن أكبر من قراءة الكتلة، وأستنتج أنه توجد علاقة بين القراءتين.

3 نعم، ألاحظ وجود نمط محدد؛ حيث أجد أن ناتج قسمة وزن الثقل على كتلته يعطي مقدراً ثابتاً تقريباً يساوي (9.8 m/s²)، وأستنتج أنه يمكن التوصل إلى علاقة رياضية للتحويل بين الكتلة ومقدار الوزن.

$$\frac{F_g}{m} = 9.8 = g$$

$$F_g = mg$$

حيث يمثل (F_g) وزن الجسم بوحدة (N)، و (m) كتلته بوحدة (kg)، و (g) تسارع السقوط الحر بوحدة (m/s²).

تجربة استعلاية

الكتلة والوزن

المواد والأدوات: ميزان نابضي مُدرّج لقياس الكتلة والوزن، ثلاثة أُنقالٍ مختلفة (100 g, 200 g, 300 g).

إرشادات السلامة: ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، والحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

خطوات العمل:

1 **ألاحظ:** أعلق الميزان النابضي رأسياً في الهواء، ثم أعلق الثقل (100 g) في خطاف الميزان. ألاحظ قراءتي الكتلة والوزن على تدريج الميزان، وأدوّنهما.

2 **ألاحظ:** أكرّر الخطوة السابقة بتعليق الثقل (200 g) في خطاف الميزان. ألاحظ قراءتي الكتلة والوزن على تدريج الميزان، وأدوّنهما.

3 **ألاحظ:** أكرّر الخطوة (1) بتعليق الثقل (300 g) في خطاف الميزان. ألاحظ قراءتي الكتلة والوزن على تدريج الميزان، وأدوّنهما.

التحليل والاستنتاج:

- 1 **أفسّر:** ما الذي تمثله كل قراءة من قراءتي الميزان؟ ما الفرق بينهما؟
- 2 **أقارن:** بين قراءتي الميزان في كل خطوة من الخطوات الثلاث السابقة، ماذا أستنتج؟
- 3 **أحلّل البيانات وأفسرها:** أقسّم قراءة الوزن على قراءة الكتلة لكل خطوة من الخطوات الثلاث السابقة. هل يوجد نمط محدد؟ هل توجد علاقة تربط بينهما؟ ماذا أستنتج؟
- 4 **أحلّل البيانات وأفسرها:** أشتق علاقة للتحويل بين الكتلة والوزن.

9

استراتيجية التقويم: الملاحظة.

أداة التقويم: سلم تقدير.

الرقم	معيّار الأداء	مقبول	جيد	جيد جداً	ممتاز
1	يراعي تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ التجربة.				
2	يحترم آراء الآخرين، ويتقبلها.				
3	يحسن إدارة الوقت.				
4	يدون الملاحظات على كل خطوة من خطوات التجربة.				
5	يقرأ قراءة الميزان ويدونها بدقة.				

الكتلة والوزن Mass and Weight

مفهوما الكتلة والوزن مختلفان، وليسا مترادفين كما نستخدمهما في حياتنا اليومية. وفي ما يأتي توضيح لكل منهما.

الكتلة Mass

الكتلة **Mass** هي مقدار المادة الموجودة في جسم، وهي كمية قياسية، رمزها (m) ، وتقاس بوحدة (kg) بحسب النظام الدولي للوحدات، وتعد الكتلة مقياساً للقصور الذاتي للجسم؛ أي مقياساً لممانعته لأي تغيير في حالته الحركية. وكتلة الجسم ثابتة سواء أكان الجسم ساكناً أم متحركاً بسرعة أقل بكثير من سرعة الضوء. كما تبقى كتلة الجسم ثابتة عند قياسها في مواقع مختلفة على سطح الأرض، أو على أي كوكب آخر.

الوزن Weight

يُعرف الوزن **Weight** بأنه قوة جذب الأرض للجسم، رمزها (F_g) ، ويقاس بوحدة **newton** بحسب النظام الدولي للوحدات، وهو كمية متجهة، حيث يكون اتجاه وزن أي جسم على سطح الأرض دائماً رأسياً نحو مركزها.

يعتمد وزن أي جسم عند موقع معين على سطح الأرض على كتلته، وعلى بُعده عن مركز الأرض، بخلاف الكتلة التي تبقى ثابتة. وأيضاً يتغير وزن الجسم من مكان إلى آخر في الفضاء، ومن جرم إلى آخر؛ فمثلاً، وزن جسم على سطح القمر يساوي سدس وزنه على سطح الأرض تقريباً؛ نتيجة تغير مقدار تسارع الجاذبية.

الفكرة الرئيسة:

توجد قوة تجاذب بين أي كتلتين في الكون، يُمكن حسابها باستخدام قانون الجذب العام. فالأرض تؤثر بقوة جذب في الأجسام يكون اتجاهها نحو مركز الأرض، وتُعرف هذه القوة بالوزن.

نتائج التعلم:

- أوضح الفرق بين الكتلة والوزن.
- أذكر نص قانون الجذب العام لنيوتن.
- استنتج العلاقة بين قانون الجذب العام وقوة جذب الأرض للأجسام.
- أطبق لحل مسائل على الوزن، وقانون الجذب العام لنيوتن.

المفاهيم والمصطلحات:

الكتلة Mass.

الوزن Weight.

قانون الجذب العام لنيوتن

Newton's Law of Universal Gravitation

تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:

الوزن وقانون الجذب العام.

- وضح للطلبة الفروق بين الكتلة والوزن. ويمكن توظيف نتائج التجربة الاستهلاكية في توضيح بعضها، وبيان كيفية التحويل بينهما.
- وضح للطلبة أنه توجد قوة تجاذب بين أي كتلتين في الكون تحسب باستخدام قانون الجذب العام (الكوني) لنيوتن. وبين لهم أن الأرض تجذب الأجسام نحو مركزها، وتعرف هذه القوة بالوزن.
- لمزيد من التوضيح، يمكن الاستفادة من التجربة الاستهلاكية ونتائجها.

الربط بالمعرفة السابقة:

قوانين نيوتن في الحركة والقوة المحصلة.

- ذكر الطلبة بأبرز ما تعلموه عن قوانين نيوتن في الحركة، وتسارع السقوط الحر، والقوة المحصلة.
- أخبر الطلبة أنهم سيفرقون في هذا الدرس بين الكتلة والوزن، وسيتعرفون قانون الجذب الكوني، ومنشأ وزن الأجسام.

2 التدریس

المناقشة:

- وضح للطلبة مفهوم كل من الكتلة والوزن، ثم اسألهم:
 - ما المقصود بالكتلة؟
 - مقدار المادة الموجودة في جسم، وهي كمية قياسية، رمزها m .
 - ما المقصود بالوزن؟
 - قوة جذب الأرض للجسم، وهو كمية متجهة، رمزها F_g .
 - ما وحدة قياس الكتلة؟ ووحدة قياس الوزن بحسب النظام الدولي للوحدات؟
 - الكتلة (kg) ، والوزن (N) ، بحسب النظام الدولي للوحدات.
 - أيهما كمية قياسية، وأيها كمية متجهة؟
 - الكتلة كمية قياسية، أما الوزن فكمية متجهة.
 - أيهما ثابت؟ وأيها متغير بالنسبة إلى الجسم الواحد؟
 - كتلة جسم كمية فيزيائية ثابتة، أما وزنه فكمية فيزيائية متغيرة اعتماداً على موقعه؛ فوزن الجسم على سطح الأرض يختلف عنه على سطح القمر.
 - هل يمكن التحويل بين الكتلة والوزن؟ وضح إجابتك.

نعم؛ وزن جسم في موقع ما يساوي كتلته مضروبة في تسارع السقوط الحر في ذلك الموقع.

نشاط سريري: الكتلة والوزن.

- أمسك ميزاناً نابضياً، ثم علق فيه ثقل مقداره (30 g) ، ثم اطلب إلى الطلبة قراءة وزنه. 0.29 N تقريباً.
- كرر الخطوة السابقة بتعليق ثقل مقداره (40 g) ، ثم (50 g) ، كل على حده، ثم اطلب إلى الطلبة قراءة وزنه في كل حالة. على الترتيب: 0.39 N ، 0.49 N تقريباً.
- اطرح على الطلبة السؤالين الآتيين:
 - ما الذي تستنتجه من قراءات الكتلة والوزن؟ أستنتج أن هنالك نمطاً محدداً ثابتاً يشير إلى علاقة بين الكتلة والوزن.
 - ما العلاقة الرياضية المستخدمة للتحويل بين الكتلة والوزن؟ $F_g = mg$ ، حيث F_g : وزن الجسم بوحدة (N) ، m كتلته بوحدة (kg) ، و g تسارع السقوط الحر بوحدة (m/s^2) .
- استمع إلى إجابات الطلبة للتمييز بين الكتلة والوزن، مبيناً لهم أنه يمكن الاستدلال على مقدار وزن جسم بمعرفة كتلته وتسارع السقوط الحر.

✓ أنَحَقِّقْ:

الوزن هو قوة جذب الأرض للجسم، رمزه F_g ، ويقاس بوحدة newton بحسب النظام الدولي للوحدات، وهو كمية متجهة، وهو غير ثابت حيث يتغير من موقع إلى آخر على سطح الأرض بحسب البعد عن مركز الأرض، كما يتغير من مكان إلى آخر في الفضاء. أما الكتلة فهي مقدار المادة الموجودة في جسم، وهي كمية قياسية، رمزها m ، وتقاس بوحدة kg بحسب النظام الدولي للوحدات. وتكون كتلة الجسم ثابتة، ولا تتغير.

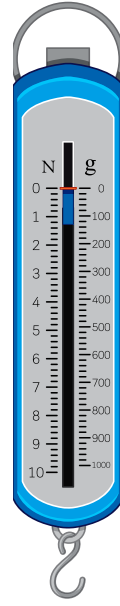
أَفْكِّرْ:

- استخدم استراتيجية الطاولة المستديرة للتوصل إلى الفروقات بين الكتلة والوزن.
- وزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم اكتب على السبورة ما يلي: «ما الفروقات بين الكتلة والوزن؟»
- اطلب إلى أفراد كل مجموعة إجابة السؤال. ثم ناقش مع الطلبة هذه الفروقات.

الوزن	الكتلة
كمية متجهة رمزها F_g .	كمية قياسية رمزها m .
كمية فيزيائية مشتقة وحدة قياسها N.	كمية فيزيائية أساسية وحدة قياسها kg.
يجري قياسه بالميزان النابضي (الزنبركي).	يجري قياسها بالموازين العادية: الميزان ذي الكفتين، الميزان ثلاثي الأذرع، ...
لا يمكن أن تكون صفراً. يمكن أن يكون صفراً عندما يكون الجسم في الفضاء بعيداً عن أي كوكب أو جرم.	لا يمكن أن تكون صفراً.

لَنَرِّدْ:

- أ. يجذب المريخ حبة التفاح في اتجاه مركزه بقوة تسمى الوزن، يحسب مقداره بالعلاقة: $F_{gMars} = mg_{Mars} = 0.15 \times 3.7 = 0.56 \text{ N}$
- ب. يجذب المشتري حبة التفاح في اتجاه مركزه بقوة تسمى الوزن، يحسب مقداره بالعلاقة: $F_{gJupiter} = mg_{Jupiter} = 0.15 \times 24.8 = 3.7 \text{ N}$



الشكل (1): ميزان نابضي مُدرَّج لقياس الكتلة والوزن معاً.

أَفْكِّرْ: هل توجد فروقات أخرى بين الكتلة والوزن؟ ناقش أفراداً مجموعتي، وأستخدم مصادر المعرفة المتاحة للتوصل إلى فروقات أخرى بينهما.

وبعد تنفيذ التجربة الاستهلاكية توصلت إلى علاقة بين وزن جسم (F_g) وكتلته (m) بالقرب من سطح الأرض، حيث يُعطى وزن الجسم بالعلاقة:

$$F_g = mg$$

ويُمثَّل g تسارع السقوط الحر (تسارع الجاذبية الأرضية) في موقع وجود الجسم، ومقدارُه بالقرب من سطح الأرض يساوي 9.80 m/s^2 تقريباً، ويُقَرَّبُ إلى 10 m/s^2 للتبسيط عند إجراء العمليات الحسابية. ولسهولة التحويل بين الكتلة والوزن، تدرَّج بعض الموازين بحيث تقيس الكتلة والوزن. أنظر الشكل (1) الذي يبين ميزاناً نابضياً.

✓ أنَحَقِّقْ: ما الفرق بين الكتلة والوزن؟

المثال 1

- حبة تفاح كتلتها (150 g)، أحسب وزنها على سطح:
 - أ. الأرض، حيث تسارع السقوط الحر على سطحها $g = 10 \text{ m/s}^2$ تقريباً.
 - ب. القمر، حيث تسارع السقوط الحر على سطحه $g_M = 1.6 \text{ m/s}^2$ تقريباً.

$$m = 150 \text{ g} = 0.15 \text{ kg}, g = 10 \text{ m/s}^2, g_M = 1.6 \text{ m/s}^2$$

$$F_g = ?, F_{gM} = ?$$

الحل:

- أ. تجذب الأرض حبة التفاح في اتجاه مركزها بقوة تسمى الوزن، يُحسب مقدارُه بالعلاقة: $F_g = mg = 0.15 \times 10 = 1.5 \text{ N}$
- ب. يجذب القمر حبة التفاح في اتجاه مركزه بقوة تسمى الوزن، يُحسب مقدارُه بالعلاقة: $F_{gM} = mg_M = 0.15 \times 1.6 = 0.24 \text{ N}$

لَنَرِّدْ:

- في المثال السابق، أحسب وزن التفاحة على سطح كل من:
 - أ. المريخ، حيث: $g_{Mars} = 3.7 \text{ m/s}^2$
 - ب. المشتري، حيث: $g_{Jupiter} = 24.8 \text{ m/s}^2$

مثال إضافي

صندوق وزنه على سطح القمر (16 N). احسب كتلته ووزنه على سطح الأرض، حيث تسارع السقوط الحر على سطحها $g = 10 \text{ m/s}^2$ تقريباً. علماً بأن تسارع السقوط الحر على سطح القمر $g_M = 1.6 \text{ m/s}^2$ تقريباً.

الحل:

كتلة الصندوق:

$$m = \frac{F_g}{g_M} = \frac{16}{1.6} = 10 \text{ kg}$$

كتلة الجسم ثابتة، ولا تتغير من مكان إلى آخر على سطح الأرض، أو من جرم إلى آخر. وزن الصندوق على سطح الأرض:

$$F_g = mg = 10 \times 10 = 100 \text{ N}$$

بناء المفهوم.

قانون الجذب العام والقانون الثالث لنيوتن.

- بين للطلبة أنه اعتماداً على قانون الجذب العام لنيوتن فإن كل جسمين في الكون يجذب أحدهما الآخر بقوة تجاذب كتي. وجه انتباه الطلبة إلى الشكل (2) ثم ا طرح عليهم الأسئلة الآتية:

- ما نوع القوة بين القمر الصناعي والأرض؟

قوة تجاذب كتي.

- ما العلاقة بين قوة جذب الأرض للقمر الصناعي، وقوة جذب القمر الصناعي للأرض؟

بحسب القانون الثالث لنيوتن، تكون قوة جذب الأرض للقمر الصناعي مساوية في المقدار لقوة جذب القمر الصناعي للأرض، ومعاكسة لها في الاتجاه.

- علام تعتمد قوة التجاذب الكتي بين أي جسمين في الكون؟ تعتمد على كتلتي الجسمين، حيث تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما، كما تعتمد على المسافة بين مركزي الجسمين؛ وتتناسب عكسياً مع مربع المسافة.

استخدام الصور والأشكال.

• وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (3)، وملاحظة البيانات المثبتة فيه. وضح لهم أن هذا الشكل يبين علاقة تناسب طردي، ولبيان ذلك ا طرح عليهم الأسئلة الآتية:

- ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتي بين جسمين عند مضاعفة كتلة إحداهما فقط؛ مع بقاء المسافة بين مركزيهما ثابتة؟ تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما ضعفي قيمتها الابتدائية.

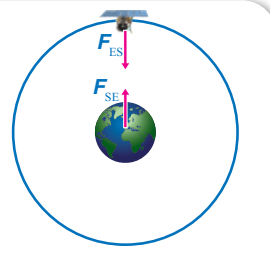
- ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتي بين جسمين؛ عند مضاعفة كتلتيهما؛ مع بقاء المسافة بين مركزيهما ثابتة؟

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

- ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتي بين جسمين؛ عندما تقل كتلة إحداهما فقط إلى النصف؛ مع بقاء المسافة بين مركزيهما ثابتة؟

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما نصف قيمتها الابتدائية. استنتج نوع العلاقة بين قوة التجاذب الكتي بين جسمين ومقدار كتلة كل منهما.

علاقة خطية طردية مع كتلة كل منهما؛ فعند مضاعفة إحدى الكتلتين يتضاعف مقدار قوة التجاذب الكتي بينهما بالمقدار نفسه.



الشكل (2): تجذب الأرض (E) القمر الصناعي (S) بقوة (F_{ES}) في اتجاه مركزها، ويجذب القمر الصناعي الأرض في اتجاه مركزه بقوة مساوية لقوة جذب الأرض له في المقدار، ومعاكسة لها في الاتجاه (F_{SE}) .

قانون الجذب العام لنيوتن

Newton's Law of Universal Gravitation

تجذب الأرض الأجسام الأخرى في اتجاه مركزها، سواء كانت على سطحها أو على بُعد منها، حيث تُعدُّ قوة الجاذبية الأرضية قوة مجال تؤثر في الأجسام عن بُعد. ويُعرف مجال الجاذبية الأرضية بأنه المنطقة المحيطة بالأرض، التي تظهر فيها آثار قوة جذب الأرض للأجسام، وتكون في اتجاه مركز الأرض دائماً.

وبحسب القانون الثالث لنيوتن فإن الأجسام الأخرى تجذب الأرض أيضاً في اتجاه مراكزها بقوى مساوية لقوى جذب الأرض لها، ولكن في اتجاه معاكس، أنظر الشكل (2).

توصل نيوتن إلى أن قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب:

أ. طردياً مع حاصل ضرب كتلتي الجسمين عند ثبات المسافة بين مركزيهما:

$$F \propto m_1 m_2$$

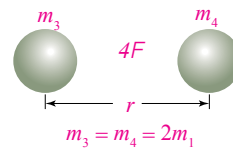
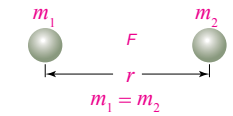
فمثلاً، عند مضاعفة كتلتي جسمين مرتين تتضاعف قوة التجاذب بينهما بمقدار أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية، أنظر الشكل (3).

ب. عكسياً مع مربع المسافة بين مركزي الجسمين عند ثبات كتلتيهما، أي أن:

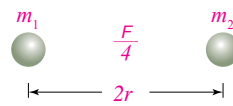
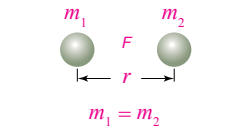
$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

فمثلاً، عند مضاعفة المسافة بين مركزي جسمين مرتين، تصبح قوة التجاذب بينهما ربع قيمتها الابتدائية، أنظر الشكل (4).

وتوصل نيوتن إلى أن قوة التجاذب هذه لا يقتصر وجودها على الأرض، بل توجد بين جميع الأجسام في الكون. وقد صاغ



الشكل (3): تتناسب قوة التجاذب طردياً مع حاصل ضرب كتلتي الجسمين.



الشكل (4): تتناسب قوة التجاذب عكسياً مع مربع المسافة بين مركزي الجسمين.

12

استخدام الصور والأشكال.

• وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (4)، وملاحظة البيانات المثبتة فيه. وضح لهم أن هذا الشكل يبين علاقة تربيع عكسي، ولبيان ذلك ا طرح عليهم الأسئلة الآتية:

- ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتي بين جسمين؛ عند مضاعفة المسافة بين مركزيهما؛ مع بقاء كتلتيهما ثابتتين؟

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما ربع قيمتها الابتدائية.

- ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتي بين جسمين؛ عند مضاعفة المسافة بين مركزيهما ثلاث مرات؛ مع بقاء كتلتيهما ثابتتين؟

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما تسع قيمتها الابتدائية.

- ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتي بين جسمين عندما تقل المسافة بين مركزيهما إلى النصف؛ مع بقاء كتلتيهما ثابتتين؟

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

• استنتج نوع العلاقة بين قوة التجاذب الكتي بين جسمين والمسافة بين مركزيهما.

علاقة تربيع عكسي.



إجابة سؤال الشكل (5) :

عند مضاعفة مقدار m_2 يتضاعف مقدار كل من القوتين F_{12} و F_{21} ، أيضاً، بحيث تبقى القوتان متساويتين مقداراً ومتعاكستين اتجاهًا.

✓ **أتحقق:**

كل جسمين في الكون يتجاذبان بقوة يتناسب مقدارها طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما، وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما.

طريقة أخرى للتدريس

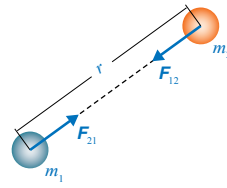
• لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على تحديد العلاقة بين قوة التجاذب الكتلي بين جسمين وكل من كتلتيهما والمسافة بين مركزيهما، استخدم استراتيجية التعلم التعاوني. وزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم اكتب على السبورة قانون الجذب العام لنيوتن. ثم اطلب إليهم الإجابة عن الأسئلة الآتية كتابياً:

- ما العلاقة بين قوة التجاذب الكتلي بين جسمين وكتلة كل منهما؟ علاقة خطية طردية؛ فعند مضاعفة إحدى الكتلتين يتضاعف مقدار قوة التجاذب الكتلي بينهما بالمقدار نفسه.
- ما العلاقة بين قوة التجاذب الكتلي بين جسمين والمسافة بين مركزيهما؟ علاقة تربيع عكسي؛ فعند مضاعفة المسافة بينهما يصبح مقدار قوة التجاذب ربع قيمتها الابتدائية.
- ما وحدة قياس ثابت الجذب العام لنيوتن؟ $N.m^2/kg^2$.
- جسان، الأول كتلته (m) ، والثاني كتلته $(2m)$. إن مقدار قوة التجاذب الكتلي التي يؤثر بها الجسم الأول في الثاني يساوي:

- أ. مقدار القوة التي يؤثر بها الجسم الثاني في الأول.
 - ب. ضعف مقدار القوة التي يؤثر بها الجسم الثاني في الأول.
 - ج. نصف مقدار القوة التي يؤثر بها الجسم الثاني في الأول.
 - د. ربع مقدار القوة التي يؤثر بها الجسم الثاني في الأول.
- الإجابة: (أ)؛ بحسب القانون الثالث لنيوتن فإن قوتي التجاذب الكتلي بين الجسمين متساوية في المقدار، ومتعاكسة في الاتجاه.

• تجول بين أفراد المجموعات موجهًا ومساعدًا ومرشدًا، وصحح المفاهيم غير الصحيحة لديهم.

• اطلب إلى كل مجموعة عرض النتائج التي توصلوا إليها على السبورة أمام المجموعات الأخرى، ثم مناقشة هذه النتائج.



الشكل (5): تؤثر قوة التجاذب الكتلي في اتجاه الخط الواسل بين مركزي الجسمين المتجاذبين.
سؤال: ماذا يحدث لمقدار كل من القوتين F_{21} و F_{12} عند مضاعفة مقدار m_2 فقط؟

نيوتن ما سبق في قانون سُمي قانون الجذب العام (الكوني) لنيوتن Newton's Law of Universal Gravitation، وينص على أن: «كل جسمين في الكون يتجاذبان بقوة يتناسب مقدارها طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما، وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزيهما». وتؤثر هذه القوة في اتجاه الخط الواسل بين مركزي الجسمين المتجاذبين، أنظر الشكل (5). ويُعبر عن قانون الجذب العام رياضياً كما يأتي:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

حيث: m_1 و m_2 كتلتا الجسمين المتجاذبين، و r المسافة بين مركزيهما، أما G فهو ثابت التناسب، ويُسمى ثابت الجذب العام (الكوني)، وبحسب النظام الدولي للوحدات، فإن مقدار الثابت G يساوي:

$$G = 6.67 \times 10^{-11} N.m^2/kg^2$$

على الرغم من أن قوة التجاذب الكتلي من أضعف أنواع القوى الأساسية، إلا أنها ذات أهمية كبيرة؛ فوجودها نستطيع أداء كثير من نشاطاتنا اليومية، ومن دونها نفقد التماس مع سطح الأرض، ونطفو في الفضاء. وقوة التجاذب الكتلي مسؤولة أيضاً عن حركة القمر حول الأرض، وعن حركة كواكب مجموعتنا الشمسية وأجرامها حول الشمس. ومن خلالها نستطيع تفسير قوة التجاذب بين أي جسمين في الكون، وتفسير حركة الأقمار حول الكواكب، كما يمكن بواسطتها تفسير ظاهري المد والجزر.

✓ **أتحقق:** علام ينص قانون الجذب العام لنيوتن؟

أبحث: القوى الأربع الأساسية:

- تُصنّف القوى في الطبيعة إلى أربعة أنواع أساسية، هي:
- قوة التجاذب الكتلي (Gravitational Force).
- القوة الكهرومغناطيسية (Electromagnetic Force).
- القوة النووية القوية (Strong Nuclear Force).
- القوة النووية الضعيفة (Weak Nuclear Force).

أبحث في مصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة ومنها شبكة الإنترنت عن هذه القوى من حيث: مدى كل منها، وترتيبها من الأقوى إلى الأضعف، وأعد عرضاً تقديمياً عرضه أمام طلبة الصف.

13

معلومة إضافية

القوى الأربع الأساسية.

القوة النووية القوية قوة تجاذب تربط مكونات النواة (البروتونات والنيوترونات، ويطلق عليها اسم النيوكليونات) معاً، ومداهما تقريباً يساوي $(10^{-15} m)$. أما القوة الكهرومغناطيسية والتي تربط الذرات والجزيئات معاً في المادة فمقدارها (10^{-2}) ضعف مقدار القوة النووية القوية، وهي قوة تربيع عكسي؛ حيث يتناسب مقدارها عكسياً مع مربع المسافة بين مركزي الجسمين المشحونين المتفاعلين. أما القوة النووية الضعيفة فهي مسؤولة عن عملية الاضمحلال الإشعاعي، ومقدارها (10^{-5}) ضعف مقدار القوة النووية القوية. وأخيراً، قوة التجاذب الكتلي مقدارها (10^{-39}) ضعف مقدار القوة النووية القوية، وهي قوة تربيع عكسي.

أبحث: القوى الأربع الأساسية يجب أن تظهر العروض التقديمية للطلبة ما يلي:

نوع القوة	مقدارها من الأقوى إلى الأضعف	مدى تأثير كل منها
القوة النووية القوية	الأقوى	قصير جداً (لا يتعدى حدود النواة)
القوة الكهرومغناطيسية	أقل من القوة النووية القوية	طويل
القوة النووية الضعيفة	أكبر من قوة التجاذب الكتلي	قصير
قوة التجاذب الكتلي	الأضعف	طويل جداً (يبلغ المسافات الفلكية)

المثال 2

إذا كانت كتلة مريم (50 kg)، وكتلة عائشة (60 kg)، والبعد بينهما (50 cm)، فأحسب مقدار:
 أ . القوة التي تؤثر بها مريم في عائشة (F_{MA})، وأحدد اتجاهها.
 ب . القوة التي تؤثر بها عائشة في مريم (F_{AM})، وأحدد اتجاهها.
 المعطيات: نرمز إلى مريم بالرمز (M)، وإلى عائشة بالرمز (A).

$$m_M = 50 \text{ kg}, m_A = 60 \text{ kg}, r = 50 \text{ cm} = 0.50 \text{ m}$$

$$F_{MA} = ? , F_{AM} = ?$$

الحل:

أ . نستخدم قانون الجذب العام لنيوتن لحساب مقدار قوة التجاذب الكلي التي تؤثر بها مريم في عائشة.

$$\begin{aligned} F_{MA} &= \frac{Gm_M m_A}{r^2} \\ &= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 50 \times 60}{(0.5)^2} = \frac{2.001 \times 10^{-7}}{(0.5)^2} \\ &= 8.004 \times 10^{-7} \text{ N} \end{aligned}$$

وتكون هذه القوة في اتجاه مريم؛ حيث إنها قوة تجاذب دائماً.

ب . بحسب القانون الثالث لنيوتن، تكون قوة التجاذب الكلي التي تؤثر بها عائشة في مريم مساوية في المقدار للقوة التي تؤثر بها مريم في عائشة، ومعاكسة لها في الاتجاه، أي أن:

$$F_{AM} = 8.004 \times 10^{-7} \text{ N}$$

وتكون هذه القوة في اتجاه عائشة. وبمقارنة هذه القوة بقوة جذب الأرض لكل منهما؛ يتضح لنا مدى صغر هذه القوة، وسبب عدم شعورنا بها.

لتدرب

استنتج: في المثال السابق أجد النسبة بين قوة جذب الأرض لكل من مريم وعائشة، وقوة جذبهما لبعضهما. ماذا استنتج؟

لتدرب

النسبة بين قوة جذب الأرض لمريم، وقوة جذب عائشة لها:

$$F_{MA} = F_{AM} = 8.004 \times 10^{-7} \text{ N}$$

$$\frac{F_{gM}}{F_{AM}} = \frac{50 \times 10}{8.004 \times 10^{-7}} = 6.25 \times 10^8$$

قوة جذب الأرض لمريم تساوي 6.25×10^8 ضعف قوة جذب عائشة لها.

النسبة بين قوة جذب الأرض لعائشة، وقوة جذب مريم لها:

$$F_{MA} = F_{AM} = 8.004 \times 10^{-7} \text{ N}$$

$$\frac{F_{gA}}{F_{MA}} = \frac{60 \times 10}{8.004 \times 10^{-7}} = 7.50 \times 10^8$$

قوة جذب الأرض لعائشة تساوي 7.50×10^8 ضعف قوة جذب مريم لها.

سيارتان A، وB، كتلتاهما: $(2 \times 10^3 \text{ kg})$ و $(3 \times 10^3 \text{ kg})$ ،
 والبعد بين مركزيهما (50 m). احسب مقدار واتجاه:
 أ . القوة التي تؤثر بها السيارة A في السيارة B، (F_{AB}).
 ب . القوة التي تؤثر بها السيارة B في السيارة A، (F_{BA}).
 الحل:

أ . نستخدم قانون الجذب العام لنيوتن لحساب قوة التجاذب الكلي التي تؤثر بها السيارة A في السيارة B.

$$\begin{aligned} F_{AB} &= \frac{Gm_A m_B}{r^2} \\ &= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2 \times 10^3 \times 3 \times 10^3}{(50)^2} \\ &= 1.6 \times 10^{-7} \text{ N} \end{aligned}$$

وتكون هذه القوة في اتجاه السيارة A، حيث إنها قوة تجاذب دائماً.

ب . بحسب القانون الثالث لنيوتن، تكون قوة التجاذب الكلي التي تؤثر بها السيارة B في السيارة A مساوية لمقدار القوة التي تؤثر بها السيارة A في السيارة B، ومعاكسة لها في الاتجاه، أي أن:

$$F_{BA} = 1.6 \times 10^{-7} \text{ N}$$

إهداء للمعلم

تجربة كافندش.

أجرى العالم هنري كافندش تجربة لقياس مقدار قوة التجاذب الكلي بين جسمين، حيث صمم جهازاً يتكون من ذراع أفقية معلقة من منتصفها بسلك رفيع قابل للدوران. ثم وضع كرتي رصاص صغيرتين عند نهايتي الذراع، ووضع كرتي رصاص ثقيلتين قريباً منهما. وهذا أدى إلى دوران الذراع بزاوية معينة، اعتماداً على مقدار قوة التجاذب الكلي بين كل كرتين متقابلتين. وعند اتران الذراع، تمكن العالم كافندش من قياس مقدار قوة التجاذب الكلي بين الكرات. وباستخدام قانون الجذب العام تمكن كافندش من حساب قيمة تجريبية لثابت الجذب الكوني (G). وتكمن أهمية هذه التجربة في أنها مكنت العالم كافندش من تحديد قيمة تجريبية للثابت (G)، وهذا ساعد العلماء في حساب مقدار كتلة الأرض ومقدار كتلة الشمس، إضافة إلى أنها مكنتهم من حساب مقدار قوة الجاذبية بين أي جسمين بتطبيق قانون نيوتن في الجذب.

◀ استخدام الصور والأشكال.

- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (6)، وملاحظة كيفية تغير أطوال الأسهم التي تمثل مقادير تسارع السقوط الحر للأرض واتجاهاته، ثم اطرَح عليهم الأسئلة الآتية:
- ماذا يحدث لمقدار تسارع السقوط الحر بالابتعاد عن مركز الأرض؟ يتناقص مقداره.

- في أي اتجاه يكون تسارع السقوط الحر؟ نحو مركز الأرض.

- «ما مقدار قوة الجاذبية المؤثرة في كتلة مقدارها (1 kg) عند موقع فوق سطح الأرض ارتفاعه يساوي نصف قطر الأرض؟ علماً بأن تسارع السقوط الحر على سطح الأرض (10 m/s²) تقريباً. ملاحظة: لا يلزم تزويد الطلبة بمقدار نصف قطر الأرض. لاحظ أن الإجابة يتم تحديدها من خلال تطبيق قانون التربيع العكسي. (الإجابة: 2.5 N)

- ما العلاقة التي نستخدمها لحساب تسارع السقوط الحر على سطح الأرض؟

$$\frac{Gm_E}{r_E^2}$$

- علام يعتمد مقدار تسارع السقوط الحر على سطح أي كوكب أو جرم سماوي؟ على كتلته، ونصف قطره.

◀ المناقشة.

- استخدم استراتيجيات التفكير الناقد لاستنتاج معلومات من تغير مقدار تسارع السقوط الحر.
- وزع الطلبة إلى مجموعات، ثم اكتب على السبورة ما يلي: «يبلغ مقدار تسارع السقوط الحر على سطح الأرض عند خط الاستواء (9.780 m/s²)، وبلغ مقداره عند القطب الشمالي (9.832 m/s²)».
- اطلب إلى أفراد كل مجموعة مناقشة السؤال الآتي: ماذا يخبرهم هذا التغير في مقدار تسارع السقوط الحر عن شكل الأرض؟ لأن تسارع السقوط الحر يتناسب عكسياً مع مربع البعد عن مركز الأرض، فإن نصف قطر الأرض عند خط الاستواء يكون أكبر منه عند القطبين؛ أي أن شكل الأرض ليس كروي تماماً.
- ناقش مع الطلبة التغيرات في مقدار g على سطح الأرض وعلاقتها بتغير نصف قطر الأرض وتغير كثافة مكوناتها.

تسارع الجاذبية الأرضية Gravitational Acceleration

يمكن حساب مقدار تسارع الجاذبية الأرضية (تسارع السقوط الحر) باستخدام قانون الجذب العام، والقانون الثاني لنيوتن كما يأتي: عندما يسقط جسم كتلته (m) سقوطاً حراً بالقرب من سطح الأرض فإن تسارعه يساوي تسارع السقوط الحر (g)، ويتأثر بقوة محصلة في أثناء سقوطه تساوي وزنه (F_g)، نحسب من القانون الثاني لنيوتن كما يأتي:

$$\Sigma F = ma = mg \\ = F_g$$

ويكون وزن الجسم على سطح الأرض (أو بالقرب منه) مساوياً لقوة التجاذب الكلي بين كتلة الجسم وكتلة الأرض؛ لذا:

$$\frac{Gmm_E}{r_E^2} = mg$$

حيث: r_E نصف قطر الأرض، و m_E كتلة الأرض. وبقسمة طرفي المعادلة على كتلة الجسم نحصل على المعادلة الآتية لحساب تسارع السقوط الحر على سطح الأرض أو قريباً منه:

$$g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

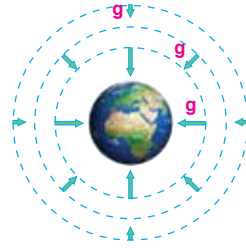
وبتعويض قيم كل من: ثابت الجذب العام، وكتلة الأرض (5.98 × 10²⁴ kg) تقريباً، ومتوسط نصف قطرها (6.38 × 10⁶ m) تقريباً، نحصل على قيمة تسارع السقوط الحر بالقرب من سطح الأرض:

$$g = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{(6.38 \times 10^6)^2} \\ = 9.80 \text{ m/s}^2$$

ويكون اتجاه تسارع السقوط الحر في اتجاه مركز الأرض دائماً. ويتضح من معادلة حساب تسارع السقوط الحر أنه: بزيادة البعد عن مركز الأرض يقل مقدار تسارع السقوط الحر، لذا؛ يتناقص وزن أي جسم في أثناء ابتعاده عن سطح الأرض. أنظر الشكل (6) الذي يوضح كيف يتغير تسارع السقوط الحر بتغير البعد عن سطح الأرض.



أصمّم باستخدام برنامج السكراش (Scratch) عرضاً يوضح قانون الجذب العام لنيوتن، ثم أشاركه معلّمي وزملائي في الصف.



الشكل (6): تمثّل الأسهم تسارع السقوط الحر مقداراً واتجاءاً؛ حيث يقلّ مقداره بالابتعاد عن سطح الأرض، ويكون مقداره متساوياً عند جميع النقاط التي لها البعد نفسه عن مركز الأرض.

نشاط سريع تسارع السقوط الحر.

- أحضر عدة أثقال معلومة الكتلة، ثم أمسك ميزاناً نابضياً، وعلق أحدها في نهايته، ثم اطلب إلى الطلبة تدوين وزن الثقل الظاهر على تدريج الميزان.
- كرر الخطوة السابقة مع الأثقال الأخرى، مع تدوين قراءة الميزان النابضي في كل محاولة.
- احسب تسارع السقوط الحر لكل محاولة، بقسمة وزن الثقل على كتلته. تكون قيم تسارع السقوط الحر متساوية تقريباً.
- ثم اطلب إليهم حساب متوسط قيم تسارع السقوط الحر، ومقارنتها بالقيمة المقبولة لتسارع السقوط الحر.
- أدر نقاشاً بين الطلبة لتفسير أي اختلافات.

التعزيز:

تسارع السقوط الحر.

• وضح للطلبة أن لكل كوكب أو جرم سماوي تسارع سقوط حر على سطحه خاص به، يعتمد على كتلته ونصف قطره. لذا، وزع الطلبة إلى مجموعات، ثم زدوهم بنصف قطر القمر وكتلته، ثم اطلب إلى كل مجموعة حساب تسارع السقوط الحر على سطح القمر، ثم مقارنتها بتسارع السقوط الحر على سطح الأرض، وما الذي يمكن أن يستنتجونه من اختلاف مقداري التسارع. يعتمد تسارع السقوط الحر على كتلة الجرم (تناسب طردي مع الكتلة) ونصف قطره (تناسب عكسي مع مربع نصف القطر).

أفكر:

يدور مكوك فضاء أو مركبة فضائية على ارتفاع معين فوق سطح الأرض، ولنعتبر ارتفاعه (700 km) فوق سطح الأرض. عند هذا الارتفاع يكون مقدار تسارع السقوط الحر ($g = 7.96 \text{ m/s}^2$)، لذا تؤثر قوة الجاذبية الأرضية بقوة في رواد الفضاء والمكوك (قوة مركزية تسبب دورانهم حول الأرض). بما أن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في رواد الفضاء لا تساوي صفراً، فلماذا نراهم يطفون داخل المكوك وفي الفضاء؟ بما أن مكوك الفضاء ورواد الفضاء يتسارعون بنفس مقدار التسارع في اتجاه مركز الأرض فإنه لا يوجد قوى تلامس تؤثر فيهم تشعرهم بقوة وزنهم، لذا يشعرون أنهم في حالة انعدام وزن.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج

والمواد الدراسية

* التفكير: التحليل.

أخبر الطلبة أن للتحليل دوراً في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة.

ويُحسب تسارع السقوط الحر للأرض عند أي موقع في الكون بعيداً عن مركزها مسافة r بالمعادلة الآتية:

$$g = \frac{Gm_E}{r^2}$$

ويمكن استخدام هذه المعادلة لحساب تسارع السقوط الحر على سطح أي كوكب، إذا عُلم نصف قطره وكتلته.

✓ **أنحقق:** علام يعتمد تسارع السقوط الحر على سطح أي كوكب؟

أفكر: عند مشاهدة رواد الفضاء في مركباتهم أو خارجها؛ لاحظ أنهم يطفون داخلها أو في الفضاء، حيث يكونون في حالة تُسمى انعدام الوزن. فهل يعني انعدام الوزن انعدام قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة فيهم في موقع المركبة الفضائية؟

المثال 3

إذا علمت أن كتلة القمر ($7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$) تقريباً، ونصف قطره ($1.738 \times 10^6 \text{ m}$) تقريباً، فأحسب مقدار:

أ. تسارع السقوط الحر على سطح القمر.

ب. تسارع السقوط الحر على سطح جرم، كتلته تساوي كتلة القمر، ونصف قطره يساوي ضعف قطر القمر.

المعطيات: نرسم إلى القمر بالرمز (M)، والجرم بالرمز (A).

$$m_M = m_A = 7.35 \times 10^{22} \text{ kg}, \quad r_M = 1.738 \times 10^6 \text{ m}, \quad r_A = 2 r_M$$

$$g_M = ? , \quad g_A = ?$$

الحل:

أ. نستخدم معادلة حساب تسارع السقوط الحر الآتية:

$$g_M = \frac{Gm_M}{r_M^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.35 \times 10^{22}}{(1.738 \times 10^6)^2} = 1.62 \text{ m/s}^2$$

ب. نستخدم معادلة حساب تسارع السقوط الحر الآتية:

$$g_A = \frac{Gm_A}{r_A^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.35 \times 10^{22}}{(2 \times 1.738 \times 10^6)^2} = 0.41 \text{ m/s}^2$$

ألاحظ تأثير مضاعفة نصف القطر في نقصان مقدار التسارع بمقدار كبير؛ لأن التسارع يتناسب عكسياً مع مربع نصف القطر.

✓ أنحقق:

يعتمد على كتلة الكوكب، ونصف قطره.

مثال إضافي

في المثال 3، احسب مقدار تسارع السقوط الحر على سطح جرم (A) كتلته تساوي ضعف كتلة القمر، ونصف قطره يساوي نصف قطر القمر.

الحل:

نستخدم معادلة حساب تسارع السقوط الحر الآتية:

$$g_A = \frac{Gm_A}{r_A^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2 \times 7.35 \times 10^{22}}{(1.738 \times 10^6)^2} = 3.25 \text{ m/s}^2$$

تمرين

$$F_g = mg$$

$$= 70 \times 10 = 700 \text{ N}$$

ب. الكتلة ثابتة لا تتغير من مكان إلى آخر.

$$m_M = m_E = m = 70 \text{ kg}$$

$$F_{gM} = mg_M$$

$$= 70 \times 1.6 = 112 \text{ N}$$

التقويم

3

مراجعة الدرس

- 3 يتناسب تسارع السقوط الحر طردياً مع كتلة الأرض، لذا فإنه عند مضاعفة كتلتها يتضاعف مقدار تسارع السقوط الحر على سطحها، مع عدم تغير نصف قطرها.
- 4 البعد عن مركز الأرض (r)، الارتفاع عن سطح الأرض (R)، نصف قطر الأرض (r_E).

$$r = r_E + R$$

$$\frac{Gm_E}{r^2} = \frac{1}{2} \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

$$r^2 = 2r_E^2 = 2(6.38 \times 10^6)^2 = 8.14 \times 10^{13}$$

$$r = 9.02 \times 10^6 \text{ m} = r_E + R$$

$$R = r - r_E = 2.64 \times 10^6 \text{ m}$$

- 5 خطأ، ليسا مترادفين، ولكل مفهوم منهما معنى فيزيائي خاص به؛ فالكتلة كمية قياسية تقاس بوحدة (kg) بحسب النظام الدولي للوحدات، وهي ثابتة عند أي مكان على سطح الأرض أو في الكون. أما الوزن فهو كمية متجهة يقاس بوحدة (N) بحسب النظام الدولي للوحدات، وهو غير ثابت، ويتغير بتغير تسارع السقوط الحر، وهو قوة مجال.

- 6 لا؛ لأن تسارع الجاذبية ($g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$)، أي يتناسب طردياً مع الكتلة وعكسياً مع مربع نصف القطر. فلو كان للأرض والقمر نصف القطر نفسه لأمكن استنتاج أن كتلة القمر تساوي $\frac{1}{6}$ كتلة الأرض، ولكن نصف قطر القمر أقل منه للأرض.

تمرين

كتلة جُمان 70 kg، إذا علمت أن $g = 10 \text{ m/s}^2$ و $g_{\text{Moon}} = 1.6 \text{ m/s}^2$ تقريباً، فأحسب مقدار:

- أ. وزنها على سطح الأرض.
- ب. كتلتها على سطح القمر.
- ج. وزنها على سطح القمر.

الربط مع الفلك

تدور الأقمار الصناعية على ارتفاعات مختلفة فوق سطح الأرض؛ حيث تتناسب هذه الارتفاعات مع وظيفة كل منها. ولكي يوضع هذا القمر في مداره المناسب حول الأرض يجب معرفة مقدار تسارع الجاذبية الأرضية عند هذا الارتفاع، وتحديد السرعة المماسية المناسبة له في هذا المدار.

مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: ما المقصود بالوزن؟ وعلام تعتمد قوة التجاذب الكتلي بين أي جسمين؟ وعلام يعتمد تسارع الجاذبية الأرضية؟
2. أحل: كيف تتغير قوة التجاذب الكتلي بين جسمين: m_1 و m_2 ، المسافة بين مركزيهما r ، عند مضاعفة كل مما يأتي مرتين:
 - أ. المسافة بين مركزيهما
 - ب. كتلة الجسم الأول
 - ج. كتلي الجسمين معاً
3. أتوقع: لو أصبحت كتلة الأرض ضعف ما هي عليه، من دون تغير نصف قطرها، فماذا يحدث لمقدار تسارع السقوط الحر (g) قرب سطحها؟
4. أستخدم المتغيرات: على أي ارتفاع من سطح الأرض يكون مقدار تسارع الجاذبية الأرضية مساوياً لنصف مقداره على سطح الأرض؟
5. أصدر حكماً: في أثناء دراستي وزميلي هند لهذا الدرس، قالت: "إن مفهوم الكتلة والوزن مترادفان، وهما يعبران عن الكمية الفيزيائية نفسها". أناقش صحة قول هند.
6. التفكير الناقد: إن تسارع الجاذبية على سطح القمر يساوي $\frac{1}{6}$ تسارع الجاذبية على سطح الأرض تقريباً. هل يمكنني استنتاج أن كتلة القمر تساوي $\frac{1}{6}$ كتلة الأرض؟ أوضح إجابتي.

17

- 1 الوزن كمية متجهة يقاس بوحدة (N) بحسب النظام الدولي للوحدات، وهو غير ثابت، ويتغير بتغير تسارع السقوط الحر، وهو قوة مجال. وتعتمد قوة التجاذب الكتلي بين أي جسمين على كتليهما حيث تتناسب طردياً مع حاصل ضربهما، كما تعتمد على مربع المسافة بين مركزيهما وتتناسب عكسياً معها.

ويعتمد تسارع الجاذبية الأرضية ($g = \frac{Gm_E}{r^2}$) على ثابت الجذب العام (وهو ذو قيمة ثابتة) وكتلة الأرض (ومقدارها ثابت)، وبعد النقطة المراد حساب تسارع الجاذبية عندها عن مركز الأرض (تناسب عكسي مع مربع بعدها).

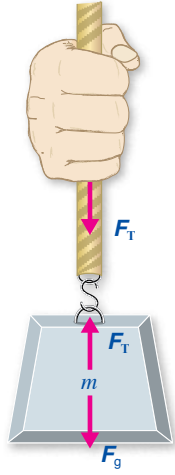
- أ. تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما ربع قيمتها الابتدائية.
- ب. تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما ضعف قيمتها الابتدائية.
- ج. تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

قوة الشد Tension Force

قوة الشد Tension force هي قوة سحب تؤثر في جسم عن طريق سلك أو خيط أو حبل، رمزها F_T ، وتؤثر في اتجاه طول الخيط أو الحبل أو السلك. وللتبسيط عند التعامل مع المسائل التي تتضمن خيوطاً وحبالاً وأسلاكاً فإننا سنهمّل كتلتها، ونعدها غير قابلة للاستطالة.

أنظر الشكل (7)، الذي يوضح يد شخص يمسك حبلًا معلقًا في نهايته ثقل. إذا كان الثقل ساكنًا أو متحركًا بسرعة متجهة ثابتة، فإن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا - بحسب القانون الأول لنيوتن -، لذا يكون تسارعه صفرًا أيضًا.

تؤثر يد الشخص بقوة إلى أعلى في جزء الحبل الذي يمسكه، في حين يؤثر هذا الجزء من الحبل في يده بقوة شد إلى أسفل، وهما زوجا تأثير متبادل. كما يؤثر جزء الحبل المتصل بالثقل بقوة شد إلى أعلى في الثقل، في حين يؤثر الثقل في هذا الجزء من الحبل بقوة شد إلى أسفل، وهما أيضًا زوجا تأثير متبادل. ولاستقصاء قوة الشد أنفذ التجربة الآتية.



الشكل (7): تنتقل قوة الشد من يد الشخص إلى الثقل عن طريق الحبل، وتكون قوى الشد متساوية في جميع أجزاء الحبل عند إهمال كتلته.

الفكرة الرئيسة:

تؤثر قوة الشد بواسطة الحبال والأسلاك، وتؤثر الأسطح بقوة عمودية في الأجسام الموضوعة عليها، وتؤثر قوة الاحتكاك في حركة الأجسام، ومن الصعب ممارسة حياتنا اليومية من دونها.

نتائج التعلم:

- أوضح مفهوم كل من: قوة الشد، والقوة العمودية، وقوة الاحتكاك.
- أحسب مقدار القوة العمودية في أوضاع مختلفة.
- استقصي العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك بين جسمين.
- أفسر سبب نقصان قوة الاحتكاك عند بدء حركة جسم.
- أطور وسائل تقلل من الآثار السلبية لقوة الاحتكاك.
- أطبق بحل مسائل على قوى: الشد، والعمودية، والاحتكاك.

المفاهيم والمصطلحات:

- قوة الشد Tension Force
- القوة العمودية Normal Force
- قوة الاحتكاك Friction Force
- معامل الاحتكاك السكوني Coefficient of Static Friction
- معامل الاحتكاك الحركي Coefficient of Kinetic Friction

تطبيقات على القوى
Applications of Forces

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:

قوى: الشد، والعمودية، والاحتكاك.

- وضح للطلبة أن قوة الشد هي قوة سحب تؤثر بواسطة الحبال والأسلاك والخيوط، التي تستخدم لنقل القوى إلى الأجسام، كما تستخدم لنقل القوى عبر مسارات منحنية. وأنه عند تلامس جسمين فإنهما يؤثران في بعضهما بقوة، تكون عمودية على مستوى التلامس بينهما، تسمى قوة عمودية. وأن قوة الاحتكاك قوة تعيق (أو تمنع) الحركة النسبية بين سطحي جسمين متلامسين عند تحريك (أو محاولة تحريك) أحدهما بالنسبة للآخر.

الربط بالمعرفة السابقة:

التسارع والقوى.

- ذكر الطلبة بتعريف كل مما يأتي:
- القوة، الوزن، القوة المحصلة، التسارع.
- ذكر الطلبة بأبرز ما تعلموه عن قوانين نيوتن في الحركة، والقصور الذاتي، والقوة المحصلة، وتحليل المتجهات.
- أخبر الطلبة أنهم سيتعرفون في هذا الدرس: قوة الشد، والقوة العمودية، وقوة الاحتكاك.

2 التدريس

استخدام الصور والأشكال.

- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (7)، ثم أسألهم:

- ما القوى المؤثرة في الثقل؟

وزنه (إلى أسفل)، وقوة الشد في الحبل (إلى أعلى).

- ما العلاقة بين قوى الشد في أجزاء الحبل المختلفة؟

تكون قوى الشد متساوية في جميع أجزاء الخيط أو السلك أو الحبل عند إهمال كتلته، وعند اعتباره غير قابل للاستطالة.

- ما العلاقة بين قوة الشد في الحبل ووزن الثقل المعلق به عندما يكونا ساكنين أو متحركين بسرعة متجهة ثابتة؟ بحسب القانون الأول لنيوتن، تكون قوة الشد مساوية لوزن الثقل المعلق به عندما يكونا ساكنين أو متحركين

بسرعة متجهة ثابتة؛ حيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا، ويكون الجسم عندها في حالة اتزان سكوني أو ديناميكي.

بناء المفهوم.

قوة الشد.

- قوة سحب تؤثر في جسم من خلال سلك أو خيط أو حبل، رمزها F_T ، وتؤثر في اتجاه طول الخيط أو الحبل أو السلك.
- وضح للطلبة أن قوى الشد المؤثرة في طرفي حبل مهممل الكتلة أو بين أجزائه تكون متساوية في المقدار، ومتعاكسة في الاتجاه، سواء كان الحبل ساكنًا، أو متحركًا بسرعة متجهة ثابتة، أو متحركًا بتسارع.

التجربة 1

قوة الشد

الهدف:

- استقصاء قوى الشد في الحبال والخيوط.
- استنتاج أن قوتي الشد المؤثرتين في طرفي حبل متساويتان في المقدار (عند إهمال كتلة الحبل).
- زمن التنفيذ: 15 دقيقة.

إرشادات السلامة:

- وجه الطلبة إلى ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، واطلب إليهم توخي الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على أقدامهم.

المهارات العلمية:

- القياس، الملاحظة، المقارنة، الاستنتاج، الأرقام والحسابات، تحليل البيانات وتفسيرها، إصدار الاحكام، التواصل.

الإجراءات والتوجيهات:

- يجب أن يكون طول الطاولة وارتفاعها مناسبين لتنفيذ التجربة، بحيث لا يصل حامل الأثقال إلى أرضية الغرفة.
- يجب عدم تعليق أثقال كبيرة في حامل الأثقال؛ لكيلا ينقطع الحيط، ولا يتشوه نابض الميزانين.
- اطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية.

النتائج المتوقعة:

- سوف يلاحظ الطلبة أن قراءتي الميزانين تكونان متساويتين في كل حالة من الحالات الثلاث، ويستنتجون أن قوتي الشد عند طرفي الحبل تكونان دائماً متساويتين في المقدار. وبإمكانهم استنتاج أن قوتي الشد متعاكستان من خلال ربط اتجاه قوة الشد في الحبل باتجاه قوة سحب الميزانين النابضيين لطرفي الحبل بعيداً عن الطرفين.

البيانات والملاحظات: عينة بيانات

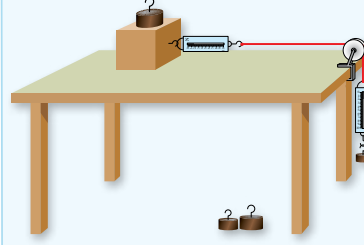
رقم المحاولة	m_{hang} (kg)	m_{hang} g(N)	قراءة الميزان الأول (N)	قراءة الميزان الثاني (N)
1	0.100	0.98	0.98	0.98
2	0.200	1.96	1.96	1.96
3	0.300	2.94	2.94	2.94

التحليل والاستنتاج

1. ألاحظ أن مقداري قوتي الشد في طرفي الحيط متساويان، ويساويان مقدار وزن الثقل المعلق في الميزان الثاني في كل حالة (يساويان قراءتي الميزانين).
2. أستنتج أن مقداري قوتي الشد المؤثرتين في طرفي الحيط دائماً متساويان؛ حيث تبقى قراءتا الميزانين متساويتين في كل حالة؛ فزيادة وزن الثقل المعلق في الميزان الثاني يزداد مقدار قوة الشد المؤثرة في طرف الحيط المتصل به هذا الميزان، وبالمقابل تزداد قراءة الميزان الأول (قوة الشد في طرف الحيط المتصل به الميزان) بالمقدار نفسه.
3. إجابة محتملة: كانت نتائج مجموعتنا متماثلة، حيث توصلت المجموعات جميعها إلى التعميم الآتي: يكون مقدارا قوتي الشد المؤثرتين في طرفي الخيوط والحبال الخفيفة دائماً متساويين.

التجربة 1

قوة الشد



المواد والأدوات: خيط خفيف طوله (1 m)، ميزان نابضيان (مقياسا قوة)، مكعب خشبي مزود بخطاف، مجموعة أثقال (1 kg، 300 g، 200 g، 100 g)، بكرّة ملساء، سطح طاولة أفقي، ورق تنظيف (منشفة) لتنظيف سطح الطاولة وأسطح المكعب الخشبي.

إرشادات السلامة: ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، والحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

خطوات العمل:

- 1 بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنظف أسطح المكعب الخشبي و سطح الطاولة، وتأكد أنه أفقي، ثم أثبت الميزان الأول بخطاف المكعب الخشبي، ثم أربط الخيط بخطافه، ثم أربط الطرف الثاني للخيط بالميزان الثاني مروراً بالبكرّة. وأحرص على أن يكون الخيط الممتد بين البكرّة والمكعب أفقياً تماماً. وأضع الثقل (1 kg) فوق المكعب؛ لمنع انزلاقه.
- 2 **الاحظ:** أعلق الثقل (100 g) في خطاف الميزان الثاني، وأحرص على أن يبقى الثقل ساكناً ولا يهتز. أدون قراءتي الميزانين.
- 3 أكرّر الخطوة السابقة بتعليق الثقلين (200 g، 300 g): كل على حدة، وأدون نتائجي.

التحليل والاستنتاج:

1. **أقارن** بين مقدار قوتي الشد المؤثرتين في طرفي الخيط في الخطوتين (2) و (3). ماذا ألاحظ؟
2. **استنتج:** ما العلاقة بين قوتي الشد المؤثرتين في طرفي الخيط؟ أفسر إجابتي.
3. **أقارن** نتائج مجموعتي بنتائج المجموعات الأخرى، ماذا ألاحظ؟ هل توصلت إلى تعميم بخصوص قوى الشد في الحبال والخيوط؟ أكتب تعميمي.

تكون قوتا الشد المؤثرتان في طرفي حبل أو سلك متساويتين في المقدار، ومتعاكستين في الاتجاه. كما تكون قوى الشد متساوية في جميع أجزاء الحبل أو الخيط أو السلك (عند إهمال كتلته)، وهي مساوية لوزن الثقل المعلق به في حال كانت القوة المحصلة المؤثرة فيه صفراً؛ أي في حالة الاتزان السكوني أو الاتزان الديناميكي.

المهام:

- (1) **ينفذ** خطوات التجربة بصورة صحيحة دقيقة.
- (2) **يدون** قراءاته بشكل دقيق وبموضوعية.
- (3) **يفسر** نتائجه وإجاباته بشكل علمي.
- (4) **يستنتج** العلاقة بين مقدار قوتي الشد المؤثرتين في طرفي الحبل بشكل صحيح.

التقدير:

- 4: **ينفذ** أربع مهام بطريقة صحيحة.
- 3: **ينفذ** ثلاثاً من المهام السابقة.
- 2: **ينفذ** مهمتين من المهام السابقة.
- 1: **ينفذ** مهمة واحدة من المهام السابقة.

استراتيجية التقويم: الملاحظة.

أداة التقويم: سُلم تقدير

اسم الطالب	التقدير			
	1	2	3	4

استخدم استراتيجية التعلم التعاوني في تدريس الطلبة هذا الموضوع.

● وزع الطلبة إلى مجموعات؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلم.

● وزع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة بحيث يتفاعل الجميع معاً.

● اطلب إلى أفراد كل مجموعة النظر إلى الشكل (8)، ورسم مخطط الجسم الحر لحزمة الحطب الموضحة في الشكل (8/أ)، ثم إجابة الأسئلة الآتية كتابياً؛ على أن يتفاعل الجميع معاً قبل كتابتها:

- ما القوى المؤثرة في حزمة الحطب في الشكل (8/أ)؟ الوزن (إلى أسفل)، وقوة الشد في الحبل (إلى أعلى).

- بحسب مخطط الجسم الحر، ما العلاقة بين قوتي الشد والوزن عندما تكون حزمة الحطب ساكنة أو متحركة بسرعة متجهة ثابتة؟

بحسب القانون الأول لنيوتن، تكونان متساويتين في المقدار، ومتعاكستين في الاتجاه؛ حيث القوة المحصلة المؤثرة فيها صفراً.

- ما العلاقة بين قوتي الشد والوزن عند تحريك حزمة الحطب إلى أعلى بتسارع؟

بحسب القانون الثاني لنيوتن، يكون مقدار قوة الشد أكبر من مقدار وزن الحزمة.

- ماذا يحدث لمقدار قوة الشد في الحيط بزيادة مقدار التسارع إلى أعلى؟

بحسب القانون الثاني لنيوتن، يزداد مقدار قوة الشد بمقدار أكبر.

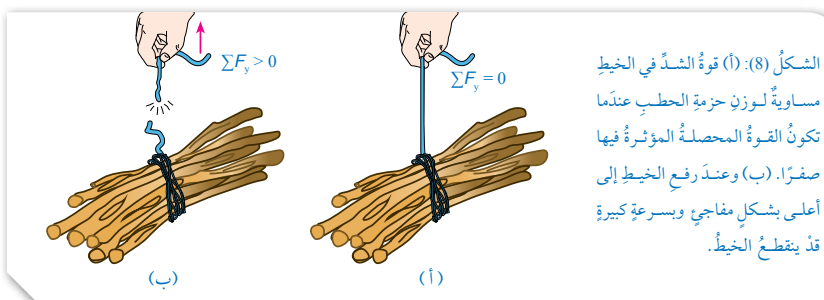
- لماذا انقطع الحيط عند رفع حزمة الحطب بشكل مفاجئ وبسرعة كبيرة؟

بحسب القانون الثاني لنيوتن، التسارع الكبير يتطلب وجود قوة محصلة كبيرة، أي أن مقدار قوة الشد يجب أن يكون أكبر بكثير من مقدار وزن الحزمة، وبما أن لكل حيط قوة شد عظمى يتحملها قبل أن ينقطع، فإن انقطاع الحيط هنا يدل على أن قوة الشد في الحيط كانت أكبر مما يتحملة.

- كيف يمكن رفع حزمة الحطب دون أن ينقطع الحيط؟ رفعها بسرعة متجهة ثابتة، أو بتسارع قليل؛ بحيث تكون قوة الشد في الحيط أقل من قوة الشد العظمى التي يتحملها.

● اطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.

● أدر نقاشاً بين أفراد المجموعات للتوصل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.



الشكل (8): (أ) قوة الشد في الحيط مساوية لوزن حزمة الحطب عندما تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفراً. (ب) وعند رفع الحيط إلى أعلى بشكل مفاجئ وبسرعة كبيرة قد ينقطع الحيط.

أنظر الشكل (8/أ) الذي يوضح حزمة حطبٍ مربوطة بخيط؛ حيث تكون قوة الشد في الحيط مساوية لوزن الحزمة عندما تكون ساكنة أو متحركة بسرعة متجهة ثابتة. أما عند تحريك الحزمة بتسارع كبير فإن الحيط قد ينقطع؛ لأن لكل حبل أو سلك قوة شد عظمى يتحملها قبل أن ينقطع، أنظر الشكل (8/ب).

أفكر! في الشكل (8/ب)، عند رفع حزمة الحطب بشكل مفاجئ وبسرعة كبيرة قد ينقطع الحيط. أفسر ذلك. سؤال: كيف يمكن رفع حزمة الحطب دون أن ينقطع الحيط؟

✓ **أنتحق:** ما المقصود بقوة الشد؟ وما العلاقة بين قوتي الشد عند طرفي الحبل؟

الشكل (9): تُستخدم الحبال والأسلاك لنقل القوى عبر مسارات منحنية في أنظمة الكوابح في الدراجات الهوائية.



الفيزياء والحياة
تُستخدم الحبال والأسلاك لنقل القوة عبر مسارات منحنية، مثل: أنظمة المكابح في الدراجات الهوائية. أنظر الشكل (9). وفي هذه الحالات يتم تغيير اتجاه القوة فقط، أما مقدارها فيُقل عن طريق الحبل أو السلك دون تغيير، عند انعدام قوى الاحتكاك وإهمال كتلة الحبل أو السلك في هذه الأنظمة.

20

✓ **أنتحق:**

قوة الشد هي قوة سحب تؤثر في جسم من خلال سلك أو حيط أو حبل، رمزها F_T . وتؤثر هذه القوة في اتجاه طول الحيط أو الحبل أو السلك بعيداً عن طرفيه. وتكون قوى الشد متساوية في جميع أجزاء الحبل وتساوي قوى الشد عند طرفيه.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أخبر الطلبة أن للتحليل دوراً في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة.

الفيزياء والحياة (الطب).

اطلب إلى الطلبة الاستعانة بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة، ومنها شبكة الإنترنت، للحصول على معلومات عن استخدام الحبال والأسلاك في أنظمة التعليق المستخدمة لتثبيت أرجل المرضى في المستشفيات، والبحث عن أنواعها وأهميتها، وإعداد تقرير بذلك.

نشاط سرية قوى الشد والقانون الأول لنيوتن.

لتوضيح أن قوى الشد متساوية عند نهايتي خيط نفذ النشاط الآتي:

ثبت بكرتين ملساءتين على حافة طاولة بحيث تكونا متقابلتين، ثم ضع ميزاناً نابضياً بشكل أفقي عند منتصف سطح الطاولة وبين البكرتين. أحضر خيطين متماثلين بطول مناسب، واربط كل منهما بحامل أثقال، ثم اربط الطرف الحر لكل خيط بإحدى نهايتي الميزان النابضي مروراً بالبكرتين، بحيث يكون حاملاً الأثقال معلقين في الهواء. ضع على كل حامل ثقلًا مقداره (500 g)، واطلب إلى الطلبة على شكل مجموعات، إجابة السؤال الآتي:

– كم تتوقع أن تكون قراءة الميزان؟ برر إجابتك.

إجابات محتملة:

قراءة الميزان تساوي مجموع وزني الثقلين؛ أي (9.8 N).
قراءة الميزان تساوي وزن أحد الثقلين؛ أي (4.9 N).
قراءة الميزان تساوي صفرًا؛ لأن الثقلين يؤثران في الميزان بقوتين متساويتين مقدارًا ومتعاكستين اتجاهًا، والميزان ساكن، فتكون محصلتهما صفرًا بحسب القانون الأول لنيوتن.

الإجابة الصحيحة:

قراءة الميزان تساوي مقدار قوة الشد في الخيط، وتساوي (4.9 N)، وهي تساوي مقدار قوة الشد التي يؤثر بها وزن كل ثقل في الميزان، علمًا بأن وزني الثقلين يؤثران في الميزان بقوتين متساويتين مقدارًا ومتعاكستين اتجاهًا.

تقبل إجابات الطلبة، ثم أدر نقاشًا بين أفراد المجموعات للتوصل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

المثال 4

دلو ماء كتلته وكتلة الماء الذي يحويه (10 kg)، مُعلّق بحبل في الهواء، كما هو موضّح في الشكل (10). إذا كان مقدار أكبر قوة شدّ (F_{Tmax}) يتحملها الحبل قبل أن ينقطع (150 N)، و $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، والدلو في حالة سكون، فأحسب مقدار ما يأتي:



الشكل (10): دلو ماء مُعلّق بحبل.

أ. قوة الشد المؤثرة في الحبل.

ب. قوة الشد في الحبل إذا تحرك الدلو إلى أعلى بتسارع مقداره 2 m/s^2 .

ج. أكبر تسارع يُمكن أن يتحرك به الدلو قبل أن ينقطع الحبل (a_{max}).

المعطيات: $m = 10 \text{ kg}$, $v_i = 0 \text{ m/s}$, $F_{Tmax} = 150 \text{ N}$, $g = 10 \text{ m/s}^2$, $a = 2 \text{ m/s}^2$

المطلوب: $F_{Tmax} = ?$, $a_{max} = ?$

الحل:

نرسم مخطط الجسم الحر للدلو.

أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y ؛ لحساب مقدار قوة الشد.

$$F_T - F_g = ma = 0$$

$$F_T - F_g = mg = 10 \times 10 = 100 \text{ N}$$

ب. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y ؛ لحساب مقدار قوة الشد.

$$F_T - F_g = ma$$

$$F_T - F_g = ma$$

$$= 100 + 10 \times 2 = 120 \text{ N}$$

ج. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y ؛ لإيجاد مقدار أكبر تسارع يُمكن أن يتحرك به الدلو.

$$F_{Tmax} - F_g = ma_{max}$$

$$a_{max} = \frac{F_{Tmax} - F_g}{m}$$

$$= \frac{150 - 100}{10} = 5 \text{ m/s}^2$$

لتدريّة

يستخدم عبد الله دلو ماء مربوطًا بحبل لرفع الماء من بئر. إذا كانت كتلة الدلو وهو مملوء بالماء (15 kg)، ومقدار أكبر قوة شدّ يتحملها الحبل قبل أن ينقطع (180 N)، والحبل مهمل الكتلة، وغير قابل للاستطالة، فأحسب مقدار:

أ. قوة الشد في الحبل إذا سحب عبد الله الدلو إلى أعلى بتسارع مقداره 1.5 m/s^2 .

ب. أكبر تسارع يُمكن أن يُسحب به الدلو قبل أن ينقطع الحبل.

21

لتدريّة

أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y .

$$\sum F_y = ma$$

$$F_T - F_g = ma$$

$$F_T - F_g + ma = mg + ma = 15 \times 10 + 15 \times 1.5$$

$$= 150 + 15 \times 1.5$$

$$= 172.5 \text{ N}$$

ب. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y ؛ لإيجاد مقدار أكبر تسارع يمكن أن يتحرك به الدلو.

$$F_{Tmax} - F_g = ma_{max}$$

$$a_{max} = \frac{F_{Tmax} - F_g}{m}$$

$$= \frac{180 - 150}{15}$$

$$= 2 \text{ m/s}^2$$

بناء المفهوم.

القوة العمودية.

• لبناء مفهوم القوة العمودية لدى الطلبة، وجه انتباههم إلى الشكل (11)، الذي يوضح كتابًا يستقر على سطح طاولة أفقي، ثم اطرح عليهم الأسئلة الآتية:

- ما المقصود بالقوة العمودية؟

هي قوة تلامس يؤثر بها جسم في جسم آخر ملامس له، رمزها F_N ، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بين الجسمين.

- هل القوة العمودية تساوي وزن الجسم دائمًا؟

لا تكون القوة العمودية مساوية دائمًا لوزن الجسم.

- ما القوى المؤثرة في الكتاب في الشكل (11/أ)؟ وما العلاقة بين وزنه والقوة العمودية المؤثرة فيه؟

وزنه إلى أسفل، والقوة العمودية إلى أعلى، وهما متساويتان في المقدار. (الكتاب في حالة اتزان سكوني).

- ما القوى المؤثرة في الكتاب في الشكل (11/ب)؟ وما العلاقة بين وزنه والقوة العمودية المؤثرة فيه؟

يؤثر فيه إلى أسفل: وزنه، وقوة دفع يد الشخص، ويؤثر فيه إلى أعلى القوة العمودية. القوة العمودية أكبر من وزن الكتاب. (الكتاب في حالة اتزان سكوني).

- ما القوى المؤثرة في الكتاب في الشكل (11/ج)؟ وما العلاقة بين وزنه والقوة العمودية المؤثرة فيه؟

يؤثر فيه إلى أعلى: القوة العمودية، وقوة الشد في الحيط، ويؤثر فيه وزنه بقوة إلى أسفل. القوة العمودية أقل من وزن الكتاب. (الكتاب في حالة اتزان سكوني).

القوة العمودية Normal Force

تُسمى قوة التلامس التي يؤثر بها جسم في جسم آخر ملامس له: القوة العمودية Normal force، رمزها F_N ، وتكون دائمًا عمودية على مستوى التلامس بين الجسمين. ويوضح الشكل (11) كيفية تغير القوة العمودية. في الشكل (11/أ)، يتزن الكتاب على سطح أفقي، تحت تأثير قوتين متعاكستين، هما: وزنه، والقوة العمودية، كما هو موضح في مخطط الجسم الحر أسفل الشكل. وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن على الكتاب في اتجاه المحور y ، يمكن التوصل إلى أنهما متساويتان؛ حيث لا توجد حركة في اتجاه هذا المحور:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$F_{N1} - F_g = 0$$

أما في الشكل (11/ب) فإن القوة العمودية المؤثرة في الكتاب أكبر من وزنه؛ حيث يتأثر الكتاب بقوتين إلى أسفل، هما: وزنه، وقوة دفع يد الشخص، بينما يدفع سطح الطاولة الكتاب إلى أعلى (القوة العمودية)، مثلما هو موضح في مخطط الجسم الحر. وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور y ، يمكن التوصل إلى أن:

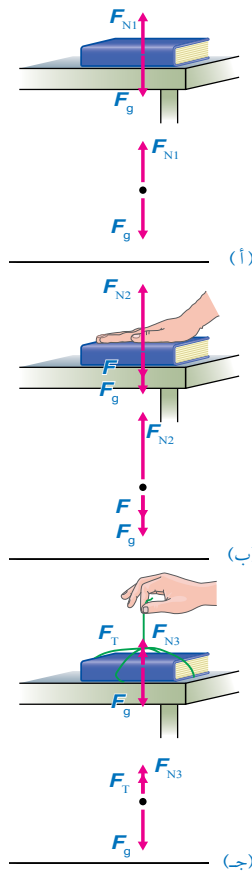
$$F_{N2} - (F + F_g) = ma = 0$$

حيث القوة المحصلة في اتجاه المحور y تساوي صفرًا؛ لأن الكتاب في حالة اتزان سكوني.

$$F_{N2} = F + F_g$$

يوضح الشكل (11/ج) حالة تكون فيها القوة العمودية المؤثرة في الكتاب أقل من وزنه؛ حيث يتأثر الكتاب بقوتين إلى أعلى، هما: القوة العمودية، وقوة الشد في الحيط، في حين يؤثر فيه وزنه بقوة إلى أسفل، كما هو موضح في مخطط الجسم الحر.

✓ **أنتحق:** هل القوة العمودية المؤثرة في جسم تساوي دائمًا وزنه؟ أفسر إجابتي.



الشكل (11): (أ) القوة العمودية المؤثرة في الكتاب تساوي وزنه. (ب) القوة العمودية أكبر من وزن الكتاب. (ج) القوة العمودية أقل من وزن الكتاب. (ملاحظة: الكتاب في حالة اتزان سكوني في الأشكال الثلاثة). سؤال: أجد علاقة لحساب القوة العمودية المؤثرة في الكتاب في الشكل (ج).

إجابة سؤال الشكل (11):

يتأثر الكتاب بقوتين إلى أعلى، هما: القوة العمودية، وقوة الشد في الحيط، في حين يؤثر فيه وزنه بقوة إلى أسفل. والقوة المحصلة في اتجاه المحور y تساوي صفرًا؛ لأن الكتاب في حالة اتزان سكوني، وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن عليه في اتجاه المحور y ، نتوصل إلى أن القوة العمودية المؤثرة في الكتاب أقل من وزنه.

$$F_{N3} + F - F_g = ma = 0$$

$$F_{N3} = F_g - F$$

✓ **أنتحق:**

لا تكون القوة العمودية مساوية دائمًا لوزن الجسم؛ فعندما يوضع الجسم على مستوى أفقي بحيث تؤثر فيه قوة إضافية إلى أعلى تكون القوة العمودية أقل من وزنه، بينما تكون القوة العمودية أكبر من وزنه عندما تؤثر فيه قوة إلى أسفل، وإذا كان الجسم موضوع على سطح مائل فإن القوة العمودية تكون أقل من وزنه.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج

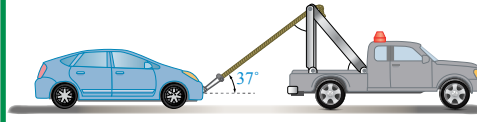
والمواد الدراسية

* التفكير: التحليل.

أخبر الطلبة أن للتحليل دورًا في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة.

المثال 5

تسحب رافعة سيارة كتلتها (900 kg) من السكون على طريق أفقي أملس بقوة شد مقدارها (2000 N) بحبل يميل على الأفقي بزاوية (37°)، كما هو موضح في الشكل (12). إذا علمت أن الحبل مهمل الكتلة، وغير قابل للاستطالة، و $\cos 37^\circ = 0.8$ ، $\sin 37^\circ = 0.6$ ، $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، فأحسب مقدار:



الشكل (12): رافعة تسحب سيارة على طريق أفقي.

- المركبتين الأفقية والعمودية لقوة الشد في الحبل.
- القوة العمودية المؤثرة في السيارة.
- تسارع السيارة.

المعطيات:

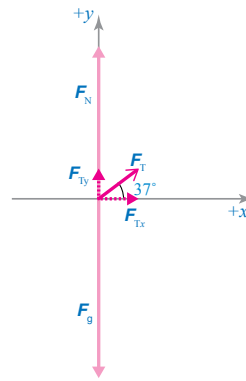
$$m = 900 \text{ kg}, \theta = 37^\circ, F_T = 2000 \text{ N}, 37^\circ, g = 10 \text{ m/s}^2, \sin 37^\circ = 0.6, \cos 37^\circ = 0.8$$

المطلوب:

$$F_{Tx} = ?, F_{Ty} = ?, F_N = ?, a_x = ?$$

الحل:

أرسم مخطط الجسم الحر للسيارة. مع اعتبار الاتجاه الموجب إلى اليمين (في اتجاه الحركة الأفقية).



أ. لإيجاد المركبة الأفقية لقوة الشد في الحبل نستخدم العلاقة الآتية:

$$F_{Tx} = F_T \cos \theta = 2000 \cos 37^\circ = 2000 \times 0.8 = 1600 \text{ N}$$

لإيجاد المركبة العمودية لقوة الشد في الحبل؛ نستخدم العلاقة الآتية:

$$F_{Ty} = F_T \sin \theta = 2000 \sin 37^\circ = 2000 \times 0.6 = 1200 \text{ N}$$

ب. لا توجد حركة في اتجاه المحور الرأسي؛ لذا تكون القوة المحصلة في اتجاهه صفراً.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_{Ty} + F_N - F_g = 0$$

$$F_N = F_g - F_{Ty}$$

23

المائل في اتجاه المحور (-y)، وتؤثر القوة العمودية في الجسم في اتجاه المحور (+y)، وتكون هاتان القوتان متساويتين مقداراً ومتعاكستين اتجاهًا.

- تنويه: الرجاء الانتباه إلى أن المحورين (+y) و (-y) عموديان على المستوى المائل وليس في الاتجاه الرأسي.

مثال إضافي

صندوق كتلته (30 kg) يستقر على سطح أفقي. إذا علمت أن $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، فأجب عما يأتي:

- أجد مقدار وزن الصندوق.
- أجد مقدار القوة العمودية المؤثرة في الصندوق.
- هل مقدار القوة العمودية المؤثرة في الصندوق مساوية لوزنه، أم أكبر، أم أقل منه؟ أفسر إجابتي.

الحل:

أ.

$$\begin{aligned} F_g &= mg \\ &= (30)(10) \\ &= 300 \text{ N} \end{aligned}$$

ب.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_N - F_g &= 0 \\ F_N &= F_g \\ &= 300 \text{ N} \end{aligned}$$

$$F_N = 300 \text{ N}, +y$$

ج. مقدار القوة العمودية المؤثرة في الصندوق يساوي وزنه؛ حيث يستقر الصندوق على سطح أفقي، ويؤثر فيه وزنه والقوة العمودية فقط.

أخطاء شائعة

القوة العمودية ليست قوة رد فعل لوزن الجسم؛ فعند وضع جسم على سطح فإن وزنه أو مركبة وزنه تؤثر بقوة في السطح، فيؤثر السطح في الجسم بقوة مساوية في المقدار للقوة التي يؤثر بها الجسم فيه، ومعاكسة لها في الاتجاه (القوة العمودية). ويوجد حالات لا تكون فيها القوة العمودية ناشئة عن وزن الجسم؛ فعندما تدفع كتاب على جدار الغرفة فإن القوة العمودية ناشئة عن قوة دفعك للكتاب نحو الجدار.

المناقشة

- راجع الطلبة في تعريف القوة العمودية، ثم اعرض على السبورة صوراً أو رسوماً لأجسام مختلفة، بعضها على سطوح أفقية، وبعضها على مستويات مائلة ملساء، ثم اطلب إليهم تفسير عدم سقوط الأجسام الموضوعة على سطوح أفقية إلى أسفل.
- القوة المحصلة المؤثرة في كل منها صفر؛ حيث يؤثر فيها وزنها إلى أسفل ويؤثر فيها السطح الأفقي بقوة إلى أعلى (القوة العمودية)، فتبقى مستقرة على السطح الأفقي.
- ثم اسألهم:

– ماذا يحدث للأجسام الموضوعة على المستويات المائلة الملساء؟

تنزلق إلى أسفل هذه المستويات.

– لماذا؟

يؤثر في كل منها مركبة وزنه الموازية للمستوى المائل نحو أسفل المستوى، فتنزلق.

– لماذا لا يتحرك الجسم في الاتجاه العمودي على المستوى المائل؟

القوة المحصلة في هذا الاتجاه صفر؛ حيث تؤثر فيه مركبة الوزن العمودية على المستوى

$$\begin{aligned} F_N &= mg - 1200 \\ &= (900)(10) - 1200 \\ &= 9000 - 1200 = 7800 \text{ N} \\ F_N &= 7800 \text{ N}, +y \end{aligned}$$

ألاحظ أن مقدار القوة العمودية أقل من مقدار الوزن.
ج. لإيجاد مقدار التسارع نستخدم العلاقة الآتية، مع مراعاة أن السطح الأفقي أملس:

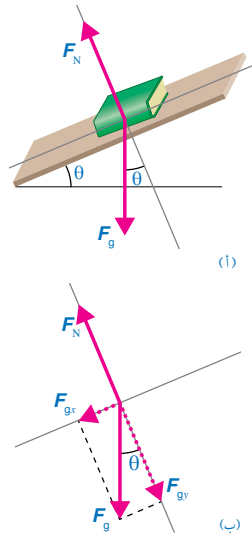
$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma_x = F_{Tx} \\ ma_x &= 1600 \text{ N} \\ a_x &= \frac{1600}{900} = 1.78 \text{ m/s}^2 \\ a_x &= 1.78 \text{ m/s}^2, +x \end{aligned}$$

لشركه

أعيد حل المثال السابق إذا أصبحت زاوية ميلان الحبل بالنسبة للأفقي (53°)، إذا علمت أن:
 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 53^\circ = 0.8$, $\cos 53^\circ = 0.6$

المستوى المائل Inclined Plane

عند وضع جسم على مستوى مائل، فإن وزنه لا يؤثر عمودياً في سطح المستوى، بل يصنع زاوية معه، أنظر الشكل (13/أ)، الذي يوضح كتاباً موضوعاً على مستوى مائل، يميل على الأفقي بزاوية (θ). ومن المناسب في مثل هذه المسائل، اختيار محاور الإسناد بحيث يكون المحور (x) في اتجاه يوازي المستوى المائل، ويكون المحور (y) عمودياً عليه. لذا، يلزم تحليل وزن الجسم إلى مركبتين: إحداها عمودية على المستوى المائل ($F_{gy} = F_g \cos \theta$)، والأخرى موازية له ($F_{gx} = F_g \sin \theta$)، أنظر الشكل (13/ب). وهنا تكون القوة العمودية أقل من وزن الجسم.



الشكل (13): (أ) كتاب موضوع على مستوى مائل. (ب) يبين مخطط الجسم الحر تحليل وزن الكتاب إلى مركبتين: مركبة عمودية على المستوى المائل، ومركبة موازية للمستوى المائل.

اعتبار الاتجاه الموجب إلى اليمين.

أ. لإيجاد المركبة الأفقية لقوة الشد في الحبل نستخدم العلاقة الآتية:

$$\begin{aligned} F_{Tx} &= F_T \cos \theta \\ &= 2000 \cos 53^\circ = 2000 \times 0.6 \\ &= 1200 \text{ N} \end{aligned}$$

لإيجاد المركبة العمودية لقوة الشد في الحبل نستخدم العلاقة الآتية:

$$\begin{aligned} F_{Ty} &= F_T \sin \theta \\ &= 2000 \sin 53^\circ = 2000 \times 0.8 \\ &= 1600 \text{ N} \end{aligned}$$

ب. لا توجد حركة في اتجاه المحور الرأسي؛ لذا تكون القوة المحصلة في الاتجاه الرأسي صفراً.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_{Ty} + F_N - F_g &= 0 \\ F_N &= F_g - F_{Ty} \\ &= mg - 1600 \\ &= (900)(10) - 1600 = 9000 - 1600 \\ &= 7400 \text{ N} \\ F_N &= 7400 \text{ N}, +y \end{aligned}$$

ج. لإيجاد التسارع الأفقي نستخدم العلاقة الآتية، مع مراعاة أن السطح الأفقي أملس:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma_x = F_{Tx} \\ ma_x &= 1200 \text{ N} \\ a_x &= \frac{1200}{900} \\ &= 1.33 \text{ m/s}^2 \\ a_x &= 1.33 \text{ m/s}^2, +x \end{aligned}$$

التعزيز

- يساعد رسم مخطط الجسم الحر الطلبة على تحديد القوى المؤثرة في جسم موضوع على مستوى مائل، وتحليل وزن الجسم إلى مركبتين: إحداها عمودية على المستوى المائل، والأخرى موازية له.
- ارسم مستوى مائلاً أملساً على السبورة، ثم ارسم صندوقاً عليه، ثم اطلب إلى كل طالب رسم مخطط الجسم الحر له، وإلى تحديد القوى المؤثرة فيه. يؤثر فيه قوتان: وزنه (رأسياً إلى أسفل)، والقوة العمودية (عمودية على المستوى المائل).
- ثم اطلب إليهم تحديد القوة التي تسبب انزلاق الصندوق على المستوى المائل. مركبة الوزن الموازية للمستوى المائل.

يتزلج يوسف على منحدر ثلجي يميل على الأفقي بزاوية 37° . إذا علمت أن كتلة يوسف 60 kg ، و $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، $\sin 37^\circ = 0.6$ ، $\cos 37^\circ = 0.8$ ، وباعتبار المنحدر الثلجي أملس، فاحسب مقدار:
أ. القوة العمودية المؤثرة في يوسف.
ب. تسارع يوسف.

الحل:

بداية، نحلل وزن يوسف إلى مركبتين متعامدتين F_{gx} و F_{gy} ، كما يأتي:

$$\begin{aligned} F_{gx} &= F_g \sin \theta \\ &= mg \sin 37^\circ \\ &= 60 \times 10 \times 0.6 \\ &= 360 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_{gy} &= F_g \cos \theta \\ &= mg \cos 37^\circ \\ &= 60 \times 10 \times 0.8 \\ &= 480 \text{ N} \end{aligned}$$

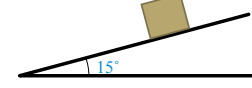
أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على يوسف في اتجاه المحور y ؛ لإيجاد القوة العمودية المؤثرة فيه، مع مراعاة أنه لا توجد حركة في اتجاه هذا المحور.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_N - F_{gy} &= 0 \\ F_N &= F_{gy} \\ F_N &= 480 \text{ N} \end{aligned}$$

ب. ينزل يوسف إلى أسفل المستوى المائل، ولحساب تسارعه نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور x .

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma \\ F_{gx} &= ma \\ a &= \frac{F_{gx}}{m} \\ &= \frac{360}{60} \\ &= 6 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ينزل صندوق كتلته (4 kg) إلى أسفل مستوى مائل أملس يميل على الأفقي بزاوية (15°) ، كما هو موضح في الشكل (14). إذا علمت أن: $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، $\sin 15^\circ = 0.26$ ، $\cos 15^\circ = 0.97$ ، فاحسب مقدار:



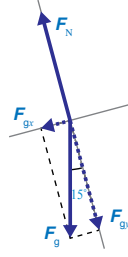
الشكل (14): صندوق على مستوى مائل أملس.

أ. القوة العمودية المؤثرة في الصندوق.
ب. تسارع الصندوق.

المعطيات: $m = 4 \text{ kg}$ ، $\theta = 15^\circ$ ، $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، $\sin 15^\circ = 0.26$ ، $\cos 15^\circ = 0.97$

المطلوب: $F_N = ?$ ، $a = ?$

الحل:



- نرسم مخطط الجسم الحر للصندوق، مع اختيار المحور x في اتجاه يوازي المستوى المائل، والمحور y عمودي عليه، مثلما هو موضح.
- اعتبار أن اتجاه انزلاق الصندوق إلى أسفل المستوى المائل هو الاتجاه الموجب $(+x)$.
- قبل البدء بحل المسألة نُحلل وزن الصندوق إلى مركبتين متعامدتين: F_{gx} و F_{gy} ، مثلما هو موضح في مخطط الجسم الحر، وكما يأتي:

$$\begin{aligned} F_{gx} &= F_g \sin \theta \\ &= mg \sin 15^\circ = 4 \times 10 \times 0.26 = 10.4 \text{ N} \\ F_{gy} &= F_g \cos \theta \\ &= mg \cos 15^\circ = 4 \times 10 \times 0.97 = 38.8 \text{ N} \end{aligned}$$

أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الصندوق في اتجاه المحور y ؛ لإيجاد مقدار القوة العمودية المؤثرة فيه، مع مراعاة أنه لا توجد حركة في اتجاه هذا المحور.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_N - F_{gy} &= 0 \\ F_N &= F_{gy} \\ F_N &= 38.8 \text{ N} \end{aligned}$$

ب. ينزل الصندوق إلى أسفل المستوى المائل، ولحساب مقدار تسارعه نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور x ، وباعتبار أن اتجاه الحركة هو الاتجاه الموجب.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma \\ F_{gx} &= ma \\ a &= \frac{F_{gx}}{m} = \frac{10.4}{4} \\ &= 2.6 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

باعتبار اتجاه سحب الصندوق إلى أعلى المستوى المائل هو الاتجاه الموجب (+x).

قبل البدء بحل المسألة نحلل وزن الصندوق إلى مركبتين متعامدتين: F_{gx} و F_{gy} ، كما يأتي:

$$\begin{aligned} F_{gx} &= F_g \sin \theta \\ &= mg \sin 30^\circ \\ &= 20 \times 10 \times 0.5 \\ &= 100 \text{ N} \\ F_{gy} &= F_g \cos \theta \\ &= mg \cos 30^\circ \\ &= 20 \times 10 \times 0.87 \\ &= 174 \text{ N} \end{aligned}$$

أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الصندوق في اتجاه المحور y؛ لإيجاد مقدار القوة العمودية المؤثرة فيه، مع مراعاة أنه لا توجد حركة في اتجاه هذا المحور.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_N - F_{gy} &= 0 \\ F_N &= F_{gy} \\ F_N &= 174 \text{ N} \end{aligned}$$

ب. يسحب الصندوق إلى أعلى المستوى المائل بسرعة ثابتة، أي أن القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفراً. ولحساب مقدار قوة الشد المؤثرة فيه نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور x.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma = 0 \\ F_T - F_{gx} &= 0 \\ F_T &= F_{gx} \\ &= 100 \text{ N} \end{aligned}$$

المناقشة

• اطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

- ما المقصود بقوة الاحتكاك؟

قوة تلامس تعيق حركة الأجسام الصلبة المتلامسة بعضها فوق بعض، وتُمنع حركتها، وتؤثر بشكل مواز لسطحي التلامس بين الجسمين.

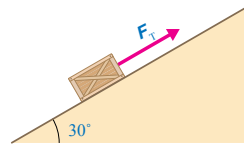
- متى تنشأ قوة الاحتكاك بين سطحيين؟

تنشأ هذه القوة بين سطحي الجسمين المتلامسين عند

يوضح الشكل (15) صندوقاً كتلته (20 kg)، يُسحبُ بحبلٍ غير قابلٍ للاستطالة إلى أعلى مستوى مائلٍ أملسٍ بسرعةٍ ثابتةٍ. إذا كان الحبل موازاً لسطح المستوى، وزاوية ميلان المستوى على الأفقي (30°)، و $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، $\sin 30^\circ = 0.5$ ، $\cos 30^\circ = 0.87$ ، فأحسب مقداراً:

أ. القوة العمودية المؤثرة في الصندوق.

ب. قوة الشد المؤثرة في الصندوق.



الشكل (15): صندوق يُسحبُ بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ إلى أعلى مستوى مائلٍ.

قوة الاحتكاك Friction Force

عند دفع مكعب خشبي على سطح طاولة أفقي ثم إفلاته، فإنه ينزلق عليه، ثم لا يلبث أن يتوقف. وبحسب القانون الأول لنيوتن، لا بد من وجود قوة محصلة أثرت في المكعب أدت إلى تغيير حالته الحركية. وبحسب القانون الثاني لنيوتن، يجب أن تؤثر هذه القوة المحصلة في الصندوق بعكس اتجاه حركته، وتعيقها.

تنشأ هذه القوى التي تعيق حركة الأجسام نتيجة حركة مادة صلبة بالنسبة إلى مادة صلبة، أو حركة مواد صلبة وموائع (سوائل وغازات) نسبة إلى بعضها، أو بين طبقات الموائع المتحركة. ومن أمثلة ذلك: انزلاق إطارات سيارة على سطح الطريق، وحركة غواصة داخل مياه البحر، وتحليق طائرة في الهواء، وانزلاق لوح تزلج على سطح الماء في رياضة التزلج.

سوف ندرس هنا حركة الأجسام الصلبة نسبة إلى بعضها، حيث تُسمى القوة المعيقة في هذه الحالة قوة الاحتكاك Friction force؛ وهي قوة تلامس تعيق حركة الأجسام الصلبة المتلامسة بعضها فوق بعض، وتُمنع حركتها، وتؤثر بشكل مواز لسطحي التلامس بين الجسمين. وتنشأ هذه القوة بين سطحي الجسمين المتلامسين عند تحريك أو محاولة تحريك بعضهما فوق بعض، أنظر الشكل (16/أ). عند التأثير بقوة في الصندوق الموضح في الشكل (16/أ)؛ لمحاولة تحريكه على سطح أفقي خشن، تنشأ قوة احتكاك بين سطحيهما

أعدّ فلمًا قصيرًا باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح قوة الاحتكاك، وأحرص على أن يشتمل الفلم على مفهوم كل من: قوة الاحتكاك السكوني، وقوة الاحتكاك الحركي، وعلى صوراً لأمثلة توضيحية، ثم أشاركه معلّمي وزملائي في الصف.

تحريك أو محاولة تحريك بعضهما فوق بعض.

- ما سبب نشوء قوة الاحتكاك بين سطحي الجسمين المتلامسين؟

نتيجة خشونتتهما، حيث يظهر الفحص الدقيق للسطحين أنها خشنان، حتى لو بدا أنهما أملسان عند لمسهما.

- ماذا يلزم لتحريك الصندوق؟

لتحريك الصندوق يجب التأثير فيه بقوة دفع أو سحب لرفع نتوءات سطحه فوق نتوءات السطح السفلي؛ لكي يتخطاها من خلال الارتطام بها أو كسرها، أو كليهما معاً.

- ما الذي يوضحه الشكل (17/ج)؟

يوضح الشكل أنه بزيادة مقدار قوة الشد الأفقية يزداد أيضًا مقدار قوة الاحتكاك السكوني حتى يصل إلى قيمة عظمى.

- متى تصل قوة الاحتكاك السكوني إلى أقصى قيمة لها؟ عندما يكون الجسم على وشك الحركة.

- وماذا تسمى قوة الاحتكاك السكوني عندئذ؟

تسمى قوة الاحتكاك السكوني العظمى ($f_{s,max}$).

✓ **أنتحق:**

قوة تلامس تعيق حركة الأجسام الصلبة المتلامسة بعضها فوق بعض، وتمانع حركتها، وتؤثر بشكل مواز لسطحي التلامس بين الجسمين.

◀ **المناقشة:**

• اطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

- ما المقصود بقوة الاحتكاك السكوني؟

هي قوة تمانع حركة جسمين ساكنين متلامسين عند محاولة تحريك بعضهما فوق بعض رمزا (f_s).

- علام يعتمد مقدار قوة الاحتكاك السكوني بين سطحي جسمين متلامسين؟

طبيعة السطحين المتلامسين، والقوة العمودية المتبادلة بينهما.

- هل تعتمد قوة الاحتكاك السكوني على مساحة السطحين المتلامسين؟

لا تعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين.

- هل قوة الاحتكاك السكوني المؤثرة في جسم ثابتة أم متغيرة؟

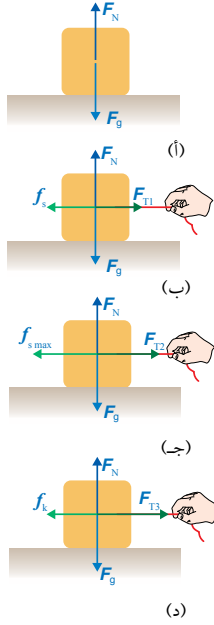
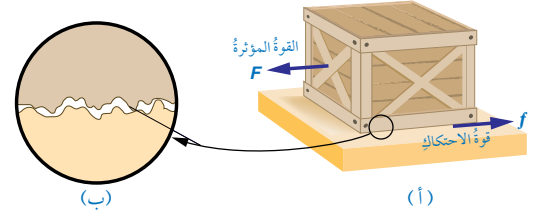
متغيرة، حيث تتراوح قيمتها بين الصفر، وقيمة عظمى عندما يكون الجسم على وشك الحركة.

• لا تستبعد أيًا من إجابات الطلبة، وشجعهم على طرح الأسئلة، ونقد إجابات بعضهم، واحترام الرأي الآخر.

• حفز الطلبة إلى مناقشة كيفية تغير مقدار قوة الاحتكاك السكوني بتغير مقدار القوة المؤثرة.

يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني بزيادة مقدار القوة المؤثرة، وتكون العلاقة بين مقداريهما خطية طردية، حتى يصبح مقدارها أكبر ما يمكن عندما يكون الجسم على وشك الحركة.

الشكل (16): توضيح مبسط لآلية حدوث الاحتكاك بين سطحي تلامس جسمين. (أ) عند التأثير بقوة في الصندوق لتحريكه تنشأ قوة احتكاك معاكسة لاتجاه القوة المؤثرة. (ب) ويظهر الفحص الدقيق للسطحين المتلامسين أنَّهما خشنان.



الشكل (17): (أ) $f_s = F_{T1}$ ، (ب) $f_s = 0$ (ج) الصندوق على وشك الحركة ($f_s = F_{T2}$). (د) بعد تحريك الصندوق تؤثر فيه قوة احتكاك حركي (f_k)، ويكون مقدارها أقل من مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى.

27

المتلامسين، نتيجة خشونتتهما، حيث يُظهر الفحص الدقيق للسطحين أنَّهما خشنان، حتى لو بدا أنَّهما أملسان عند لمسهما، أنظر الشكل (16/ب). ولتحريك الصندوق يجب التأثير فيه بقوة دفع أو سحب لرفع نتوءات سطحه فوق نتوءات السطح السفلي؛ لكي يتخطاها من خلال الارتطام بها أو كسرها، أو كليهما معًا.

✓ **أنتحق:** ما المقصود بقوة الاحتكاك؟ وفي أي اتجاه تؤثر؟

قوة الاحتكاك: السكوني، والحركي Static and Kinetic Frictional Forces

هناك نوعان لقوة الاحتكاك: قوة الاحتكاك السكوني، وقوة الاحتكاك الحركي.

قوة الاحتكاك السكوني Static Frictional Force

هي قوة تمانع حركة جسمين ساكنين متلامسين عند محاولة تحريك بعضهما فوق بعض. وتظهر هذه القوة استجابة لقوة أخرى تحاول تحريك الجسم الساكن. وفهم هذه القوة؛ أنظر الشكل (17) الذي يبين صندوقًا على سطح أفقي خشني.

في الشكل (17/أ) الصندوق ساكن، ولا توجد قوة تحاول تحريكه؛ لذا لا توجد قوة احتكاك تؤثر فيه. أما في الشكل (17/ب) فتؤثر قوة شد أفقية صغيرة (F_{T1}) في الصندوق جهة اليمين، غير أنه ساكن لا يتحرك؛ أي أن القوة المحصلة المؤثرة فيه صفر، وبحسب

◀ **استخدام الصور والأشكال.**

• وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (17)، ثم أسألهم:

- هل يوجد قوة احتكاك تؤثر في الصندوق في الشكل (17/أ)؟

لا؛ لأن الصندوق ساكن، ولا توجد قوة تحاول تحريكه؛ لذا لا توجد قوة احتكاك تؤثر فيه.

- هل يوجد قوة احتكاك تؤثر في الصندوق في الشكل (17/ب)؟ نعم. ما نوعها؟

قوة احتكاك سكوني؛ لأن الصندوق ساكن. ما مقدارها؟

تساوي مقدار قوة الشد الأفقية (F_{T1}) وتعاكسها في الاتجاه. لماذا؟

لأن قوة الشد الأفقية (F_{T1}) تؤثر في الصندوق جهة اليمين، وهو ساكن لا يتحرك؛ أي أن القوة المحصلة المؤثرة فيه صفر، وبحسب القانون الأول لنيوتن، لا بد من وجود قوة أفقية تؤثر في الصندوق، تكون معاكسة لاتجاه قوة الشد، وتساويها مقدارًا.

- ما الذي يحدث لمقدار قوة الاحتكاك السكوني بزيادة مقدار قوة الشد الأفقية؟

بزيادة مقدار قوة الشد يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني ما دام الصندوق ساكنًا؛ حيث القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

استخدام الصور والأشكال.

- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (18)، الذي يوضح منحنى (قوة الاحتكاك - القوة الأفقية المؤثرة) لجسم موضوع على سطح أفقي خشن، وملاحظة شكل المنحنى، ثم اسألهم: - ما الذي يبينه الجزء الأول من المنحنى؟

يبين تأثير قوة الاحتكاك السكوني.

- ما نوع العلاقة بين مقدار قوة الاحتكاك السكوني ومقدار القوة الأفقية المؤثرة في الجسم؟

علاقة خطية طردية؛ حيث يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني طردياً بزيادة مقدار القوة الأفقية المؤثرة في الجسم.

- ماذا تسمى أكبر قيمة لقوة الاحتكاك السكوني؟

قوة الاحتكاك السكوني العظمى ($f_{s,max}$).

- متى تكون قوة الاحتكاك السكوني عظمى؟

عندما يكون الجسم على وشك الحركة.

- ما العلاقة بين قوة الاحتكاك السكوني والقوة الأفقية المؤثرة في الجسم؟

متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

- هل قوة الاحتكاك السكوني ثابتة؟

لا؛ يتغير مقدار قوة الاحتكاك السكوني بتغير مقدار القوة الأفقية المؤثرة في الجسم.

- ما الذي يحدث للجسم عندما يصبح مقدار القوة الأفقية المؤثرة أكبر من القيمة العظمى لقوة الاحتكاك السكوني؟

يبدأ الجسم الحركة.

- ما الذي يبينه الجزء الثاني من المنحنى؟

يبين تأثير قوة الاحتكاك الحركي.

- هل قوة الاحتكاك الحركي ثابتة أم متغيرة؟

قوة الاحتكاك الحركي ثابتة بخلاف قوة الاحتكاك السكوني.

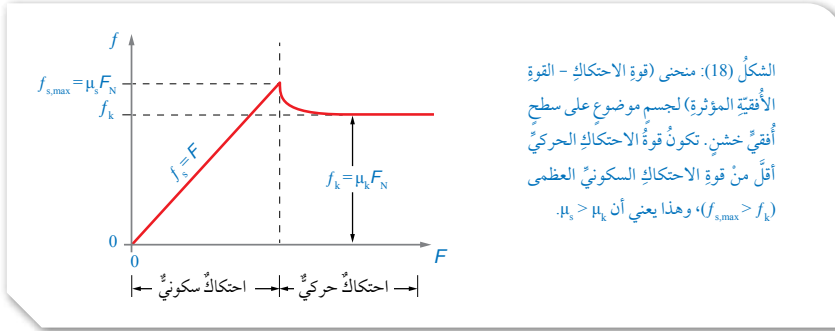
- أيهما أكبر: قوة الاحتكاك السكوني العظمى أم قوة الاحتكاك الحركي؟

قوة الاحتكاك السكوني العظمى.

إهداء للمعلم

عند التأثير بقوة في جسم لمحاولة تحريكه على سطح أفقي خشن، تنشأ قوة احتكاك بين سطحي الجسمين المتلامسين، يساهم في ظهورها عاملان:

- العامل الأول: خشونة سطحي الجسمين المتلامسين، حيث يظهر الفحص الدقيق لهما أنها خشنان،



القانون الأول لنيوتن، لا بُدَّ من وجود قوة أفقية تؤثر في الصندوق، تكون معاكسة لاتجاه قوة الشد، وتساويها مقداراً. تُسمى هذه القوة قوة الاحتكاك السكوني Static frictional force، رمزها (f_s)، تؤثر في سطحي جسمين متلامسين عندما لا يتحرك أحدهما بالنسبة إلى الآخر. بزيادة مقدار قوة الشد يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني ما دام الصندوق ساكناً؛ حيث القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفراً. وعند زيادة مقدار قوة الشد في الشكل (17/ج) يزداد أيضاً مقدار قوة الاحتكاك السكوني حتى يصل إلى قيمة عظمى، عندما يكون الجسم على وشك الحركة، تسمى قوة الاحتكاك السكوني العظمى ($f_{s,max}$). أنظر الشكل (18) الذي يوضح منحنى (قوة الاحتكاك - القوة الأفقية المؤثرة) لجسم موضوع على سطح أفقي خشن. يبين الجزء الأول من المنحنى تأثير قوة الاحتكاك السكوني؛ حيث يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني طردياً بزيادة مقدار القوة الأفقية المؤثرة في الجسم، حتى يصل إلى قيمة عظمى ($f_{s,max}$)، وألاحظ أن قوة الاحتكاك السكوني تساوي القوة الأفقية المؤثرة في الجسم التي تحاول تحريكه في المقدار، وتعاكسها في الاتجاه. وعندما يصبح مقدار القوة الأفقية المؤثرة أكبر من القيمة العظمى لقوة الاحتكاك السكوني يبدأ الجسم الحركة، وعندها تؤثر فيه قوة الاحتكاك الحركي بدلاً من قوة الاحتكاك السكوني. علام تعتمد قوة الاحتكاك السكوني؟ للإجابة عن ذلك، أنفذ التجربة الآتية؛ لاستقصاء العوامل التي يعتمد عليها مقدار قوة الاحتكاك عملياً.

حتى لو بدا أنهما أملسان عند لمسهما. ولتحريك الجسم يجب التأثير فيه بقوة دفع أو سحب لرفع نتوءات سطحه فوق نتوءات السطح السفلي، لكي يتخطاها من خلال الارتطام بها أو كسرها، أو كليهما معاً.

ب. العامل الثاني: قوى التجاذب الكهروستاتيكية بين جزيئات السطحين عند نقاط تلامسهما، خاصة عندما يكونا ساكنين؛ حيث ينشأ عنها قوى تلاصق بين جزيئاتهما، تعيق حركتي السطحين، وتمنع انزلاق بعضهما على بعض. وهذا يفسر سبب اعتماد قوة الاحتكاك على طبيعة (نوع مادة) السطحين المتلامسين؛ حيث يتغير مقدار قوى التلاصق بتغير نوعي مادتيهما.

وبمجرد حركة الجسم، يقل عدد نقاط التلامس بين السطحين (يقل عدد الجزيئات التي تساهم في قوى التلاصق)، فتقل قوة الاحتكاك. ويفسر العامل الثاني سبب إمكانية وجود قوة احتكاك حتى عندما يكون سطحا الجسمين المتلامسين أملسين.

التجربة 2

العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي

الهدف:

- استقصاء العلاقة بين قوة الاحتكاك السكوني العظمى، والقوة العمودية.
- استقصاء العلاقة بين قوة الاحتكاك السكوني العظمى، ومساحة سطحي التلامس.
- استقصاء العلاقة بين قوة الاحتكاك السكوني العظمى، ونوع مادة (طبيعة) السطحين المتلامسين.
- زمن التنفيذ: 40 دقيقة.

إرشادات السلامة:

- وجه الطلبة إلى ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، واطلب إليهم توخي الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على أقدامهم.
- المهارات العلمية: القياس، المقارنة، الاستنتاج، التحليل، استعمال المتغيرات، تحليل البيانات وتفسيرها، التجريب.

الإجراءات والتوجيهات:

- يجب أن يكون الخيط الواصل بين خطاف القطعة الخشبية وخطاف الميزان النابضي أفقيًا، وموازيًا لمستوى سطح الطاولة.
- يجب أخذ قراءة الميزان النابضي في اللحظة التي تبدأ فيها القطعة الانزلاق، والتي تمثل قوة الاحتكاك السكوني العظمى ($f_{s,max}$).
- عند دراسة العلاقة بين مقدار قوة الاحتكاك السكوني وطبيعة السطحين المتلامسين، يمكن تغيير نوع المادة بتغليف القطعة الخشبية بورق تغليف بلاستيكي، أو ورق صنفرة، أو ورق ألومنيوم - بدلاً من تغذية سطح الطاولة أسفل القطعة الخشبية بتلك المادة.
- اطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية.

4. يمثل ميل المنحنى مقدار ثابت، وهو يساوي معامل الاحتكاك السكوني للخشب فوق الخشب، وأستنتج أن مقدار معامل الاحتكاك السكوني ثابت، لا يتغير بتغير كتلة الجسم.

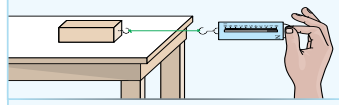
5. يعتمد مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى بين سطحين على عاملين، هما: مقدار القوة العمودية (يتناسب طرديًا معها عند ثبات طبيعة السطحين المتلامسين)، وطبيعة السطحين المتلامسين؛ حيث أنه بتغيير طبيعة السطحين المتلامسين يتغير مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى. كما لاحظت أن مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى لا يعتمد على مساحة سطحي التلامس؛ فهي لم تتغير بتغير المساحة.

6. يعتمد مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحين على عاملين، هما: مقدار القوة العمودية (يتناسب طرديًا معها عند ثبات طبيعة السطحين المتلامسين)، وطبيعة السطحين المتلامسين؛ حيث أنه بتغيير طبيعة السطحين المتلامسين يتغير مقدار قوة الاحتكاك الحركي بينهما. كما لاحظت أن مقدار قوة الاحتكاك الحركي لا يعتمد على مساحة سطحي التلامس؛ فهي لم تتغير بتغير المساحة.

التجربة 2

العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي

المواد والأدوات: قطعة خشبية على شكل متوازي مستطيلات مَزَوَّدة بخطاف، ثقلان مقدار كل منهما (200 g)، ميزان إلكتروني، خيط طوله (1 m) تقريبيًا، ورق تنظيف، ميزان نابضي، ورق تغليف بلاستيكي، ورق صنفرة، ورق (رقائق) ألومنيوم، ورقة رسم بياني.



إرشادات السلامة: ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، والحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

خطوات العمل:

- 1 بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنظف أسطح القطعة الخشبية وسطح الطاولة، وتأكد أنه أفقي.
- 2 أقيس كتلة القطعة الخشبية (m_{block})، وأدونها في الجدول (1) للمحاولة (1)، ثم أجعل أصغر أوجهها ملاصقًا لسطح الطاولة.
- 3 أربط أحد طرفي الخيط بخطاف القطعة الخشبية، وطرفه الآخر بخطاف الميزان النابضي، وأحرص على أن يكون الخيط الواصل بينهما أفقيًا، وموازيًا لمستوى سطح الطاولة.
- 4 أقيس: اسحب الميزان أفقيًا ببضع بقوة صغيرة المقدار، ثم أزيد تدريجيًا، وفي أثناء ذلك يراقب أحد أفراد مجموعتي القطعة الخشبية، ويراقب آخر الميزان؛ لإعطاء إشارة بأخذ قراءته في اللحظة التي تبدأ فيها القطعة الانزلاق، وأدونها في عمود قوة الاحتكاك السكوني العظمى ($f_{s,max}$) في الجدول (1) للمحاولة (1).
- 5 أقيس: أرجع القطعة الخشبية إلى موقعها الابتدائي، ثم أضغ عليها ثقل (200 g)، وأكرر الخطوة السابقة، وأدوّن الكتلة الجديدة للقطعة الخشبية، وقراءة الميزان للمحاولة (2) في الجدول (1).
- 6 أقيس: أكرر الخطوة السابقة مرة أخرى بإضافة ثقل (200 g) على سطح القطعة الخشبية، وأدوّن البيانات التي أحصل عليها للمحاولة (3) في الجدول (1).
- 7 أستنتج: أكرر التجربة باستخدام القطعة الخشبية نفسها دون وضع أثقال عليها؛ لتثبيت كتلتها، وتغيير وجهها الملامس لسطح الطاولة؛ لتغيير مساحة سطح التلامس (4)؛ لاستنتاج العلاقة بين مقدار قوة الاحتكاك السكوني ومساحة السطحين المتلامسين، ثم أدوّن البيانات في الجدول (2).
- 8 أستنتج: أكرر التجربة باستخدام القطعة الخشبية نفسها دون وضع أثقال عليها، وتغيير نوع مادة السطح الذي توضع عليه، بتغطية سطح الطاولة أسفل القطعة الخشبية بورق تغليف بلاستيكي، أو ورق صنفرة، أو ورق (رقائق) ألومنيوم، أو غيرها؛ لاستنتاج العلاقة بين مقدار قوة الاحتكاك السكوني وطبيعة السطحين المتلامسين، ثم أدوّن البيانات في الجدول (3).
- 9 أصمم تجربة لدراسة العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك الحركي بين سطحين، وذلك بأخذ قراءة الميزان عند حركة القطعة الخشبية بسرعة ثابتة تقريبًا على سطح الطاولة الأفقي، وأدوّن بياناتي.

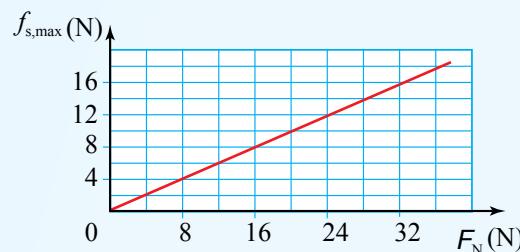
29

النتائج المتوقعة:

سيلاحظ الطلبة اعتماد قوة الاحتكاك السكوني، وكذلك قوة الاحتكاك الحركي على القوة العمودية التي يؤثر بها السطح في القطعة الخشبية، وعلى طبيعة السطحين المتلامسين (نوع مادّتيهما)، وأنها لا تعتمدان على مساحة السطحين المتلامسين.

التحليل والاستنتاج:

1. القطعة الخشبية ساكنة، فتكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا. وبما أن قوة الشد تؤثر فيها أفقيًا في اتجاه معين، فلا بد أن تؤثر قوة الاحتكاك السكوني فيها بعكس اتجاه تأثير قوة الشد، وتكون مساوية لها في المقدار.
2. أنظر الجدول (1). مقدار القوة العمودية (F_N) يساوي وزن القطعة الخشبية والأثقال التي عليها؛ لأنها موضوعة على سطح أفقي.



3. ألاحظ أن العلاقة بينهما خطية، ويكون ميل هذه العلاقة ثابت، ولا يتغير الميل بزيادة كتلة القطعة الخشبية؛ فزيادة القوة العمودية يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى.

عينة بيانات:

الجزء 1: العلاقة بين مقدار القوة العمودية ومقدار قوة الاحتكاك عند ثبات مساحة سطحي التلامس وطبيعة السطحين المتلامسين. طبيعة السطحين: خشب فوق خشب. $A = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$.

رقم المحاولة	الكتلة الكلية (كتلة قطعة خشب + كتلة الأثقال) $m_{\text{block}} \text{ (kg)}$	مقدار القوة العمودية $F_N \text{ (N)}$	مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى $f_{s,\text{max}} \text{ (N)}$	مقدار قوة الاحتكاك الحركي $f_k \text{ (N)}$
1	2	19.6	9.8	5.9
2	2.2	21.6	10.8	6.5
3	2.4	23.5	11.8	7.1

الجزء 2: العلاقة بين مساحة سطحي التلامس ومقدار قوة الاحتكاك عند ثبات الكتلة وطبيعة السطحين المتلامسين. طبيعة السطحين: خشب فوق خشب. $m_{\text{block}} = 2 \text{ kg}$.

رقم المحاولة	مساحة وجه المتوازي الملامسة للسطح $A \text{ (m}^2\text{)}$	مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى $f_{s,\text{max}} \text{ (N)}$	مقدار قوة الاحتكاك الحركي $f_k \text{ (N)}$
1	3×10^{-2}	9.8	5.9
2	2×10^{-2}	9.8	5.9

الجزء 3: العلاقة بين نوع مادة (طبيعة) السطحين المتلامسين ومقدار قوة الاحتكاك عند ثبات الكتلة ومساحة سطحي التلامس. $A = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ $m_{\text{block}} = 2 \text{ kg}$

رقم المحاولة	نوعا مادتي السطحين المتلامسين	مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى $f_{s,\text{max}} \text{ (N)}$	مقدار قوة الاحتكاك الحركي $f_k \text{ (N)}$
	خشب على خشب	9.8	5.9
1	خشب على ورق ألومنيوم	5.9	3.9
2	خشب على ورق صنفرة	18.1	13.7

المهام:

- 1) ينفذ خطوات التجربة بصورة صحيحة دقيقة.
- 2) يستنتج ما يحدث لمقدار قوة الاحتكاك السكوني عند تثبيت طبيعة السطحين المتلامسين وتغيير مقدار القوة العمودية.
- 3) يستنتج ما يحدث لمقدار قوة الاحتكاك السكوني عند تثبيت مقدار القوة العمودية وتغيير طبيعة السطحين المتلامسين.
- 4) يصمم استقصاء لدراسة العوامل التي يعتمد عليها مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحين.

التحليل والاستنتاج:

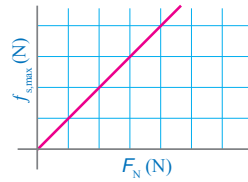
1. أبرز سبب اعتبار قوة الاحتكاك السكوني مساوية لقراءة الميزان النابضي (قوة الشد).
2. أحسب مقدار القوة العمودية (F_N) لكل محاولة في الجدول (1)، وهي تساوي وزن القطعة الخشبية والأثقال التي عليها. لماذا؟
3. أمثل بيانياً العلاقة بين مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى ($f_{s,\text{max}}$) على المحور (y)، ومقدار القوة العمودية (F_N) على المحور (x) لبيانات الجدول (1). ما شكل هذه العلاقة؟ ماذا أستنتج؟
4. أتوقع ما الذي يمثل ميل المنحنى في السؤال السابق؟ ماذا أستنتج؟
5. أحلل وأستنتج: اعتماداً على نتائج الخطوات (4-8)، أستنتج العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني العظمى بين سطحين متلامسين عند محاولة تحريك أحدهما بالنسبة إلى الآخر. أفسر إجابتي.
6. أستنتج العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك الحركي بين سطحين. أفسر إجابتي.

استنتجت بعد تنفيذ التجربة السابقة أنه عند محاولة تحريك جسمين متلامسين أحدهما بالنسبة إلى الآخر، ينشأ بين سطحيهما المتلامسين قوة احتكاك سكوني يعتمد مقدارها على عاملين، هما:

أ. طبيعة السطحين المتلامسين (نوعا مادتيهما)؛ فمثلاً مقدار قوة الاحتكاك السكوني بين المكعب الخشبي وسطح الطاولة الخشبي أكبر منه بين المكعب الخشبي ورقائق الألمنيوم. وبناءً على ذلك؛ يمكن تفسير سبب استخدام العاملين في المصانع والأماكن التي تكون أرضياتها مغطاة بالزيوت والسوائل، أحذية نعالها مصنوعة من المطاط؛ فانزلاق الأحذية ذات النعل المطاطي يكون أقل منه للأحذية ذات النعل الجلدي.

ب. مقدار القوة العمودية المؤثرة في الجسم؛ حيث يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني بزيادة مقدار القوة العمودية. ويوضح الشكل (19) التناسب الطردي بين مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى ($f_{s,\text{max}}$) ومقدار القوة العمودية (F_N). ولا تعتمد قوة الاحتكاك السكوني على مساحة سطحي التلامس بين الجسمين، مقدارها عند أية لحظة يحقق المتباينة:

$$f_s \leq \mu_s F_N$$



الشكل (19): يتناسب مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى طردياً مع مقدار القوة العمودية.

استراتيجية التقويم: الملاحظة. أداة التقويم: سلم تقدير.

اسم الطالب	التقدير			
	1	2	3	4

التقدير:

- 4: ينفذ أربع مهام بطريقة صحيحة.
- 3: ينفذ ثلاثاً من المهام السابقة.
- 2: ينفذ مهمتين من المهام السابقة.
- 1: ينفذ مهمة واحدة من المهام السابقة.

◀ المناقشة.

- اشرح على الطلبة الأسئلة الآتية:
- علام يعتمد مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحي جسمين متلامسين يتحرك أحدهما بالنسبة إلى الآخر؟
- طبيعة السطحين المتلامسين، والقوة العمودية المتبادلة بينهما.
- هل تعتمد قوة الاحتكاك الحركي على مساحة السطحين المتلامسين؟
- لا تعتمد على مساحة السطحين المتلامسين.
- هل قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في جسم ثابتة أم متغيرة؟
- ثابتة، بخلاف قوة الاحتكاك السكوني التي تكون متغيرة.
- لا تستبعد أيًا من إجابات الطلبة، وشجعهم على طرح الأسئلة، ونقد إجابات بعضهم، واحترام الرأي الآخر.
- حفز الطلبة إلى مناقشة السؤال الآتي:
- هل يتغير مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحي جسمين بتغيير مقدار القوة المؤثرة؟
- بخلاف قوة الاحتكاك السكوني، يبقى مقدار قوة الاحتكاك الحركي ثابتًا، ولا يتغير بتغيير مقدار القوة المؤثرة.
- وضح للطلبة أن قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي لا تعتمدان على حجمي الجسمين المتلامسين عند ثبات كتليتهما. أما إذا رافق تغير حجم الجسم تغير في كتلته، فإن مقدار القوة العمودية يتغير، ويتبع ذلك تغير مقدار قوة الاحتكاك.

◀ استخدام الصور والأشكال.

- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (20)، وملاحظة شكل منحنى (قوة الاحتكاك السكوني - القوة العمودية)، ثم أسألهم:
- ما الذي تستنتج من شكل المنحنى عن العلاقة بين مقدار قوة الاحتكاك الحركي ومقدار القوة العمودية؟
- علاقة خطية طردية؛ حيث يزداد مقدار قوة الاحتكاك الحركي بزيادة مقدار القوة العمودية.
- ما الذي يمثل ميل منحنى (قوة الاحتكاك الحركي - القوة العمودية)؟
- الميل ثابت، وهو يساوي معامل الاحتكاك الحركي.

حيث يرمز (μ_s) إلى معامل الاحتكاك السكوني Coefficient of static friction، وهو يعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين. ويُعطى مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى رياضياً بالعلاقة:

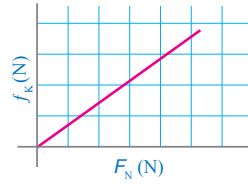
$$f_{s,max} = \mu_s F_N$$

ومن هذه العلاقة يُمكن تعريف معامل الاحتكاك السكوني (μ_s) بأنه نسبة مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى إلى مقدار القوة العمودية، وبما أنه نسبة قوى فليس له وحدة قياس.

✓ **أتتحقق:** علام تعتمد قوة الاحتكاك السكوني بين سطحي متلامسين؟ وما وحدة قياس معامل الاحتكاك السكوني؟

قوة الاحتكاك الحركي Kinetic Frictional Force

يوضح الشكل (17/د) أن الصندوق يبدأ الحركة عندما يصبح مقدار قوة الشد المؤثرة فيه أكبر من مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى، وتسمى قوة الاحتكاك المؤثرة في الجسم في أثناء حركته قوة الاحتكاك الحركي Kinetic frictional force، رمزها (f_k) ، تؤثر في سطحي جسمين متلامسين عندما يتحرك أحدهما بالنسبة إلى الآخر. وبالنظر إلى الشكل (18)، ألاحظ أن مقدار قوة الاحتكاك الحركي أقل من مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى، وهذا ما توصلت إليه عملياً بعد تنفيذ التجربة السابقة؛ حيث مقدار القوة اللازمة لتحريك الجسم بسرعة متجهة ثابتة والمحافظة على حركته أقل من مقدار القوة اللازمة لبدء حركته.



الشكل (20): يتناسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي طردياً مع مقدار القوة العمودية.

استنتجت بعد تنفيذ التجربة السابقة أن مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحي جسمين متلامسين يتحرك أحدهما بالنسبة إلى الآخر، يعتمد على عاملين - كما في حالة قوة الاحتكاك السكوني -، هما: طبيعة السطحين المتلامسين، ومقدار القوة العمودية المؤثرة في الجسم. فمثلاً، تحريك مكعب خشبي على سطح طاولة خشبي أسهل من تحريكه على سطح من الخرسانة، وانزلاق إطارات السيارة على الطريق المغطى بالثلج أسهل بكثير منه على طريق جاف. ويوضح الشكل (20) التناسب الطردي بين مقدار قوة الاحتكاك الحركي (f_k) ومقدار القوة

31

◀ استخدام الصور والأشكال.

- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (19)، وملاحظة شكل منحنى (قوة الاحتكاك السكوني - القوة العمودية)، ثم أسألهم:
- ما الذي تستنتج من شكل المنحنى عن العلاقة بين مقدار القوة الاحتكاك السكوني ومقدار القوة العمودية؟
- علاقة خطية طردية؛ حيث يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني بزيادة مقدار القوة العمودية.
- ما الذي يمثل ميل منحنى (قوة الاحتكاك السكوني - القوة العمودية)؟
- الميل ثابت، وهو يساوي معامل الاحتكاك السكوني.

✓ **أتتحقق:**

طبيعة السطحين المتلامسين (نوعا مادتيهما)، ومقدار القوة العمودية المؤثرة في الجسم. ومعامل الاحتكاك السكوني ليس له وحدة قياس.

بناء المفهوم.

- معامل الاحتكاك السكوني ومعامل الاحتكاك الحركي.
- يبين الجدول (1) أن معاملات الاحتكاك الحركية أقل من نظيراتها السكونية للسطوح نفسها. ويمكن توضيح ذلك بقياس القوة اللازمة لجعل جسم على وشك الحركة، ومقارنتها بالقوة اللازمة لحركة الجسم نفسه على السطح نفسه بسرعة متجهة ثابتة. **القوة اللازمة لجعل الجسم على وشك الحركة أكبر من القوة اللازمة لتحريكه بسرعة متجهة ثابتة.**

المناقشة

- لتوضيح العلاقة بين قوة الاحتكاك الحركي والقوة العمودية، اطلب إلى أحد الطلبة دفع مقعد بسرعة ثابتة على أرضية أفقية إزاحة معينة، ثم اطلب إلى آخر الجلوس في المقعد أو وضع أثقال عليه، واطلب إلى الطالب نفسه دفع المقعد مرة أخرى بسرعة ثابتة على الأرضية نفسها، الإزاحة نفسها.
- ثم اطلب إليه المقارنة بين مقدارتي القوتين في الحالتين. **في الحالة الثانية يلزم التأثير بقوة أكبر لتحريك المقعد.**
- ثم اسأل الطلبة: **لماذا يلزم التأثير بقوة أكبر في الحالة الثانية؟**
- لأن مقدار القوة العمودية المؤثرة في المقعد قد ازداد، لذا ازداد مقدار قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة فيه، ولزم التأثير بقوة أكبر لتحريكه.

العمودية (F_N). وكما في حالة الاحتكاك السكوني، لا تعتمد قوة الاحتكاك الحركي على مساحة سطح التماس بين الجسمين. ووجد عملياً أن مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحين جسمين متلامسين يتناسب طردياً مع مقدار القوة العمودية المتبادلة بينهما، ويمكن التعبير عن ذلك رياضياً كما يأتي:

$$f_k = \mu_k F_N$$

حيث مقدار قوة الاحتكاك الحركي يساوي ناتج ضرب معامل الاحتكاك الحركي في مقدار القوة العمودية. ويرمز (μ_k) إلى معامل الاحتكاك الحركي **Coefficient of kinetic friction**، ويساوي نسبة مقدار قوة الاحتكاك الحركي إلى مقدار القوة العمودية، وهو يعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين، وبما أنه نسبة قوى فليس له وحدة قياس. يبين الجدول (1) معاملات الاحتكاك السكونية ومعاملات الاحتكاك الحركية التقريبية لسطوح مختلفة. وألاحظ من الجدول أن معاملات الاحتكاك السكونية أكبر من نظيراتها الحركية للسطوح نفسها؛ أي أن $\mu_s > \mu_k$.

الجدول (1): القيم التقريبية لبعض معاملات الاحتكاك

نوع السطحين المتلامسين	معامل الاحتكاك السكوني μ_s	معامل الاحتكاك الحركي μ_k
فولاذ فوق فولاذ (جاف)	0.8	0.6
فولاذ فوق فولاذ (مع الزيت)	0.15	0.05
مطاط فوق خرسانية جافة	1.0	0.8
مطاط فوق خرسانية مبللة	0.5 – 0.7	0.3 – 0.5
مطاط فوق ثلج	0.3	0.2
خشب فوق خشب	0.5	0.3
خشب مشمع (waxed wood) فوق ثلج	0.14	0.1
فلز فوق خشب	0.5	0.3
جليد فوق جليد	0.1	0.03
زجاج فوق زجاج	0.9	0.4
فولاذ فوق جليد	0.4	0.02
الحذاء فوق الخشب	0.9	0.7
الحذاء فوق الجليد	0.1	0.05
مفاصل العظام بوجود السائل الزلالي	0.016	0.015

32

أخطاء شائعة

- قد يظن بعض الطلبة خطأ أنه من الطبيعي أن يعتمد مقدار كل من قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي على مساحة سطحي الجسمين المتلامسين، لذا بين لهم أن مقدار قوة الاحتكاك السكوني ومقدار قوة الاحتكاك الحركي يعتمدان فقط على طبيعة السطحين المتلامسين (نوعا مادتيهما)، والقوة العمودية، ولا يعتمدان على مساحة سطحي التلامس.
- راجع مع الطلبة نتائج الخطوة رقم (7) في التجربة (2): العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي.

خزانة كتلتها (40 kg) تستقر على أرضية أفقية خشنة. إذا سحبت الخزانة بقوة أفقية مقدارها (200 N)، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الخزانة والأرضية (0.4)، وتسارع السقوط الحر (10 m/s²)، فاحسب مقدار:

- قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في الخزانة.
- تسارع الخزانة.
- القوة الأفقية اللازم تأثيرها في الخزانة لتتحرك بسرعة متجهة ثابتة.

الحل:

أ. نحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي باستخدام العلاقة:

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k F_N \\ &= \mu_k mg \\ &= (0.4)(40)(10) \\ &= 160 \text{ N} \end{aligned}$$

ب. لحساب مقدار تسارع الخزانة، نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور (x):

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma \\ F_{\text{Applied}} - f_k &= ma \\ 200 - 160 &= 40 \times a \\ a &= \frac{40}{40} \\ &= 1 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ج. لكي تتحرك الخزانة بسرعة متجهة ثابتة، يجب أن يكون مقدار القوة الأفقية المؤثرة فيها مساوياً لمقدار قوة الاحتكاك الحركي.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= F_{\text{Applied}} - f_k = 0 \\ F_{\text{Applied}} &= f_k \\ &= 160 \text{ N} \end{aligned}$$

المثال 7

وُضِعَ صندوقٌ كتلته (40 kg) على زلاجةٍ لسحب على أرضية أفقية مغطاة بالثلج. إذا علمتُ أن قوة الشدِّ المؤثرة في الزلاجة أفقية تماماً، ومعامل الاحتكاك السكوني بين الزلاجة والثلج (0.15)، ومعامل الاحتكاك الحركي بينهما (0.10)، وتسارع السقوط الحر (10 m/s²)، وبإهمال كتلة الزلاجة، فاحسب مقدار:

- القوة التي يلزم التأثير بها في الزلاجة بحيث تكون على وشك الحركة.
- القوة التي يلزم التأثير بها في الزلاجة لتتحرك بسرعة متجهة ثابتة.
- تسارع الزلاجة إذا كانت القوة المحصلة المؤثرة فيها (20 N).

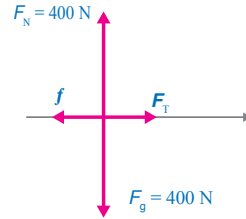
المعطيات:

$$m = 40 \text{ kg}, \mu_s = 0.15, \mu_k = 0.10, g = 10 \text{ m/s}^2, \sum F = 20 \text{ N}.$$

المطلوب:

$$f_{s,\max} = ?, F_T = ?, a = ?.$$

الحل:



أرسم مخطط الجسم الحر للزلاجة والصندوق معاً. أ. مقدار القوة التي يلزم التأثير بها في الزلاجة بحيث تكون على وشك الحركة يساوي مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى ($f_{s,\max}$)، ولحسابها يلزم معرفة مقدار القوة العمودية، لذا؛ نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور (y)، مع ملاحظة أنه لا توجد حركة في اتجاهه:

$$\begin{aligned} \sum F_y &= ma_y = 0 \\ F_N - F_g &= 0 \\ F_N &= F_g = mg = (40)(10) = 400 \text{ N} \end{aligned}$$

ثم نحسب مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى، كما يأتي:

$$f_{s,\max} = \mu_s F_N = (0.15)(400) = 60 \text{ N}$$

ب. لكي تتحرك الزلاجة بسرعة متجهة ثابتة، يجب أن يكون مقدار قوة الشدِّ مساوياً لمقدار قوة الاحتكاك الحركي.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= F_T - f_k = 0 \\ F_T &= f_k = \mu_k F_N = (0.10)(400) = 40 \text{ N} \end{aligned}$$

معلومة إضافية

حساب معامل الاحتكاك السكوني.

وضّح للطلبة أنه يمكن حساب معامل الاحتكاك السكوني بين مادتين باستخدام العلاقة: $\mu_s = \tan \theta$

حيث θ هي زاوية ميلان المستوى المائل التي يكون عندها الجسم الموضوع عليه على وشك الانزلاق، و μ_s معامل الاحتكاك السكوني بين مادتي الجسم والمستوى المائل. ولتوضيح ذلك، نفذ التجربة الآتية: ضع جسماً عند إحدى نهايتي سطح مستو، ثم ارفع السطح من جهة الجسم ببطء بحيث يصبح مستوى مائلاً. بعد ذلك زد زاوية ميلان المستوى من جهة الجسم تدريجياً حتى يبدأ الجسم الانزلاق. قس زاوية ميلان المستوى التي بدأ عندها الجسم الانزلاق. كرر التجربة مرة أخرى؛ للتأكد من صحة مقدار الزاوية. والآن، قارن مقدار $\tan \theta$ بمقدار معامل الاحتكاك السكوني بين مادتي الجسم والمستوى المائل، يجب أن يكونا متساويين. أثبت ذلك رياضياً للطلبة.

أعد حل المثال 8، إذا أصبح مقدار الزاوية التي يصنعها الحبل بالنسبة للأفقي (53°) .

الحل:

بداية، نحسب وزن الصندوق، ثم نحلل قوة الشد في الحبل إلى مركبتها، على النحو الآتي:

$$F_g = mg$$

$$= (50)(10) = 500 \text{ N}$$

$$F_{Tx} = F_T \cos \theta$$

$$= (200) \cos 53^\circ = 200 \times 0.6$$

$$= 120 \text{ N}$$

$$F_{Ty} = F_T \sin \theta$$

$$= (200) \sin 53^\circ = 200 \times 0.8$$

$$= 160 \text{ N}$$

أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الصندوق في اتجاه المحور x ؛ لإيجاد مقدار قوة الاحتكاك.

$$F_{Tx} = ma$$

$$F_{Tx} - f_k = ma$$

وبجعل (f_k) موضوع القانون:

$$f_k = F_{Tx} - ma$$

$$= 120 - (50)(1.3)$$

$$= 120 - 65$$

$$= 55 \text{ N}$$

مقدار قوة الاحتكاك الحركي (55 N) ، وتؤثر في عكس اتجاه حركة الصندوق.

ب. لحساب معامل الاحتكاك الحركي، يلزم أولاً معرفة مقدار القوة العمودية، لذا؛ نطبق القانون الثاني لنيوتن على الصندوق في اتجاه المحور y ؛ لإيجاد مقدارها، مع مراعاة أنه لا توجد حركة على هذا المحور.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_N + F_{Ty} - F_g = 0$$

$$F_N = F_g - F_{Ty} = 500 - 120$$

$$= 380 \text{ N}$$

نستخدم معادلة الاحتكاك الحركي؛ لحساب مقدار معامل الاحتكاك، كما يأتي:

$$f_k = \mu_k F_N$$

$$\mu_k = \frac{f_k}{F_N}$$

$$= \frac{55}{380}$$

$$= 0.15$$

ألاحظ أن مقدار القوة اللازمة لجعل الزلاجة على وشك الحركة أكبر من مقدار القوة اللازمة للمحافظة على حركتها بسرعة متجهة ثابتة.

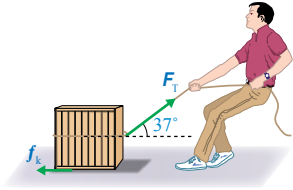
ج. لحساب مقدار تسارع الزلاجة، نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور (x) :

$$\sum F_x = ma$$

$$20 = 40 \times a$$

$$a = \frac{20}{40} = 0.5 \text{ m/s}^2$$

المثال 8



الشكل (21): سحب صندوق على أرضية أفقية خشنة.

يُسحب صندوق كتلته (50 kg) على أرضية أفقية خشنة بحبل يصنع زاوية (37°) على الأفقي، أنظر الشكل (21). إذا كان مقدار قوة الشد في الحبل (200 N) ، وتسارع الصندوق بمقدار (1.3 m/s^2) ، والحبل مهمل الكتلة وغير قابل للاستطالة، و $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، $\cos 37^\circ = 0.8$ ، $\sin 37^\circ = 0.6$ ، فأحسب مقدار:

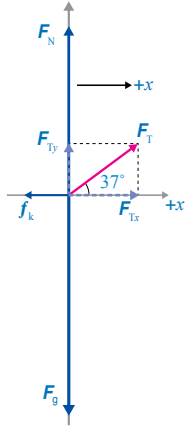
أ. قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في الصندوق.

ب. معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق والأرضية.

المعطيات:

$$m = 50 \text{ kg}, \theta = 37^\circ, F_T = 200 \text{ N}, a = 1.3 \text{ m/s}^2, \sin 37^\circ = 0.6, \cos 37^\circ = 0.8, g = 10 \text{ m/s}^2$$

المطلوب:



$$f_k = ?, \mu_k = ?$$

الحل:

- نرسم مخطط الجسم الحر للصندوق.
- قبل البدء بحل المسألة نحسب وزن الصندوق، ثم نحلل قوة الشد في الحبل إلى مركبتها، كما هو موضح في مخطط الجسم الحر، وعلى النحو الآتي:

$$F_g = mg = (50)(10) = 500 \text{ N}$$

$$F_{Tx} = F_T \cos \theta = (200) \cos 37^\circ = 200 \times 0.8 = 160 \text{ N}$$

$$F_{Ty} = F_T \sin \theta = (200) \sin 37^\circ = 200 \times 0.6 = 120 \text{ N}$$

بناء المفهوم.

معامل الاحتكاك السكوني.

- وضح للطلبة أن مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحين ثابت، أما مقدار قوة الاحتكاك السكوني بين أي سطحين فيكون متغير اعتماداً على القوة المؤثرة. يستخدم معامل الاحتكاك السكوني لحساب قوة الاحتكاك السكوني العظمى فقط، ومقدار قوة الاحتكاك السكوني المؤثرة في جسم عند أي لحظة يساوي مقدار القوة المؤثرة (أو مركبة القوة) الموازية لمستوى سطح التلامس بين الجسمين.

المناقشة

- استخدم استراتيجية التفكير الناقد، واسأل الطلبة الأسئلة الآتية:

- أيهما أكبر معامل الاحتكاك السكوني أم الحركي؟

معامل الاحتكاك السكوني أكبر من معامل الاحتكاك الحركي.

- برأيك، ماذا يحدث لقوة الاحتكاك ومعامل الاحتكاك بين سطحين عند تغيير مقدار القوة العمودية؟ برر إجابتك.

قوة الاحتكاك تتغير طردياً بتغير مقدار القوة العمودية. أما معامل الاحتكاك بين سطحين فلا يتغير بتغير مقدار القوة العمودية؛ لأنه يعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين (نوعا مادتيهما) فقط.

- برأيك، ماذا يحدث لقوة الاحتكاك ومعامل الاحتكاك بين سطحين عند تغيير مساحة سطح التلامس بينهما؟ برر إجابتك.

لا تعتمد قوة الاحتكاك على مساحة سطحي الجسمين المتلامسين؛ بل تعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين ومقدار القوة العمودية فقط. وأيضاً لا يتغير معامل الاحتكاك بين سطحين بتغير مساحة السطحين المتلامسين؛ لأنه يعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين فقط.

- لا تستبعد أيّاً من إجابات الطلبة، وشجعهم على طرح الأسئلة، ونقد إجابات بعضهم، واحترام الرأي الآخر.

أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الصندوق في اتجاه المحور x؛ لإيجاد مقدار قوة الاحتكاك.

$$\sum F_x = ma$$

$$F_{Tx} - f_k = ma$$

وبجعل (f_k) موضوع القانون:

$$f_k = F_{Tx} - ma$$

$$= 160 - (50)(1.3) = 160 - 65$$

$$= 95 \text{ N}$$

مقدار قوة الاحتكاك الحركي (95 N)، وتؤثر في عكس اتجاه حركة الصندوق.

ب. لحساب معامل الاحتكاك الحركي، يلزم أولاً معرفة مقدار القوة العمودية، لذا؛ نطبق القانون الثاني لنيوتن على الصندوق في اتجاه المحور y؛ لإيجاد مقدارها، مع مراعاة أنه لا توجد حركة على هذا المحور.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_N + F_{Ty} - F_g = 0$$

$$F_N = F_g - F_{Ty} = 500 - 120$$

$$= 380 \text{ N}$$

نستخدم معادلة الاحتكاك الحركي؛ لحساب مقدار معامل الاحتكاك، كما يأتي:

$$f_k = \mu_k F_N$$

$$\mu_k = \frac{f_k}{F_N} = \frac{95}{380} = 0.25$$

وللمقارنة بين حركة متزلج بوجود الاحتكاك، وبإهماله، أنظر المثال الآتي:

معلومة إضافية

وضح للطلبة أن وجود قوة الاحتكاك لا يعد أمراً سلبياً دائماً، حيث يوجد لقوى الاحتكاك آثار إيجابية. ولتوضيح ذلك اسألهم: هل يمكنكم الاستناد إلى جدار عند انعدام قوى الاحتكاك؟ لا. هل يمكنك المشي على أرضية ملساء؟ لا.



المثال 9

يتزلج رياضي على منحدر ثلجي يميل على الأفقي بزاوية (25°) ، كما هو موضح في الشكل (22). إذا علمت أن كتلة الرياضي (50 kg) ، و $\sin 25^\circ = 0.42$ ، $\cos 25^\circ = 0.91$ ، $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، فأحسب مقدار تسارعه في الحالتين الآتيتين:

الشكل (22): انزلاق رياضي على منحدر ثلجي.

أ. إذا كان المنحدر الثلجي أملس.

ب. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الزلاجة والثلج (0.10) .

المعطيات:

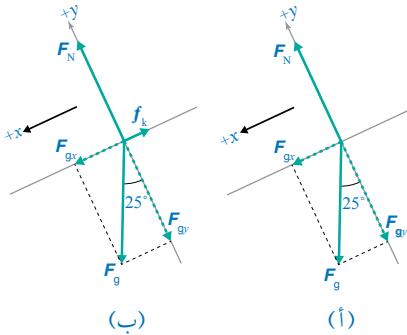
$$m = 50 \text{ kg}, \theta = 25^\circ, g = 10 \text{ m/s}^2, \sin 25^\circ = 0.42, \cos 25^\circ = 0.91, \mu_k = 0.10$$

المطلوب:

$$a = ?$$

الحل:

- نرسم مخطط الجسم الحر للمتزلج في حالة المنحدر الأملس (أ)، والمنحدر الخشن (ب)، مع اختيار المحور x في اتجاه يوازي المستوى المائل، والمحور y عمودي عليه، مثلما هو موضح.
- قبل البدء بحل المسألة نحلل وزن المتزلج إلى مركبتين متعامدتين: F_{gx} و F_{gy} ، مثلما هو موضح في مخططي الجسم الحر، وكما يأتي:



$$F_{gx} = F_g \sin \theta = mg \sin 25^\circ = 50 \times 10 \times 0.42 = 210 \text{ N}$$

$$F_{gy} = F_g \cos \theta = mg \cos 25^\circ = 50 \times 10 \times 0.91 = 455 \text{ N}$$

أ. أنظر مخطط الجسم الحر (أ)، ثم أطبق القانون الثاني لنيوتن على المتزلج الرياضي في اتجاه المحور x ؛ لحساب مقدار تسارعه:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma \\ F_{gx} &= ma \\ a &= \frac{F_{gx}}{m} = \frac{210}{50} = 4.2 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

36

صفرًا $(v_2 = 0)$.

بداية نحول مقدار السرعة الابتدائية إلى وحدة (m/s) :

$$\begin{aligned} v_1 &= 90 \text{ km/h} \\ &= 25 \text{ m/s} \end{aligned}$$

ثم نستخدم معادلة الحركة الثالثة:

$$\begin{aligned} v_2^2 &= v_1^2 + 2ad \\ 0 &= (25)^2 + 2(-4)d_{\text{stopping}} \\ d_{\text{stopping}} &= \frac{625}{8} \\ &= 78.13 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

بما أن مسافة التوقف (78.13) أكبر من بُعد الإشارة الضوئية (60 m) ، لذا فإن السيارة ستتجاوز الإشارة.

$$F - f_k = ma$$

$$0 - 7.2 \times 10^3 = 1.8 \times 10^3 \times a$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{-7.2 \times 10^3}{1.8 \times 10^3} \\ &= -4 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$a = 4 \text{ m/s}^2, -x$$

سرعة السيارة موجبة (حركتها شمالاً)، وتسارعها سالب (أي عكس اتجاه الحركة، في اتجاه القوة المحصلة)، لذا فهي تتباطأ.

ج. للإجابة عن السؤال، يجب حساب المسافة التي تقطعها السيارة حتى تتوقف (d_{stopping}) بحسب التسارع المحسوب في الفرع السابق، مع تعويض السرعة النهائية

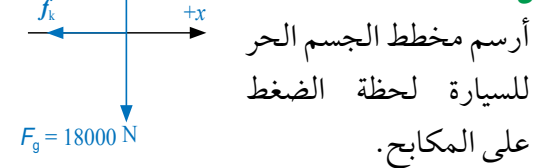
تقود سلمي سيارة كتلتها $(1.8 \times 10^3 \text{ kg})$ ، بسرعة (90 km/h) شمالاً على طريق أفقي مستقيم في طقس ماطر. وعندما أقبلت على إشارة ضوئية، أضاءت باللون الأحمر، فضغطت سلمي على المكابح بقوة، مما أدى إلى انزلاق إطارات السيارة على سطح الطريق. إذا كان بعد مقدمة السيارة عن الإشارة لحظة الضغط على المكابح (60 m) ، ومعامل الاحتكاك الحركي بين إطارات السيارة وسطح الطريق (0.40) ، وتسارع السقوط الحر (10 m/s^2) ، فأجب عما يأتي:

أ. احسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في السيارة.

ب. احسب مقدار تسارع السيارة.

ج. هل تتوقف السيارة عند الإشارة تمامًا، أم قبلها، أم بعدها؟ وضح حساباتك.

الحل:



أ. لرسم مخطط الجسم الحر للسيارة لحظة الضغط على المكابح.

لحساب مقدار قوة الاحتكاك الحركي، نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور (y) ؛ لحساب مقدار القوة العمودية، مع ملاحظة أنه لا توجد حركة في اتجاهه:

$$\sum F_y = ma_y = 0$$

$$F_N = F_g = 0$$

$$F_N = F_g$$

$$= mg$$

$$= 1.8 \times 10^4 \text{ N}$$

ثم نحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي:

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k F_N \\ &= (0.40)(1.8 \times 10^4) \\ &= 7.2 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_k = 7.2 \times 10^3 \text{ N}, -x$$

تؤثر قوة الاحتكاك في عكس اتجاه حركة السيارة؛ أي جنوباً.

ب. تؤثر قوة الاحتكاك في السيارة في عكس اتجاه حركتها، ولحساب تسارعها نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور (x) .

$$\sum F_x = ma$$

المناقشة.

أسأل الطلبة:

- علام يعتمد تسارع جسم ينزلق إلى أسفل مستوى مائل أملس؟

يعطى تسارع الجسم في حالة المستوى المائل الأملس بالعلاقة الآتية:

$$a = \frac{F_{gx}}{m} = \frac{F_g \sin \theta}{m} = \frac{mg \sin \theta}{m} = g \sin \theta$$

لذا فإن تسارع الجسم يعتمد على: مقدار تسارع السقوط الحر، وزاوية ميلان المستوى.

- علام يعتمد تسارع جسم ينزلق إلى أسفل مستوى مائل خشن؟

يعطى تسارع الجسم في حالة المستوى المائل الخشن بالعلاقة الآتية:

$$a = \frac{F_{gx} - f_k}{m} = \frac{F_g \sin \theta - \mu_k F_g \cos \theta}{m} = \frac{mg \sin \theta - \mu_k mg \cos \theta}{m} = g \sin \theta - g \mu_k \cos \theta$$

لذا فإن تسارع الجسم يعتمد على: مقدار تسارع السقوط الحر، وزاوية ميلان المستوى، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والمستوى المائل.

- هل يعتمد مقدار تسارع الجسم على كتلته؟ لا، لا يعتمد على كتلته.

- ما التغيرات في البيئة المحيطة بالمتزلج في المثال (9)، التي تؤدي إلى تغير مقدار قوة الاحتكاك المؤثرة فيه؟ ستتغير الإجابات، إجابات محتملة: طبيعة السطح الذي يتزلج عليه (ثلج جاف، ثلج رطب، جليد، نظيف أو غير نظيف)، زاوية ميلان المنحدر الثلجي، ساكن أو متحرك،

ب. أنظر مخطط الجسم الحر (ب)، وألاحظ أنه توجد قوة احتكاك حركي تؤثر في عكس اتجاه انزلاق المتزلج. لذا؛ يلزم بدايةً حساب مقدار قوة الاحتكاك الحركي، ومن أجل ذلك نحسب مقدار القوة العمودية المؤثرة في المتزلج بتطبيق القانون الثاني لنيوتن عليه في اتجاه المحور y ، مع مراعاة أنه لا توجد حركة في اتجاه هذا المحور.

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0 \\ F_N - F_{gy} &= 0 \\ F_N &= F_{gy} = 455 \text{ N} \end{aligned}$$

ثم نستخدم معادلة الاحتكاك الحركي لحساب مقدار قوة الاحتكاك:

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k F_N \\ &= (0.10)(455) \\ &= 45.5 \text{ N} \end{aligned}$$

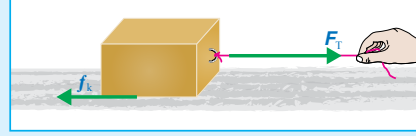
ينزل المتزلج الرياضي إلى أسفل المنحدر الثلجي، ولحساب مقدار تسارعه نطبق القانون الثاني لنيوتن عليه في اتجاه المحور x ، مع اعتبار الاتجاه الموجب إلى أسفل المنحدر.

$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma \\ F_{gx} - f_k &= ma \\ a &= \frac{F_{gx} - f_k}{m} = \frac{210 - 45.5}{50} \\ &= 3.3 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

ألاحظ أن مقدار تسارع المتزلج الرياضي أكبر في حالة المنحدر الأملس.

لتدريه

أثرت قوة شد أفقية مقدارها (200 N) في اتجاه اليمين، في صندوق كتلته (50 kg)، يسبق على سطح أفقي خشن، كما هو موضح في الشكل (23). إذا علمت أن معامل الاحتكاك الحركي (0.3)، وتسارع السقوط الحر (10 m/s²)، فأحسب مقدار:



الشكل (23): صندوق ينزلق على سطح أفقي خشن.

- قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في الصندوق.
- القوة المحصلة المؤثرة في الصندوق.
- تسارع الصندوق.

37

لتدريه

أ. نحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي باستخدام العلاقة:

$$\begin{aligned} f_k &= \mu_k F_N \\ &= \mu_k mg \\ &= (0.30)(50)(10) \\ &= 150 \text{ N} \end{aligned}$$

$$f_k = 150 \text{ N}, -x$$

ب. نحسب مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الصندوق كما يأتي:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= F_T - f_k \\ &= 200 - 150 = 50 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum F_x = 50 \text{ N}, +x$$



التعزيز:

يبين الجدول (1) أن معامل الاحتكاك بين المطاط (إطارات السيارات) والخرسانة الجافة (أو الأسفلت)، أكبر منه بين المطاط والخرسانة المبللة، وهذا يوضح سبب انزلاق السيارات في الأيام الماطرة وكثرة حوادث السيارات. ويرجع سبب ذلك إلى تشكل طبقة فاصلة من الماء بين إطارات السيارة وسطح الطريق، وهذا يؤدي إلى انزلاق السيارات على الطرق بسهولة، كما يؤدي إلى زيادة المسافة اللازمة لتوقفها.

الشكل (24): انزلاق سيارة على طريق مغطى بالثلج والجليد.

افكر: عادة تُلَفُّ جنائز حول إطارات السيارات، وبخاصة سيارات الدفاع المدني في العواصف الثلجية. بناءً على ما تعلمته في هذا الدرس، ما الهدف من وضع هذه الجنائز حول إطارات السيارات؟ أفسّر إجابتي.

الفيزياء والحياة: تُصدرُ مديرتنا الأمن العام والدفاع المدني نشرات توعوية وتحذيرات لسائقي المركبات عند تأثر المملكة بمنخفض جوي، من ضمنها تحذيرهم من خطر انزلاق المركبات على الطرقات عند سقوط الأمطار أو الثلوج؛ حيث تتكون طبقة فاصلة بين إطار السيارة (وهو مطاط) وسطح الطريق، وهذا يقلل من مقدار كل من: معامل الاحتكاك السكوني ومعامل الاحتكاك الحركي بينهما؛ مما يؤدي إلى سهولة انزلاق إطارات السيارة على الطريق، ويزيد المسافة اللازمة لإيقاف السيارة، ويجعل قيادة السيارة والسيطرة عليها وتوجيهها أمراً صعباً، خاصة عند قيادتها بتهور، وعدم الالتزام بالإرشادات والشواخص المرورية، أنظر الشكل (24). لذا؛ يجب أخذ هذه التحذيرات والإرشادات بعين الاعتبار، وعدم قيادة السيارة إلا في حالة الضرورة القصوى في مثل هذه الظروف الجوية، وإذا لزم قيادتها وجب أخذ الحيطة والحذر، والقيادة بتمهل، والتقيّد بتوجيهات الجهات الرسمية المسؤولة وإرشاداتها.

أتحقق: إذا علمت أن مقدار قوة الاحتكاك بين الخرسانة ونعل الحذاء المصنوع من المطاط أكبر منه بين الخرسانة والنعل المصنوع من الجلد، فأَيُّ الحذاءين أختار للمشي في يوم ماطر؟ أفسّر إجابتي.



أبحث: لعلم الفيزياء دور مهم في عملية التحقيق المروري في الحوادث المرورية. أبحث في دور قسم التحقيق المروري التابع لمديرية الأمن العام في كيفية تحديد السيارة أو السيارات المُسببة لحادث ما، والمعلومات والبيانات التي يجمعها مندوب الحوادث. وأعدّ عرضاً تقديمياً أعرضه أمام طلبة الصف.

38

أفكر: إجابات محتملة:

الجنائز مصنوعة من فلز قوي ومتين قادر على تحمل وزن السيارة، ومن خلال انغرازها في الثلج فإنها تعمل على زيادة قوة الاحتكاك بين إطارات السيارة والثلج؛ أي زيادة قوة الدفع المؤثرة في السيارة إلى الأمام، مما يمكنها من الحركة من دون انزلاق، ويقلل فرص فقدان السيطرة عليها، كما أنها تزيد من فعالية المكابح على الأسطح الثلجية أو الجليدية، وهذا من شأنه أن يساعد في سهولة حركة مركبات الدفاع المدني على الثلج، ويساعد كوادِر الدفاع المدني في استمرار تقديم خدماتهم للمواطنين حتى في العواصف الثلجية.

أتحقق:

أختار الحذاء ذا النعل المصنوع من المطاط؛ لأن مقدار قوة الاحتكاك بين الخرسانة ونعل الحذاء المصنوع من المطاط أكبر منه بين الخرسانة والنعل المصنوع من الجلد، فيكون خطر الانزلاق في يوم ماطر أقل.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج

والمواد الدراسية

* التفكير: الأدلة والبراهين.

أخبر الطلبة أن تقديم الأدلة والبراهين يُعزّز التفكير، وأنه يتعيّن على الإنسان دعم أفكاره بالأدلة والبراهين التي تضمني طابعي القوة والمصداقية عليها.

أبحث: يجب أن تتضمن العروض التقديمية التي يعدها الطلبة: أن لعلم الفيزياء - بخاصة القانون الثاني لنيوتن وقوى الاحتكاك ومعادلات الحركة بتسارع ثابت - دور مهم في عملية التحقيق المروري في الحوادث المرورية؛ فعند وقوع حادث مروري، يتم الاتصال بقسم التحقيق المروري التابع لمديرية الأمن العام؛ لإرسال مندوب الحوادث؛ للتحقيق في الحادث، وإعداد تقرير به، ورسم مخطط يبين كيفية وقوع الحادث (الكروكا)، لمعرفة أسباب وقوعه، وهل السيارات المشتركة في الحادث ملتزمة بقواعد المرور والسرعات المحددة وقت وقوعه، لتحديد السيارة أو السيارات المسببة للحادث. وإذا تضمن الحادث علامات على سطح الطريق نتيجة انزلاق إطارات السيارات عليها عند الضغط بقوة على المكابح، فإن المحقق المروري يقيس طول هذه العلامات ليحدد سرعات هذه السيارات الابتدائية (لحظة الضغط على المكابح) قبل وقوع الحادث. فيتمكن من معرفة سائقي السيارات الملتزمين بالسرعات المحددة على الشواخص المرورية، والسائقين غير الملتزمين بها.

◀ المناقشة.

- استخدم استراتيجية التعلم التعاوني في تدريس الطلبة هذا الموضوع.
- وزع الطلبة إلى مجموعات؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلم.
- وزع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة بحيث يتفاعل الجميع معاً.
- اطلب إلى أفراد كل مجموعة إجابة الأسئلة الآتية كتابياً؛ على أن يتفاعل الجميع معاً قبل كتابتها:
- أيهما أفضل: أن تكون قوة الاحتكاك كبيرة أم صغيرة؟ تعتمد إجابة السؤال على الحالة قيد الدراسة؛ فأحياناً نحتاج إلى قوى احتكاك كبيرة في بعض التطبيقات والمهام، بينما نحتاج إلى قوى احتكاك صغيرة في تطبيقات ومهام أخرى.
- اذكر بعض التطبيقات والأنشطة التي يحتاج تنفيذها وجود قوى احتكاك.
- إجابة محتملة: حركة المركبات، الكتابة على الورق، إشعال أعواد الثقاب، المشي، عمل أنظمة المكابح في المركبات.
- اذكر بعض الآثار السلبية لوجود قوى الاحتكاك، حيث نحتاج إلى التقليل من هذه القوى.
- إجابة محتملة: تآكل نعال الأحذية، تآكل بطانة مكابح المركبات، تعيق انزلاق الأجسام بعضها فوق بعض، تعيق حركة أجزاء المحرك وتسبب ارتفاع درجة حرارتها.
- هل قوة الاحتكاك تساعدنا في المشي أم تعيقه؟ وأي نوعا الاحتكاك له دور في ذلك؟
- قوة الاحتكاك السكوني لها دور مهم في عملية المشي، فهي تساعدنا في عملية المشي ولا تعيقها.
- فسر آلية عملية المشي.
- عندما أدفع بقدمي سطح الأرض إلى الخلف (قوة فعل) فإن قوة الاحتكاك السكوني بينهما تؤثر في قدمي إلى الأمام (قوة رد فعل) في اتجاه حركتي، وتمنع انزلاقها للخلف.
- كيف يمكن معالجة الآثار السلبية لقوى الاحتكاك والتقليل منها؟
- إجابة محتملة: باستخدام العجلات، وكرات البيليا، والتزييت، والتشحيم.
- اطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.
- أدر نقاشاً بين أفراد المجموعات للتوصل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

إيجابيات قوى الاحتكاك وسلبياتها

Advantages and Disadvantages of Friction Forces

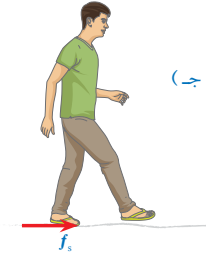
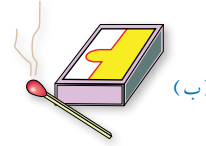
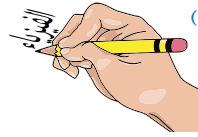
لقوى الاحتكاك تطبيقات وآثارٌ كثيرةٌ في حياتنا، بعضها مفيدٌ وضروريٌ، وبعضها الآخر ضارٌّ ومزعجٌ لا بُدَّ من معالجته والتقليل منه.

إيجابيات قوى الاحتكاك Advantages of Friction Forces

من التطبيقات والأنشطة التي يحتاج تنفيذها وجود قوى الاحتكاك: حركة المركبات؛ فعند انعدام قوى الاحتكاك بين إطارات المركبة وسطح الطريق، فإن الإطارات تدور في مكانها، فتبقى المركبة ساكنة. ونحتاج إلى قوى الاحتكاك للكتابة على الورق والسبورة، وإشعال أعواد الثقاب، والمشي، أنظر الشكل (25). فقوة الاحتكاك السكوني تساعدنا في المشي، وتغير اتجاه حركتنا؛ فعندما أدفع بقدمي سطح الأرض إلى الخلف فإن قوة الاحتكاك السكوني بينهما تؤثر بقوة في قدمي إلى الأمام في اتجاه حركتي، وتمنع انزلاقها نحو الخلف. وتوضح أهمية الاحتكاك السكوني عند محاولة المشي على سطوح ملساء أو زلقة، حيث يصعب ذلك.

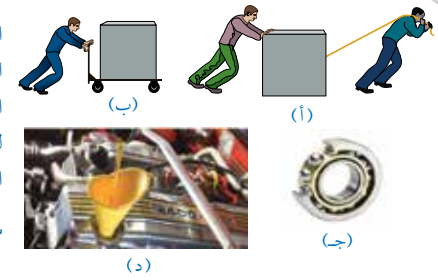
سلبيات قوى الاحتكاك Disadvantages of Friction Forces

من الآثار السلبية لقوى الاحتكاك: أنها تسبب تآكل بعض المنتجات التي نستخدمها في حياتنا اليومية، مثل: الأحذية، والملابس، وتسبب تآكل بطانة مكابح المركبات. بالإضافة إلى أنها تعيق انزلاق الأجسام بعضها فوق بعض، وتسبب تباطؤها؛ ما يتطلب التأثير فيها بقوة أكبر لتحريكها والمحافظة على استمرارية حركتها مقارنةً بالقوة اللازمة لذلك على سطوح ملساء. وتجرى معالجة بعض هذه الآثار والتقليل منها باستخدام العجلات، والتزييت، والتشحيم، أنظر الشكل (26).



الشكل (25): قوى الاحتكاك ضرورية:
(أ) للكتابة على الورق، (ب) وإشعال أعواد الثقاب، (ج) والمشي.
سؤال: لماذا لا يمكن المشي على أرضية زلقة؟ أفسر إجابتي.

الشكل (26): عند استخدام العجلات أصبح تحريك الصندوق في الشكل (ب) أسهل بكثير من تحريكه في الشكل (أ). (ج) تستخدم كرات البيليا (Ball bearings) لتسهيل حركة أجزاء الآلات وتقليل الاحتكاك. (د) يوضع الزيت في محرك السيارة للتقليل من قوى الاحتكاك.
سؤال: هل يلزم تشحيم كرات البيليا وتزييتها؟ أفسر إجابتي.



إجابة سؤال الشكل (25):

لا يمكن المشي على أرضية زلقة؛ لأنه عندما ندفع بأقدامنا سطح الأرض إلى الخلف فإنه لا يوجد قوة احتكاك سكوني تؤثر فيها إلى الأمام في اتجاه الحركة، لذا تنزلق أقدامنا عليها للخلف، ويصبح الاحتكاك الحركي هو المؤثر.



إجابة سؤال الشكل (26):

نعم، يجب تشحيم كرات البيليا وتزييتها؛ من أجل تسهيل حركتها الدورانية، وتقليل قوى الاحتكاك في أثناء ذلك بمقدار كبير.



القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* التفكير: التأمل والتساؤل.

أخبر الطلبة أن التأمل والتساؤل يؤثران إيجاباً في قدرتهم على التركيز والاستيعاب.

- استخدم استراتيجية التفكير الناقد، واسأل الطلبة:
- برأيك، أيهما تعتقد أنه أفضل: أن يكون مقدار قوة الاحتكاك كبيراً أم صغيراً؟

الإجابة: لا تكون الإجابة بالمطلق؛ ففوة الاحتكاك الكبيرة قد تكون مطلوبة ومفيدة من جهة معينة، وقد تكون ضارة وغير مرغوب بها من جهة أخرى، والذي يحدد ذلك هو الحالة قيد الدراسة. فهناك حالات نحتاج فيها إلى وجود قوى احتكاك كبيرة (مثل مكابح السيارة)، وحالات نحتاج فيها إلى وجود قوى احتكاك صغيرة (مثل حركة أجزاء المحرك).



أبحث: يجب أن تتضمن العروض التقديمية التي يعلها الطلبة المزيد من الآثار الإيجابية والآثار السلبية لقوى الاحتكاك، وكيفية معالجة الآثار السلبية: من الآثار والتطبيقات الإيجابية: عمل أنظمة المكابح في المركبات. واستخدام العاملين في المصانع والأماكن التي تكون أرضياتها مغطاة بالزيوت والسوائل، أحذية نعالها مصنوعة من المطاط؛ فانزلاق الأحذية ذات النعل المطاطي يكون أقل من الأحذية ذات النعل الجلدي. وحركة المركبات وعدم انزلاقها على الطرقات؛ فقوى الاحتكاك السكوني ضرورية لحركة المركبات، وعندما تصبح الطريق مبللة، يقل مقدار قوى الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق.

من الآثار السلبية: يؤدي الاحتكاك بين أجزاء محرك السيارة، وبين أجزاء الآلات المختلفة، إلى تحويل جزء من الطاقة الحركية إلى حرارة، فترتفع درجة حرارتها، وهذا بدوره يقلل من كفاءة وفاعلية هذه الآلات في تحويل الطاقة، وقد يسبب تلفها. والاحتكاك في مفاصل جسم الإنسان يسبب الآلام وصعوبة الحركة.

معالجة الآثار السلبية: للتقليل من ارتفاع درجة حرارة أجزاء محرك السيارة وأجزاء الآلات المختلفة نتيجة الاحتكاك يستخدم فيها أنظمة تبريد تعتمد على حركة الماء بين أجزاء المحرك لتبريدها، كما تستخدم المراوح للتخلص من الحرارة الناتجة. كما يتم تزييت أجزاء المحرك والآلات وتشحيمها، وتفقدتها بشكل منتظم؛ للتقليل من الاحتكاك بين أجزائها. ومعالجة الاحتكاك داخل مفاصل جسم الإنسان بوضع سائل للتقليل من الاحتكاك، أو استخدام مفاصل صناعية.

الفيزياء والطب: تسمى المناطق التي تجمع اثنين أو أكثر من العظام في جسم الإنسان المفاصل (Joints)، معظم المفاصل تكون متحركة؛ مما يسمح للعظام بالحركة. ونتوقع أنه يوجد احتكاك عند هذه المفاصل؛ لأنها تربط مواد صلبة معاً. في الواقع تكون قوى الاحتكاك بين العظام في منطقة المفصل قليلة جداً؛ لأن سطوح العظام في منطقة المفصل مغطاة بغضاريف، إضافة إلى وجود غشاء زلالي يفرز مائعاً لزجاً يسمى السائل الزلالي (Synovial fluid) داخل المفصل، إذ يعد هذا السائل بمنزلة مادة تشحيم، يقلل الاحتكاك، ويحمي العظام من التآكل.



الشكل (27): صورة بالأشعة السينية لمفصل ركبة ملتهب مصاب بهشاشة عظام، ومفصل ركبة صناعي.

عند تعرض المفصل للتلف يُستخدم مفصل صناعي (Artificial joint) مكانه، يُصنع من الفولاذ المقاوم للصدأ أو التيتانيوم، أو البلاستيك. ولهذه المفاصل الصناعية معاملات احتكاك صغيرة جداً، تشبه المفاصل الطبيعية تقريباً، أنظر الشكل (27). وتستخدم فيه مواد تشحيم صناعية، مثل المواد الهلامية (Gels)، لتقليل الاحتكاك. أيضاً توجد مواد لزجة طبيعية (أو مواد تشحيم Lubricants) في جسم الإنسان تقلل من قوى الاحتكاك داخل الأعضاء أو بينها. فمثلاً، يُساعد إفراز اللعاب في عملية البلع؛ إذ يقلل من احتكاك المواد الغذائية التي يجري تناولها مع جدران البلعوم والمريء، ويُسهّل انزلاقها. كما يُساعد وجود مخاط لزج (Slippery mucus) بين أعضاء الجسم على حرية حركتها نسبة إلى بعضها في أثناء حركة الإنسان، وفي أثناء عمليتي التنفس، وخفقان القلب.

✓ **أنحقق:** أذكر ثلاث إيجابيات لقوة الاحتكاك، وثلاث سلبيات.

أبحث: لقوى الاحتكاك آثار إيجابية، وآثار سلبية. أبحث في مصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة ومنها شبكة الإنترنت عن المزيد من إيجابيات قوى الاحتكاك وسلبياتها، وعن كيفية معالجة سلبياتها وتقليل آثارها. وأعد عرضاً تقديمياً أعرضه أمام طلبة الصف.

أخطاء شائعة

قد يعتقد بعض الطلبة خطأ أن قوة الاحتكاك تعيق حركتنا؛ لذا وضح لهم أن قوة الاحتكاك السكوني تساعدنا في الحركة؛ فعندما ندفع بأقدامنا سطح الأرض إلى الخلف فإن قوة الاحتكاك السكوني بين أقدامنا وسطح الأرض تؤثر بقوة فيها إلى الأمام في اتجاه حركتنا، وتمنع انزلاقها للخلف. وتتجلى أهمية الاحتكاك السكوني عند محاولة المشي على سطوح ملساء أو زلقة.

✓ **أنحقق:**

الإيجابيات: حركة المركبات، والكتابة على الورق والسبورة، وعمل أنظمة المكابح في المركبات، وإشعال أعواد الثقاب، والمشي، إنتاج شرارة لإشعال الغاز والوقود....
السلبيات: تسبب تآكل بعض المنتجات التي نستخدمها في حياتنا اليومية، مثل: الأحذية، والملابس، وتسبب تآكل بطانة مكابح المركبات، وتعيق انزلاق الأجسام بعضها فوق بعض، وتسبب تباطؤها....

مراجعة الدرس

3 أ. قراءة الميزان تساوي قوة الشد في الحيط المتصل بالثقل، لذا

نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y؛
لحساب مقدار قوة الشد، مع مراعاة أن الثقل ساكن.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_T - F_g = ma = 0$$

$$F_T = F_g$$

$$= mg$$

$$= 10 \times 10$$

$$= 100 \text{ N}$$

ب. قراءة الميزان تساوي قوة الشد في الحيط المتصل بالثقل، وبما أن
الثقل والميزان تحركا إلى أعلى بسرعة متجهة ثابتة، لذا تكون
القوة المحصلة المؤثرة فيها صفراً، وبتطبيق القانون الثاني
لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y؛ لحساب مقدار قوة الشد.

$$F_T - F_g = ma = 0$$

$$F_T = F_g = 100 \text{ N}$$

ج. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y؛ لحساب
مقدار قوة الشد (قراءة الميزان).

$$F_T - F_g = ma$$

$$F_T = F_g + ma$$

$$= 100 + 10 \times 1$$

$$= 110 \text{ N}$$

د. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور (-y)؛
لحساب مقدار قوة الشد (قراءة الميزان)، باعتبار القوى المؤثرة
في اتجاه الحركة موجبة، والمؤثرة بعكس اتجاه الحركة سالبة.

$$F_g - F_T = ma$$

$$F_T = F_g - ma$$

$$= 100 - 10 \times 1$$

$$= 90 \text{ N}$$

4 أ. على السطح الأفقي:

$$F_N - F_g = ma = 0$$

$$F_N = F_g = mg$$

$$= 30 \times 10 = 300 \text{ N}$$

ب. على السطح المائل:

$$F_N - F_g \cos \theta = ma = 0$$

$$F_N = F_g \cos \theta = (300) \cos 20^\circ$$

$$= (300)(0.94)$$

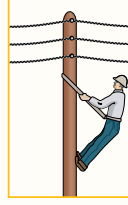
$$= 282 \text{ N}$$

5 بناء على ما تعلمته في هذا الدرس، تعتمد قوة الاحتكاك بين سطحين
متلامسين على معامل الاحتكاك بينهما، وعلى القوة العمودية التي يؤثر
بها كل منهما في الآخر. لذا، فإن زيادة عرض إطار السيارة أو تقليله
لا يؤثر في مقدار قوة الاحتكاك التي تؤثر بها الطريق في الإطار، فقوة
الاحتكاك لا تعتمد على مساحة السطحين المتلامسين.

مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسة:** ما المقصود بكل من: قوة الشد، القوة العمودية، قوة الاحتكاك؟ وهل وجود
الاحتكاك إيجابي أم سلبي؟ أفسر إجابتي.

2. **أحلل وأستنتج:** يوضح الشكل المجاور تسلك عامل صيانة في شركة الكهرباء لعمود كهرباء؛ إذ
ينتقل حذاء بمواصفات خاصة، وأيضاً يستخدم حزاماً أحذ طرفه ملتف حول خصره، وطرفه
الآخر ملتف حول العمود.



أ. أرسم مخطط الجسم الحر لعامل الصيانة، مسمياً القوى المؤثرة فيه.
ب. **أفسر:** هل يعتمد هذا العامل في صعوده العمود على قوة الاحتكاك
السكوني أم الحركي؟ أفسر إجابتي.
ج. أحدد موقعين في الشكل تؤثر فيهما قوة الاحتكاك في العامل، وأوضح
أهميتهما.



3. **أطبق:** يبين الشكل المجاور ميزاناً نابضياً معلقاً في نهايته ثقل (m)، كتلته
(10 kg). إذا علمت أن $g = 10 \text{ m/s}^2$ ، فأجد قراءة الميزان في الحالات الآتية:
أ. إذا كان الثقل ساكناً.

ب. إذا تحرك الثقل والميزان إلى أعلى بسرعة متجهة ثابتة.

ج. إذا تحرك الثقل والميزان إلى أعلى بتسارع مقداره (1 m/s^2) .

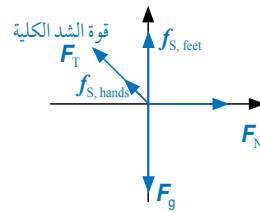
د. إذا تحرك الثقل والميزان إلى أسفل بتسارع مقداره (1 m/s^2) .

4. **أحسب:** صندوق كتلته (30 kg). أحسب مقدار القوة العمودية المؤثرة فيه عندما يكون مستقرًا على:
أ. سطح أفقي.

ب. مستوى مائل يميل عن الأفق بزاوية (20°) .

5. **التفكير الناقد:** في أثناء دراستي وزميلتي شيما لموضوع قوى الاحتكاك، قالت: «إن زيادة عرض
إطار السيارة يزيد من قوة الاحتكاك المؤثرة فيها؛ لذا ينبغي على السائقين استخدام إطارات أقل
عرضاً لتقليل احتكاكها بالطريق». أناقش صحة قول شيما بناءً على ما تعلمته في هذا الدرس.

41



1 **قوة الشد** قوة سحب تؤثر في جسم عن طريق

سلك أو حيط أو حبل، رمزها F_T ، وتؤثر في اتجاه
طول الحيط أو الحبل أو السلك، وتكون متساوية
في جميع أجزاء الحبل وتساوي قوى الشد عند
طرفيه عند إهمال كتلته.

القوة العمودية قوة تلامس تنشأ بين الأجسام
عند تلامسها فقط، وتقاس بوحدة (N) بحسب
النظام الدولي للوحدات.

قوة الاحتكاك قوة تلامس تعيق حركة الأجسام
الصلبة المتلامسة بعضها فوق بعض، وتمنع
حركتها، وتؤثر بشكل مواز لسطحي التلامس بين
الجسمين. وتنشأ هذه القوة بين سطحي الجسمين
المتلامسين عند تحريك أو محاولة تحريك بعضها
فوق بعض.

ب. يعتمد العامل في صعوده على قوة الاحتكاك
السكوني؛ حيث تساعد هذه القوة العامل في
الصعود وعدم الانزلاق.

ج. تؤثر قوة الاحتكاك السكوني عند موقع تلامس
قدمي عامل الصيانة مع العمود، وتمنع انزلاق
قدميه. وتؤثر أيضاً قوة احتكاك سكوني عند
نقطة تلامس يدي العامل مع الحبل، وتساعد
في سحب الحبل وتغيير موقع الحبل على العمود
ليتمكن من الصعود. كما تؤثر قوة احتكاك
سكوني عند نقطة التماس الحبل حول العمود،
وتمنع الحبل من الانزلاق إلى أسفل.

القوة المركزية
Centripetal Force

تقديم الدرس

1

الفكرة الرئيسية.

القوة المحصلة والقوة المركزية.

وَصَّح للطلبة أنه توجد قوة محصلة تؤثر في الأجسام التي تتحرك في مسارات دائرية، وذلك استنادًا إلى القانون الأول لنيوتن في الحركة. وأنهم سوف يتوصلون إلى علاقة القوة المركزية باستخدام القانون الثاني لنيوتن في الحركة.

وَصَّح للطلبة أهمية القوة المركزية، وأنها ليست نوع جديد من القوى، وأن العديد من الأجهزة والأدوات التي نستخدمها في حياتنا تتحرك حركة دائرية.

الربط بالمعرفة السابقة.

السرعة والتسارع وقوانين نيوتن في الحركة.
ذكر الطلبة أن القوة والسرعة والتسارع كميات فيزيائية متجهة. وذكرهم بتعريفات هذه الكميات الفيزيائية.
ذكر الطلبة أيضًا بأبرز ما تعلموه عن قوانين نيوتن في الحركة، والقصور الذاتي، والقوة المحصلة.
أخبر الطلبة أنهم سيدرسون في هذا الدرس القوة المركزية، وسيتم ربطها بحياتهم اليومية.

التدريس

2

استخدام الصور والأشكال.

وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (28)، ثم أسألهم:
كيف تتحرك السيارات عند المنعطف؟
في مسار منحن.
هل تؤثر قوة محصلة في هذه السيارات عند المنعطف؟
نعم.
كيف عرفت ذلك؟

بحسب القانون الأول لنيوتن، تتحرك السيارات في مسار مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيها قوة محصلة، وبما أن مساراتها غير مستقيمة؛ فهي تتأثر بقوة محصلة.
كيف يمكنك أيضًا إثبات أن السيارات عند المنعطف تتأثر بقوة محصلة؟

القوة المركزية والحركة الدائرية المنتظمة
Centripetal Force and Uniform Circular Motion

درست في الوحدة (2) الحركة الدائرية المنتظمة، وعرفت أنها حركة جسم بسرعة ثابتة المقدار في مسار دائري نصف قطره (r) حول محور، ويُحدّد موقعه بالنسبة إلى هذا المحور (محور الدوران). وعرفت أن متجه السرعة المماسية عند أيّة نقطة على المسار يكون مماسيًا للمسار عند تلك النقطة، ومتعامدًا مع متجه الموقع الخاص بها. هل يلزم تأثير قوة محصلة في الجسم؛ لكي يتحرك حركة دائرية منتظمة؟

للإجابة عن ذلك؛ أنظر سيارات السباق الموضحة في الشكل (28) عند المنعطف. ألاحظ أن كل سيارة تتحرك في مسار منحنٍ عند المنعطف، وهو يمثّل جزءًا من دائرة، وبحسب القانون الأول لنيوتن، تتحرك السيارات في مسار مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيها قوة محصلة، وبما أن مساراتها غير مستقيمة؛ فهي تتأثر بقوة محصلة.

لندرس حركة إحدى هذه السيارات عند المنعطف، ونفترض أنها تتحرك بسرعة مماسية ثابتة مقدارًا. إن اتجاه هذه السرعة يتغير بشكل مستمر، ويدلّ تغيرها على وجود تسارع، وبحسب القانون الثاني لنيوتن، فإن وجود التسارع يعني وجود قوة محصلة تؤثر فيها.

الفكرة الرئيسة:

تؤثر قوة مركزية في الأجسام التي تتحرك حركة دائرية. وللحركة الدائرية تطبيقات كثيرة في حياتنا اليومية.

نتائج التعلم:

- أستنتج أن الحركة الدائرية لجسم تتطلب تأثير قوة فيه باستمرار، نحو مركز المسار الدائري.
- أستقصي العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.
- أطبق لحل مسائل على القوة المركزية.

المفاهيم والمصطلحات:

القوة المركزية Centripetal Force

الشكل (28): لكي تتحرك السيارات في المنعطف، يلزم تأثير قوة محصلة فيها نحو مركز المسار الدائري الذي يُشكّله المنعطف.



42

السرعة كمية متجهة لها مقدار واتجاه، وتغير اتجاه سرعة السيارات عند المنعطف بشكل مستمر يعني أنها تسارع.

وماذا يعني تسارعها؟

بحسب القانون الثاني لنيوتن، إن وجود التسارع يعني وجود قوة محصلة تؤثر فيها.

إضاءة للمعلم

الفرق بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة الدائرية غير المنتظمة، هو أنه في الحركة الدائرية غير المنتظمة لا يكون اتجاه القوة المحصلة نحو مركز المسار الدائري، بل يميل بزاوية عنه، لذا يكون للجسم في هذه الحالة تسارع مماسي وتسارع مركزي. أما في الحركة الدائرية المنتظمة، فيكون اتجاه القوة المحصلة (تساوي القوة المركزية) نحو مركز المسار الدائري، ويكون للجسم في هذه الحالة تسارع مركزي فقط، ويكون مقدار سرعته المماسية ثابتًا، ويبقى مقدار القوة المركزية ثابتًا.

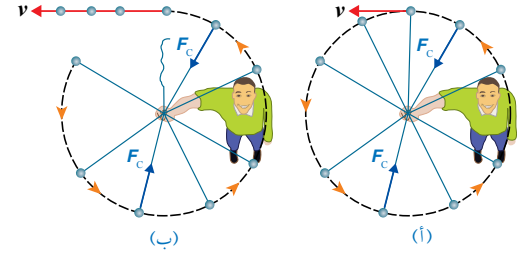
نشاط سرية

القوة المحصلة والقوة المركزية.

- دحرج كرة كبيرة مثل كرة القدم أو كرة السلة على سطح أفقي مستو، في خط مستقيم، ثم اطلب إلى الطلبة مراقبة حركتها، ثم اسألهم: ما القوى المؤثرة في الكرة؟ **الوزن، والقوة العمودية، وقوة الاحتكاك.** كيف يمكنهم تحريك الكرة في مسار منحني؟ **عن طريق دفعها بقوة.** ما اتجاه قوة الدفع هذه؟ **عمودياً على اتجاه حركتها.**

- اطلب إلى مجموعة من الطلبة الاصطفاف جنباً إلى جنب على أرضية أفقية مستوية، بحيث يشكلوا مساراً منحنياً على شكل قوس، ويكونوا مواجهين لمركز الدائرة التي يشكلها مسارهم المنحني. والآن، دحرج الكرة نحوهم بحيث تمر أمام الطالب الأول في المسار المنحني، ثم اطلب إلى بقية الطلبة المصطفين محاولة جعل الكرة تتحرك في مسار دائري (أو جزء من دائرة) تقريباً. كيف يمكنهم ذلك؟ **عن طريق دفع كل منهم للكرة دفعة صغيرة عمودياً على اتجاه سرعتها ونحو مركز المسار الدائري.** ثم اسألهم: ما الذي تمثله قوة الدفع التي أثروا بها في الكرة؟ **القوة المحصلة، والتي يجب أن تؤثر نحو مركز الدائرة.** ماذا تسمى هذه القوة المحصلة؟ **القوة المركزية.** هل هناك أي قوة تؤثر في الكرة بعيداً عن مركز المسار الدائري؟ **لا يوجد قوى تؤثر في الكرة بعيداً عن مركز المسار الدائري.**
- استمع إلى إجابات الطلبة، ثم أدر نقاشاً بينهم للتوصل إلى الإجابات الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

الشكل (29): منظر علوي لكرة مربوطة بنهاية خيط تتحرك حركة دائرية منتظمة في مسار دائري أفقي. (أ) تؤثر قوة مركزية في الكرة نحو مركز مسارها الدائري. (ب) عند انقطاع الخيط تنعدم القوة المركزية، وتتحرك الكرة في اتجاه سرعتها المماسية للمسار الدائري عند نقطة انقطاع الخيط.



القوة المركزية ومنشؤها Centripetal Force and Its Origin

ما القوة المحصلة؟ وما مصدرها؟ للإجابة عن ذلك؛ أنظر الشكل (29/أ)، الذي يوضح كرة كتلتها (m)، مربوطة بنهاية خيط طوله (l)، تتحرك حركة دائرية منتظمة في مسار دائري أفقي تقريباً، بسرعة مماسية ثابتة مقداراً (v). بحسب القانون الأول لنيوتن تميل الكرة إلى الحركة في مسار مستقيم مماسي للمسار الدائري؛ بسبب قصورها الذاتي. وللمحافظة على استمرار حركتها حركة دائرية منتظمة يلزم تأثير قوة محصلة فيها نحو مركز المسار الدائري، يكون اتجاهها عمودياً على اتجاه سرعتها المماسية، تُسمى القوة المركزية Centripetal force، رمزها (F_c)، تُسبب تغييراً في سرعتها المتجهة، أي تُكسبها تسارعاً مركزياً. وإذا انقطع الخيط عند نقطة معينة على المسار الدائري ستتحرك الكرة في مسار مستقيم مماسياً للمسار الدائري عند تلك النقطة، بحسب القانون الأول لنيوتن. أنظر الشكل (29/ب).

والسؤال: هل القوة المركزية نوع جديد من أنواع القوى؟ وما منشأ هذه القوة؟ إن القوة المركزية ليست نوعاً جديداً من القوى، وإنما هي اسم يُطلق على القوة المحصلة المؤثرة عمودياً على متجه السرعة المماسية لجسم متحرك في مسار دائري. أما أصل هذه القوة ومنشؤها فيعتمد على الحالة الفيزيائية قيد الدراسة. فمثلاً، القوة المركزية المسببة لدوران القمر الصناعي في مدار حول الأرض ناتجة عن قوة تجاذب كئلي بين القمر والأرض.

التعزيز:

- وضح للطلبة أنه إذا انعدمت القوة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك حركة دائرية، فإن هذا الجسم لا يستمر في حركته الدائرية، بل سيتحرك في خط مستقيم مماسي للمسار الدائري عند نقطة انعدام القوة.

إضاءة للمعلم

عند تحريك جسم (كرة مثلاً) مربوط في نهاية خيط في مسار دائري أفقي فوق الرأس، فإن الخيط الممتد بين الكرة ويد الشخص المسك به لا يكون في مستوى أفقي تماماً، بل يكون الخيط مائلاً؛ بحيث يكون هنالك مركبتين لقوة الشد في الخيط: إحداهما نحو مركز المسار الدائري (القوة المركزية)، والمركبة الأخرى يكون اتجاهها في هذه الحالة إلى أعلى لموازنة وزن الكرة، بحيث لا تسقط إلى أسفل.

المناقشة:

- وضح للطلبة مفهوم القوة المركزية، واتجاه تأثيرها في الجسم، ثم اسألهم:

- متى تؤثر القوة المركزية في جسم؟

عندما يتحرك في مسار منحني.

- هل القوة المركزية نوع جديد من القوى؟

إن القوة المركزية ليست نوعاً جديداً من القوى، وإنما هي اسم يطلق على القوة المحصلة المؤثرة عمودياً على متجه السرعة المماسية لجسم متحرك في مسار دائري.

- بما أن القوة المركزية ليست نوعاً جديداً من القوى، فما أصل هذه القوة أو ما منشؤها؟ يعتمد أصل القوة المركزية على الحالة الفيزيائية قيد الدراسة.

- أعط أمثلة على ذلك لتوضيح الإجابة؟

إن القوة المركزية المسببة لدوران الأرض حول الشمس ناتجة عن قوة تجاذب كئلي بين كتلة الشمس وكتلة الأرض. كما أن القوة المركزية المسببة لدوران الإلكترونات حول النواة ناتجة عن قوة جذب كهروسكونية بين النواة والإلكترونات.

بناء المفهوم.

القوة المركزية.

- وضح للطلبة أن وجود تسارع مركزي لجسم يعني وجود قوة محصلة تؤثر فيه، تسمى القوة المركزية، وأن هذه القوة تؤثر في الجسم نحو مركز المسار الدائري.

استخدام الصور والأشكال.

- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (31)، ثم اسألهم:

- كيف تتحرك السيارة في الشكل؟

داخل منعطف في مسار منحني.

- على افتراض أن مقدار سرعتها ثابت، هل توجد قوة محصلة تؤثر في السيارة؟ نعم.
- كيف يكون مقدار سرعتها ثابتاً رغم وجود قوة محصلة تؤثر فيها؟

تؤثر هذه القوة المحصلة في السيارة عمودياً على اتجاه سرعتها المماسية؛ فتغير اتجاه السرعة، بينما يبقى مقدارها ثابتاً.

- ما منشأ هذه القوة المحصلة (القوة المركزية)؟

منشؤها قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة وسطح الطريق.

- في أي اتجاه تؤثر؟

نحو مركز الدائرة التي يعد المنعطف جزءاً منها.

- ما أهمية قوة الاحتكاك السكوني الجانبية هذه؟

تمكن السائق من الانعطاف بسيارته داخل طريق المنعطف من دون أن تنزلق السيارة خارج المنعطف.

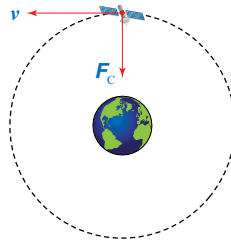
- ماذا تتوقع أن يحدث للسيارة عند هذا المنعطف إذا كان الطريق مغطى بزيت أو جليد؟

تندم (تقريباً) قوة الاحتكاك السكوني، وبحسب القانون الأول لنيوتن في الحركة سوف تتحرك السيارة بسرعة ثابتة مقداراً في مسار مستقيم مماسي للمسار الدائري عند موقع انعدام القوة المركزية؛ أي تنزلق خارج المنعطف.

✓ أنصح:

القوة المركزية هي القوة المحصلة التي تؤثر في جسم يتحرك حركة دائرية نحو مركز مساره الدائري، رمزها (F_c)، تسبب تغيراً في سرعته المتجهة، أي تكسبه تسارعاً مركزياً. والقوة المركزية ليست نوعاً جديداً من القوى؛ وإنما هي اسم يطلق على القوة المحصلة المؤثرة عمودياً على متجه السرعة المماسية لجسم متحرك في مسار دائري.

ويكون اتجاه سرعة القمر الصناعي عند أي موقع في مساره في اتجاه المماس لذلك الموقع. أنظر الشكل (30) الذي يوضح متجهي السرعة المماسية والقوة المركزية.



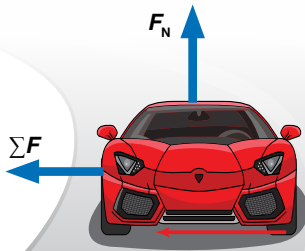
الشكل (30): القوة المركزية هي قوة التجاذب الكتلي بين الأرض والقمر الصناعي، وتؤثر عمودياً على اتجاه سرعة القمر.

والقوة المركزية المسببة لدوران الإلكترونات حول النواة ناتجة عن قوة جذب كهروسكونية بين النواة والإلكترونات. وقوى الشد في الجبال والأسلاك المتصلة بأجسام تتحرك حركة دائرية مثال على قوى مركزية. والقوة المركزية المؤثرة في الملابس الموضوعة في مجفف الملابس ناتجة عن القوة العمودية التي تؤثر بها جدران المجفف فيها.

إن القوة المركزية التي تمنع سيارة السباق الموضحة في الشكل (31) من الانزلاق خارج المنعطف خلال مسير السباق، هي قوة جانبية منشؤها قوة الاحتكاك السكوني بين إطاراتها وسطح الطريق، تؤثر نحو مركز الدائرة التي يعد المنعطف جزءاً منها. ويستقصي سائقو سيارات السباق ومصمموها القيم القصوى لهذه القوة للحصول على أكبر سرعات ممكنة عند المنعطفات؛ للمنافسة على صدارة السباقات. وعند انعدام قوة الاحتكاك السكوني، كأن يكون الطريق مغطى بالجليد أو الزيت، فإنه وبحسب القانون الأول لنيوتن في الحركة سوف تتحرك السيارة بسرعة ثابتة مقداراً في مسار مستقيم مماسي للمسار الدائري عند موقع انعدام القوة المركزية.

✓ **أنصح:** ما القوة المركزية؟ وهل القوة المركزية نوع جديد من القوى؟ أفسر إجابتي.

الشكل (31): القوة المركزية هي قوة الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق، وتؤثر نحو مركز المسار الدائري، عمودياً على اتجاه سرعة السيارة.



44

⚠ أخطاء شائعة

- بين للطلبة أن القوة المركزية ليست نوعاً جديداً من القوى، وإنما هي اسم يطلق على القوة المحصلة المؤثرة عمودياً على متجه السرعة المماسية لجسم متحرك في مسار دائري. فعند تدوير كرة مربوطة في نهاية خيط في مسار دائري أفقي، فإن القوة المحصلة المؤثرة فيها نحو مركز المسار الدائري هي قوة الشد في الخيط. عند توجيه السؤال للطلبة قد يجيب بعضهم خطأ: بأن القوة المحصلة المؤثرة في الكرة هي قوة الشد في الخيط والقوة المركزية. ولتصحيح هذا المفهوم غير الصحيح بين للطلبة أن قوة الشد في الخيط هي القوة الوحيدة المؤثرة نحو مركز المسار مسببة حركة الكرة الدائرية، ولكونها كذلك فقد اصطلح على تسميتها «قوة مركزية».

حساب القوة المركزية Calculating Centripetal Force

يُكتب القانون الثاني لنيوتن في الحركة في حال ثبات الكتلة في الصورة:

$$\Sigma F = ma$$

وفي حالة الحركة الدائرية المنتظمة، فإن القوة المحصلة نحو مركز الدوران تساوي القوة المركزية ($\Sigma F = F_c$)؛ لذا يُمكن كتابة معادلة حساب مقدار القوة المركزية لجسم يتحرك حركة دائرية منتظمة في مسار دائري نصف قطره (r)، وبسرعة مماسية (v)، وتسارع مركزي (a_c)، كما يأتي:

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

ويكون مقدار القوة المركزية ثابتاً في الحركة الدائرية المنتظمة، واتجاهها عمودياً على متجه السرعة المماسية. ولاستقصاء العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية اللازم التأثير بها في جسم لكي يتحرك حركة دائرية منتظمة؛ أنقذ التجربة الإثرائية (العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية) الواردة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية.

واعتماداً على معادلة حساب القوة المركزية، يُمكن التوصل إلى أن مقدار القوة المركزية المؤثرة في جسم كتلته (m) يتحرك حركة دائرية منتظمة - يعتمد على:

أ. نصف قطر المسار الدائري عند ثبات مقدار السرعة المماسية؛ حيث يلزم التأثير بقوة مركزية أكبر لجعل الجسم يتحرك في مسار دائري نصف قطره أصغر. ففي الشكل (29)، يزداد مقدار القوة المركزية اللازمة لحركة الكرة في مسار دائري أفقي بنقصان نصف قطر المسار الدائري عند ثبات مقدار السرعة المماسية. وبما أن قوة الشد في الخيط هي القوة المركزية، وتوجد قيمة قصوى لمقدار قوة الشد التي يتحملها الخيط قبل أن ينقطع، فيكون هنالك حدوداً لنصف قطر المسار.

ب. مربع مقدار السرعة المماسية عند ثبات نصف قطر المسار الدائري، حيث يلزم التأثير بقوة مركزية أكبر لجعل الجسم يتحرك في مسار دائري بسرعة أكبر. ففي الشكل (29)، يزداد مقدار القوة المركزية اللازمة لحركة الكرة في المسار الدائري الأفقي بزيادة مقدار سرعتها المماسية عند ثبات نصف قطر مسارها الدائري، ويكون هنالك حدوداً لمقدار السرعة المماسية.

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

أمثلة: عندما يجلس شخص في سيارة تتحرك خلال منعطف حاد، فإنه يشعر أنه توجد قوة تدفعه إلى خارج المنعطف نحو باب السيارة، حيث يُسميها بعض الأشخاص قوة طاردة مركزية Centrifugal force. وعندما تدور كرة مربوطة بنهاية خيط في مسار دائري أفقي تشعر أنه توجد قوة تؤثر فيها خارج المسار. هل هذه القوة حقيقية، أم قوة وهمية؟ أفسر إجابتي.

ملاحظة: يُساعد رسم مخطط الجسم الحر لراكب السيارة أو الكرة في استقصاء حقيقة هذه القوة.

أمثلة: استخدم استراتيجية التعلم التعاوني في تدريس

الطلبة هذا الموضوع.

• وزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلم.

• وزع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة بحيث يتفاعل الجميع معاً.

• اطلب إلى أفراد كل مجموعة رسم مخطط الجسم الحر لراكب سيارة تتحرك خلال منعطف (أو لكرة تتحرك في مسار دائري أفقي)، ثم إجابة الأسئلة الآتية كتابياً؛ على أن يتفاعل الجميع معاً قبل كتابتها:

- ما القوة اللازم تأثيرها في راكب السيارة والسيارة لكي يتحركا خلال المنعطف الحاد؟ وفي أي اتجاه يجب أن تؤثر؟

يلزم تأثير قوة مركزية فيها نحو مركز المسار الدائري الذي يشكله المنعطف.

- يشعر راكب السيارة بوجود قوة تدفعه خارج المنعطف نحو باب السيارة، ويسميها البعض قوة طاردة مركزية. بحسب مخطط الجسم الحر الذي رسمته، هل يوجد قوة أو قوى تؤثر في الراكب إلى خارج المنعطف؟ وهل القوة الطاردة المركزية موجودة فعلاً؟

لا؛ لا يوجد قوة تدفع أجسامنا إلى خارج المنعطف، والقوة الطاردة المركزية قوة غير حقيقية، وهي قوة وهمية لا وجود لها، وهذا ما يوضحه مخطط الجسم الحر.

- إذن، ما القوانين التي يمكن أن تساعدنا في تفسير الشعور بوجود قوة تدفع أجسامنا خارج المنعطف؟ القانون الأول لنيوتن (القصور الذاتي)، والقانون الثالث لنيوتن في الحركة.

- كيف تفسر قوانين نيوتن هذا الشعور؟

عندما تنعطف السيارة جهة اليسار مثلاً، فإن أجسامنا تميل إلى الاستمرار في الحركة بسرعة ثابتة في خط مستقيم نتيجة قصورها الذاتي، فتقترب أجسامنا من الجدار الداخلي لباب السيارة حتى تلامسه، فتؤثر فيه بقوة (الفعل)، وبحسب القانون الثالث لنيوتن يؤثر فينا الباب بقوة مساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه (رد الفعل)، فيدفعنا نحو مركز دائرة المنعطف، فنبقى في حركة دائرية.

• اطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.

• أدر نقاشاً بين أفراد المجموعات للتوصل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.



القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.** أخبر الطلبة أن للتحليل دوراً في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة.

المناقشة.

• اطلب إلى الطلبة تفسير سبب وجود حدود لمقدار السرعة المماسية لكرة مربوطة في نهاية خيط، تتحرك حركة دائرية منتظمة، حيث تم الإشارة إلى ذلك في نهاية الفقرة (ب). لأنه توجد قيمة قصوى لمقدار قوة الشد التي يتحملها الخيط قبل أن ينقطع، فيوجد حدود لمقدار السرعة المماسية التي يمكن تحريك الكرة بها في مسارها الدائري الأفقي.

✓ أنحقق:

يعتمد مقدار القوة المركزية اللازم التأثير بها في جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة على:

أ. نصف قطر المسار الدائري.

ب. مربع مقدار السرعة المماسية.

المناقشة

- استخدم استراتيجية التفكير الناقد واسأل الطلبة:
- ما الذي يوفر القوة المركزية اللازم تأثيرها في راكب يجلس في سيارة تتحرك في منعطف؟
القوة المركزية المؤثرة في الراكب هي قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين الراكب ومقعد السيارة.
- ما سبب انزلاق راكب السيارة خارج المنعطف ونحو الجدار الداخلي لباب السيارة عندما تتحرك السيارة في منعطف حاد؟

عندما تصبح قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين الراكب والمقعد غير كافية للمحافظة على حركة الراكب في المسار الدائري، فإنه ينزلق جهة الباب؛ بسبب القصور الذاتي لجسمه، وعندها يؤثر فيه الباب بقوة عمودية تساهم في القوة المركزية المؤثرة في الراكب نحو مركز المنعطف.

مثال إضافي

- في المثال (10)، إذا أصبح طول الخيط المربوط في الكرة (50 cm)، فأحسب مقدار:
أ. سرعتها المماسية.
ب. تسارعها المركزي.
ج. القوة المركزية المؤثرة فيها.

الحل:

أ. لإيجاد مقدار السرعة المماسية، نستخدم العلاقة الآتية:

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

$$= \frac{2(3.14)(0.5)}{0.5}$$

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

ب. لإيجاد مقدار التسارع المركزي، نستخدم العلاقة الآتية:

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

$$= \frac{(6.3)^2}{0.5}$$

$$= 79.4 \text{ m/s}^2$$

ج. لإيجاد مقدار القوة المركزية، نستخدم العلاقة الآتية:

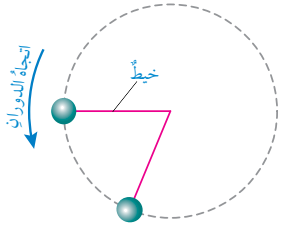
$$F_c = m a_c$$

$$= (0.05)(79.4)$$

$$= 4 \text{ N}$$

46

المثال 10



الشكل (32): منظر علوي لكرة مربوطة في نهاية خيط.

- كرة كتلتها (50 g) مربوطة في نهاية خيط طوله (100 cm)، تتحرك حركة دائرية منتظمة في مسار دائري أفقي، كما هو موضح في الشكل (32). فإذا علمت أن الزمن الدوري للكرة (0.5 s)، فأحسب مقدار:
أ. سرعتها المماسية.
ب. تسارعها المركزي.
ج. القوة المركزية المؤثرة فيها.
د. قوة الشد في الخيط.
المعطيات:

$$m = 50 \text{ g} = 0.05 \text{ kg}, r = l = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}, T = 0.5 \text{ s}$$

المطلوب:

$$v = ?, a_c = ?, F_c = ?, F_T = ?$$

الحل:

أ. لإيجاد مقدار السرعة المماسية نستخدم العلاقة الآتية، علمًا بأن طول المسار الدائري يساوي $(2\pi r)$:

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

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

ب. لإيجاد مقدار التسارع المركزي نستخدم العلاقة الآتية:

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

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

ج. لإيجاد مقدار القوة المركزية نستخدم العلاقة الآتية:

$$F_c = m a_c$$

$$= (0.05)(158.8)$$

$$= 7.9 \text{ N}$$

د. قوة الشد في الخيط هي نفسها القوة المركزية:

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

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

- * التفكير: التحليل. أخبر الطلبة أن للتحليل دورًا في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة.

بناء المفهوم

الحركة الدائرية المنتظمة.

- اطلب إلى الطلبة تحديد اتجاه القوة المركزية، والتسارع المركزي، والسرعة المماسية لجسم يتحرك حركة دائرية منتظمة (السيارة الواردة في المثال 11 مثلاً).
- القوة المركزية والتسارع المركزي يكونان نحو مركز المسار الدائري لذا يتغير اتجاههما باستمرار في أثناء حركة الجسم بحيث يشران دائماً نحو المركز، أما اتجاه السرعة المماسية فيكون في اتجاه المماس للمسار الدائري عند موقع السيارة على المسار، وهو أيضًا يتغير من موقع إلى آخر على المسار.
- اطلب إلى الطلبة وصف مقدار كل من: القوة المركزية، والتسارع المركزي، والسرعة المماسية للجسم نفسه.
- تبقى مقاديرها جميعًا ثابتة في الحركة الدائرية المنتظمة.

مثال إضافي

في المثال (11)، إذا كانت الطريق مبللة بالماء، حيث معامل الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق أصبح (0.5)، فاحسب مقدار أكبر سرعة يمكن أن تتحرك بها السيارة دون أن تنزلق.

الحل:

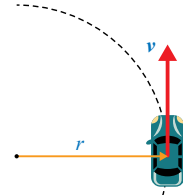
لإيجاد مقدار أكبر سرعة، يجب حساب مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى الجديدة المؤثرة في السيارة، وهي تساوي القوة المركزية.

$$\begin{aligned} f_{s,\max} &= \mu_s F_N \\ &= (0.5)(1.5 \times 10^4) \\ &= 7.5 \times 10^3 \text{ N} \\ &= F_c \end{aligned}$$

سوف تتحرك السيارة في المسار الدائري بأكبر سرعة ممكنة إذا كانت قوة الاحتكاك السكوني العظمى المؤثرة فيها مساوية للقوة المركزية؛ أي أن:

$$\begin{aligned} F_c &= f_{s,\max} \\ \frac{m v_{\max}^2}{r} &= 7.5 \times 10^3 \\ v_{\max}^2 &= \frac{r \times 7.5 \times 10^3}{m} \\ &= \frac{(50)(7.5 \times 10^3)}{1.5 \times 10^3} \\ &= 250 \\ v_{\max} &= 15.8 \text{ m/s} \end{aligned}$$

المثال 11



الشكل (33): منظر علوي لسيارة تتحرك في مسار دائري.

تتحرك سيارة كتلتها $(1.5 \times 10^3 \text{ kg})$ في مسار دائري نصف قطره (50 m) بسرعة ثابتة مقدارها (15 m/s)، كما هو موضح في الشكل (33). إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق (0.8)، وسطح الطريق أفقي، فأحسب مقدار:

- التسارع المركزي للسيارة.
- القوة المركزية المؤثرة في السيارة.
- أكبر سرعة يمكن أن تتحرك بها السيارة دون أن تنزلق.

المعطيات:

$$m = 1.5 \times 10^3 \text{ kg}, r = 50 \text{ m}, v = 15 \text{ m/s}, \mu_s = 0.8$$

المطلوب:

$$a_c = ?, F_c = ?, v_{\max} = ?$$

الحل:

بدايةً، أرسم مخطط الجسم الحر للسيارة، حيث تؤثر فيها القوى الآتية: وزنها (F_g) رأسياً إلى أسفل، والقوة العمودية (F_N) التي يؤثر بها سطح الطريق الأفقي في السيارة وتكون رأسياً إلى أعلى، وقوة الاحتكاك السكوني (f_s) بين إطارات السيارة وسطح الطريق، وتكون نحو مركز المسار الدائري، وقوة دفع محرك السيارة إلى الأمام في اتجاه الحركة، وقوة احتكاك حركي بين السيارة والهواء في عكس اتجاه الحركة. ورسمت القوى المؤثرة عمودياً على اتجاه الحركة فقط في مخطط الجسم الحر للتبسيط.

أ. لإيجاد مقدار التسارع المركزي للسيارة؛ نستخدم العلاقة الآتية:

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

ب. لإيجاد مقدار القوة المركزية المؤثرة في السيارة؛ نستخدم العلاقة الآتية:

$$\begin{aligned} F_c &= m a_c = (1.5 \times 10^3)(4.5) \\ &= 6.75 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

47

العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.

طريقة أخرى للتدريس

- التأثير بقوة أكبر في الكرة لتحريكها في المسار الدائري؟ الحالة الثانية ذات السرعة الأكبر، حيث لزم التأثير بقوة أكبر في الكرة لتحريكها في المسار نفسه.
- الآن اطلب إلى كل مجموعة تكرار التجربة السابقة نفسها، ولكن في هذه المرة عليهم تثبيت سرعة الكرة قدر المستطاع في أثناء التجربة، ولكنهم سيغيرون نصف قطر المسار الذي يشكلونه، مرة نصف قطر كبير، ومرة أخرى نصف قطر صغير، ثم أسألهم: في أي الحالتين لزم التأثير بقوة أكبر في الكرة لتحريكها في المسار الدائري؟ الحالة الثانية ذات نصف القطر الأصغر، حيث لزم التأثير بقوة أكبر في الكرة لتحريكها في المسار بالسرعة نفسها.
- استمع إلى إجابات الطلبة، ثم أدر نقاشاً بينهم للتوصل إلى الإجابات الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.
- تجول بين أفراد المجموعات موجهًا ومساعدًا ومرشدًا، وصحح المفاهيم غير الصحيحة لديهم.
- اطلب إلى كل مجموعة عرض النتائج التي توصلوا إليها على السبورة أمام المجموعات الأخرى، ثم مناقشة هذه النتائج.

- لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على معرفة العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية اللازم تأثيرها في جسم لكي يتحرك في مسار دائري، استخدم استراتيجية التعلم التعاوني في تدريس الطلبة هذا الموضوع.
- وزع الطلبة إلى مجموعات كبيرة غير متجانسة؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلم.
- وزع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة بحيث يتفاعل الجميع معاً.
- اطلب إلى أفراد كل مجموعة التعاون معاً في تنفيذ التجربة الآتية:
- بدايةً، يصطف أفراد كل مجموعة جنباً إلى جنب على أرضية أفقية مستوية، بحيث يشكلوا مساراً منحنيًا على شكل قوس، ويكونوا مواجهين لمركز الدائرة التي يشكلها المسار المنحني. ثم يدحرج أحد أعضاء المجموعة كرة قدم نحوهم، بحيث تمر الكرة أمام الطالب الأول في المسار المنحني، ويكون دور بقية الطلبة المصطفين جعل الكرة تتحرك في مسار دائري (أو جزء من دائرة). ثم يكرر الطالب المحاولة السابقة نفسها، ولكن بزيادة مقدار سرعة الكرة، ومن دون تغيير مواقع الطلبة (لتثبيت نصف قطر المسار)، ثم أسألهم: في أي الحالتين لزم

1. نساوي القوة المركزية بأكبر قوة شد يتحملها الخيط قبل أن ينقطع؛ لحساب مقدار أكبر سرعة مماسية يمكن أن تتحرك بها الكرة.

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

$$m \frac{v_{\max}^2}{r} = 7.9$$

$$v_{\max}^2 = \frac{1 \times 7.9}{0.05}$$

$$= 158$$

$$v = 12.6 \text{ m/s}$$

2. أ. نحول سرعة السيارة من (km/h) إلى (m/s).

$$v = \frac{(50)(1000)}{(3600)} = 13.9 \text{ m/s}$$

نحسب مقدار القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

$$F_C = ma_C$$

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

$$= (1.5 \times 10^3) \frac{(13.9)^2}{90} = 3.22 \times 10^3 \text{ N}$$

ب. ستتتحرك السيارة في المسار الدائري بأكبر سرعة عندما تكون قوة الاحتكاك السكوني العظمى المؤثرة فيها مساوية حاصل ضرب كتلتها في تسارعها المركزي.

$$F_N = mg = (1.5 \times 10^3 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)$$

$$= 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

$$F_C = f_{s,\max}$$

$$\frac{mv^2}{r} = \mu_s F_N$$

$$\frac{mv^2}{r} = (0.6)(1.5 \times 10^4 \text{ N}) = 9 \times 10^3 \text{ N}$$

$$v^2 = \frac{r(9 \times 10^3)}{m} = \frac{(90)(9 \times 10^3)}{1.5 \times 10^3} = 540$$

$$v = 23.2 \text{ m/s}$$

ج. لإيجاد مقدار أكبر سرعة؛ يجب بدايةً حساب قوة الاحتكاك السكوني العظمى المؤثرة في السيارة، ومن أجل ذلك يجب إيجاد القوة العمودية المؤثرة في السيارة مع ملاحظة أن سطح الطريق أفقي. لذا؛ نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور y ، مع ملاحظة أنه لا توجد حركة في اتجاهه.

$$\Sigma F_y = ma_y = 0$$

$$F_N - F_g = 0$$

$$F_N = F_g = mg = (1.5 \times 10^3)(10)$$

$$= 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

ثم نحسب مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى المؤثرة في السيارة، وهي منشأ القوة المركزية.

$$f_{s,\max} = \mu_s F_N = (0.8)(1.5 \times 10^4)$$

$$= 1.2 \times 10^4 \text{ N} = F_C$$

سوف تتحرك السيارة في المسار الدائري بأكبر سرعة ممكنة إذا كانت قوة الاحتكاك السكوني العظمى المؤثرة فيها مساوية للقوة المركزية؛ أي أن:

$$F_C = f_{s,\max}$$

$$\frac{mv_{\max}^2}{r} = 1.2 \times 10^4$$

$$v_{\max}^2 = \frac{r \times 1.2 \times 10^4}{m} = \frac{(50)(1.2 \times 10^4)}{1.5 \times 10^3} = 400$$

$$v_{\max} = 20 \text{ m/s}$$

تمرين

1. في المثال 10، أحسب مقدار أكبر سرعة مماسية يمكن أن تتحرك بها الكرة إذا علمت أن مقدار أكبر قوة شد يتحملها الخيط قبل أن ينقطع تساوي (10 N).

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

أ. القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

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

أخطاء شائعة

● قد يعتقد بعض الطلبة خطأ أنه يجب على السائق زيادة مقدار سرعة السيارة في المنعطف لزيادة مقدار القوة المركزية المؤثرة فيها، وبالتالي زيادة استقرارها؛ لذا وضح لهم أن علاقة القوة المركزية $(\frac{mv^2}{r})$ تعطي مقدار القوة المحصلة اللازم تأثيرها في الجسم المتحرك بسرعة مقدارها (v) في مسار دائري نصف قطره (r) ، وأن هذه القوة المركزية توفرها قوة أخرى. فمثلاً في مثال السيارة، توفر قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة وسطح الطريق القوة المركزية اللازمة لحركة السيارة في مسار منحن، وأنه بزيادة مقدار سرعة السيارة يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني الجانبية اللازم تأثيرها في السيارة لتوفير القوة المركزية المناسبة لضمان عدم انزلاقها، غير أنه عند سرعة معينة تصبح قوة الاحتكاك السكوني الجانبية غير قادرة على توفير القوة اللازمة لضمان استقرار السيارة في المنعطف، فتزلق خارجة.

مراجعة الدرس

3 أ.

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

ب.

$$F_c = m a_c = (1.1 \times 10^3)(5.8) = 6.38 \times 10^3 \text{ N}$$

ج. قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة ووسط الطريق.

د.

$$F_c = f_{s,\max}$$

$$\frac{m v_{\max}^2}{r} = 8 \times 10^3$$

$$v_{\max}^2 = \frac{r \times 8 \times 10^3}{m}$$

$$= \frac{(25)(8 \times 10^3)}{(1.1 \times 10^3)} = 181.81$$

$$v_{\max} = 13.5 \text{ m/s}$$

4 أ.

$$T = 129 \times 60 = 7740 \text{ s}$$

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

$$= \frac{2(3.14)(2.1 \times 10^6 + 6.38 \times 10^6)}{7740}$$

$$= 6.88 \times 10^3 \text{ m/s}$$

ب.

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

$$= \frac{(5.5 \times 10^2)(6.88 \times 10^3)^2}{2.1 \times 10^6 + 6.38 \times 10^6}$$

$$= 3.07 \times 10^3 \text{ N}$$

5 قول زميلتي فاتن غير دقيق علمياً؛ لأن زيادة سرعة السيارة يتطلب زيادة مقدار قوة الاحتكاك السكوني الجانبية اللازم تأثيرها في السيارة لتوفير القوة المركزية المناسبة لضمان عدم انزلاقها، غير أنه يوجد قيمة عظمى لقوة الاحتكاك السكوني، وهذا يعني أنه عند سرعة معينة تصبح هذه القوة غير قادرة على توفير القوة اللازمة لضمان استقرار السيارة في المنعطف، فتتزلق خارجاً. ملاحظة: علاقة القوة المركزية $\frac{mv^2}{r}$ تعطي مقدار القوة اللازم تأثيرها في سيارة السباق لضمان عدم انزلاقها إلى خارج المنعطف، وهذه القوة المركزية توفرها قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة ووسط الطريق.

مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسة: ما المقصود بالقوة المركزية؟ وهل هي نوع جديد من القوى؟ أفسر إجابتي.
- أستخدم المتغيرات: متوسط نصف قطر مدار القمر حول الأرض $(3.8 \times 10^8 \text{ m})$ تقريباً، وسرعته المماسية المتوسطة $(1.0 \times 10^3 \text{ m/s})$ ، وكتلته $(7.3 \times 10^{22} \text{ kg})$ تقريباً.
 - أ. أحسب زمنه الدوري في مداره.
 - ب. أحسب مقدار تسارعه المركزي.
 - ج. ما منشأ القوة المركزية المؤثرة فيه، واللازمة لدورانه في مداره؟
 - د. أحسب مقدار القوة المركزية المؤثرة فيه.
- أستخدم المتغيرات: سيارة كتلتها $(1.1 \times 10^3 \text{ kg})$ ، تتحرك بسرعة (12 m/s) في منعطف نصف قطره (25 m) .
 - أ. أحسب مقدار التسارع المركزي للسيارة.
 - ب. أحسب مقدار القوة المركزية المؤثرة في السيارة.
 - ج. ما منشأ القوة المركزية المؤثرة في السيارة؟
 - د. أحسب مقدار أكبر سرعة مماسية يمكن أن تتحرك بها السيارة في هذا المنعطف؛ إذا كان مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى المؤثرة نحو مركز المنعطف (8 kN) .
- أحسب: قمر صناعي كتلته $(5.5 \times 10^2 \text{ kg})$ ، يدور حول الأرض على ارتفاع $(2.1 \times 10^3 \text{ km})$ من سطح الأرض. إذا كان الزمن الدوري للقمر ساعتين وتسع دقائق، ونصف قطر الأرض $(6.38 \times 10^3 \text{ km})$ ، فأحسب مقدار:
 - أ. السرعة المماسية للقمر.
 - ب. القوة المركزية المؤثرة في القمر.
- أصدر حكماً: في أثناء دراستي وزميلتي فاتن لموضوع القوة المركزية، قالت: «يجب على سائق سيارة السباق التي تتحرك على طريق أفقي لمنعطف - زيادة مقدار سرعة السيارة؛ لزيادة مقدار القوة المركزية المؤثرة فيها، وبالتالي المحافظة على استقرارها وعدم انزلاقها». أناقش صحة قول فاتن.

- القوة المركزية هي القوة المحصلة التي تؤثر في جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة نحو مركز مساره الدائري، رمزها (F_c) ، تسبب تغيراً في اتجاه سرعته، أي تكسبه تسارعاً مركباً. وهي ليست نوعاً جديداً من القوى؛ وإنما هي اسم يطلق على القوة المحصلة المؤثرة عمودياً على متجه السرعة المماسية لجسم متحرك في مسار دائري.

ب.

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

$$= \frac{2(3.14)(3.8 \times 10^8)}{(1.0 \times 10^3)}$$

$$= 2.39 \times 10^6 \text{ s}$$

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

$$= \frac{(1.0 \times 10^3)^2}{3.8 \times 10^8}$$

$$= 2.64 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

ج. قوة التجاذب الكتلتي بين الأرض والقمر.

$$F_c = m a_c$$

$$= (7.3 \times 10^{22})(2.64 \times 10^{-3})$$

$$= 1.927 \times 10^{20} \text{ N}$$

د.

المنعطفات المائلة

الهدف:

- تعرف أهمية علم الفيزياء في الحياة العملية.
- استنتاج أهمية تصميم الطرق بشكل مائل عند المنعطفات.

الإجراءات والتوجيهات:

- وزع الطلبة إلى مجموعات، ثم اطلب إلى أفراد كل مجموعة قراءة بند «الإثراء والتوسع»، ومناقشة محتواه فيما بينهم.

اطرح على أفراد المجموعات الأسئلة الآتية:

- ما منشأ القوة المركزية المؤثرة في السيارة عند المنعطفات ذات الطرق الأفقية؟

قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة و سطح الطريق.

- ما العامل الذي يحدد مقدار سرعة السيارة في المنعطف ذي الطريق الأفقية؟

قوة الاحتكاك السكوني الجانبية العظمى بين إطارات السيارة و سطح الطريق.

- لماذا تصميم طريق المنعطف بشكل مائل؟

إجابة محتملة: في حالة المنعطف المائل يوجد مركبة للقوة العمودية المؤثرة في السيارة تؤثر نحو مركز المسار الدائري الذي يشكله المنعطف، تضاف إلى قوة الاحتكاك السكوني الجانبية، وتساهم في زيادة مقدار القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

- ما الفائدة التي نحصل عليها من جعل المنعطفات الخطرة مائلة؟

إجابات محتملة: تمكن سائقي السيارات من التحرك بسياراتهم بسرعات أكبر في هذه المنعطفات مقارنة بسرعة تحركهم فيها لو كانت غير مائلة. تجعل عملية القيادة في المنعطفات أكثر أماناً. تقلل من حوادث السير الناتجة عن فقدان السيطرة على المركبات واندفاعها خارج المنعطف.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج



والمواد الدراسية

* المهارات الحياتية: الابتكار. أخبر الطلبة أن الابتكار يتجاوز أساساً كل ما هو تقليدي، وأنه يوجد وسائل جديدة للوصول إلى النتائج المنشودة.

الإثراء والتوسع

المنعطفات المائلة Banked turns

تصمم المنعطفات الحادة في مسارات سباقات الدراجات والسيارات؛ بحيث تكون مائلة. والطرق العامة، أيضاً تُصمم بحيث تتضمن قدرًا من الميلان عند المنعطفات، خاصة الخطرة منها. فما أهمية هذا التصميم؟

عندما تدخل سيارة منعطفًا طريقه أفقي فإن قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطاراتها و سطح الطريق توفر القوة المركزية اللازمة لحركتها فيه دون أن تنزلق خارج المنعطف. فلا يمكن أن تتحرك السيارة في منعطف أفقي إلا بوجود قوة احتكاك جانبية تؤثر نحو مركز المنعطف.

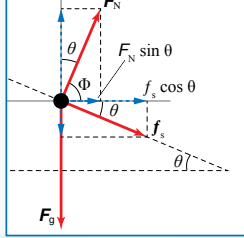
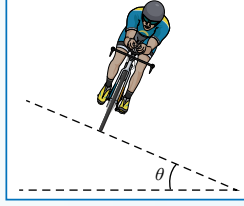
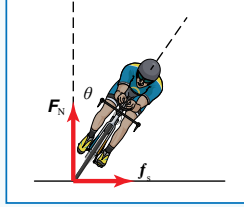
كذلك عندما تدخل دراجة هوائية منعطفًا، فإن راكبها يدير مقودها لبدء الاستدارة في المنعطف، فتوفر قوة الاحتكاك الجانبية القوة المركزية نحو مركز المسار الدائري الذي يُشكله المنعطف.

إذا زادت سرعة السيارة أو الدراجة في المنعطف يزداد مقدار القوة المركزية اللازمة لإبقائها داخله، وضمان عدم انزلاقها خارجة. وإذا زادت سرعتها بحيث أصبحت القوة المركزية اللازمة لإبقائها داخل المنعطف أكبر من القيمة العظمى لقوة الاحتكاك السكوني الجانبية، فإنها ستزلق خارج المنعطف، وقد يسقط راكب الدراجة. من أجل ذلك تُصمم المنعطفات بشكل مائل، فما فائدة ذلك؟

عند دخول دراجة منعطفًا يميل بزاوية (θ) على الأفقي، فإن القوة العمودية المؤثرة فيها، لها مركبة أفقية نحو مركز المسار الدائري الذي يُشكله المنعطف، لذا؛ فهي تساهم في القوة المركزية إضافة إلى قوة الاحتكاك السكوني الجانبية. وهذا يعني أن السيارات والدراجات يمكن أن تتحرك بسرعات أكبر في المنعطفات المائلة قبل أن تنزلق إطاراتها مقارنة بالمنعطفات غير المائلة. وتُعطى القوة المركزية في حالة المنعطفات المائلة بالعلاقة:

$$\frac{mv^2}{r} = F_N \sin \theta + f_s \cos \theta$$

وتجدر الإشارة إلى أن تلك المنعطفات تُمكن السيارات من التحرك فيها حتى في حالة انعدام قوة الاحتكاك؛ نتيجة لوجود مركبة للقوة العمودية نحو مركز المنعطف، التي توفر القوة المركزية المطلوبة لضمان الحركة الدائرية.



إدراك مستعيناً بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة ومنها شبكة الإنترنت، أبحث عن منعطفات مُصممة بشكل مائل في منطقتي، وأعدُّ وأفردُ مجموعتي تقريراً مدعماً بالصور عن مزايا هذه المنعطفات. كذلك أبحث - بمساعدة أفراد مجموعتي - عن منعطفات خطيرة لم تُصمم بشكل مائل، وأكتب رسالة إلى الجهات المسؤولة - بوساطة إدارة مدرستي - أشرح لهم ضرورة إعادة تصميم هذا المنعطف ليصبح مائلاً، وأوضح فيها أهمية ذلك في تقليل حوادث السيارات والحفاظ على حياة المواطنين وممتلكاتهم.

50

نشاط تتضمن مزايا المنعطفات المائلة:

إجابات محتملة: تمكن سائقي السيارات من التحرك بسياراتهم بسرعات أكبر في هذه المنعطفات مقارنة بمقدار سرعة تحركهم فيها لو كانت غير مائلة. تجعل عملية القيادة في المنعطفات أكثر أماناً. تقلل من حوادث السير الناتجة عن فقدان السيطرة على المركبات واندفاعها خارج المنعطف. الحفاظ على حياة المواطنين وممتلكاتهم، ...

توصيات لتصميم منعطف خطر بشكل مائل:

توصيات محتملة:

- قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة و سطح الطريق هي التي توفر القوة اللازمة لحركة السيارة داخل المنعطف من دون أن تنزلق.

- عند تصميم المنعطف بشكل مائل يزداد مقدار القوة المركزية المؤثرة في السيارة؛ حيث تصبح القوة العمودية المؤثرة في السيارة مائلة عن المحور الرأسي بنفس مقدار ميلان المنعطف عن الأفق، لذا يكون هنالك مركبة للقوة العمودية نحو مركز المسار الدائري الذي يشكله المنعطف، وهذه القوة تضاف إلى قوة الاحتكاك السكوني الجانبية المؤثرة في السيارة، مما يساهم في استقرار السيارة، ويحافظ على عدم انزلاقها خارجة، ...

ملاحظة: أينما يلزم اعتبر: $g = 10 \text{ m/s}^2$, $g_M = 1.6 \text{ m/s}^2$, $m_E = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$, $r_E = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$, $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$.

1. أضغ دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:
1. قوة ناتجة عن تلامس جسمين، وتكون دائماً عمودية على مستوى التلامس بينهما، إنها:

أ. القوة العمودية ب. قوة الشد ج. الوزن د. قوة التجاذب الكتلي

توضيح الأشكال المجاورة ثقلاً مقداره (10 kg) معلقاً في الهواء في إحدى نهايتي خيط خفيف غير قابل للاستطالة، ويمسك شخص طرفه الآخر. أستعين بهذه الأشكال للإجابة عن الأسئلة 2 - 4:

2. شكلان قوتا الشد فيهما متساويين، وتساوي وزن الثقل، هما:

أ. A و B ب. B و C ج. A و C د. A و D

3. في أي الأشكال قوة الشد في الحبل هي الأكبر؟

أ. A ب. B ج. C د. D

4. في أي الأشكال قوة الشد في الحبل هي الأصغر؟

أ. A ب. B ج. C د. D

5. القوة التي تجذب الأرض بها الجسم تسمى:

أ. قوة الشد ب. قوة الاحتكاك ج. الوزن د. القوة العمودية

يتحرك قمر صناعي حول الأرض حركة دائرية منتظمة في مدار دائري، ويوضح الشكل المجاور القمر الصناعي عند أحد مواقعها في المدار. أستعين بالشكل للإجابة عن الأسئلة 6 - 9:

6. القوة المحصلة المؤثرة في القمر الصناعي هي:

أ. قوة عمودية، في اتجاه A ب. قوة مماسية، في اتجاه B

ج. قوة طرد مركزي، في اتجاه C د. قوة مركزية، في اتجاه D

7. إذا انعدمت القوة المؤثرة في القمر الصناعي، فإنه سيتحرك في اتجاه السهم:

أ. A ب. B ج. C د. D

8. منشأ القوة المحصلة المؤثرة في القمر الصناعي هو:

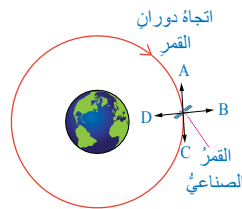
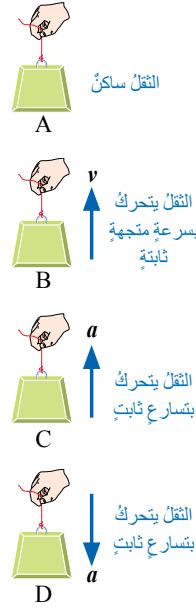
أ. قوة احتكاك ب. قوة عمودية

ج. قوة تجاذب كتلي د. قوة شد

9. إذا تضاعفت المسافة بين مركزي الأرض والقمر الصناعي مرتين، فإن قوة التجاذب الكتلي بينهما:

أ. تصبح ربع قيمتها الابتدائية ب. تتضاعف أربع مرات

ج. تصبح نصف قيمتها الابتدائية د. تتضاعف مرتين



51

1 - أ.

2 - أ.

3 - ج.

4 - د.

5 - ج.

6 - د.

7 - ج.

8 - ج.

9 - أ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* التفكير: التأمل والتساؤل.

أخبر الطلبة أن التأمل والتساؤل يؤثران إيجاباً في قدرتهم على التركيز والاستيعاب.

10- ب .

11- ج .

12- أ .

13- أ .

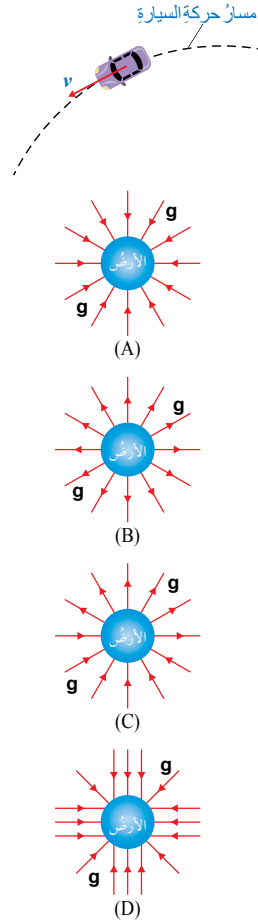
2 يؤثر التسارع المركزي في اتجاه القوة المركزية، ويكون نحو مركز المسار الدائري. التسارع المركزي ناتج عن تغير اتجاه السرعة المماسية، وليس تغير مقدارها، لذا يبقى مقدار السرعة المماسية ثابتاً في الحركة الدائرية المنتظمة.

3 أ . قوة التجاذب الكتلتي بين كتلة الأرض وكتلة الشمس.

ب . القوة العمودية التي يؤثر بها الجدار الداخلي لحوض التجفيف نحو محور الحوض الأسطواني.

ج . قوة الشد في الخيط.

د . قوة جذب كهروستاتيكية بين الإلكترون السالب الشحنة، والنواة الموجبة الشحنة.



52

10. مسبار (مجس) فضائي (space probe) على بُعد معين من الأرض. إذا كان وزن جسم موجود في المسبار (3.5 N)، وتسارع السقوط الحر في موقع المسبار (7 m/s²)، فإن كتلة هذا الجسم ووزنه على سطح الأرض على الترتيب:

أ. 3.5 N، 0.5 kg ب. 5 N، 0.5 kg ج. 3.5 N، 2 kg د. 20 N، 2 kg

11. يوضح الشكل المجاور منظرًا علويًا لسيارة تتحرك في مسار دائري أفقي بسرعة ثابتة مقداراً. بناءً على ما سبق، فأَيُّ الجمل الآتية صحيحة؟

أ. القوة المحصلة المؤثرة في السيارة تساوي صفراً؛ لأنها تتحرك بسرعة ثابتة.

ب. القوة المحصلة المؤثرة في السيارة لا تساوي صفراً، وتؤثر فيها نحو خارج المسار.

ج. القوة المحصلة المؤثرة في السيارة لا تساوي صفراً، وتؤثر فيها نحو مركز المسار.

د. القوة المحصلة المؤثرة في السيارة لا تساوي صفراً، وتؤثر فيها في اتجاه حركتها.

12. أيُّ الأشكال الموضحة في الشكل المجاور يُمثل اتجاه تسارع الجاذبية الأرضية؟

أ. A ب. B ج. C د. D

13. تستقر سيارة كتلتها (1.5 × 10³ kg) على طريق أفقي خشن. عند محاولة سائقها تشغيلها لم يعمل المحرك، فساعدته شخص ودفع السيارة بقوة أفقية مقدارها (400 N)، ولم يستطع تحريكها. أيُّ القوى الآتية تساوي مقدار قوة دفع هذا الشخص:

أ. قوة الاحتكاك السكوني التي يؤثر بها سطح الطريق في قدمي الشخص.

ب. قوة الجاذبية المؤثرة في السيارة.

ج. القوة العمودية المؤثرة في السيارة.

د. قوة الاحتكاك الحركي التي يؤثر بها سطح الطريق في قدمي الشخص.

2. أفسّر: في أي اتجاه يؤثر التسارع المركزي؟ وهل يؤدي إلى تغير مقدار السرعة المماسية؟ أفسّر إجابتي.

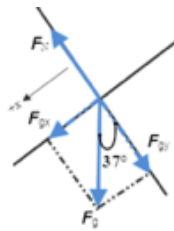
3. أعدد منشأ القوة التي تسبب الحركة الدائرية للأجسام الآتية:

أ. حركة الأرض في مدار حول الشمس.

ب. حركة الملابس في حوض التجفيف الأسطواني في غسالة (أي مُجففة الملابس).

ج. حركة كرة مربوطة في نهاية خيط في مسار دائري أفقي.

د. حركة الإلكترون حول النواة.



4. نرسم مخطط الجسم الحر للصندوق، مع اختيار المحور x في اتجاه يوازي المستوى المائل، والمحور y عمودي عليه، كما هو موضح، ثم نحلل وزنه إلى مركبتين متعامدتين:

$$F_{gx} = F_g \sin \theta$$

$$= mg \sin 37^\circ = 2 \times 10 \times 0.6 = 12 \text{ N}$$

$$F_{gy} = F_g \cos \theta$$

$$= mg \cos 37^\circ = 2 \times 10 \times 0.8 = 16 \text{ N}$$

أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الصندوق في اتجاه المحور y، مع مراعاة أنه لا توجد حركة عليه.

$$\sum F_y = 0$$

$$F_N - F_{gy} = 0$$

$$F_N = F_{gy} = 16 \text{ N}$$

ب. لحساب تسارعه نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور x.

$$\sum F_x = ma$$

$$F_{gx} = ma$$

$$a = \frac{F_{gx}}{m} = \frac{12}{2} = 6 \text{ m/s}^2$$

مراجعة الوحدة

ب. في حالة وجود ماء على الطريق تتشكل طبقة فاصلة من الماء بين الإطار وسطح الطريق، مما يقلل التلامس بينها، وتطفو السيارة على هذه الطبقة، حيث تتحرك إطارات السيارة على طبقة من الماء، فتتزلق ويصعب السيطرة على السيارة، ويساعد وجود الأخاديد على انسياب المياه من أسفل الإطار وتصريفها، بحيث يبقى ملامساً لسطح الطريق.

$$7 \text{ أ. } g_{\text{Jupiter}} = \frac{G m_{\text{Jupiter}}}{r_{\text{Jupiter}}^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(1.9 \times 10^{27})}{(7.15 \times 10^7)^2} = 24.8 \text{ m/s}^2$$

$$F_{gH} = m_H g = (60)(24.8) = 1.488 \times 10^3 \text{ N}$$

$$F_{Ty} = F_g$$

$$F_T \cos \theta = m g$$

$$F_T = \frac{(95)(10)}{\cos 20^\circ} = 1.01 \times 10^3 \text{ N}$$

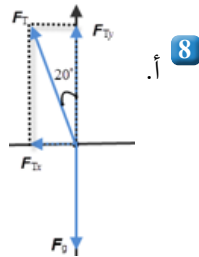
$$F_C = F_{Tx}$$

$$m \frac{v^2}{r} = 1.01 \times 10^3 \sin 20^\circ = 345.44 \text{ N}$$

$$v^2 = \frac{(345.44)(4.5)}{95} = 16.36$$

$$v = 4.04 \text{ m/s}$$

$$\approx 4 \text{ m/s}$$



8 أ.

ب.

9 أ.

$$r = r_E + R = 6.38 \times 10^6 + 2.50 \times 10^5 = 6.63 \times 10^6 \text{ m}$$

$$T = 90 \times 60 = 5400 \text{ s}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi (6.63 \times 10^6)}{5400} = 7.71 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(7.71 \times 10^3)^2}{(6.63 \times 10^6)} = 9 \text{ m/s}^2$$

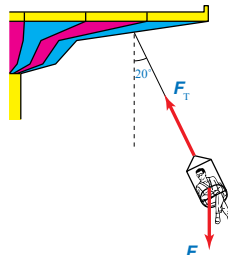
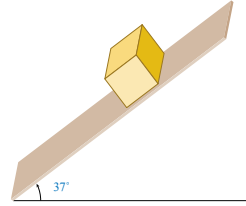
ب.

$$F_c = m a_c = (135)(9) = 1.22 \times 10^3 \text{ N}$$

ج.

د. منشأ القوة المركزية المؤثرة في القمر الصناعي هو قوة التجاذب الكتلي بين كتلة القمر وكتلة الأرض.

مراجعة الوحدة



53

4. **أحسب:** صندوق كتلته (2 kg)، ينزلق على مستوى مائل أملس، يميل على الأفقي بزاوية (37°)، كما هو موضح في الشكل المجاور. إذا علمت أن $\sin 37^\circ = 0.6$ ، $\cos 37^\circ = 0.8$ ، فأحسب:

أ. القوة العمودية المؤثرة في الصندوق. ب. تسارع الصندوق.

5. **أحسب:** يدور قمر صناعي لتحديد المواقع (GPS) حول الأرض في مدار ارتفاعه (2.02 × 10⁷ m) فوق سطحها. إذا علمت أن كتلته (1.6 × 10³ kg)، فأحسب:

أ. قوة التجاذب الكتلي بين القمر الصناعي والأرض.

ب. تسارع الجاذبية الأرضية في موقع القمر الصناعي.

6. **تفكير ناقد:** تروّذ سيارت السباق بإطارات مسطحة (slick)؛ للسباق على طرق جافة، بينما تروّذ بإطارات بها أخاديد للسباق على طرق مبللة. أنظر الشكل المجاور.

أ. أفسّر سبب استخدام كل نوع.

ب. بما أن الاحتكاك يعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين، فما أهمية الأخاديد في إطارات السيارة؟

7. **أحسب:** إذا علمت أن كتلة المشتري (1.9 × 10²⁷ kg) تقريباً، ونصف قطره (7.15 × 10⁷ m) تقريباً، فأحسب مقدار:

أ. تسارع السقوط الحرّ على سطح المشتري.

ب. وزن هدى على سطح المشتري، إذا علمت أن كتلتها (60 kg).

8. **أحلّ:** يجلس راكب على كرسي أفغانية معلق بسلسلة معلقة الكتلة متصلة بقرص دوار، كما هو موضح في الشكل المجاور. إذا علمت أن الأفغانية تتحرك حركة دائرية منتظمة، وكتلة الراكب والكرسي (95 kg)، ونصف قطر المسار الدائري الذي يتحرك به الراكب والكرسي (4.5 m)، وتصلح السلسلة زاوية (20°) بالنسبة إلى الرأس، فأحسب مقدار:

أ. قوة الشد في السلسلة.

ب. السرعة المماسية للراكب في الكرسي.

9. **قمر صناعي** كتلته (135 kg) يدور في مدار منخفض حول الأرض على ارتفاع (250 km) من سطحها. إذا كان الزمن الدوري له (90 min)، وبافتراض أن مساره دائري؛ فأجب عما يأتي:

أ. **أحسب** مقدار السرعة المماسية للقمر الصناعي في مداره.

ب. **أحسب** مقدار التسارع المركزي للقمر الصناعي.

ج. **أحسب** مقدار القوة المركزية المؤثرة فيه.

د. أصف منشأ القوة المركزية المؤثرة في القمر الصناعي.

5 أ.

$$F_g = \frac{G m_1 m_2}{r^2} = \frac{G m_1 m_2}{(r_E + R)^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11}) (5.98 \times 10^{24}) (1.6 \times 10^3)}{(6.38 \times 10^6 + 2.02 \times 10^7)^2} = 9.03 \times 10^2 \text{ N}$$

ب.

$$F_c = F_g$$

$$m_{\text{Moon}} a_c = 9.03 \times 10^2 \text{ N}$$

$$a_c = \frac{9.03 \times 10^2}{m_{\text{Moon}}} = \frac{9.03 \times 10^2}{1.6 \times 10^3} = 0.56 \text{ m/s}^2$$

6 أ.

معامل الاحتكاك السكوني بين إطار السيارة وسطح الطريق الجاف أكبر من معامل الاحتكاك السكوني بين الإطار وسطح الطريق المبلل، بسبب وجود طبقة فاصلة من الماء بينهما، لذا تستخدم الإطارات المسطحة للسباق على الطرق الجافة؛ حيث يكون هنالك تلامس مباشر بين سطحي الإطار والطريق. أما الإطارات ذات الأخاديد فتستخدم للسباق على طرق مبللة؛ حيث تنساب المياه خلال الأخاديد، مما يؤدي إلى عدم فقدان التلامس بين الإطار وسطح الطريق، مما يحمي السيارة من الانزلاق خاصة عند المنعطفات.

مراجعة الوحدة

10 أ.

$$r = 1.21 + 0.64 = 1.85 \text{ m}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi (1.85)}{0.55} = 21.1 \text{ m/s}$$

$$F_c = m \frac{v^2}{r} = \frac{(7.26)(21.1)^2}{1.85} = 1.75 \times 10^3 \text{ N}$$

ب.

11 أ.

$$a_c = \frac{F_c}{m} = \frac{(2.5 \times 10^3)}{(9 \times 10^2)} = 2.78 \text{ m/s}^2$$

$$v^2 = a_c r = (2.78)(70) = 194.6$$

$$v = 13.95 \text{ m/s}$$

ب.

ج.

$$F_c = f_{s, \max}$$

$$m \frac{v_{\max}^2}{r} = \mu_s F_N = \mu_s mg$$

$$v_{\max}^2 = \mu_s r g$$

$$= (0.70)(70)(10) = 490$$

$$v_{\max} = 22.14 \text{ m/s}$$

12 أ.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3.14)(3)}{20}$$

$$= 0.94 \text{ m/s}$$

ب.

ج.

$$F_c = \frac{mv^2}{r} = \frac{(30)(0.94)^2}{3} = 8.84 \text{ N}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3.14)(4)}{20} = 1.26 \text{ m/s}$$

13 أ.

أ. بداية نحسب الزمن الدوري، حيث عدد الدورات $(n = 2)$ ، والزمن الكلي $(t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s})$:

$$T = \frac{t}{n} = \frac{60}{2} = 30 \text{ s}$$

ثم نحسب السرعة المماسية، مع تحويل وحدة قياس نصف القطر إلى (m):

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3.14)(1000)}{30} = 209.4 \text{ m/s}$$

ب.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(209.4)^2}{1000}$$

$$= 43.9 \text{ m/s}^2$$

ج.

$$F_c = ma_c = (70)(43.9) = 3.073 \times 10^3 \text{ N}$$

د.

$$\frac{a_c}{g} = \frac{43.9}{10} = 4.4$$

أي أن التسارع المؤثر في الطيار نتيجة حركته الدائرية يساوي (4.4) أضعاف تسارع السقوط الحر على سطح الأرض.

10. **أحسب:** في إحدى الألعاب الرياضية يدور لاعب مطرقة كتلتها (7.26 kg) متصلة بإحدى نهايتي سلسلة طولها (1.21 m) في مسار دائري أفقي، كما هو موضح في الشكل المجاور. واللاعب الفائز هو الذي يرميها إلى أبعد مسافة ممكنة. فإذا دار لاعب حول نفسه وهو ممسك بالطرف الحر للسلسلة على بُعد (0.64 m) من محور دورانه، وأكمل دورة كاملة خلال (0.55 s)، وبافتراض أن اللاعب حرك السلسلة والمطرقة في مسار دائري أفقي في أثناء دورانه، فأحسب مقدار:

أ. السرعة المماسية للمطرقة.

ب. القوة المركزية المؤثرة في المطرقة قبيل إفلاتها.

11. **أحسب:** تتحرك سيارة كتلتها $(9 \times 10^2 \text{ kg})$ في مسار دائري نصف قطره (70 m) بسرعة ثابتة مقداراً إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق (0.70)، والقوة المركزية المؤثرة فيها $(2.5 \times 10^3 \text{ N})$ ، وسطح الطريق أفقي، فأحسب مقدار:

أ. التسارع المركزي للسيارة.

ب. السرعة المماسية للسيارة.

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

12. **أحسب:** يبين الشكل المجاور لعبة الحصان الدوار (دوامة الخيل) (carousel)، في إحدى مدن الألعاب؛ حيث تتحرك حركة دائرية منتظمة حول محور دوران. فإذا ركب طفل كتلتها (30 kg) أحد الأحصنة الموجودة على اللعبة، وكان يُعده عن محور الدوران (3 m)، والحصان يُتم دورة كاملة كل (20 s)، فأحسب مقدار كل من:

أ. السرعة المماسية للطفل.

ب. القوة المركزية المؤثرة في الطفل.

ج. السرعة المماسية للطفل عندما يجلس على حصان آخر يبعد عن محور الدوران (4 m).

13. **حلقت** في أحد العروض الجوية إحدى طائرات سلاح الجو الملكي الأردني كتلتها $(1.2 \times 10^4 \text{ kg})$ ، في مسار دائري أفقي نصف قطره (1 km)، بحيث أتمت الطائرة دورتين خلال (1 min)، أجب عما يأتي:

أ. **أحسب** مقدار سرعتها المماسية.

ب. **أحسب** مقدار تسارعها المركزي.

ج. **أحسب** مقدار القوة المركزية المؤثرة في الطيار؛ إذا علمت أن كتلته (70 kg).

د. **أفان** مقدار التسارع المركزي المؤثر في الطيار بتسارع السقوط الحر على سطح الأرض، ماذا أستنتج؟

ملحق إجابات

كتاب الأنشطة والتجارب العملية

العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.

البيانات والملاحظات:

عينة بيانات:

$$m_{\text{ball}} = 20 \text{ g} = 0.02 \text{ kg}$$

$$r = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$$

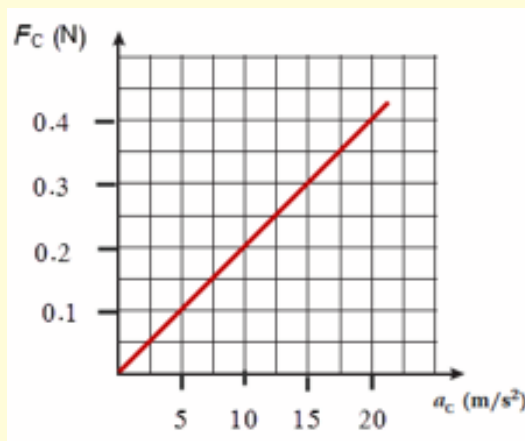
$$m_{\text{hanger}} = 10 \text{ g} = 0.01 \text{ kg}$$

$$n = 10$$

الجدول (1)				
رقم المحاولة	مقدار القوة المركزية F_c (N)	الزمن الكلي t (s)	سرعة الكرة المماسية v (m/s)	التسارع المركزي a_c (m/s ²)
1	0.2	11.09	1.69	9.5
2	0.3	8.98	2.09	14.56
3	0.4	7.54	2.49	20.67

$$n = 10$$

الجدول (2)					
رقم المحاولة	مقدار القوة المركزية F_c (N)	الزمن الكلي t (s)	نصف القطر r (m)	سرعة الكرة المماسية v (m/s)	التسارع المركزي a_c (m/s ²)
1	0.3	8.96	0.3	2.10	14.7
2	0.3	10.18	0.4	2.47	15.25
3	0.3	11.42	0.5	2.75	15.13



التحليل والاستنتاج:

- 1 مقدار قوة الشد في الخيط يمثل مقدار القوة المركزية المؤثرة في الكرة.
- 2 أنظر الجدول (1)، والجدول (2).
- 3 أنظر الجدول (1)، والجدول (2).
- 4 أستنتج من بيانات الجدول (1)، أنه بزيادة مقدار السرعة المماسية يزداد مقدار القوة المركزية اللازم تأثيرها في الكرة؛ للمحافظة على ثبات نصف قطر المسار الدائري دون تغيير.
- 5 أستنتج من بيانات الجدول (2)، أنه عند زيادة نصف قطر المسار الدائري يزداد مقدار السرعة المماسية، بحيث يبقى مقدار القوة المركزية المؤثر في الكرة ثابتاً. العلاقة خطية طردية، حيث تقع النقاط على خط مستقيم تقريباً، وأستنتج أن مقدار القوة المركزية المؤثرة في الكرة يتناسب طردياً مع مقدار تسارعها المركزي.
- 6 ميل المنحنى البياني يساوي مقداراً ثابتاً، وتحليل وحدات قياس الميل أجد أنها تساوي (kg)، وبمقارنتها بكتلة كرة المطاط أستنتج أن ميل منحنى (القوة المركزية - التسارع المركزي) يساوي كتلة كرة المطاط.
- 7 نعم، لقد دعمت النتائج التجريبية التي حصلت عليها هذه العلاقة النظرية بين القوة المركزية، والتسارع المركزي؛ فعند

تطبيق هذه العلاقة على الجدولين 1، و2، أجد أن القيم التي أحصل عليها بالحسابات النظرية تتطابق تقريباً مع القيم التجريبية الموجودة فيهما. وإذا كان هنالك أي اختلافات فيعود سبب ذلك إلى وجود أخطاء في القياسات وعدم دقتها.

مصادر الخطأ المحتملة في التجربة: قياس زمن دوران الكرة، عدم تحريك الكرة في مسار دائري أفقي تماماً، ملاصقة مشبك الورق أسفل الأنبوب، خطأ في إجراء الحسابات، وخطأ ناتج عن التقريب. القوة المركزية المؤثرة في الكرة أقل قليلاً من وزن حامل الأثقال والأثقال التي عليه؛ لأن الخيط الممتد بين الكرة والطرف العلوي للأنبوب البلاستيكي لا يكون أفقياً تماماً،

حركته بخط مستقيم، فيصطدم جسمه بالجدار الداخلي لباب السيارة فيؤثر فيه بقوة، وبحسب القانون الثالث لنيوتن يؤثر الباب في الراكب بقوة مساوية لقوة تأثير الراكب به في المقدار، ولكن معاكسة لها في الاتجاه.

4 أ. تكون في اتجاه الرمز (E)؛ حيث تؤثر القوة المركزية دائماً نحو مركز المسار الدائري في الحركة الدائرية المنتظمة.

ب. تتحرك الكرة في اتجاه المماس للمسار الدائري عند نقطة انقطاع الخيط؛ لذا تتحرك نحو الرمز (A).

جـ.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(10)^2}{0.8} = 125 \text{ m/s}^2$$

د.

$$F_c = ma_c = 0.5 \times 125 = 62.5 \text{ N}$$

هـ. التسارع هنا في الحركة الدائرية المنتظمة يكون ناتجاً عن تغير اتجاه السرعة المماسية فقط، في حين يبقى مقدارها ثابتاً؛ فالتسارع كمية متجهة، ويكتسب الجسم تسارعاً عند تغير مقدار السرعة أو اتجاهها أو كليهما.

5 أ. يتم حساب معامل الاحتكاك السكوني عندما تكون قوة الاحتكاك السكوني عظمى؛ أي عندما يكون الجسم على وشك الحركة، وهي تساوي أكبر قيمة لقوة الاحتكاك في المنحنى.

$$\mu_s = \frac{f_{s,\max}}{F_N} = \frac{120}{240} = 0.50$$

ب.

$$\mu_k = \frac{f_k}{F_N} = \frac{100}{240} = 0.42$$

جـ.

$$\Sigma F = F_{\text{applied}} - f_k = 160 - 0.42 \times 240 = 100.8 \text{ N}$$

$$a = \frac{\Sigma F}{m} = \frac{100.8}{24} = 4.2 \text{ m/s}^2$$

1 أ.

$$r = 6.85 \times 10^5 + 6.38 \times 10^6 = 7.065 \times 10^6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} F_{EM} &= \frac{Gm_E m_M}{r^2} \\ &= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24} \times 1123}{(7.065 \times 10^6)^2} \\ &= \frac{4.48 \times 10^{17}}{4.99 \times 10^{13}} \\ &= 8.98 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

ب.

$$g = \frac{Gm_E}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{(7.065 \times 10^6)^2} = 7.996 \text{ m/s}^2$$

جـ.

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{mv^2}{r} \\ v^2 &= \frac{rFc}{m} = \frac{7.065 \times 10^6 \times 8.98 \times 10^3}{1123} = 5.65 \times 10^7 \\ v &= 7.52 \times 10^3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2

$$r_1 + r_2 = 3.84 \times 10^8$$

$$r_2 = 3.84 \times 10^8 - r_1$$

$$g_E = g_M$$

$$\frac{Gm_E}{r_1^2} = \frac{Gm_M}{r_2^2}$$

$$\frac{5.98 \times 10^{24}}{r_1^2} = \frac{7.35 \times 10^{22}}{(3.84 \times 10^8 - r_1)^2}$$

$$\frac{2.45 \times 10^{12}}{r_1} = \frac{2.71 \times 10^{11}}{(3.84 \times 10^8 - r_1)}$$

$$r_1 = 3.457 \times 10^8 \text{ m}$$

3 أ. تؤثر القوة المحصلة (القوة المركزية) نحو مركز المسار الدائري في أثناء الحركة الدائرية المنتظمة.

ب. يرجع سبب ذلك إلى القصور الذاتي لأجسامنا، فحسب

القانون الأول لنيوتن يميل الجسم إلى المحافظة على حركته

في خط مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه قوة محصلة، فعند

انعطاف سيارة إلى اليسار - مثلاً - يحافظ جسم الراكب على