المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center
for Curriculum Development

الفيزياء

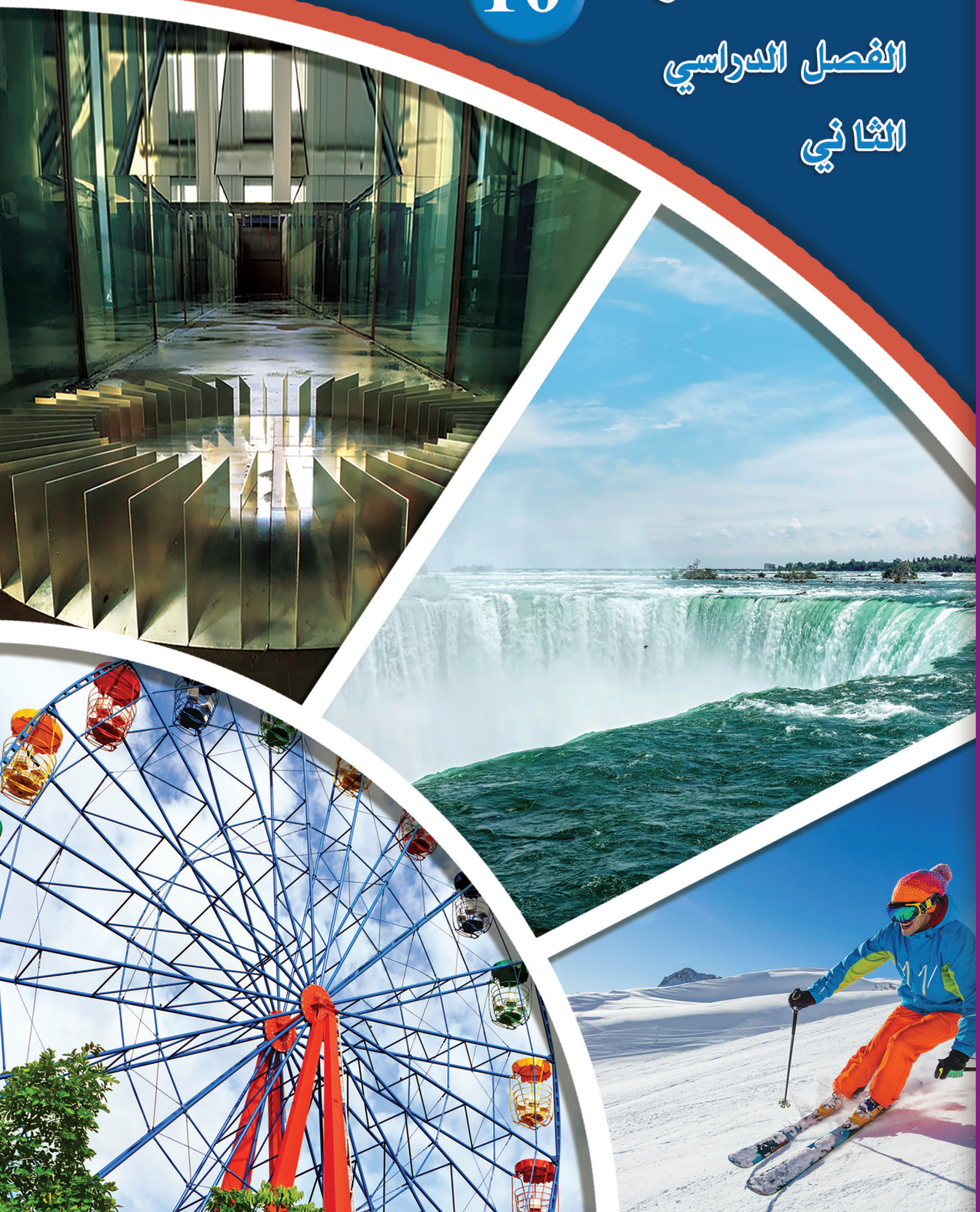
10

الصف العاشر

الفصل الدراسي

الثاني

دليل المعلم



المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center for Curriculum Development

دليل المُعلِّم

الفيزياء

الصف العاشر

الفصل الدراسي الثاني 10

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

أ.د. محمود إسماعيل الجاغوب — خلدون سليمان المصاروه

موسى محمود جرادات — يحيى أحمد طواها

شفاء طاهر عبّاس (منسقًا)

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

يسر المركز الوطني لتطوير المناهج، استقبال آرائكم وملحوظاتكم على هذا الكتاب عن طريق العناوين الآتية:

06-5376262 / 237 — 06-5376266 — P.O.Box: 2088 Amman 11941

@nccdjor — feedback@nccd.gov.jo — www.nccd.gov.jo

قـرَّرت وزارة التربيـة والتعليـم اسـتخدام هـذا الدليـل في مـدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعها، بنـاءً على قـرار المجلس الأعـلى للمركز الوطنـي لتطوير المناهـج في جلسـته رقـم (2022/5)، تاريـخ 2022/7/21 م، وقـرار مجلس التربيـة والتعليم رقـم (2022/84)، تاريـخ 2022/8/16 م، بدءًا مـن العام الدراسي 2022 / 2023 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2020.
- Prepared Originally in English for the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan
- Translated to Arabic, adapted, customised and published by the National Center for Curriculum Development. Amman - Jordan

ISBN: 978 - 9923 - 41 - 117 - 9

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:
(2020/10/4577)

373,19

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

دليل المعلم: الفيزياء: الصف العاشر / المركز الوطني لتطوير المناهج.- عمان: المركز، 2020

ج2(140) ص.

ر.إ.: 2020/10/4577

الواصفات: / تعليم الفيزياء/ / المقررات الدراسية/ / التعليم الإعداديّ/

يتحمَّل المُؤلِّف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مُصنَّفه، ولا يُعبِّر هذا المُصنَّف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise , without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright Lecensing Agency Ltd, Barnard›s Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.
British Library Cataloguing -in- Publication Data
A catalogue record for this publication is available from the Library.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1443 هـ – 2023

قائمة المحتويات

الموضوع	الصفحة
الوحدة 4: تطبيقات على قوانين نيوتن	7
تجربة استهلالية: الكتلة والوزن	9
الدرس 1 : الوزن وقانون الجذب العام (الكوني)	10
الدرس 2 : تطبيقات على القوى	18
الدرس 3 : القوة المركزية	42
مراجعة الوحدة	51
الوحدة 5: الموائع	55
تجربة استهلالية: خصائص الموائع	57
الدرس 1 : الموائع الساكنة	58
الدرس 2 : الموائع المتحركة	72
مراجعة الوحدة	89
الوحدة 6: الحركة الموجية	91
تجربة استهلالية: الموجات تنقل الطاقة ولا تنقل المادة	93
الدرس 1 : الموجات وصفاتها	94
الدرس 2 : خصائص الحركة الموجية	111
مراجعة الوحدة	126
ملحق إجابات كتاب الأنشطة والتجارب العملية	A1
قائمة المراجع	A9

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

تجربة استهلالية: الكتلة والوزن.

الدرس	النتاجات	التجارب والأنشطة	عدد الحصص
الأول: **الوزن وقانون الجذب العام (الكوني).**	• توضيح الفرق بين الكتلة والوزن. • ذكر نص قانون الجذب العام لنيوتن. • استنتاج العلاقة بين قانون الجذب العام وقوة جذب الأرض للأجسام. • التطبيق بحل مسائل على الوزن وقانون الجذب العام لنيوتن.	• الكتلة والوزن.	3
الثاني: **تطبيقات على القوى.**	• توضيح مفهوم كل من: قوة الشد، والقوة العمودية، وقوة الاحتكاك. • حساب مقدار القوة العمودية في أوضاع مختلفة. • استقصاء العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك بين جسمين. • تفسير سبب نقصان قوة الاحتكاك عند بدء حركة جسم. • تطوير وسائل تقلل من الآثار السلبية لقوة الاحتكاك. • التطبيق 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.**	• استنتاج أن الحركة الدائرية لجسم تتطلب تأثير قوة فيه باستمرار نحو مركز المسار الدائري. • استقصاء العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية. • التطبيق بحل مسائل على القوة المركزية.	• العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.	3

النتاجات السابقة	الصف	النتاجات اللاحقة	الصف
• توضيح أثر القوى المتزنة والقوى غير المتزنة في الأجسام (تتضمن القوى: الاحتكاك، والجاذبيّة، والمغناطيسية). • استقصاء أثر القوة في الأجسام باستخدام قوانين نيوتن.	السابع	• حساب الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية في تحريك جسم مسافة ما. • التعبير عن شغل القوى المحافظة وعن شغل القوى غير المحافظة.	الحادي عشر
• توضيح المفاهيم المتعلقة بقوانين نيوتن. • توظيف المعرفة الذاتية بقوانين نيوتن في حل مسائل حسابية، وتفسير مواقف حياتية وتطبيقات.	التاسع	• وصف القوة المغناطيسية التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في الشحنة الكهربائية المتحركة فيه.	الثاني عشر

الوحدةُ 4

تطبيقاتٌ على قوانينِ نيوتن

Applications of Newton's Laws

أتأمَّلُ الصورةَ

أهميةُ علمِ الفيزياءِ في تصميمِ الطرقِ

عندَ تصميمِ طريقٍ فيهِ منعطفٌ خطرٌ، سواءٌ في الطرقِ العاديةِ أمْ في حلباتِ السباقِ، يُراعى أنْ يكونَ الطريقُ عندَ هذا المنعطفِ مائلًا في اتجاهِ مركزِ المسارِ الدائريِّ الذي يشكّلُهُ المنعطفُ. لماذا يُصمَّمُ المنعطفُ بهذا الشكلِ؟ وهلْ لقوانينِ نيوتن دورٌ في هذا التصميمِ؟

أتأمَّلُ الصورة

- ألفت انتباه الطلبة إلى الصورة، ثم أطرح 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.

الوحدة 4

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 أستبعد أيّ 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.
- أبيّنِ 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.
- أوضِّح للطلبة دور علم الفيزياء، ممثلًا بهندسة الطرق، في تطوير تصاميم المنعطفات في حلبات السباق، وعند المواقع الخطرة في الطرقات.
- أبيِّن للطلبة أن المنعطفات المائلة تسمح للسائقين بالحركة في المنعطفات بسرعات كبيرة، وأنه كلما زادت زاوية ميل المنعطف أمكن للسيارات التحرك بسرعات أكبر، وعند زوايا ميل معينة يمكن الاستغناء عن قوة الاحتكاك السكوني الجانبية؛ حيث توفر مُركّبة القوة العمودية القوة المركزية اللازمة.
- أطلب إلى الطلبة تحديد القوى المؤثرة في السيارة في المنعطف، وتوضيح أهمية المركبة الأفقية للقوة العمودية.

الفكرة العامـة:

- أوضِّح 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 الكتلي، وقوتَي 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 تقريبًا باستخدام محرك كهربائي.
- بعد الانتهاء من عمل التصاميم، أدير نقاشًا بين الطلبة يتناول مزايا كل تصميم، ثم أخبرهم بالتصميم الذي استوفى الشروط المطلوبة.

الفكرةُ العامةُ:

لقوانينِ نيوتن تطبيقاتٌ كثيرةٌ ومتنوعةٌ في حياتِنا وأنشطتِنا اليوميةِ.

الدرسُ الأولُ: الوزنُ وقانونُ الجذبِ العامُّ (الكونيُّ)

الفكرةُ الرئيسةُ: توجدُ قوةُ تجاذبٍ بينَ أيِّ كتلتينِ في الكونِ، يُمكنُ حسابُها باستخدامِ قانونِ الجذبِ العامِّ. فالأرضُ تؤثرُ بقوةِ جذبٍ في الأجسامِ يكونُ اتجاهُها نحوَ مركزِ الأرضِ، وتُعرَفُ هذه القوةُ بالوزنِ.

الدرسُ الثاني: تطبيقاتٌ على القوى

الفكرةُ الرئيسةُ: تؤثرُ قوةُ الشدِّ بوساطةِ الحبالِ والأسلاكِ، وتؤثرُ الأسطحُ بقوةٍ عموديةٍ في الأجسامِ الموضوعةِ عليْها وتؤثرُ قوةُ الاحتكاكِ في حركةِ الأجسامِ، ومنَ الصعبِ ممارسةُ حياتِنا اليوميةِ منْ دونِها.

الدرسُ الثالث: القوةُ المركزيةُ

الفكرةُ الرئيسةُ: تؤثرُ قوةٌ مركزيةٌ في الأجسامِ التي تتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً. وللحركةِ الدائريةِ تطبيقاتٌ كثيرةٌ في حياتِنا اليوميةِ.

8

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **القضايا ذات العلاقة بالعمل: إدارة المشاريع.**

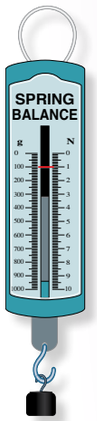
أوجّه الطلبة إلى أهمية التخطيط العلمي الدقيق للمشروع، وأهمية جمع معلومات كافية عنه قبل البدء بالتنفيذ، ثم عمل التصاميم المناسبة واختبارها، ثم إجراء التعديلات اللازمة، واختيار الأدوات المناسبة لبناء النموذج.

تجربةٌ استهلاليةٌ

الكتلةُ والوزنُ

الموادُّ والأدواتُ: ميزانٌ نابضيٌّ مُدرَّجٌ لقياسِ الكتلةِ والوزنِ، ثلاثةُ أثقالٍ مختلفةٍ (100 g, 200 g, 300 g).

إرشاداتُ السلامةِ: ارتداءُ المعطفِ، واستخدامُ النظاراتِ الواقيةِ للعينينِ، والحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ.



خطواتُ العملِ:

1. **أُلاحظُ:** أُعلِّقُ الميزانَ النابضيَّ رأسيًّا في الهواءِ، ثمَّ أُعلِّقُ الثقلَ (100 g) في خطّافِ الميزانِ. أُلاحظُ قراءتيْ الكتلةِ والوزنِ على تدريجِ الميزانِ، وأدوِّنُهُما.
2. **أُلاحظُ:** أُكرِّرُ الخطوةَ السابقةَ بتعليقِ الثقلِ (200 g) في خطّافِ الميزانِ. أُلاحظُ قراءتيْ الكتلةِ والوزنِ على تدريجِ الميزانِ، وأدوِّنُهُما.
3. **أُلاحظُ:** أُكرِّرُ الخطوةَ (1) بتعليقِ الثقلِ (300 g) في خطّافِ الميزانِ. أُلاحظُ قراءتيْ الكتلةِ والوزنِ على تدريجِ الميزانِ، وأدوِّنُهُما.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أُفسِّرُ:** ما الذي تُمثِّلُهُ كلُّ قراءةٍ منْ قراءتيْ الميزانِ؟ ما الفرقُ بينَهُما؟
2. **أُقارنُ** بينَ قراءتيْ الميزانِ في كلِّ خطوةٍ منَ الخطواتِ الثلاثِ السابقةِ، ماذا أستنتجُ؟
3. **أحلّلُ البياناتِ وأُفسِّرُها:** أُقسِّمُ قراءةَ الوزنِ على قراءةِ الكتلةِ لكلِّ خطوةٍ منَ الخطواتِ الثلاثِ السابقةِ. هلْ يوجدُ نمطٌ محدَّدٌ؟ هلْ توجدُ علاقةٌ تربطُ بينَهُما؟ ماذا أستنتجُ؟
4. **أحلِّلُ البياناتِ وأفسِّرُها:** أشتقُّ علاقةً رياضيةً تربطُ بينَ الكتلةِ والوزنِ.

استراتيجية التقويم: الملاحظة. **أداة التقويم:** سلم تقدير.

الرقم	معيار الأداء	مقبول	جيد	جيد جدًا	ممتاز
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ التجربة.				
2	احترام آراء الآخرين، وتقبلها.				
3	إدارة الوقت بشكل جيد.				
4	تدوين الملاحظات على كل خطوة من خطوات التجربة.				
5	قراءة الميزان بدقة وتدوينها بشكل صحيح.				

تجربة استهلالية

الهدف:

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

زمن التنفيذ: 10 دقائق

إرشادات السلامة:

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

المهارات العلمية:

الملاحظة، المقارنة، الاستنتاج، تحليل البيانات وتفسيرها.

الإجراءات والتوجيهات:

أطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية، ومعايرة الميزان النابضي قبل البدء في تنفيذ التجربة.

النتائج المتوقعة:

ألاحظ أن 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. وقراءة الوزن تساوي ناتج ضرب كتلة الثقل في 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 مقدارًا ثابتًا تقريبًا يساوي ($9.8\ m/s^2$)، وأستنتج أنه يمكن التوصل إلى علاقة رياضية تربط بين الكتلة ومقدار الوزن.
4. $\frac{F_g}{m} = 9.8 = g$

   $F_g = mg$

   حيث يمثل (F_g) وزن الجسم بوحدة (N)، و (m) كتلته بوحدة (kg)، و (g) تسارع السقوط الحر بوحدة (m/s^2).

الدرس 1

الوزن وقانون الجذب العام (الكوني)
Weight and the Law of Universal Gravitation

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة.

- أوضِّح للطلبة الفروق بين الكتلة والوزن. ويمكن توظيف نتائج التجربة الاستهلالية في توضيح بعضها، وبيان كيفية التحويل بينهما.
- أوضِّح للطلبة أنه توجد قوة تجاذب بين أي كتلتين في الكون تحسب باستخدام قانون الجذب العام (الكوني) لنيوتن. وأبيِّن لهم أن الأرض تجذب الأجسام نحو مركزها، وتعرف هذه القوة بالوزن.

لمزيد من التوضيح، يمكن الاستفادة من التجربة الاستهلالية ونتائجها.

الربط بالمعرفة السابقة.

- أذكِّر 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 التدريس

المناقشة.

- أوضِّح للطلبة مفهوم كل من الكتلة والوزن، ثم أسألهم:

– ما المقصود بالكتلة؟

مقدار المادة الموجودة في جسم، وهي كمية قياسية، رمزها m.

– ما المقصود بالوزن؟

قوة جذب الأرض للجسم، وهو كمية متجهة، رمزه F_g.

– ما وحدة قياس الكتلة؟ وما وحدة قياس الوزن بحسب النظام الدولي للوحدات؟

الكتلة (kg)، والوزن (N)، بحسب النظام الدولي للوحدات.

– أيهما كمية قياسية، وأيهما كمية متجهة؟

الكتلة كمية قياسية، أما الوزن فكمية متجهة.

– أيهما ثابت؟ وأيهما متغير بالنسبة إلى الجسم الواحد؟

كتلة جسم كمية فيزيائية ثابتة، أما وزنه فكمية فيزيائية متغيرة اعتمادًا على موقعه؛ فوزن الجسم على سطح الأرض يختلف عنه على سطح القمر.

– هل يمكن التحويل بين الكتلة والوزن؟ وضِّح إجابتك.

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

الفكرةُ الرئيسةُ:

توجدُ قوةُ تجاذبٍ بينَ أيِّ كتلتينِ في الكونِ، يُمكنُ حسابُها باستخدامِ قانونِ الجذبِ العامِّ. فالأرضُ تؤثرُ بقوةِ جذبٍ في الأجسامِ يكونُ اتجاهُها نحوَ مركزِ الأرضِ، وتُعرَفُ هذه القوةُ بالوزنِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أوضِّحُ الفرقَ بينَ الكتلةِ والوزنِ.
- أذكرُ نصَّ قانونِ الجذبِ العامِّ لنيوتن.
- أستنتجُ العلاقةَ بينَ قانونِ الجذبِ العامِّ وقوةِ جذبِ الأرضِ للأجسامِ.
- أطبِّقُ بحلِّ مسائلَ على الوزنِ، وقانونِ الجذبِ العامِّ لنيوتن.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

الكتلةُ	Mass
الوزنُ	Weight
قانونُ الجذبِ العامُّ لنيوتن	Newton's Law of Universal Gravitation

الكتلةُ والوزنُ Mass and Weight

مفهوما الكتلةِ والوزنِ مختلفانِ، وليسا مترادفينِ كما نستخدمهُما في حياتِنا اليوميةِ. وفي ما يأتي توضيحٌ لكلٍّ منهُما.

الكتلةُ Mass

الكتلةُ Mass هيَ مقدارُ المادةِ الموجودةِ في جسمٍ، وهيَ كميةٌ قياسيةٌ، رمزُها (m)، وتُقاسُ بوحدةِ (kg) بحَسَبِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ، وتُعدُّ الكتلةُ مقياسًا للقصورِ الذاتيِّ للجسمِ؛ أي مقياسًا لممانعتِهِ لأيِّ تغييرٍ في حالتِهِ الحركيةِ. وتبقى كتلةُ الجسمِ ثابتةً عندَ قياسِها في مواقعَ مختلفةٍ على سطحِ الأرضِ، أوْ على أيِّ كوكبٍ آخر.

الوزنُ Weight

يُعرف **الوزنُ Weight** بأنَّهُ قوةُ جذبِ الأرضِ للجسمِ، رمزُهُ (F_g)، ويقاسُ بوحدةِ newton بحسَبِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ، وهوَ كميةٌ متجهةٌ، حيثُ يكونُ اتجاهُ وزنِ أيِّ جسمٍ على سطحِ الأرضِ دائمًا رأسيًّا نحوَ مركزِها.

يعتمدُ وزنُ أيِّ جسمٍ عندَ موقعٍ معيَّنٍ على سطحِ الأرضِ على كتلتِهِ، وعلى بُعدِهِ عنْ مركزِ الأرضِ، بخلافِ الكتلةِ التي تبقى ثابتةً. وأيضًا يتغيرُ وزنُ الجسمِ منْ مكانٍ إلى آخرَ في الفضاءِ، ومنْ جِرمٍ إلى آخرَ؛ فمثلًا، وزنُ جسمٍ على سطحِ القمرِ يساوي سُدسَ وزنِهِ على سطحِ الأرضِ تقريبًا؛ نتيجةَ تغيرِ مقدارِ تسارعِ الجاذبيةِ.

نشاط سريع

- أمسك ميزانًا نابضيًّا، ثم أعلِّق فيه ثقل كتلته (30 g)، ثم أطلب إلى الطلبة قراءة وزنه.

0.29 N تقريبًا.

- أكرر الخطوة السابقة بتعليق ثقل كتلته (40 g)، ثم (50 g)، كل على حدة، ثم أطلب إلى الطلبة قراءة وزنه في كل حالة. على الترتيب: 0.39 N، 0.49 N تقريبًا.
- أطرح على الطلبة السؤالين الآتيين:

– ما الذي تستنتجه من قراءات الكتلة والوزن؟ أستنتج أن هنالك نمطًا محددًا ثابتًا يشير إلى علاقة بين الكتلة والوزن.

– ما العلاقة الرياضية التي تربط بين الكتلة والوزن؟ $F_g = mg$، حيث F_g: وزن الجسم بوحدة (N)، و m كتلته بوحدة (kg)، و g تسارع السقوط الحر بوحدة (m/s^2).

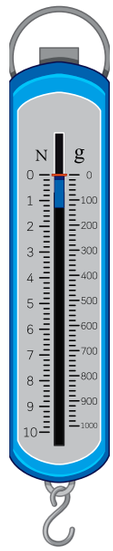
- أستمع إلى إجابات الطلبة للتمييز بين الكتلة والوزن، مبينًا لهم أنه يمكن الاستدلال على مقدار وزن جسم بمعرفة كتلته وتسارع السقوط الحر.

وبعدَ تنفيذِ التجربةِ الاستهلاليةِ توصلتُ إلى علاقةٍ بينَ وزنِ جسمٍ (F_g) وكتلتِهِ (m) بالقربِ منْ سطحِ الأرضِ، حيثُ يُعطى وزنُ الجسمِ بالعلاقةِ:

$$F_g = mg$$

ويُمثِّلُ g تسارعَ السقوطِ الحرِّ (تسارعَ الجاذبيةِ الأرضيةِ) في موقعِ وجودِ الجسمِ، ومقدارُهُ بالقربِ منْ سطحِ الأرضِ يساوي $9.80\ m/s^2$ تقريبًا، ويُقرَّبُ إلى $10\ m/s^2$؛ للتبسيطِ عندَ إجراءِ العملياتِ الحسابيةِ. ولسهولةِ التحويلِ بينَ الكتلةِ والوزنِ، تدرَّجُ بعضُ الموازينِ بحيثُ تقيسُ الكتلةَ والوزنَ. أنظرُ الشكلَ (1) الذي يبينُ ميزانًا نابضيًّا.

✓ **أتحقَّقُ:** ما الفرقُ بينَ الكتلةِ والوزنِ؟



الشكلُ (1): ميزانٌ نابضيٌّ مُدرَّجٌ لقياسِ الكتلةِ والوزنِ معًا.

أفكِّرُ: هلْ توجدُ فروقاتٌ أُخرى بينَ الكتلةِ والوزنِ؟ أناقشُ أفرادَ مجموعتي، وأستخدمُ مصادرَ المعرفةِ المتاحةَ للتوصلِ إلى فروقاتٍ أخرى بينَهُما.

المثالُ 1

حبةُ تفاحٍ كتلتُها (150 g)، أحسبُ وزنَها على سطحِ:

أ . الأرضِ، حيثُ تسارعُ السقوطِ الحرِّ على سطحِها $g = 10\ m/s^2$ تقريبًا.

ب. القمرِ، حيثُ تسارعُ السقوطِ الحرِّ على سطحِهِ $g_M = 1.6\ m/s^2$ تقريبًا.

المعطياتُ: $m = 150\ g = 0.15\ kg$,$g = 10\ m/s^2$, $g_M = 1.6\ m/s^2$

المطلوبُ: $F_g = ?$, $F_{gM} = ?$

الحلُّ:

أ . تجذبُ الأرضُ حبةَ التفاحِ في اتجاهِ مركزِها بقوةٍ تسمّى الوزنَ، يُحسبُ مقدارُهُ بالعلاقةِ:

$$F_g = mg$$
$$= 0.15 \times 10 = 1.5\ N$$

ب. يجذبُ القمرُ حبةَ التفاحِ في اتجاهِ مركزِهِ بقوةٍ تسمّى الوزنَ، يُحسبُ مقدارُهُ بالعلاقةِ:

$$F_{gM} = mg_M$$
$$= 0.15 \times 1.6 = 0.24\ N$$

تمرينٌ

في المثالِ السابقِ، أحسبُ وزنَ التفاحةِ على سطحِ كلٍّ منَ:

أ . المريخِ، حيثُ: $g_{Mars} = 3.7\ m/s^2$.

ب. المشتري، حيثُ: $g_{Jupiter} = 24.8\ m/s^2$.

✓ **أتحقَّقُ:**

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 فوق 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.

أفكِّرُ:

- أستخدم **استراتيجية الطاولة المستديرة** للتوصل إلى الفروقات بين الكتلة والوزن.
- أوزِّع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أكتب على اللوح ما يأتي: «ما الفروقات بين الكتلة والوزن؟»
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة إجابة السؤال، ثم أناقش مع الطلبة هذه الفروقات.

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

تمرين

أ . يجذب المريخ حبة التفاح في اتجاه مركزه بقوة تسمى الوزن، يحسب مقداره بالعلاقة:

$$F_{gMars} = mg_{Mars} = 0.15 \times 3.7 = 0.56\ N$$

ب. يجذب المشتري حبة التفاح في اتجاه مركزه بقوة تسمى الوزن، يحسب مقداره بالعلاقة:

$$F_{gJupiter} = mg_{Jupiter} = 0.15 \times 24.8 = 3.7\ N$$

مثال إضافي

صندوق وزنه على سطح القمر (16 N). أحسب كتلته ووزنه على سطح الأرض، حيث تسارع السقوط الحر على سطحها $g = 10\ m/s^2$ تقريبًا. علمًا بأن تسارع السقوط الحر على سطح القمر $g_M = 1.6\ m/s^2$ تقريبًا.

الحل: كتلة الصندوق:

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

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

وزن الصندوق على سطح الأرض: $F_g = mg = 10 \times 10 = 100\ N$

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **المهارات الحياتية: الحوار، والاتصال.**

أخبر الطلبة أن الحوار والاتصال من المفاهيم العابرة التي لها أهمية كبيرة في نقل المعلومات بين أفراد المجموعة؛ والتواصل باستخدام أسلوب الطاولة المستديرة يحقق فهم العلاقة بين الكتلة والوزن بشكل كامل لدى أفراد المجموعة جميعهم.

بناء المفهوم.

قانون الجذب العام والقانون الثالث لنيوتن.

- أبيِّن للطلبة أنه اعتمادًا على قانون الجذب العام لنيوتن فإن كل جسمين في الكون يجذب أحدهما الآخر بقوة تجاذب كتلي. أوجِّه انتباه الطلبة إلى الشكل (2) ثم أطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– ما نوع القوة بين القمر الصناعي والأرض؟

قوة تجاذب كتلي.

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

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

– علام تعتمد قوة التجاذب الكتلي بين أي جسمين في الكون؟

تعتمد على كتلتي الجسمين، حيث تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتيهما، كما تعتمد على المسافة بين مركزي الجسمين؛ وتتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة.

استخدام الصور والأشكال.

- أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (3)، وملاحظة البيانات المثبتة فيه. موضِّحًا لهم أن هذا الشكل يبين علاقة تناسب طردي، ولبيان ذلك أطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتلي بين جسمين عند مضاعفة كتلة أحدهما فقط؛ مع بقاء المسافة بين مركزيهما ثابتة؟

تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما ضعفَي قيمتها الابتدائية.

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

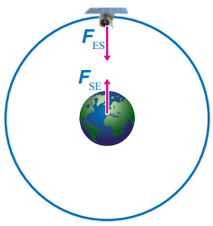
تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

– ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتلي بين جسمين؛ عندما تقل كتلة أحدهما فقط إلى النصف؛ مع بقاء المسافة بين مركزيهما ثابتة؟

تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما نصف قيمتها الابتدائية.

- أوجِّه طلبتي إلى استنتاج نوع العلاقة بين قوة التجاذب الكتلي بين جسمين ومقدار كتلة كل منهما.

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



الشكلُ (2): تجذبُ الأرضُ (E) القمرَ الصناعيَّ (S) بقوةِ (F_{ES}) في اتجاهِ مركزِها، ويجذبُ القمرُ الصناعيُّ الأرضَ في اتجاهِ مركزِهُ بقوةٍ مساويةٍ لقوةِ جذبِ الأرضِ لهُ في المقدارِ، ومعاكسةٍ لَها في الاتجاهِ (F_{SE}).

قانونُ الجذبِ العامُّ لنيوتن

Newton's Law of Universal Gravitation

تجذبُ الأرضُ الأجسامَ في اتجاهِ مركزِها، سواءً أكانتْ على سطحِها أوْ على بُعدٍ منْها، حيثُ تُعدُّ قوةُ الجاذبيةِ الأرضيةِ قوةَ مجالٍ تؤثرُ في الأجسامِ عنْ بُعدٍ. ويُعرَّفُ مجالُ الجاذبيةِ الأرضيةِ بأنَّهُ المنطقةُ المحيطةُ بالأرضِ، التي تظهرُ فيها آثارُ قوةِ جذبِ الأرضِ للأجسامِ، وتكونُ في اتجاهِ مركزِ الأرضِ دائمًا.

وبحسبِ القانونِ الثالثِ لنيوتن فإنَّ الأجسامَ الأخرى تجذبُ الأرضَ أيضًا في اتجاهِ مراكزِها بقوًى مساويةٍ لقوى جذبِ الأرضِ لها، ولكنْ في اتجاهٍ معاكسٍ، أنظرُ الشكلَ (2).

تَوصَّلَ نيوتن إلى أنَّ قوةَ التجاذبِ بينَ أيِّ جسميْنِ تتناسبُ:

أ . طرديًّا معَ حاصلِ ضربِ كتلتيِ الجسمينِ عندَ ثباتِ المسافةِ بينَ مركزيْهِما:

$$F \propto m_1 m_2$$

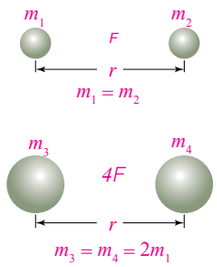
فمثلًا، عندَ مضاعفةِ كتلتيْ جسميْنِ مرتينِ تتضاعفُ قوةُ التجاذبِ بينهُما بمقدارِ أربعةِ أضعافِ قيمتِها الابتدائيةِ، أنظرُ الشكلَ (3).

ب. عكسيًّا معَ مربعِ المسافةِ بينَ مركزيْ الجسميْنِ عندَ ثباتِ كتلتيْهِما ، أيْ أنَّ:

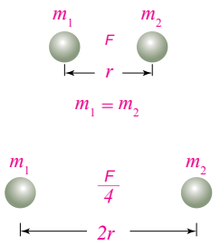
$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

فمثلًا، عندَ مضاعفةِ المسافةِ بينَ مركزيْ جسميْنِ مرتينِ، تصبحُ قوةُ التجاذبِ بينهُما ربعَ قيمتِها الابتدائيةِ، أنظرُ الشكلَ (4).

وتوصَّلَ نيوتن إلى أنَّ قوةَ التجاذبِ هذهِ لا يقتصرُ وجودُها على الأرضِ، بلْ توجدُ بينَ جميعِ الأجسامِ في الكونِ. وقدْ صاغَ



الشكلُ (3): تتناسبُ قوةُ التجاذبِ طرديًّا معَ حاصلِ ضربِ كتلتيِ الجسمينِ.



الشكلُ (4): تتناسبُ قوةُ التجاذبِ عكسيًّا معَ مربعِ المسافةِ بينَ مركزيْ الجسميْنِ.

استخدام الصور والأشكال.

- أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (4)، وملاحظة البيانات المثبتة فيه. أوضِّح لهم أن هذا الشكل يبين علاقة تربيع عكسي، ولبيان ذلك أطرح عليهم الأسئلة الآتية:

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

تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما ربع قيمتها الابتدائية.

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

تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما تسع قيمتها الابتدائية.

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

تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

– أوجِّه طلبتي إلى استنتاج نوع العلاقة بين قوة التجاذب الكتلي بين جسمين والمسافة بين مركزيهما. علاقة تربيع عكسي.

نيوتن ما سبقَ في قانونٍ سُمّيَ **قانونَ الجذبِ العامَّ (الكونيَّ) لنيوتن Newton's Law of Universal Gravitation**، وينصُّ على أنَّ: «كلَّ جسميْنِ في الكونِ يتجاذبانِ بقوةٍ يتناسبُ مقدارُها طرديًّا معَ حاصلِ ضربِ كتلتيْهِما، وعكسيًّا معَ مربعِ المسافةِ بينَ مركزيْهِما».

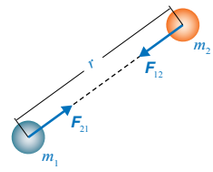
وتؤثرُ هذهِ القوةُ في اتجاهِ الخطِّ الواصلِ بينَ مركزَيِ الجسميْنِ المتجاذبيْنِ، أنظرُ الشكلَ (5). ويُعبَّرُ عنْ قانونِ الجذبِ العامِّ رياضيًّا كما يأتي:

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

حيثُ: m_1، و m_2 كتلتا الجسميْنِ المتجاذبيْنِ، و r المسافةُ بينَ مركزيْهِما، أما G فهوَ ثابتُ التناسبِ، ويُسمّى ثابتَ الجذبِ العامِّ (الكونيِّ)، وبحسبِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ، فإنَّ مقدارَ الثابتِ G يساوي:

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

على الرغمِ منْ أنَّ قوةَ التجاذبِ الكتليِّ منْ أضعفِ أنواعِ القوى الأساسيةِ، إلا أنَّها ذاتُ أهميةٍ كبيرةٍ؛ فبوجودِها نستطيعُ أداءَ كثيرٍ منْ نشاطاتِنا اليوميةِ، ومنْ دونِها نفقدُ التلامسَ معَ سطحِ الأرضِ، ونطفو في الفضاءِ. وقوةُ التجاذبِ الكتليِّ مسؤولةٌ أيضًا عن حركةِ القمرِ حولَ الأرضِ، وعنْ حركةِ كواكبِ مجموعتِنا الشمسيةِ وأجرامِها حولَ الشمسِ. ومن خلالِها نستطيعُ تفسيرَ قوةِ التجاذبِ بينَ أيِّ جسميْنِ في الكونِ، وتفسيرَ حركةِ الأقمارِ حولَ الكواكبِ، كما يمكنُ بوساطتِها تفسيرُ ظاهرتيْ المدِّ والجزرِ.



الشكلُ (5): تؤثرُ قوةُ التجاذبِ الكتليِّ في اتجاهِ الخطِّ الواصلِ بينَ مركزَيِ الجسميْنِ المتجاذبيْنِ.

ماذا يحدثُ لمقدارِ كلٍّ منَ القوتيْنِ F_{12} و F_{21} عندَ مضاعفةِ مقدارِ m_2 فقطْ؟

✓ **أتحقَّقُ:** علامَ ينصُّ قانونُ الجذبِ العامُّ لنيوتن؟

أبحثُ: القوى الأربعُ الأساسيةُ:

تُصنَّفُ القوى في الطبيعةِ إلى أربعةِ أنواعٍ أساسيةٍ، هيَ:

- قوةُ التجاذبِ الكتليِّ (Gravitational Force).
- القوةُ الكهرمغناطيسيةُ (Electromagnetic Force).
- القوةُ النوويةُ القويةُ (Strong Nuclear Force).
- القوةُ النوويةُ الضعيفةُ (Weak Nuclear Force).

أبحثُ في مصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمتاحةِ ومنها شبكةُ الإنترنتِ عنْ هذهِ القوى منْ حيثُ: مدى كلٍّ منْها، وترتيبُها منَ الأقوى إلى الأضعفِ، وأعدُّ عرضًا تقديميًّا أعرضهُ أمامَ طلبةِ الصفِّ.

إجابة سؤال الشكل (5):

عند مضاعفة مقدار m_2، يتضاعف مقدار كلّ من القوتين F_{12}، و F_{21}، أيضًا، بحيث تبقى القوتان متساويتين مقدارًا ومتعاكستين اتجاهًا.

✓ **أتحقَّق:**

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

طريقة أُخرى للتدريس

قانون الجذب العام (الكوني) لنيوتن.

- لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على تحديد العلاقة بين قوة التجاذب الكتلي بين جسمين وكل من كتلتيهما والمسافة بين مركزيهما، استخدم **استراتيجية التعلم التعاوني**. أوزِّع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم أكتب على السبورة قانون الجذب العام لنيوتن. ثم أطلب إليهم الإجابة عن الأسئلة الآتية كتابيًّا:

– ما العلاقة بين قوة التجاذب الكتلي بين جسمين وكتلة كل منهما؟ علاقة 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؟ $N.m^2/kg^2$.

– جسمان، 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. ضعفي مقدار القوة التي يؤثر بها الجسم الثاني في الأول.

جـ. 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 متساويتان في المقدار، ومتعاكستان في الاتجاه.

- أتجول بين أفراد المجموعات موجهًا ومساعدًا ومرشدًا، وأصحِّح المفاهيم غير الصحيحة لديهم.
- أطلب إلى كل مجموعة عرض النتائج التي توصلوا إليها على السبورة أمام المجموعات الأخرى، ثم مناقشة هذه النتائج.

معلومة إضافية

القوى الأربع الأساسية.

القوة النووية القوية قوة تجاذب تربط مكونات النواة (البروتونات والنيوترونات، ويطلق عليها اسم النيوكليونات) معًا، ومداها تقريبًا يساوي $(10^{-15}\ m)$. أما القوة الكهرمغناطيسية التي تربط الذرات والجزيئات معًا في المادة فمقدارها (10^{-2}) ضعف مقدار القوة النووية القوية، وهي قوة تربيع عكسي؛ حيث يتناسب مقدارها عكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزي الجسيمين المشحونين المتفاعلين. أما القوة النووية الضعيفة فهي مسؤولة عن عملية الاضمحلال الإشعاعي، ومقدارها (10^{-5}) ضعف مقدار القوة النووية القوية. وأخيرًا، قوة التجاذب الكتلي مقدارها (10^{-39}) ضعف مقدار القوة النووية القوية، وهي قوة تربيع عكسي.

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

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

مثال إضافي

سيارتان A، وB، كتلتاهما: $(2 \times 10^3\ kg)$، و $(3 \times 10^3\ kg)$، والبعد بين مركزيهما $(50\ m)$. أحسب 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 الكتلي التي تؤثر بها السيارة A في السيارة B.

$$F_{AB} = \frac{Gm_A m_B}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2 \times 10^3 \times 3 \times 10^3}{(50)^2}$$

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

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

ب. بحسب القانون الثالث لنيوتن؛ تكون قوة التجاذب الكتلي 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:

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

إضاءة للمعلم/للمعلمة

تجربة كافندش.

أجرى العالم هنري كافندش تجربة لقياس مقدار قوة التجاذب الكتلي بين جسمين، حيث صمم جهازًا يتكون من ذراع أفقية معلقة من منتصفها بسلك رفيع قابل للدوران. ثم وضع كرتي رصاص صغيرتين عند نهايتي الذراع، ووضع كرتي رصاص ثقيلتين قريبًا منهما. وهذا أدى إلى دوران الذراع بزاوية معينة، اعتمادًا على مقدار قوة التجاذب الكتلي بين كل كرتين متقابلتين. وعند اتزان الذراع، تمكن العالم كافندش من قياس مقدار قوة التجاذب الكتلي 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 العامّ.

المثالُ 2

إذا كانتْ كتلةُ مريمَ (50 kg)، وكتلةُ عائشةَ (60 kg)، والبعدُ بينهُما (50 cm)، فأحسبُ مقدارَ:

أ . القوةِ التي تؤثرُ بها مريمُ في عائشةَ (F_{MA})، وأُحدِّدُ اتجاهَها.

ب . القوةِ التي تؤثرُ بها عائشةُ في مريمَ (F_{AM})، وأُحدِّدُ اتجاهَها.

المعطياتُ: نرمز إلى مريمَ بالرمزِ (M)، وإلى عائشةَ بالرمزِ (A).

$m_M = 50\ kg,\quad m_A = 60\ kg,\quad r = 50\ cm = 0.50\ m$

المطلوبُ: $F_{AM} = ?$ ، $F_{MA} = ?$

الحلُّ:

أ . نستخدمُ قانونَ الجذبِ العامِّ لنيوتن لحسابِ مقدارِ قوةِ التجاذبِ الكتليِّ التي تؤثرُ بها مريمُ في عائشةَ.

$$F_{MA} = \frac{Gm_M m_A}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 50 \times 60}{(0.5)^2} = \frac{2.001 \times 10^{-7}}{(0.5)^2}$$

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

وتكونُ هذهِ القوةُ في اتجاهِ مريمَ؛ حيثُ إنَّها قوةُ تجاذبٍ دائمًا.

ب . بحسبِ القانونِ الثالثِ لنيوتن، تكونُ قوةُ التجاذبِ الكتليِّ التي تؤثرُ بها عائشةُ في مريمَ مساويةً في المقدارِ للقوةِ التي تؤثرُ بها مريمُ في عائشةَ، ومعاكسةً لها في الاتجاهِ، أيْ أنَّ:

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

وتكونُ هذهِ القوةُ في اتجاهِ عائشةَ. وبمقارنةِ هذهِ القوةِ بقوةِ جذبِ الأرضِ لكلٍّ منهُما؛ يتضحُ لنا مدى صغرِ هذهِ القوةِ، وسببُ عدمِ شعورِنا بِها.

تمرينٌ

أستنتجُ: في المثالِ السابقِ أجدُ النسبةَ بينَ قوةِ جذبِ الأرضِ لكلٍّ منْ مريمَ وعائشةَ، وقوةِ جذبهما لبعضهما. ماذا أستنتجُ؟

تمرين

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

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

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

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

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

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

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

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

تسارعُ الجاذبيةِ الأرضيةِ Gravitational Acceleration

يمكنُ حسابُ مقدارِ تسارعِ الجاذبيةِ الأرضيةِ (تسارعُ السقوطِ الحرِّ) باستخدامِ قانونِ الجذبِ العامِّ، والقانونِ الثاني لنيوتن كما يأتي:

عندَما يسقطُ جسمٌ كتلتُهُ (m) سقوطًا حرًّا بالقربِ منْ سطحِ الأرضِ فإنَّ تسارعَهُ يساوي تسارعَ السقوطِ الحرِّ (g)، ويتأثرُ بقوةٍ محصلةٍ في أثناءِ سقوطِهِ تساوي وزنَهُ (F_g)، تُحسبُ منَ القانونِ الثاني لنيوتن كما يأتي:

$$\sum F = ma = mg$$
$$= F_g$$

ويكونُ وزنُ الجسمِ على سطحِ الأرضِ (أوْ بالقربِ منهُ) مساويًا لقوةِ التجاذبِ الكتليِّ بينَ كتلةِ الجسمِ وكتلةِ الأرضِ؛ لذا:

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

حيثُ: r_E نصفُ قطرِ الأرضِ، و m_E كتلةُ الأرضِ.

وبقسمةِ طرفَيْ المعادلةِ على كتلةِ الجسمِ نحصلُ على المعادلةِ الآتيةِ لحسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ الأرضِ أوْ قريبًا منهُ:

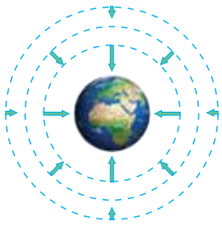
$$g = \frac{Gm_E}{r_E^2}$$

وبتعويضِ قيمِ كلٍّ منْ: ثابتِ الجذبِ العامِّ، وكتلةِ الأرضِ (5.98×10^{24} kg) تقريبًا، ومتوسطِ نصفِ قطرِها (6.38×10^6 m) تقريبًا، نحصلُ على قيمةِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ بالقربِ منْ سطحِ الأرضِ:

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

ويكونُ اتجاهُ تسارعِ السقوطِ الحرِّ في اتجاهِ مركزِ الأرضِ دائمًا. ويتضحُ منْ معادلةِ حسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ أنَّهُ: بزيادةِ البُعدِ عنْ مركزِ الأرضِ يقلُّ مقدارُ تسارعِ السقوطِ الحرِّ، لذا؛ يتناقصُ وزنُ أيِّ جسمٍ في أثناءِ ابتعادِهِ عنْ سطحِ الأرضِ. أنظرُ الشكلَ (6) الذي يوضحُ كيفَ يتغيرُ تسارعُ السقوطِ الحرِّ بتغيرِ البعدِ عنْ سطحِ الأرضِ.

أصمِّمُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضًا يوضحُ قانونَ الجذبِ العامِّ لنيوتن، ثمَّ أشاركُهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.



الشكلُ (6): تمثّلُ الأسهمُ تسارعَ السقوطِ الحرِّ مقدارًا واتجاهًا؛ حيثُ يقلُّ مقدارُهُ بالابتعادِ عنْ سطحِ الأرضِ، ويكونُ مقدارُهُ متساويًا عندَ جميعِ النقاطِ التي لَها البعدُ نفسُهُ عنْ مركزِ الأرضِ.

15

نشاط سريع

- أحضر عدة أثقال معلومة الكتلة، ثم أمسك ميزانًا نابضيًّا، وأعلِّق أحدها في نهايته، ثم أطلب إلى الطلبة تدوين وزن الثقل الظاهر على تدريج الميزان.
- أكرر الخطوة السابقة مع الأثقال الأخرى، مع تدوين قراءة الميزان النابضي في كل محاولة.
- أحسب تسارع السقوط الحر لكل محاولة، بقسمة وزن الثقل على كتلته. تكون قيم تسارع السقوط الحر متساوية تقريبًا.
- ثم أطلب إليهم حساب متوسط قيم تسارع السقوط الحر، ومقارنتها بالقيمة المقبولة لتسارع السقوط الحر.
- أدير نقاشًا بين الطلبة لتفسير أية اختلافات.

أوجِّه الطلبة إلى تصميم عرض تفاعلي يوضح قانون الجذب العام لنيوتن، باستخدام برنامج السكراتش (Scratch)، ثم أوجِّههم إلى مشاركته أو عرضه أمام الزملاء في الصف.

استخدام الصور والأشكال.

- أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (6)، وملاحظة كيفية تغير أطوال الأسهم التي تمثل مقادير تسارع السقوط الحر للأرض واتجاهاته، ثم أطرح 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 يرتفع عن سطح الأرض بمقدار يساوي نصف قطر الأرض؟ علمًا بأن تسارع السقوط الحر على سطح الأرض (10 m/s^2) تقريبًا. ملاحظة: لا يلزم تزويد الطلبة بمقدار نصف قطر الأرض. بملاحظة 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.

أستخدم استراتيجية التفكير الناقد لاستنتاج معلومات من تغير مقدار تسارع السقوط الحر.

- أوزع الطلبة إلى مجموعات، ثم اكتب على السبورة ما يأتي: «يبلغ مقدار تسارع السقوط الحر على سطح الأرض عند خط الاستواء (9.780 m/s^2)، ويبلغ مقداره عند القطب الشمالي (9.832 m/s^2)».
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة مناقشة السؤال الآتي: ماذا يخبركم هذا التغير في مقدار تسارع السقوط الحر عن شكل الأرض؟ لأن تسارع السقوط الحر يتناسب عكسيًّا مع مربع البعد عن مركز الأرض، فإن نصف قطر الأرض عند خط الاستواء يكون أكبر منه عند القطبين؛ أي أن شكل الأرض ليس كرويًّا تمامًا.
- أناقش مع الطلبة التغيرات في مقدار g على سطح الأرض وعلاقتها بتغير نصف قطر الأرض وتغير كثافة مكوناتها.

التعزيز:

- أوضِّح للطلبة أن لكل كوكب أو جرم سماوي تسارع سقوط حر خاصًّا به على سطحه، يعتمد على كتلته ونصف قطره. لذا؛ أوزِّع الطلبة إلى مجموعات، ثم أزودهم بنصف قطر القمر وكتلته، ثم أطلب إلى كل مجموعة حساب تسارع السقوط الحر على سطح القمر، ثم مقارنتها بتسارع السقوط الحر على سطح الأرض، وما الذي يمكن أن يستنتجوه من اختلاف مقدارَي التسارع.

يعتمد تسارع السقوط الحر على كتلة الجرم (تناسب طردي مع الكتلة) ونصف قطره (تناسب عكسي مع مربع نصف القطر).

أفكِّر: يدور مكوك فضاء أو مركبة فضائية على ارتفاع معين فوق سطح الأرض، لنعدَّ ارتفاعه (700 km) فوق سطح الأرض. عند هذا الارتفاع يكون مقدار تسارع السقوط الحر (g=7.96 m/s^2)، لذا تؤثر الجاذبية الأرضية بقوة في رواد الفضاء والمكوك (قوة مركزية تسبب دورانهم حول الأرض). بما أن قوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في رواد الفضاء لا تساوي صفرًا، فلماذا نراهم يطفون داخل المكوك وفي الفضاء؟ بما أنّ مكوك الفضاء ورواد الفضاء يتسارعون بمقدار التسارع نفسه 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 أنَّ للتحليل دورًا في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة. فتحليل المعلومات الخاصة بكوكب المريخ مثلا، ومعرفة تسارع السقوط الحرّ على سطحه، مكّن العلماء من التخطيط لبناء مركبة تهبط على سطحه بسلام.

أفكِّر: عندَ مشاهدةِ روّادِ الفضاءِ في مركباتِهم أو خارجَها؛ ألاحظُ أنَّهُمْ يطفونَ داخلَها أوْ في الفضاءِ، حيثُ يكونونَ في حالةٍ تُسمّى انعدامَ الوزنِ. فهل يعني انعدامُ الوزنِ انعدامَ قوةِ الجاذبيةِ الأرضيةِ المؤثرةِ فيهمْ في موقعِ المركبةِ الفضائيةِ؟

ويُحسبُ تسارعُ السقوطِ الحرِّ للأرضِ عندَ أيِّ موقعٍ في الكونِ يبعدُ عنْ مركزِها مسافةَ r بالمعادلةِ الآتيةِ:

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

ويُمكنُ استخدامُ هذهِ المعادلةِ لحسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ أيِّ كوكبٍ؛ إذا عُلِمَ نصفُ قطرهِ وكتلتُهُ.

✓ **أتحقَّقُ:** علامَ يعتمدُ تسارعُ السقوطِ الحرِّ على سطحِ أيِّ كوكبٍ؟

المثالُ 3

إذا علمتُ أنَّ كتلةَ القمرِ (7.35×10^{22} kg) تقريبًا، ونصفَ قطرهِ (1.738×10^6 m) تقريبًا، فأحسبُ مقدارَ:

أ . تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ القمرِ.

ب . تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ جرمٍ، كتلتُهُ تساوي كتلةَ القمرِ، ونصفُ قطرهِ يساوي ضعفَيْ نصفِ قطرِ القمرِ.

المعطياتُ: نرمزُ إلى القمرِ بالرمزِ (M)، والجرم بالرمز (A).

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

المطلوبُ: $g_M = ?$, $g_A = ?$

الحلُّ:

أ . أستخدمُ معادلةَ حسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ الآتيةَ:

$$g_M = \frac{Gm_M}{r_M^2}$$

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

ب . أستخدمُ معادلةَ حسابِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ الآتيةَ:

$$g_A = \frac{Gm_A}{r_A^2}$$

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

أُلاحظُ تأثيرَ مضاعفةِ نصفِ القُطرِ في نقصانِ مقدارِ التسارعِ بمقدارٍ كبيرٍ؛ لأنَّ التسارعَ يتناسبُ عكسيًّا معَ مربعِ نصفِ القطرِ.

✓ **أتحقَّق:**

يعتمد على كتلة الكوكب، ونصف قطره.

مثال إضافي

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

الحل:

نستخدم معادلة حساب تسارع السقوط الحر الآتية:

$$g_A = \frac{Gm_A}{r_A^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2 \times 7.35 \times 10^{22}}{(1.738 \times 10^6)^2}$$

$$= 3.25 \text{ m/s}^2$$

تمرينٌ

كتلةُ جُمانَ 70 kg، إذا علمتُ أنَّ $g = 10\ m/s^2$، و $g_{Moon} = 1.6\ m/s^2$، تقريبًا، فأحسبُ مقدارَ:

أ . وزنِها على سطحِ الأرضِ.

ب . كتلتِها على سطحِ القمرِ.

جـ . وزنِها على سطحِ القمرِ.

الربطُ بالفلكِ

تدورُ الأقمارُ الصناعيةُ على ارتفاعاتٍ مختلفةٍ فوقَ سطحِ الأرضِ؛ حيثُ تتناسبُ هذهِ الارتفاعاتُ معَ وظيفةِ كلٍّ منْها. ولكيْ يوضعَ هذا القمرُ في مدارِهِ المناسبِ حولَ الأرضِ يجبُ معرفةُ مقدارِ تسارعِ الجاذبيةِ الأرضيةِ عندَ هذا الارتفاعِ، وتحديدُ السرعةِ المماسيةِ المناسبةِ لهُ في هذا المدارِ.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما المقصودُ بالوزنِ؟ وعلامَ تعتمدُ قوةُ التجاذبِ الكتليِّ بينَ أيِّ جسميْنِ؟ وعلامَ يعتمدُ تسارعُ الجاذبيةِ الأرضيةِ؟
2. **أُحلّلُ:** كيفَ تتغيرُ قوةُ التجاذبِ الكتليِّ بينَ جسميْنِ: m_1 وَ m_2، المسافةُ بينَ مركزيْهما r، عندَ مضاعفةِ كلٍّ ممّا يأتي مرّتينِ:

   أ. المسافةِ بينَ مركزيْهما ب. كتلةِ الجسمِ الأولِ جـ. كتلتيْ الجسميْنِ معًا
3. **أتوقعُ:** لو أصبحتْ كتلةُ الأرضِ ضعفَيْ ما هيَ عليْهِ، منْ دونِ تغيُّرِ نصفِ قطرِها، فماذا يحدثُ لمقدارِ تسارعِ السقوطِ الحرِّ (g) قربَ سطحِها؟
4. **أستخدمُ المتغيراتِ:** على أيِّ ارتفاعٍ منْ سطحِ الأرضِ يكونُ مقدارُ تسارعِ الجاذبيةِ الأرضيةِ مساويًا لنصفِ مقدارِهِ على سطحِ الأرضِ؟
5. **أُصدرُ حُكمًا:** في أثناءِ دراستي وزميلتي هندَ لهذا الدرسِ، قالتْ: "إنَّ مفهومَيْ الكتلةِ والوزنِ مترادفانِ، وهُما يُعبِّرانِ عنِ الكميةِ الفيزيائيةِ نفسِها". أناقشُ صحةَ قولِ هندَ.
6. **التفكيرُ الناقدُ:** إنَّ تسارعَ الجاذبيةِ على سطحِ القمرِ يساوي $\frac{1}{6}$ تسارعِ الجاذبيةِ على سطحِ الأرضِ تقريبًا. هل يمكنُني استنتاجُ أنَّ كتلةَ القمرِ تساوي $\frac{1}{6}$ كتلةِ الأرضِ؟ أوضِّحُ إجابتي.

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 كتلتيهما حيث تتناسب طرديًّا مع حاصل ضربهما، كما تعتمد على مربع المسافة بين مركزيهما وتتناسب عكسيًّا 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).

2 أ . تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما ربع قيمتها الابتدائية.

ب. تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما ضعف قيمتها الابتدائية.

جـ. تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

3 عند مضاعفة كتلة الأرض يتضاعف مقدار تسارع السقوط الحر على سطحها.

تمرين

أ.

$F_g = mg$

$= 70 \times 10 = 700\ N$

ب. الكتلة ثابتة لا تتغير من مكان إلى آخر.

$m_M = m_E = m = 70\ kg$

جـ.

$F_{gM} = mg_M$

$= 70 \times 1.6 = 112\ N$

الربط مع الفلك

أطلب إلى الطلبة الاستعانة بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة، للحصول على معلومات عن ارتفاعات بعض الأقمار الصناعية ووظائفها، ثم التأكد من رياضيًا من مقدار تسارع السقوط الحر عند هذه الارتفاعات.

3 التقويم

مراجعة الدرس

4 البعد عن مركز الأرض (r)، الارتفاع عن سطح الأرض (R)، نصف قطر الأرض (r_E).

$r = r_E + R$

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

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

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

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

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 ($g = \frac{Gm}{r^2}$)، يتناسب طرديًّا مع الكتلة وعكسيًّا 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.

الدرس 2

تطبيقات على القوى
Applications of Forces

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة.

- أوضِّح 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 القوة العموديّة. وأن قوة الاحتكاك قوة تعيق (أو تمانع) الحركة النسبية بين سطحي جسمين متلامسين عند تحريك (أو محاولة تحريك) أحدهما بالنسبة إلى الآخر.

◄ الربط بالمعرفة السابقة.

- ذكر الطلبة بتعريف كل مما يأتي:
القوة، الوزن، القوة المحصلة، التسارع.
- أذكِّر 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.

- أوجِّه 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 يكونان ساكنين أو متحركين بسرعة متجهة ثابتة؛ حيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرا، ويكون الجسم عندها في حالة اتزان سكوني أو ديناميكي.

الدرس 2

تطبيقاتٌ على القوى
Applications of Forces

◄ الفكرةُ الرئيسةُ:
تؤثرُ قوةُ الشدِّ بوساطةِ الحبالِ والأسلاكِ، وتؤثرُ الأسطحُ بقوةٍ عموديةٍ في الأجسامِ الموضوعةِ عليْها، وتؤثرُ قوةُ الاحتكاكِ في حركةِ الأجسامِ، ومنَ الصعبِ ممارسةُ حياتِنا اليوميةِ منْ دونِها.

◄ نتاجاتُ التعلُّمِ:
- أُوضِّح مفهومَ كلٍّ منَ: قوةِ الشدِّ، والقوةِ العموديةِ، وقوةِ الاحتكاكِ.
- أحسب مقدارَ القوةِ العموديةِ في أوضاعٍ مختلفةٍ.
- أستقصي العواملَ التي تعتمدُ عليْها قوةُ الاحتكاكِ بينَ جسميْنِ.
- أُفسِّرُ سببَ نقصانِ قوةِ الاحتكاكِ عندَ بدءِ حركةِ جسمٍ.
- أُطوِّرُ وسائلَ تقللُ منَ الآثارِ السلبيةِ لقوةِ الاحتكاكِ.
- أطبِّقُ بحلِّ مسائلَ على قوى: الشدِّ، والعموديةِ، والاحتكاكِ.

◄ المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

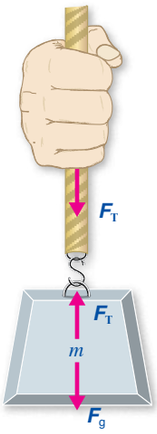
قوةُ الشدِّ	Tension Force
القوةُ العموديةُ	Normal Force
قوةُ الاحتكاكِ	Friction Force
معاملُ الاحتكاكِ السكونيِّ	Coefficient of Static Friction
معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ	Coefficient of Kinetic Friction

قوةُ الشدِّ Tension Force

قوةُ الشدِّ Tension Force هيَ قوةُ سحبٍ تؤثرُ في جسمٍ عنْ طريقِ سلكٍ أو خيطٍ أو حبلٍ، رمزُها F_T، وتؤثرُ في اتجاهِ طولِ الخيطِ أوِ الحبلِ أوِ السلكِ. وللتبسيطِ عندَ التعاملِ معَ المسائلِ التي تتضمنُ خيوطًا وحبالًا وأسلاكًا فإننا سنهملُ كتلَها، ونعدُّها غيرَ قابلةٍ للاستطالةِ.

أنظرُ الشكلَ (7)، الذي يوضحُ يدَ شخصٍ يُمسكُ حبلًا معلّقًا في نهايتِهِ ثقلٌ. إذا كانَ الثقلُ ساكنًا أوْ متحركًا بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ، فإنَّ القوةَ المحصلةَ المؤثرةَ فيهِ تساوي صفرًا، لذا يكونُ تسارعُهُ صفرًا أيضًا.

تؤثرُ يدُ الشخصِ بقوةٍ إلى أعلى في جزءِ الحبلِ الذي يُمسكهُ، في حينِ يؤثرُ هذا الجزءُ منَ الحبلِ في يدِهِ بقوةِ شدٍّ إلى أسفلَ، وهما زوجا تأثيرٍ متبادلٍ. كما يؤثرُ جزءُ الحبلِ المتصلُ بالثقلِ بقوةِ شدٍّ إلى أعلى في الثقلِ، في حينِ يؤثرُ الثقلُ في هذا الجزءِ منَ الحبلِ بقوةِ شدٍّ إلى أسفلَ، وهما أيضًا زوجا تأثيرٍ متبادلٍ. ولاستقصاءِ قوةِ الشدِّ أُنفِّذُ التجربةَ الآتيةَ.



الشكلُ (7): تنتقلُ قوةُ الشدِّ منْ يدِ الشخصِ إلى الثقلِ عنْ طريقِ الحبلِ، وتكونُ قوى الشدِّ متساويةً في جميعِ أجزاءِ الحبلِ عندَ إهمالِ كتلتِهِ.

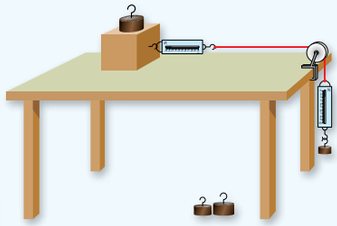
◄ بناء المفهوم.

قوة الشد.

- أوضح للطلبة أن قوة السحب تؤثر في الجسم من خلال سلك أو خيط أو حبل، رمزها F_T، وتؤثر في اتجاه طول الخيط أو الحبل أو السلك.
- أوضِّح للطلبة أن قوى الشد المؤثرة في طرفَي حبل مهمل الكتلة أو بين أجزائه تكون متساوية في المقدار، ومتعاكسة في الاتجاه، سواء كان الحبل ساكنًا، أو متحركًا بسرعة متجهة ثابتة، أو متحركًا بتسارع.

التجربةُ 1

قوةُ الشدِّ



المـوادُّ والأدواتُ: خيطٌ خفيفٌ طولُـهُ (1 m)، ميزانـانِ نابضيـانِ (مقياسا قوةٍ)، مكعبٌ خشبيٌّ مُزوَّدٌ بخطّافٍ، مجموعـةُ أثقـالٍ (100 g, 200 g, 300 g, 1 kg)، بَكَـرةٌ ملساءُ، سطحُ طاولـةٍ أُفقيٌّ، ورقُ تنظيفٍ (منشفةٌ) لتنظيفِ سطحِ الطاولـةِ وأسطحِ المكعبِ الخشبيِّ.

إرشاداتُ السلامةِ: ارتداءُ المعطفِ، واستخدامُ النظاراتِ الواقيةِ للعينينِ، والحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ.

خُطواتُ العملِ:

1. بالتعـاونِ مـع أفرادِ مجموعتـي، أُنظِّـفُ أسطحَ المكعبِ الخشبيِّ وسطحَ الطاولـةِ، وأتأكَّدُ أنَّـهُ أُفقيٌّ، ثمَّ أُثبِّتُ الميـزانَ الأولَ بخطّـافِ المكعبِ الخشبيِّ، ثمَّ أربـطُ الخيطَ بخطّافِـهِ، ثمَّ أربطُ الطـرفَ الثانيَ للخيطِ بالميـزانِ الثانـي مـرورًا بالبكَـرةِ. وأحـرصُ علـى أنْ يكونَ الخيطُ الممتدُّ بينَ البكَرةِ والمكعبِ أُفقيًّا تمامًا. وأضـعُ الثقلَ (1 kg) فوقَ المكعبِ؛ لمنـعِ انزلاقِهِ.
2. **ألاحظُ:** أُعلِّقُ الثقلَ (100 g) فـي خطّـافِ الميـزانِ الثانـي، وأحرصُ على أنْ يبقـى الثقلُ ساكنًا ولا يهتزَّ. أُدوِّنُ قراءتَـيْ الميزانينِ.
3. أُكرِّرُ الخطوةَ السابقةَ بتعليقِ الثقلينِ (200 g, 300 g): كلَّ على حدةٍ، وأدوِّنُ نتائجي.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أقارنُ** بينَ مقداريْ قوتيْ الشدِّ المؤثرتينِ في طرفيْ الخيطِ في الخطوتينِ (2) و (3). ماذا ألاحظُ؟
2. **أستنتجُ:** ما العلاقةُ بينَ قوتيْ الشدِّ المؤثرتينِ في طرفيْ الخيطِ؟ أُفسِّر إجابتي.
3. **أقارنُ** نتائـجَ مجموعتـي بنتائـجِ المجموعـاتِ الأخـرى، مـاذا ألاحـظُ؟ هلْ توصلـتُ إلـى تعميـمٍ بخصـوصِ قـوى الشـدِّ فـي الحبـالِ والخيـوطِ؟ أكتـبُ تعميمي.

تكونُ قوتا الشدِّ المؤثرتانِ في طرفيِ حبلٍ أوْ سلكٍ متساويتينِ في المقدارِ، ومتعاكستينِ في الاتجاهِ. كما تكونُ قوى الشدِّ متساويةً في جميعِ أجزاءِ الحبلِ أوِ الخيطِ أوِ السلكِ (عندَ إهمالِ كتلتِهِ)، وهيَ مساويةٌ لوزنِ الثقلِ المُعلَّقِ بِهِ في حالِ كانَتِ القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ فيهِ صفرًا؛ أيْ في حالةِ الاتزانِ السكونيِّ أوِ الاتزانِ الديناميكيِّ.

استراتيجية التقويم: الملاحظة.

أداة التقويم: سُلَّم تقدير

الاسم	المهام			
	4	3	2	1

المهام:

(1) **تنفيذ** خطوات التجربة بصورة صحيحة دقيقة.

(2) **تدوين** قراءاته بشكل دقيق وبموضوعية.

(3) **تفسير** النتائج وإجاباته بشكل علمي.

(4) **استنتاج** العلاقة بين مقدار قوتي الشد المؤثرتين في طرفي الحبل بشكل صحيح.

العلامات:

4: تنفيذ أربع مهام تنفيذًا صحيحًا.

3: تنفيذ ثلاث مهام تنفيذًا صحيحًا.

2: تنفيذ مهمّتين تنفيذًا صحيحًا.

1: تنفيذ مهمّة واحدة تنفيذًا صحيحًا.

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:

أوجِّه الطلبة إلى ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، طالبًا 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 الخيط، ولا يتشوه نابضا الميزانين.
- أطلب 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 دائمًا متساويتين في المقدار. وبإمكانهم استنتاج أن قوتي الشد متعاكستان بمقارنة اتجاه قوة الشد في الحبل باتجاه قوة سحب الميزانين النابضيين لطرفي الحبل بعيدًا 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 الخيط متساويان، ويساويان مقدار وزن الثقل المعلق في الميزان الثاني في كل حالة (يساويان قراءتي الميزانين).
2. أستنتج أن مقداري قوتي الشد المؤثرتين في طرفي الخيط دائمًا متساويان؛ حيث تبقى قراءتا الميزانين متساويتين في كل حالة؛ فبزيادة وزن الثقل المعلق في الميزان الثاني يزداد مقدار قوة الشد المؤثرة في طرف الخيط المتصل به هذا الميزان، وبالمقابل تزداد قراءة الميزان الأول (قوة الشد في طرف الخيط المتصل به الميزان) بالمقدار نفسه.
3. إجابة محتملة: كانت نتائج مجموعاتنا متماثلة، حيث توصلت المجموعات جميعها إلى التعميم الآتي: يكون مقدارا قوتي الشد المؤثرتين في طرفي الخيوط والحبال الخفيفة دائمًا متساويين.

أفكِّرُ: استخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** في تدريس الطلبة هذا الموضوع.

- أوزع الطلبة إلى مجموعات؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلم.
- أوزع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة؛ بحيث يتفاعل الجميع معًا.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة النظر إلى الشكل (8)، ورسم مخطط الجسم الحر لحزمة الحطب الموضحة في الشكل (8/ أ)، ثم إجابة الأسئلة الآتية كتابيًّا؛ على أن يتفاعل الجميع معًا 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 تساوي صفرًا.

– 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 الخيط بزيادة مقدار التسارع إلى أعلى؟

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

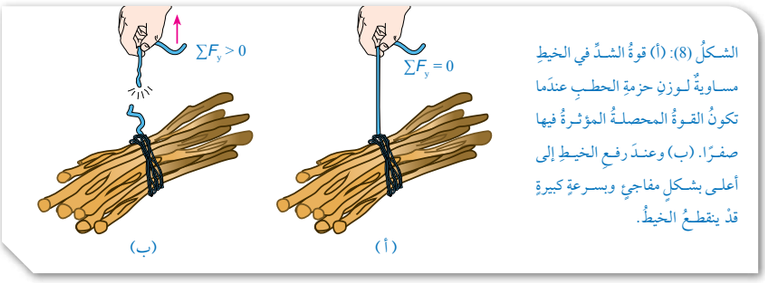
– لماذا انقطع الخيط عند رفع حزمة الحطب بشكل مفاجئ وبسرعة كبيرة؟

التسارع الكبير يتطلب وجود قوة محصلة كبيرة، أي أن مقدار قوة الشد يجب أن يكون أكبر بكثير من مقدار وزن الحزمة، وبما أن لكل خيط قوة شد عظمى يتحملها قبل أن ينقطع، فإن انقطاع الخيط هنا يدل على أن قوة الشد في الخيط كانت أكبر مما يتحمله.

– كيف يمكن رفع حزمة الحطب دون أن ينقطع الخيط؟

رفعها بسرعة متجهة ثابتة، أو بتسارع قليل؛ بحيث تكون قوة الشد في الخيط أقل من قوة الشد العظمى التي يتحملها.

- أطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.
- أدير نقاشًا بين أفراد المجموعات للتوصل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.



الشكلُ (8): (أ) قوةُ الشدِّ في الخيطِ مساويةٌ لوزنِ حزمةِ الحطبِ عندَما تكونُ القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ فيها صفرًا. (ب) وعندَ رفعِ الخيطِ إلى أعلى بشكلٍ مفاجئٍ وبسرعةٍ كبيرةٍ قدْ ينقطعُ الخيطُ.

أنظرُ الشكلَ (8/ أ) الذي يوضحُ حزمةَ حطبٍ مربوطةً بخيطٍ؛ حيثُ تكونُ قوةُ الشدِّ في الخيطِ مساويةً لوزنِ الحزمةِ عندَما تكونُ ساكنةً أوْ متحركةً بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ. أما عندَ تحريكِ الحزمةِ بتسارعٍ كبيرٍ فإنَّ الخيطَ قدْ ينقطعُ؛ لأنَّ لكلِّ خيطٍ أوْ سلكٍ قوةَ شدٍّ عظمى يتحمَّلُها قبلَ أنْ ينقطعَ، أنظرُ الشكلَ (8/ ب).

أفكِّرُ في الشكلِ (8/ب)، عندَ رفعِ حزمةِ الحطبِ بشكلٍ مفاجئٍ وبسرعةٍ كبيرةٍ قد ينقطعُ الخيطُ. **أُفسِّرُ** ذلكَ.

سؤالٌ: كيفَ يمكنُ رفعُ حزمةِ الحطبِ منْ دونِ أنْ ينقطعَ الخيطُ؟

✓ **أتحقَّقُ:** ما المقصودُ بقوةِ الشدِّ؟
وَما العلاقةُ بينَ قوتي الشدِّ عندَ طرفيْ الخيطِ؟

الشكلُ (9): تُستخدَمُ الحبالُ والأسلاكُ لنقلِ القوى عبرَ مساراتٍ منحنيةٍ في أنظمةِ الكوابحِ في الدراجاتِ الهوائيةِ.

الفيزياءُ والحياةُ

تُستخدمُ الحبالُ والأسلاكُ لنقلِ القوةِ عبرَ مساراتٍ منحنيةٍ، مثلِ: أنظمةِ المكابحِ في الدراجاتِ الهوائيةِ. أنظرُ الشكلَ (9). وفي هذهِ الحالاتِ يتمُّ تغييرُ اتجاهِ القوةِ فقطْ، أما مقدارُها فيُنقَلُ عنْ طريقِ الحبلِ أوِ السلكِ من دونِ تغييرٍ، عندَ انعدامِ قوى الاحتكاكِ وإهمالِ كتلةِ الحبلِ أوِ السلكِ في هذهِ الأنظمةِ.

✓ **أتحقَّقُ:** قوة الشد هي قوة سحب تؤثر في جسم من خلال سلك أو خيط أو حبل، رمزها F_T. وتؤثر هذه القوة في اتجاه طول الخيط أو الحبل أو السلك بعيدًا 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 أنَّ للتحليل دورًا في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة، فتحليل المخطط الحرّ للجسم يساعد في الوصول إلى تصوّر واضح لحالة الجسم الحركية، ومعرفة القوى المؤثرة فيه..

الفيزياء والحياة

أطلب 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.

المثال 4

دلوُ ماءٍ كتلته وكتلةُ الماءِ الذي يحويهِ (10 kg)، مُعلّقٌ بحبلٍ في الهواءِ، كما هوَ موضحٌ في الشكلِ (10). إذا كانَ مقدارُ أكبرِ قوةِ شدٍّ ($F_{T,max}$) يتحملُها الحبلُ قبلَ أنْ ينقطعَ (150 N)، و $g = 10\ m/s^2$، والدلوُ في حالةِ سكونٍ، فأحسبُ مقدارَ ما يأتي:

أ . قوةُ الشدِّ المؤثرةُ في الحبلِ.

ب. قوةُ الشدِّ في الحبلِ إذا تحركَ الدلوُ إلى أعلى بتسارعٍ مقدارُهُ $2\ m/s^2$.

جـ. أكبرُ تسارعٍ يُمكنُ أنْ يتحركَ بِهِ الدلوُ قبلَ أنْ ينقطعَ الحبلُ (a_{max}).

الشكل (10): دلوُ ماءٍ مُعلّقٌ بحبلٍ.

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

المطلوبُ: $F_T = ?,\ a_{max} = ?$

الحلُّ:

أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ للدلوِ.

أ . أطبقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن على الدلوِ في اتجاهِ المحورِ y؛ لحسابِ مقدارِ قوةِ الشدِّ.

$$F_T - F_g = ma = 0$$

$$F_T = F_g = mg = 10 \times 10 = 100\ N$$

ب . أطبقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن على الدلوِ في اتجاهِ المحورِ y؛ لحسابِ مقدارِ قوةِ الشدِّ.

$$F_T - F_g = ma$$

$$F_T = F_g + ma$$

$$= 100 + 10 \times 2 = 120\ N$$

جـ . أطبقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن على الدلوِ في اتجاهِ المحورِ y؛ لإيجادِ مقدارِ أكبرِ تسارعٍ يُمكنُ أنْ يتحركَ بِهِ الدلوُ.

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

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

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

تمرينٌ

يستخدمُ عبدُ اللهِ دلوَ ماءٍ مربوطًا بحبلٍ لرفعِ الماءِ منْ بئرٍ. إذا كانتْ كتلةُ الدلوِ وهوَ مملوءٌ بالماءِ (15 kg)، ومقدارُ أكبرِ قوةِ شدٍّ يتحمَّلُها الحبلُ قبلَ أنْ ينقطعَ (180 N)، والحبلُ مهملُ الكتلةِ، وغيرُ قابلٍ للاستطالةِ، فأحسبُ مقدارَ:

أ . قوةِ الشدِّ في الحبلِ إذا سحبَ عبدُ اللهِ الدلوَ إلى أعلى بتسارعٍ مقدارُهُ $1.5\ m/s^2$.

ب. أكبرِ تسارعٍ يُمكنُ أنْ يُسحبَ بِهِ الدلوُ قبلَ أنْ ينقطعَ الحبلُ.

نشاط سريع

أثبِّت بكرتين ملساوين على حافة طاولة بحيث تكونان متقابلتين، ثم أضع ميزانًا نابضيًّا بشكل أفقي عند منتصف سطح الطاولة وبين البكرتين. أحضر خيطين متماثلين بطول مناسب، وأربط كلًّا منهما بحامل أثقال، ثم أربط الطرف الحر لكل خيط بإحدى نهايتي الميزان النابضي مرورًا بالبكرتين، بحيث يكون حاملا الأثقال معلقين في الهواء. أضع على كل حامل ثقلًا مقداره (500 g)، أطلب 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.

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

مثال إضافي

قطعة خشبية كتلتها (6 kg) معلقة بخيط قوة الشد العظمى التي يتحملها (80 N)، ومربوط بأسفل القطعة الخشبية خيط آخر مماثل للأول، ومعلق به حجر كتلته (3 kg). علمًا أن تسارع السقوط الحر ($10\ m/s^2$). بين ما يحدث لكل من الخيطين؟

الحل:

بما أن الحجر متزن، فإن مجموع القوى المؤثرة فيه يساوي صفرًا، أي أن قوة الشد في الخيط السفلي تساوي:

$$(F_T = g\ m_{stone} = 3 \times 10 = 30\ N)$$

وهذا المقدار أقل من قوة التحمل؛ فلا ينقطع الخيط. قوة الشد في الحبل العلوي؛ قطعة الخشب متزنة ومجموع القوى المؤثرة فيها تساوي صفرًا:

$$(3 + 6) \times 10 = 90\ N = g(m_{wood} + m_{stone}) = FT)$$

هذا المقدار يفوق قوة تحمل الخيط، لذلك ينقطع الخيط العلوي.

تمرين

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

$$\sum F_y = ma$$

$$F_T - F_g = ma$$

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

$$= 172.5\ N$$

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

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

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

$$= \frac{180 - 150}{15} = 2\ m/s^2$$

بناء المفهوم.

القوة العمودية.

- لبناء مفهوم القوة العمودية لدى الطلبة؛ أوجِّه انتباههم إلى الشكل (11)، الذي يوضِّح كتابًا يستقر على سطح طاولة أفقي، ثم أطرح 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/ جـ)؟ وما العلاقة بين وزنه والقوة العمودية المؤثرة فيه؟

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

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أخبر الطلبة أنَّ للتحليل دورًا في الوصول إلى المعرفة، واستكشاف العلاقات بين المفاهيم المختلفة؛ فتحليل القوى عن طريق رسم المخطط الحرّ لجسم متزن، يساعدنا في التوصل إلى مفهوم القوة العمودية في حالات مختلفة.

القوةُ العموديةُ Normal Force

تُسمّى قوةُ التلامسِ التي يؤثرُ بها جسمٌ في جسمٍ آخرَ ملامسٍ لهُ: **القوةَ العموديةَ Normal force**، رمزُها F_N، وتكونُ دائمًا عموديةً على مستوى التلامسِ بينَ الجسميْنِ. ويوضح الشكلُ (11) كيفيةَ تغيرِ القوةِ العموديةِ. في الشكلِ (11/ أ)، يتزنُ الكتابُ على سطحٍ أفقيٍّ، تحتَ تأثيرِ قوتيْنِ متعاكستيْنِ، هُما: وزنُهُ، والقوةُ العموديةُ، كما هوَ موضحٌ في مخططِ الجسمِ الحرِّ أسفلَ الشكلِ. وبتطبيقِ القانونِ الثاني لنيوتن على الكتابِ في اتجاهِ المحورِ y، يمكنُ التوصلُ إلى أنَّهُما متساويتانِ؛ حيثُ لا توجدُ حركةٌ في اتجاهِ هذا المحورِ:

$$\sum F_y = 0$$

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

أما في الشكلِ (11/ ب) فإنَّ القوةَ العموديةَ المؤثرةَ في الكتابِ أكبرُ منْ وزنِهِ؛ حيثُ يتأثرُ الكتابُ بقوتيْنِ إلى أسفلَ، هُما: وزنُهُ، وقوةُ دفعِ يدِ الشخصِ، بينَما يدفعُ سطحُ الطاولةِ الكتابَ إلى أعلى (القوةُ العموديةُ)، مثلَما هوَ موضحٌ في مخططِ الجسمِ الحرِّ. وبتطبيقِ القانونِ الثاني لنيوتن في اتجاهِ المحورِ y، يُمكنُ التوصلُ إلى أنَّ:

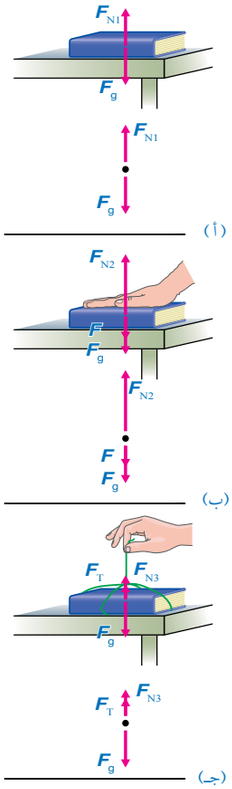
$$F_{N2} - (F + F_g) = ma = 0$$

حيثُ القوةُ المحصلةُ في اتجاهِ المحورِ y تساوي صفرًا؛ لأنَّ الكتابَ في حالةِ اتزانٍ سكونيٍّ.

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

يوضحُ الشكلُ (11/ جـ) حالةً تكونُ فيها القوةُ العموديةُ المؤثرةُ في الكتابِ أقلَّ منْ وزنِهِ؛ حيثُ يتأثرُ الكتابُ بقوتيْنِ إلى أعلى، هُما: القوةُ العموديةُ، وقوةُ الشدِّ في الخيطِ، في حينِ يؤثرُ فيهِ وزنُهُ بقوةٍ إلى أسفلَ، كما هوَ موضحٌ في مخططِ الجسمِ الحرِّ.

✓ **أتحقَّقُ:** هلِ القوةُ العموديةُ المؤثرةُ في جسمٍ تساوي دائمًا وزنَهُ؟ أفسِّرُ إجابتي.



الشكلُ (11): (أ) القوةُ العموديةُ المؤثرةُ في الكتابِ تساوي وزنَهُ. (ب) القوةُ العموديةُ أكبرُ منْ وزنِ الكتابِ. (جـ) القوةُ العموديةُ أقلُّ منْ وزنِ الكتابِ. (ملاحظةٌ: الكتابُ في حالةِ اتزانٍ سكونيٍّ في الأشكالِ الثلاثةِ.)

أجدُ علاقةً لحسابِ القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في الكتابِ في الشكلِ (جـ).

إجابة سؤال الشكل (11):

يتأثر الكتاب في الشكل (جـ) بقوتين إلى أعلى، هما: القوة العمودية، وقوة الشد في الخيط، 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.

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

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

✓ **أتحقَّق:**

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.

المثالُ 5

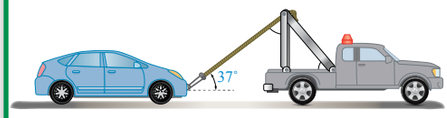
تسحبُ رافعةٌ سيارةً كتلتُها (900 kg) منَ السكونِ على طريقٍ أفقيٍّ أملسَ بقوةِ شدٍّ مقدارُها (2000 N) بحبلٍ يميلُ على الأفقيِّ بزاويةِ (37°)، كما هوَ موضَّحٌ في الشكلِ (12).

إذا علمتُ أنَّ الحبلَ مهملُ الكتلةِ، وغيرُ قابلٍ للاستطالةِ، و $\cos 37° = 0.8$، $\sin 37° = 0.6$، $g = 10\ m/s^2$، فأحسبُ مقدارَ:

أ . المركبتيْنِ الأفقيةِ والعموديةِ لقوةِ الشدِّ في الحبلِ.

ب. القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في السيارةِ.

جـ. تسارعِ السيارةِ.



الشكلُ (12): رافعةٌ تسحبُ سيارةً على طريقٍ أفقيٍّ.

المعطياتُ:

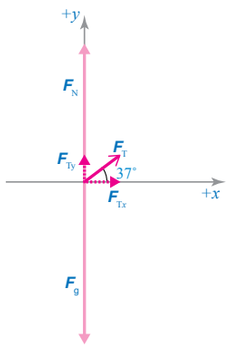
$m = 900\ kg,\ \theta = 37°,\ F_T = 2000\ N,\ 37°,\ g = 10\ m/s^2,\ \sin 37° = 0.6,\ \cos 37° = 0.8$

المطلوبُ:

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

الحلُّ:

أرسمُ مخططَ الجسمِ الحُرِّ للسيارةِ. معَ اعتبارِ الاتجاهِ الموجبِ إلى اليمينِ (في اتجاهِ الحركةِ الأفقيةِ).



أ . لإيجادِ المُركّبةِ الأفقيةِ لقوةِ الشدِّ في الحبلِ أستخدمُ العلاقةَ الآتيةَ:

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

لإيجاد المُركّبةِ العموديةِ لقوةِ الشدِّ في الحبلِ؛ أستخدمُ العلاقةَ الآتيةَ:

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

ب . لا توجدُ حركةٌ في اتجاهِ المحورِ الرأسيِّ؛ لذا تكونُ القوةُ المحصلةُ في اتجاهِهِ صفرًا.

$\sum F_y = 0$

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

$F_N = F_g - F_{Ty}$

23

المناقشة

- أراجع الطلبة في تعريف القوة العمودية، ثم أعرض على اللوح صورًا أو رسومًا لأجسام مختلفة، بعضها على سطوح أفقية، وبعضها على مستويات مائلة ملساء، ثم أطلب 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 أسألهم:

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

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

مثال إضافي

صندوق كتلته (30 kg) يستقر على سطح أفقي. إذا علمت أن $g = 10\ m/s^2$؛ فأجيب عما يأتي:

أ . أحسب مقدار وزن الصندوق.

ب. أحسب مقدار القوة العمودية المؤثرة في الصندوق.

جـ. هل مقدار القوة العمودية المؤثرة في الصندوق مساوٍ لوزنه، أم أكبر، أم أقل منه؟ أفسر إجابتي.

الحل:

أ .

$F_g = mg$

$= (30)(10)$

$= 300\ N$

ب.

$\sum F_y = 0$

$F_N - F_g = 0$

$F_N = F_g$

$= 300\ N$

$F_N = 300\ N, +y$

جـ. 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 دائمًا؛ 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). وهناك 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.

تمرين

اعتبار الاتجاه الموجب إلى اليمين.

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

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

$= 2000 \cos 53^\circ = 2000 \times 0.6$

$= 1200$ N

لإيجاد المركبة العمودية لقوة الشد في الحبل نستخدم العلاقة الآتية:

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

$= 2000 \sin 53^\circ = 2000 \times 0.8$

$= 1600$ N

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

$\sum F_y = 0$

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

$F_N = F_g - F_{Ty}$

$= mg - 1600$

$= (900)(10) - 1600 = 9000 - 1600$

$= 7400$ N

$F_N = 7400$ N, $+y$

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

$\sum F_x = ma_x = F_{Tx}$

$ma_x = 1200$ N

$a_x = \frac{1200}{900}$

$= 1.33$ m/s^2

$a_x = 1.33$ m/s^2, $+x$

$F_N = mg - 1200$

$= (900)(10) - 1200$

$= 9000 - 1200 = 7800$ N

$F_N = 7800$ N, $+y$

أُلاحظُ أنَّ مقدارَ القوةِ العموديةِ أقلُّ منْ مقدارِ الوزنِ.

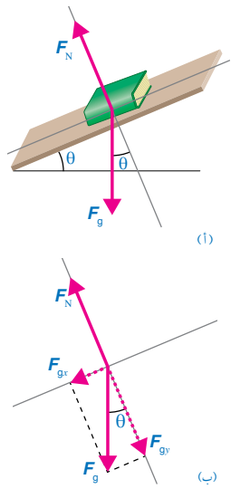
جـ. لإيجادِ مقدارِ التسارعِ أستخدمُ العلاقةَ الآتيةَ، معَ مراعاةِ أنَّ السطحَ الأفقيَّ أملسُ:

$\sum F_x = ma_x = F_{Tx}$

$ma_x = 1600$ N

$a_x = \frac{1600}{900} = 1.78$ m/s^2

$a_x = 1.78$ m/s^2, $+x$



الشكلُ (13): (أ) كتابٌ موضوعٌ على مستوًى مائلٍ. (ب) يبينُ مخططُ الجسمِ الحرِّ تحليلَ وزنِ الكتابِ إلى مُركّبتَيْنِ: مُركّبةٍ عموديةٍ على المستوى المائلِ، ومُركّبةٍ موازيةٍ للمستوى المائلِ.

تمرينٌ

أعيدُ حلَّ المثالِ السابقِ إذا أصبحتْ زاويةُ ميلانِ الحبلِ بالنسبةِ للأفقيِّ (53°)، إذا علمتُ أنَّ:

$g = 10$ m/s^2, $\sin 53^\circ = 0.8$, $\cos 53^\circ = 0.6$

• المستوى المائلُ Inclined Plane

عندَ وضعِ جسمٍ على مستوًى مائلٍ، فإنَّ وزنَهُ لا يؤثرُ عموديًّا في سطحِ المستوى، بلْ يصنعُ زاويةً معَهُ، أنظرُ الشكلَ (13/ أ)، الذي يوضحُ كتابًا موضوعًا على مستوًى مائلٍ، يميلُ على الأفقيِّ بزاويةِ (θ). ومنَ المناسبِ في مثلِ هذهِ المسائلِ، اختيارُ محاورِ الإسنادِ بحيثُ يكونُ المحورُ (x) في اتجاهٍ يوازي المستوى المائلَ، و يكونُ المحورُ (y) عموديًّا عليْهِ. لذا؛ يلزمُ تحليلُ وزنِ الجسمِ إلى مُركّبتَيْنِ: إحداهُما عموديةٌ على المستوى المائلِ ($F_{gy} = F_g \cos\theta$)، والأخرى موازيةٌ لهُ ($F_{gx} = F_g \sin\theta$)، أنظرُ الشكلَ (13/ ب). وهنا تكونُ القوةُ العموديةُ أقلَّ منْ وزنِ الجسمِ.

التعزيز:

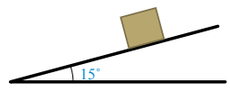
- يساعد رسم مخطط الجسم الحر الطلبة على تحديد القوى المؤثرة في جسم موضوع على مستوى مائل، وتحليل وزن الجسم إلى مركبتين: إحداهما عمودية على المستوى المائل، والأخرى موازية له.
- أرسم مستوى مائلًا أملس على السبورة، ثم أرسم صندوقًا عليه، ثم أطلب إلى كل طالب رسم مخطط الجسم الحر له، وتحديد القوى المؤثرة فيه. تؤثر فيه قوتان: وزنه (رأسيًّا إلى أسفل)، والقوة العمودية (عمودية على المستوى المائل).
- ثم أطلب إليهم تحديد القوة التي تسبب انزلاق الصندوق على المستوى المائل. مركبة الوزن الموازية للمستوى المائل.

المثالُ 6

ينزلقُ صندوقٌ كتلتُهُ (4 kg) إلى أسفلِ مستوًى مائلٍ أملسَ يميلُ على الأفقيِّ بزاويةِ (15°)، كما هوَ موضحٌ في الشكلِ (14). إذا علمتُ أنَّ: $\sin 15° = 0.26$، $\cos 15° = 0.97$، $g = 10\ m/s^2$، فأحسبُ مقدارَ:

أ . القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في الصندوقِ.

ب. تسارعِ الصندوقِ.

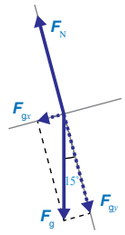


الشكل (14): صندوقٌ على مستوًى مائلٍ أملسَ.

المعطياتُ: $m = 4\ kg,\ \theta = 15°,\ g = 10\ m/s^2,\ \sin 15° = 0.26,\ \cos 15° = 0.97$

المطلوبُ: $F_N = ?,\ a = ?$

الحلُّ:



- أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ للصندوقِ، مع اختيارِ المحورِ x في اتجاهٍ يوازي المستوى المائلَ، والمحورُ y عموديٌّ عليْهِ، مثلَما هوَ موضحٌ.
- أعتبرُ أنَّ اتجاهَ انزلاقِ الصندوقِ إلى أسفلِ المستوى المائلِ هوَ الاتجاهُ الموجبُ $(+x)$.
- قبلَ البدءِ بحلِّ المسألةِ أحلِّلُ وزنَ الصندوقِ إلى مُركّبتيْنِ متعامدتيْنِ: F_{gx} و F_{gy}، مثلَما هوَ موضحٌ في مخططِ الجسمِ الحرِّ، وكما يأتي:

$$F_{gx} = F_g \sin\theta$$
$$= mg \sin 15° = 4 \times 10 \times 0.26 = 10.4\ N$$
$$F_{gy} = F_g \cos\theta$$
$$= mg \cos 15° = 4 \times 10 \times 0.97 = 38.8\ N$$

أ . أطبِّقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن على الصندوقِ في اتجاهِ المحورِ y؛ لإيجادِ مقدارِ القوةِ العموديةِ المؤثرةِ فيهِ، مع مراعاةِ أنَّهُ لا توجدُ حركةٌ في اتجاهِ هذا المحورِ.

$$\sum F_y = 0$$
$$F_N - F_{gy} = 0$$
$$F_N = F_{gy}$$
$$F_N = 38.8\ N$$

ب . ينزلقُ الصندوقُ إلى أسفلِ المستوى المائلِ، ولحسابِ مقدارِ تسارعِهِ أطبِّقُ القانونَ الثاني لنيوتن في اتجاهِ المحورِ x، وأعتبرُ أنَّ اتجاهَ الحركةِ هوَ الاتجاهُ الموجبُ.

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

مثال إضافي

يتزلج يوسف على منحدر ثلجي يميل على الأفقي بزاوية 37°. إذا علمت أن كتلة يوسف 60 kg، و $\cos 37° = 0.8$ ، $\sin 37° = 0.6$، $g = 10\ m/s^2$، وباعتبار المنحدر الثلجي أملس، فأحسب 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:

$$F_{gx} = F_g \sin\theta$$
$$= mg \sin 37°$$
$$= 60 \times 10 \times 0.6$$
$$= 360\ N$$
$$F_{gy} = F_g \cos\theta$$
$$= mg \cos 37°$$
$$= 60 \times 10 \times 0.8$$
$$= 480\ N$$

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.

$$\sum F_y = 0$$
$$F_N - F_{gy} = 0$$
$$F_N = F_{gy}$$
$$F_N = 480\ N$$

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

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

تمرين

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:

$$F_{gx} = F_g \sin\theta$$
$$= mg \sin 30^\circ$$
$$= 20 \times 10 \times 0.5$$
$$= 100\ \text{N}$$

$$F_{gy} = F_g \cos\theta$$
$$= mg \cos 30^\circ$$
$$= 20 \times 10 \times 0.87$$
$$= 174\ \text{N}$$

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.

$$\sum F_y = 0$$
$$F_N - F_{gy} = 0$$
$$F_N = F_{gy}$$
$$F_N = 174\ \text{N}$$

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

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

المناقشة.

- أطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

– ما المقصود بقوة الاحتكاك؟

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

– متى تنشأ قوة الاحتكاك بين سطحين؟

تنشأ هذه القوة بين سطحي الجسمين المتلامسين عند تحريك أو محاولة تحريك أحدهما فوق الآخر.

– ما سبب نشوء قوة الاحتكاك بين سطحي الجسمين المتلامسين؟

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

– ماذا يلزم لتحريك الصندوق في الشكل (16)؟

لتحريك الصندوق يجب التأثير فيه بقوة دفع أو سحب لرفع نتوءات سطحه فوق نتوءات السطح السفلي؛ وهذا بدوره يؤدي إلى نقصان في مقدار قوة الاحتكاك الحركي مقارنة بالقيمة العظمى لقوة الاحتكاك السكوني.

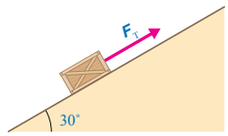
أوجِّه الطلبة إلى عمل فلم قصير باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح قوة الاحتكاك، مدعمًا بالشروحات الصوتية المناسبة والصور أو مقاطع فيديو، ثم تنظيم عرضه أمام زملائهم/ زميلاتهن في الصف.

تمرين

يوضحُ الشكلُ (15) صندوقًا كتلتُهُ (20 kg)، يُسحبُ بحبلٍ غيرِ قابلٍ للاستطالةِ إلى أعلى مستوًى مائلٍ أملسَ بسرعةٍ ثابتةٍ. إذا كانَ الحبلُ موازيًا لسطحِ المستوى، وزاويةُ ميلانِ المستوى على الأفقيِّ (30°)، و $\cos 30^\circ = 0.87$، $\sin 30^\circ = 0.5$، $g = 10\ \text{m/s}^2$، فأحسبُ مقدارَ:

أ . القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في الصندوقِ.

ب. قوةِ الشدِّ المؤثرةِ في الصندوقِ.



الشكلُ (15): صندوقٌ يُسحبُ بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ إلى أعلى مستوًى مائلٍ.

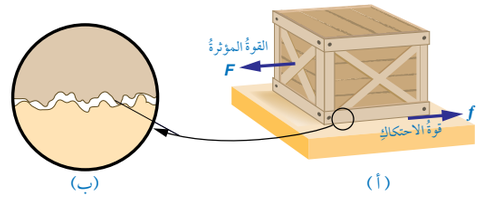
أعدُّ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (movie maker) يوضحُ قوةَ الاحتكاكِ، وأحرصُ على أنْ يشتملَ الفيلمُ على مفهومِ كلٍّ منْ: قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ، وقوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ، وعلى صورٍ لأمثلةٍ توضيحيةٍ، ثمَّ أشاركُهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

قوةُ الاحتكاكِ Friction Force

عندَ دفعِ مكعبٍ خشبيٍّ على سطحِ طاولةٍ أُفقيٍّ ثمَّ إفلاتِهِ، فإنَّهُ ينزلقُ عليْهِ، ثمَّ لا يلبثُ أنْ يتوقفَ. وبحسبِ القانونِ الأولِ لنيوتن، لا بدَّ منْ وجودِ قوةٍ محصلةٍ أثّرتْ في المكعبِ أدَّتْ إلى تغييرِ حالتِهِ الحركيةِ. وبحسبِ القانونِ الثاني لنيوتن، يجبُ أنْ تؤثرَ هذهِ القوةُ المحصلةُ في الصندوقِ بعكسِ اتجاهِ حركتِهِ، وتعيقَها.

تنشأُ هذهِ القوى التي تُعيق حركةَ الأجسامِ نتيجةَ حركةِ مادةٍ صلبةٍ بالنسبةِ إلى مادةٍ صلبةٍ، أوْ حركةِ موادَّ صلبةٍ وموائعَ (سوائلَ وغازاتٍ) نسبةً إلى بعضِها، أوْ بينَ طبقاتِ الموائعِ المتحركةِ. ومنْ أمثلةِ ذلكَ: انزلاقُ إطاراتِ سيارةٍ على سطحِ الطريقِ، وحركةُ غواصةٍ داخلَ مياهِ البحرِ، وتحليقُ طائرةٍ في الهواءِ، وانزلاقُ لوحِ تزلجٍ على سطحِ الماءِ في رياضةِ التزلجِ.

سوفَ أدرسُ هنا حركةَ الأجسامِ الصلبةِ نسبةً إلى بعضِها، حيثُ تُسمّى القوةُ المعيقةُ في هذهِ الحالةِ **قوةَ الاحتكاكِ Friction Force**؛ وهيَ قوةُ تلامسٍ تعيقُ حركةَ الأجسامِ الصلبةِ المتلامسةِ بعضِها فوقَ بعضٍ، وتُمانعُ حركتَها، وتؤثرُ بشكلٍ موازٍ لسطحَيْ التلامسِ بينَ الجسمينِ. وتنشأُ هذهِ القوةُ بينَ سطحَيْ الجسمينِ المتلامسينِ عندَ تحريكِ أوْ محاولةِ تحريكِ بعضِهما فوقَ بعضٍ، أنظرُ الشكلَ (16/ أ). عندَ التأثيرِ بقوةٍ في الصندوقِ الموضحِ في الشكلِ (16/ أ)؛ لمحاولةِ تحريكِهِ على سطحٍ أُفقيٍّ خشنٍ، تنشأُ قوةُ احتكاكٍ بينَ سطحيْهِما



الشكلُ (16): توضيحٌ مُبسَّطٌ لآليةِ حدوثِ الاحتكاكِ بينَ سطحَيْ تلامسِ جسمينِ. (أ) عندَ التأثيرِ بقوةٍ في الصندوقِ لتحريكِهِ تنشأُ قوةُ احتكاكٍ معاكسةٌ لاتجاهِ القوةِ المُؤثرةِ. (ب) ويُظهرُ الفحصُ الدقيقُ للسطحينِ المتلامسينِ أنَّهما خشنانِ.

المتلامسينِ، نتيجةَ خشونتِهما، حيثُ يُظهرُ الفحصُ الدقيقُ للسطحين أنَّهُما خشنانِ، حتّى لوْ بدا أنَّهُما أملسانِ عندَ لمسِهما، أنظرُ الشكلَ (16/ ب). ولتحريكِ الصندوقِ يجبُ التأثيرُ فيهِ بقوةِ دفعٍ أوْ سحبٍ لرفعِ نتوءاتِ سطحِهِ فوقَ نتوءاتِ السطحِ السفليِّ؛ الأمرُ الذي يُقلِّلُ مِنْ تداخلِ نتوءاتِ السطحَينِ؛ وهذا بدورِهِ يؤدّي إلى نُقصانٍ في مقدارِ قوَّةِ الاحتكاكِ الحركيِّ مقارنةً بالقيمةِ العُظمى لقوَّةِ الاحتكاكِ السكونيِّ.

✓ **أتحقَّقُ:** ما المقصودُ بقوةِ الاحتكاكِ؟ وفي أيِّ اتجاهٍ تؤثرُ؟

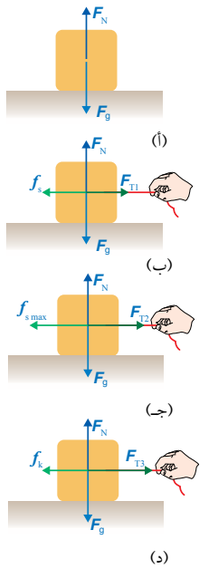
قوتا الاحتكاكِ: السكونيِّ، والحركيِّ Static and Kinetic Forces of Friction

هناكَ نوعانِ لقوةِ الاحتكاكِ: قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ، وقوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ.

قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ Static Force of Friction

هيَ قوةٌ تُمانعُ حركةَ جسمينِ ساكنينِ متلامسينِ عندَ محاولةِ تحريكِ بعضِهما فوقَ بعضٍ. وتَظهرُ هذهِ القوةُ استجابةً لقوةٍ أخرى تحاولُ تحريكَ الجسمِ الساكنِ. ولفهمِ هذهِ القوةِ؛ أنظرُ الشكلَ (17) الذي يبينُ صندوقًا على سطحٍ أفقيٍّ خشنٍ.

في الشكلِ (17/ أ) الصندوقُ ساكنٌ، ولا توجدُ قوةٌ تحاولُ تحريكَهُ؛ لذا لا توجدُ قوةُ احتكاكٍ تؤثرُ فيهِ. أما في الشكلِ (17/ ب) فتؤثرُ قوةُ شدٍّ أفقيَّةٌ صغيرةٌ (F_{T1}) في الصندوقِ جهةَ اليمينِ، غيرَ أنَّهُ ساكنٌ لا يتحركُ؛ أي أنَّ القوةَ المحصلةَ المؤثرةَ فيهِ صفرٌ، وبحسبِ



الشكلُ (17): (أ) $f_s = 0$. (ب) $f_s = F_{T1}$. (جـ) الصندوقُ على وشكِ الحركةِ ($f_{s,max} = F_{T2}$). (د) بعدَ تحرُّكِ الصندوقِ تؤثرُ فيهِ قوةُ احتكاكٍ حركيٍّ (f_k)، ويكونُ مقدارُها أقلَّ منْ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى.

استخدام الصور والأشكال.

- أوجِّه 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.

– ما الذي يوضِّحه الشكل (17/ ج)؟

يوضِّح 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 ($f_{s,max}$).

✓ **أتحقَّق:**

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

المناقشة.

- أطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

– ما المقصود بقوة الاحتكاك السكوني؟

هي قوة تمانع حركة جسمين ساكنين متلامسين عند محاولة تحريك أحدهما فوق الآخر رمزها (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 مساحة 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 أستبعد أيًّا من إجابات الطلبة، وأشجعهم على طرح الأسئلة، ونقد إجابات بعضهم، واحترام الرأي الآخر.
- أحفز 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 طردية، حتى يصبح مقدارها أكبر ما يمكن عندما يكون الجسم على وشك الحركة.

◄ **استخدام الصور والأشكال.**

- أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (18)، الذي يوضِّح منحنى (قوة الاحتكاك – القوة الأفقية المؤثرة) لجسم موضوع على سطح أفقي خشن، وملاحظة شكل المنحنى، ثم أسألهم:

– 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 طردية؛ حيث يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني طرديًّا 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؟

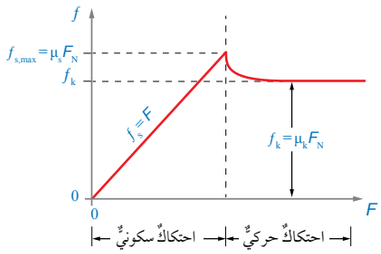
يبين تأثير قوة الاحتكاك الحركي.

– 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.



الشكلُ (18): منحنى (قوةِ الاحتكاكِ – القوةِ الأُفقيّةِ المؤثرةِ) لجسمٍ موضوعٍ على سطحٍ أُفقيٍّ خشنٍ. تكونُ قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ أقلَّ منْ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى ($f_{s,max} > f_k$)، وهذا يعني أن $\mu_s > \mu_k$.

القانونِ الأولِ لنيوتن، لا بُدَّ منْ وجودِ قوةٍ أفقيةٍ تؤثرُ في الصندوقِ، تكونُ معاكسةً لاتجاهِ قوةِ الشدِّ، وتُساويها مقدارًا. تُسمّى هذهِ القوةُ **قوةَ الاحتكاكِ السكونيِّ Static Force of Friction**، رمزُها (f_s)، تؤثرُ في سطحَيْ جسمينِ متلامسينِ عندَما لا يتحركُ أحدُهما بالنسبةِ إلى الآخرِ.

بزيادةِ مقدارِ قوةِ الشدِّ يزدادُ مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ ما دامَ الصندوقُ ساكنًا؛ حيثُ القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ فيهِ تساوي صفرًا. وعندَ زيادةِ مقدارِ قوةِ الشدِّ في الشكلِ (17/ جـ) يزدادُ أيضًا مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ حتّى يصلَ إلى قيمةٍ عظمى، عندَما يكونُ الجسمُ على وشْكِ الحركةِ، تسمّى قوةَ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى ($f_{s,max}$).

أنظر الشكلَ (18) الذي يوضحُ منحنى (قوةِ الاحتكاكِ – القوةِ الأُفقيةِ المؤثرةِ) لجسمٍ موضوعٍ على سطحٍ أُفقيٍّ خشنٍ. يبينُ الجزءُ الأولُ منَ المنحنى تأثيرَ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ؛ حيثُ يزدادُ مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ طرديًّا بزيادةِ مقدارِ القوةِ الأُفقيّةِ المؤثرةِ في الجسمِ، حتى يصلَ إلى قيمةٍ عظمى ($f_{s,max}$)، وألاحظُ أنَّ قوةَ الاحتكاكِ السكونيِّ تساوي القوةَ الأفقيّةَ المؤثرةَ في الجسمِ التي تحاولُ تحريكَهُ في المقدارِ، وتعاكسُها في الاتجاهِ. وعندَما يصبحُ مقدارُ القوةِ الأفقيَّةِ المؤثرةِ أكبرَ منَ القيمةِ العظمى لقوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ يبدأُ الجسمُ الحركةَ، وعندَها تؤثرُ فيهِ قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ بدلًا منْ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ.

علامَ تعتمدُ قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ؟ للإجابةِ عنْ ذلكَ، أنفِّذُ التجربةَ الآتيةَ؛ لاستقصاءِ العواملِ التي يعتمدُ عليْها مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ عمليًّا.

إضاءة للمعلم/ للمعلمة

عند التأثير بقوة في جسم لمحاولة تحريكه على سطح أفقي خشن، تنشأ قوة احتكاك بين سطح الجسم والسطح الخشن، يساهم في ظهورها عاملان:

أ . العامل الأول: خشونة السطحين المتلامسين، حيث يظهر الفحص الدقيق لهما أنهما خشنان، حتى لو بدا أنهما أملسان عند لمسهما. ولتحريك الجسم يجب التأثير فيه بقوة دفع أو سحب لرفع نتوءات سطحه فوق نتوءات السطح السفلي، وهذا بدوره يؤدي إلى نقصان في مقدار قوة الاحتكاك الحركي مقارنة بالقيمة العظمى لقوة الاحتكاك السكوني.

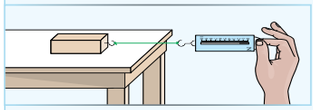
ب. العامل الثاني: قوى التجاذب الكهرسكونية بين جزيئات السطحين عند نقاط تلامسهما، خاصة عندما يكونا ساكنين؛ حيث ينشأ عن التجاذب قوى تلاصق بين جزيئاتهما، تعيق حركتي السطحين، وتمنع انزلاق بعضهما على بعض. وهذا يفسر سبب اعتماد قوة الاحتكاك على طبيعة (نوع مادة) السطحين المتلامسين؛ حيث يتغير مقدار قوى التلاصق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

العواملُ التي تعتمدُ عليْها قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ وقوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ

الموادُّ والأدواتُ: قطعةٌ خشبيةٌ على شكلِ متوازي مستطيلاتٍ مُزوَّدةٌ بخطّافٍ، ثِقْلانِ مقدارُ كلٍّ منهُما (200 g)، ميزانٌ إلكترونيٌّ، خيطٌ طولهُ (1 m) تقريبًا، ورقُ تنظيفٍ، ميزانٌ نابضيٌّ، ورقُ تغليفٍ بلاستيكيٌّ، ورقُ صنفرةٍ، ورقُ (رقائقُ) ألمنيومٍ، ورقةُ رسمٍ بيانيٍّ.



إرشاداتُ السلامةِ: ارتداءُ المعطفِ، واستخدامُ النظاراتِ الواقيةِ للعينينِ، والحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ.

خطواتُ العملِ:

1. بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أنظفُ أسطُحَ القطعةِ الخشبيةِ وسطحَ الطاولةِ، وأتأكدُ أنَّهُ أفقيٌّ.
2. **أقيسُ** كتلةَ القطعةِ الخشبيةِ (m_{block})، وأدوِّنُها في الجدولِ (1) للمحاولةِ (1)، ثمَّ أجعلُ أصغرَ أوجُهِها ملامسًا لسطحِ الطاولةِ.
3. أربطُ أحدَ طرفَيْ الخيطِ بخطّافِ القطعةِ الخشبيةِ، وطرفَهُ الآخرَ بخطافِ الميزانِ النابضيِّ، وأحرصُ على أنْ يكونَ الخيطُ الواصلُ بينهُما أفقيًّا، وموازيًا لمستوى سطحِ الطاولةِ.
4. **أقيسُ:** أسحبُ الميزانَ أفقيًّا ببطءٍ بقوةٍ صغيرةِ المقدارِ، ثمَّ أزيدُها تدريجيًّا، وفي أثناءِ ذلكَ يراقبُ أحدُ أفرادِ مجموعتي القطعةَ الخشبيةَ، ويراقبُ آخرُ الميزانَ؛ لإعطاءِ إشارةٍ بأخذِ قراءتهِ في اللحظةِ التي تبدأُ فيها القطعةُ الانزلاقَ، وأُدوِّنُها في عمودِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى ($f_{s,max}$) في الجدولِ (1) للمحاولةِ (1).
5. **أقيسُ:** أُرجعُ القطعةَ الخشبيةَ إلى موقعِها الابتدائيِّ، ثمَّ أضعُ عليْها ثقلَ (200 g)، وأُكرِّرُ الخطوةَ السابقةَ، وأُدوِّنُ الكتلةَ الجديدةَ للقطعةِ الخشبيةِ، وقراءةَ الميزانِ للمحاولةِ (2) في الجدولِ (1).
6. **أقيسُ:** أُكرِّرُ الخطوةَ السابقةَ مرةً أُخرى بإضافةِ ثقلٍ (200 g) على سطحِ القطعةِ الخشبيةِ، وأُدوِّنُ البياناتِ التي أحصلُ عليْها للمحاولةِ (3) في الجدولِ (1).
7. **أستنتجُ:** أُكرِّرُ التجربةَ باستخدامِ القطعةِ الخشبيةِ نفسِها دونَ وضعِ أثقالٍ عليها؛ لتثبيتِ كتلتِها، وتغييرِ وجهِها الملامسِ لسطحِ الطاولةِ؛ لتغييرِ مساحةِ سطحِ التلامسِ (A)؛ لاستنتاجِ العلاقةِ بينَ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ ومساحةِ السطحينِ المتلامسينِ، ثمَّ أُدوِّنُ البياناتِ في الجدولِ (2).
8. **أستنتجُ:** أُكرِّرُ التجربةَ باستخدامِ القطعةِ الخشبيةِ نفسِها دونَ وضعِ أثقالٍ عليها، وتغييرِ نوعِ مادةِ السطحِ الذي توضعُ عليْهِ، بتغطيةِ سطحِ الطاولةِ أسفلَ القطعةِ الخشبيةِ بورقِ تغليفٍ بلاستيكيٍّ، أوْ ورقِ صنفرةٍ، أوْ ورقِ (رقائقِ) ألمنيومٍ، أوْ غيرِها؛ لاستنتاجِ العلاقةِ بينَ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ وطبيعةِ السطحينِ المتلامسينِ، ثمَّ أُدوِّنُ البياناتِ في الجدولِ (3).
9. **أُصمِّمُ تجربةً** لدراسةِ العواملِ التي تعتمدُ عليْها قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ سطحينِ، وذلكَ بأخذِ قراءةِ الميزانِ عندَ حركةِ القطعةِ الخشبيةِ بسرعةٍ ثابتةٍ تقريبًا على سطحِ الطاولةِ الأفقيِّ، وأُدوِّنُ بياناتي.

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. $A = 2 \times 10^{-2}\ m^2$.

الجدول (1)				
رقم المحاولة	الكتلة الكلية (كتلة قطعة الخشب + كتلة الأثقال) m_{block} (kg)	مقدار القوة العمودية F_N (N)	مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى $f_{s,max}$ (N)	مقدار قوة الاحتكاك الحركي f_k (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. $m_{block} = 2\ kg$

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:

أوجِّه الطلبة إلى ارتداء المعطف، واستخدام النظارات الواقية للعينين، وأطلب 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 أفقيًّا، 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 (رقائق) – بدلًا من تغطية سطح الطاولة أسفل القطعة الخشبية بتلك المادة.
- أطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية.

الجدول (2)			
رقم المحاولة	مساحة وجه المتوازي الملامسة للسطح A (m²)	مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى $f_{s,max}$ (N)	مقدار قوة الاحتكاك الحركي f_k (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.

$A = 2 \times 10^{-2}\ m^2$

$m_{block} = 2\ kg$

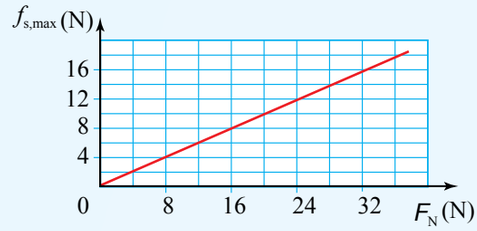
الجدول (3)			
رقم المحاولة	نوعا مادتي السطحين المتلامسين	مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى $f_{s,max}$ (N)	مقدار قوة الاحتكاك الحركي f_k (N)
	خشب على خشب	9.8	5.9
1	خشب على رقائق ألمنيوم	5.9	3.9
2	خشب على ورق صنفرة	18.1	13.7

النتائج المُتوقَّعة:

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

التحليل والاستنتاج:

1. القطعة الخشبية ساكنة، فتكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا. وبما أن قوة الشد تؤثر فيها أفقيًّا 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؛ فبزيادة القوة العمودية يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى.



4. يمثل ميل المنحنى مقدار ثابت، وهو يساوي معامل الاحتكاك السكوني للخشب فوق الخشب، وأستنتج أن مقداره ثابت، لا يتغير بتغير كتلة الجسم.
5. يعتمد مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى بين سطحين على عاملين، هما: مقدار القوة العمودية (يتناسب طرديًّا معها)، 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 طرديًّا معها)، 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.

التحليلُ والاستنتاجُ:

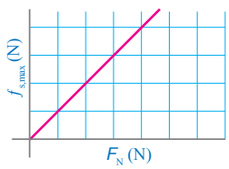
1. **أُبرِّرُ** سببَ اعتبارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ مساويةً لقراءةِ الميزانِ النابضيِّ (قوةُ الشدِّ).
2. **أحسبُ** مقدارَ القوةِ العموديةِ (F_N) لكلِّ محاولةٍ في الجدولِ (1)، وهيَ تساوي وزنَ القطعةِ الخشبيةِ والأثقالَ التي عليْها. لماذا؟
3. **أُمثِّلُ بيانيًّا** العلاقةَ بينَ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى ($f_{s,max}$) على المحورِ (y)، ومقدارِ القوةِ العموديةِ (F_N) على المحورِ (x) لبياناتِ الجدولِ (1). ما شكلُ هذهِ العلاقةِ؟ ماذا أستنتجُ؟
4. **أتوقَّعُ** ما الذي يمثلهُ ميلُ المنحنى في السؤالِ السابقِ؟ ماذا أستنتجُ؟
5. **أحلِّلُ وأستنتجُ:** اعتمادًا على نتائجِ الخطواتِ (4-8)، أستنتجُ العواملَ التي تعتمدُ عليْها قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى بينَ سطحينِ متلامسينِ عندَ محاولةِ تحريكِ أحدِهما بالنسبةِ إلى الآخرِ. أُفسِّرُ إجابتي.
6. **أستنتجُ** العواملَ التي تعتمدُ عليْها قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ سطحينِ. أُفسِّرُ إجابتي.

استنتجتُ بعدَ تنفيذِ التجربةِ السابقةِ أنَّهُ عندَ محاولةِ تحريكِ جسمينِ متلامسينِ أحدُهما بالنسبةِ إلى الآخرِ، ينشأُ بينَ سطحيْهِما المتلامسينِ قوةُ احتكاكٍ سكونيٍّ يعتمدُ مقدارُها على عاملينِ، هما:

أ. طبيعةُ السطحينِ المتلامسينِ (نوعا مادّتيْهِما)؛ فمثلًا مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ المكعبِ الخشبيِّ وسطحِ الطاولةِ الخشبيِّ أكبرُ منهُ بينَ المكعبِ الخشبيِّ ورقائقِ الألمنيومِ. وبناءً على ذلكَ؛ يمكنُ تفسيرُ سببِ استخدامِ العاملينَ في المصانعِ والأماكنِ التي تكونُ أرضياتُها مُغطاةً بالزيوتِ والسوائلِ، أحذيةً نعالُها مصنوعةٌ منَ المطاطِ؛ فانزلاقُ الأحذيةِ ذاتِ النعلِ المطاطيِّ يكونُ أقلَّ منهُ للأحذيةِ ذاتِ النعلِ الجلديِّ.

ب. مقدارُ القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في الجسمِ؛ حيثُ يزدادُ مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ بزيادةِ مقدارِ القوةِ العموديةِ. ويوضحُ الشكلُ (19) التناسبَ الطرديَّ بينَ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى ($f_{s,max}$) ومقدارِ القوةِ العموديةِ (F_N). ولا تعتمدُ قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ على مساحةِ سطحَيْ التلامسِ بينَ الجسمينِ، مقدارُها عندَ أيةِ لحظةٍ يحققُ المتباينةَ:

$$f_s \le \mu_s F_N$$



الشكلُ (19): يتناسبُ مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى طرديًّا معَ مقدارِ القوةِ العموديةِ.

استراتيجية التقويم: الملاحظة.

أداة التقويم: سلم تقدير.

المهام:

(1) **تنفيذ** خطوات التجربة بصورة صحيحة دقيقة.
(2) **استنتاج** ما يحدث لمقدار قوة الاحتكاك السكوني عند تثبيت طبيعة السطحين المتلامسين وتغيير مقدار القوة العمودية.
(3) **استنتاج** ما يحدث لمقدار قوة الاحتكاك السكوني عند تثبيت مقدار القوة العمودية وتغيير طبيعة السطحين المتلامسين.
(4) **تصميم** استقصاء لدراسة العوامل التي يعتمد عليها مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحين.

الاسم	المهام			
	4	3	2	1

العلامات:

4: تنفيذ أربع مهام تنفيذًا صحيحًا.
3: تنفيذ ثلاث مهام تنفيذًا صحيحًا.
2: تنفيذ مهمّتين تنفيذًا صحيحًا.
1: تنفيذ مهمّة واحدة تنفيذًا صحيحًا.

حيثُ يرمزُ (μ_s) إلى **معاملِ الاحتكاكِ السكونيِّ** Coefficient of Static Friction، وهوَ يعتمدُ على طبيعةِ السطحينِ المتلامسينِ. ويُعطى مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى رياضيًّا بالعلاقةِ:

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

ومنْ هذهِ العلاقةِ يُمكنُ تعريفُ معاملِ الاحتكاكِ السكونيِّ (μ_s) بأنَّهُ نسبةُ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى إلى مقدارِ القوةِ العموديةِ، وبما أنَّهُ نسبةُ قوًى فليسَ لهُ وحدةُ قياسٍ.

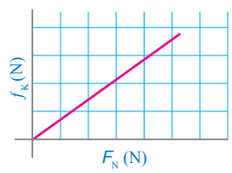
✓ **أتحقَّقُ:** علامَ تعتمدُ قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ سطحينِ متلامسينِ؟ وما وحدةُ قياسِ معاملِ الاحتكاكِ السكونيِّ؟

قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ Kinetic Force of Friction

يوضحُ الشكلُ (17/ د) أنَّ الصندوقَ يبدأُ الحركةَ عندَما يصبحُ مقدارُ قوةِ الشدِّ المؤثرةِ فيهِ أكبرَ منْ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى، وتسمّى قوةُ الاحتكاكِ المؤثرةُ في الجسمِ في أثناءِ حركتهِ **قوةَ الاحتكاكِ الحركيِّ Kinetic Force of Friction**، رمزُها (f_k)، تؤثرُ في سطحَيْ جسمينِ متلامسينِ عندَما يتحركُ أحدُهُما بالنسبةِ إلى الآخرِ. وبالنظرِ إلى الشكلِ (18)، ألاحظُ أنَّ مقدارَ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ أقلُّ منْ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى، وهذا ما توصلتُ إليهِ عمليًّا بعدَ تنفيذِ التجربةِ السابقةِ؛ حيثُ مقدارُ القوةِ اللازمةِ لتحريكِ الجسمِ بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ والمحافظةِ على حركتهِ أقلُّ منْ مقدارِ القوةِ اللازمةِ لبدءِ حركتهِ.

استنتجتُ بعدَ تنفيذِ التجربةِ السابقةِ أنَّ مقدارَ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ سطحَيْ جسمينِ متلامسينِ يتحركُ أحدُهما بالنسبةِ إلى الآخرِ، يعتمدُ على عاملينِ - كما في حالةِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ -، هُما: طبيعةُ السطحينِ المتلامسينِ، ومقدارُ القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في الجسمِ.

فمثلًا، تحريكُ مكعبٍ خشبيٍّ على سطحِ طاولةٍ خشبيٍّ أسهلُ من تحريكهِ على سطحٍ منَ الخرسانةِ، وانزلاقُ إطاراتِ السيارةِ على الطريقِ المغطى بالثلجِ أسهلُ بكثيرٍ منهُ على طريقٍ جافٍّ. ويوضحُ الشكلُ (20) التناسبَ الطرديَّ بينَ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ (f_k) ومقدارِ القوةِ



الشكلُ (20): يتناسبُ مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ طرديًّا معَ مقدارِ القوةِ العموديةِ.

◄ استخدام الصور والأشكال.

- أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (19)، وملاحظة شكل منحنى (قوة الاحتكاك السكوني العُظمى – القوة العمودية)، ثم أسألهم:

– ما الذي تستنتجه من شكل المنحنى عن العلاقة بين مقدار قوة الاحتكاك السكوني العُظمى ومقدار القوة العمودية؟

علاقة طردية؛ حيث يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني العُظمى بزيادة مقدار القوة العمودية.

– ما الذي يمثله ميل منحنى (قوة الاحتكاك السكوني العُظمى – القوة العمودية)؟

الميل ثابت، وهو يساوي معامل الاحتكاك السكوني.

✓ **أتحقَّق:**

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

◄ المناقشة.

- أطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

– علام يعتمد مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحي جسمين متلامسين يتحرك أحدهما بالنسبة إلى الآخر؟

طبيعة السطحين المتلامسين، والقوة العمودية التي يؤثر بها أحد الجسمين في الآخر.

– 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 أستبعد أيًّا من إجابات الطلبة، وأشجعهم على طرح الأسئلة، ونقد إجابات بعضهم، واحترام الرأي الآخر.
- أحفّز 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 بتغير مقدار القوة المؤثرة.

معلومة إضافية

- أوضِّح للطلبة أن قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي لا تعتمدان على حجمي الجسمين المتلامسين عند ثبات كتلتيهما. أما إذا رافق تغير حجم الجسم تغير في كتلته، فإن مقدار القوة العمودية يتغير، ويتبع ذلك تغير مقدار قوة الاحتكاك.

◄ استخدام الصور والأشكال.

- أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (20)، وملاحظة شكل منحنى (قوة الاحتكاك الحركي – القوة العمودية)، ثم أسألهم:

– ما الذي تستنتجه من شكل المنحنى عن العلاقة بين مقدار قوة الاحتكاك الحركي ومقدار القوة العمودية؟

علاقة طردية طردية؛ حيث يزداد مقدار قوة الاحتكاك الحركي بزيادة مقدار القوة العمودية.

– ما الذي يمثله ميل منحنى (قوة الاحتكاك الحركي – القوة العمودية)؟

الميل ثابت، وهو يساوي معامل الاحتكاك الحركي.

بناء المفهوم.

معامل الاحتكاك السكوني ومعامل الاحتكاك الحركي.

- يبين الجدول (1) أن معاملات الاحتكاك الحركيّ أقل من نظيراتها للاحتكاك السكونيّ 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، أطلب إلى أحد الطلبة دفع مقعد بسرعة ثابتة على أرضية أفقية إزاحة معينة، ثم أطلب إلى آخر الجلوس في المقعد أو وضع أثقال عليه، وأطلب إلى الطالب نفسه/ الطالبة نفسها دفع المقعد مرة أخرى بسرعة ثابتة على الأرضية نفسها، الإزاحة نفسها.

– ثم أطلب إليه/ إليها المقارنة بين مقداري القوتين في الحالتين.

في الحالة الثانية يلزم التأثير بقوة أكبر لتحريك المقعد.

ثم أسأل 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.

العموديةِ (F_N). وكما في حالةِ الاحتكاكِ السكونيِّ، لا تعتمدُ قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ على مساحةِ سطحَيْ التلامسِ بينَ الجسمينِ.

وُجِدَ عمليًّا أنَّ مقدارَ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ سطحَيْ جسمينِ متلامسينِ يتناسبُ طرديًّا معَ مقدارِ القوةِ العموديةِ المتبادلةِ بينهُما، ويمكنُ التعبيرُ عنْ ذلكَ رياضيًّا كما يأتي:

$$f_k = \mu_k F_N$$

حيثُ مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ يساوي ناتجَ ضربِ معاملِ الاحتكاكِ الحركيِّ في مقدارِ القوةِ العموديةِ. ويرمزُ (μ_k) إلى **معاملِ الاحتكاكِ الحركيِّ Coefficient of Kinetic Friction**، ويساوي نسبةَ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ إلى مقدارِ القوةِ العموديةِ، وهوَ يعتمدُ على طبيعةِ السطحينِ المتلامسينِ، وبما أنَّهُ نسبةُ قوًى فليسَ لهُ وحدةُ قياسٍ.

يبينُ الجدولُ (1) معاملاتِ الاحتكاكِ السكونيةَ ومعاملاتِ الاحتكاكِ الحركيةَ التقريبيةَ لسطوحٍ مختلفةٍ. وأُلاحظُ منَ الجدولِ أنَّ معاملاتِ الاحتكاكِ السكونيةَ أكبرُ منْ نظيراتِها الحركيةِ للسطوحِ نفسِها؛ أيْ أنَّ $\mu_s > \mu_k$.

الجدولُ (1): القيمُ التقريبيةُ لبعضِ معاملاتِ الاحتكاكِ

نوعا السطحين المتلامسين	معامل الاحتكاك السكونيّ μ_s	معامل الاحتكاك الحركيّ μ_k
فولاذٌ فوقَ فولاذٍ (جافٌّ)	0.8	0.6
فولاذٌ فوقَ فولاذٍ (معَ الزيتِ)	0.15	0.05
مطاطٌ فوقَ خرسانةٍ جافةٍ	1.0	0.8
مطاطٌ فوقَ خرسانةٍ مُبللةٍ	0.5 – 0.7	0.3 – 0.5
مطاطٌ فوقَ ثلجٍ	0.3	0.2
خشبٌ فوقَ خشبٍ	0.5	0.3
خشبٌ مشمَّعٌ (waxed wood) فوقَ ثلجٍ	0.14	0.1
فلزٌّ فوقَ خشبٍ	0.5	0.3
جليدٌ فوقَ جليدٍ	0.1	0.03
زجاجٌ فوقَ زجاجٍ	0.9	0.4
فولاذٌ فوقَ جليدٍ	0.4	0.02
الحذاءُ فوقَ الخشبِ	0.9	0.7
الحذاءُ فوقَ الجليدِ	0.1	0.05
مفاصلُ العظامِ بوجودِ السائلِ الزلاليِّ	0.016	0.015

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 أبيّن 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.

– أراجع مع الطلبة نتائج الخطوة رقم (7) في التجربة (2): العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي.

المثالُ 7

وُضِعَ صندوقٌ كتلتهُ (40 kg) على زلّاجةٍ لسحبهِ على أرضيةٍ أُفقيةٍ مغطاةٍ بالثلجِ. إذا علمتُ أنَّ قوةَ الشدِّ المؤثرةَ في الزلاجةِ أُفقيةٌ تمامًا، ومعاملَ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ الزلّاجةِ والثلجِ (0.15)، ومعاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ بينهُما (0.10)، وتسارعَ السقوطِ الحرِّ ($10\ m/s^2$)، وبإهمالِ كتلةِ الزلاجةِ، فأحسبُ مقدارَ:

أ. القوةِ التي يلزمُ التأثيرِ بها في الزلّاجةِ بحيثُ تكونُ على وشكِ الحركةِ.

ب. القوةِ التي يلزمُ التأثيرُ بها في الزلّاجةِ لتتحركَ بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ.

جـ. تسارعِ الزلاجةِ إذا كانتِ القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ فيها (20 N).

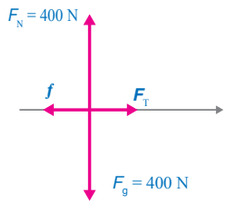
المعطياتُ:

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

المطلوبُ:

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

الحلُّ:



أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ للزلّاجةِ والصندوقِ معًا.

أ. مقدارُ القوةِ التي يلزمُ التأثيرُ بها في الزلّاجةِ بحيثُ تكونُ على وشكِ الحركةِ يساوي مقدارَ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى ($f_{s,max}$)، ولحسابِها يلزمُ معرفةُ مقدارِ القوةِ العموديةِ، لذا؛ أطبّقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن في اتجاهِ المحورِ (y)، معَ ملاحظةِ أنَّهُ لا توجدُ حركةٌ في اتجاهِهِ:

$$\sum F_y = ma_y = 0$$
$$F_N - F_g = 0$$
$$F_N = F_g = mg = (40)(10) = 400\ N$$

ثمَّ أحسبُ مقدارَ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى، كما يأتي:

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

ب. لكَيْ تتحركَ الزلاجةُ بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ، يجبُ أنْ يكونَ مقدارُ قوةِ الشدِّ مساويًا لمقدارِ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ.

$$\sum F_x = F_T - f_k = 0$$
$$F_T = f_k = \mu_k F_N = (0.10)(400) = 40\ N$$

33

معلومة إضافية

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

حيث θ هي زاوية ميل المستوى المائل التي يكون عندها الجسم الموضوع عليه على وشك الانزلاق، و μ_s معامل الاحتكاك السكوني بين مادتي الجسم والمستوى المائل.

ولتوضيح ذلك؛ أنفِّذ التجربة الآتية: أضع جسمًا عند إحدى نهايتي سطح مستو، ثم أرفع السطح من جهة الجسم ببطء بحيث يصبح مستوى مائلًا. بعد ذلك أزيد زاوية ميل المستوى من جهة الجسم تدريجيًّا حتى يبدأ الجسم الانزلاق. أقيس زاوية ميل المستوى التي بدأ عندها الجسم الانزلاق. وأكرر التجربة مرة أخرى؛ للتأكد من صحة مقدار الزاوية. والآن، أقارن مقدار $\tan\theta$ بمقدار معامل الاحتكاك السكوني بين مادتي الجسم والمستوى المائل، يجب أن يكونا متساويين. أثبت ذلك رياضيًّا للطلبة.

مثال إضافي

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 ($10\ m/s^2$)، فأحسب مقدار:

أ. قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في الخزانة.

ب. تسارع الخزانة.

جـ. القوة الأفقية اللازم تأثيرها في الخزانة لتتحرك بسرعة متجهة ثابتة.

الحل:

أ. نحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي باستخدام العلاقة:

$$f_k = \mu_k F_N$$
$$= \mu_k mg$$
$$= (0.40)(40)(10)$$
$$= 160\ N$$

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

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

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

$$\sum F_x = F_{Applied} - f_k = 0$$
$$F_{Applied} = f_k$$
$$= 160\ N$$

أُلاحظُ أنَّ مقدارَ القوةِ اللازمةِ لجعلِ الزلاجةِ على وشكِ الحركةِ أكبرُ منْ مقدارِ القوةِ اللازمةِ للمحافظةِ على حركتِها بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ.

جـ. لحسابِ مقدارِ تسارعِ الزلّاجةِ، أطبّقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن في اتجاهِ المحور (x):

$\sum F_x = ma$

$20 = 40 \times a$

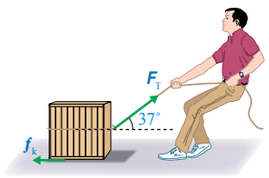
$a = \frac{20}{40} = 0.5\ m/s^2$

المثالُ 8

يُسحبُ صندوقٌ كتلتهُ (50 kg) على أرضيةٍ أُفقيةٍ خشنةٍ بحبلٍ يَصنعُ زاويةَ (37°) على الأُفقيِّ، أنظرُ الشكلَ (21). إذا كانَ مقدارُ قوةِ الشدِّ في الحبلِ (200 N)، وتسارعَ الصندوقِ بمقدارِ ($1.3\ m/s^2$)، والحبلُ مهملُ الكتلةِ وغيرُ قابلٍ للاستطالةِ، و $g = 10\ m/s^2$، $\sin 37° = 0.6$، $\cos 37° = 0.8$، فأحسبُ مقدارَ:

أ. قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ المؤثرةِ في الصندوقِ.

ب. معاملِ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ الصندوقِ والأرضيةِ.



الشكلُ (21): سحبُ صندوقٍ على أرضيةٍ أُفقيةٍ خشنةٍ.

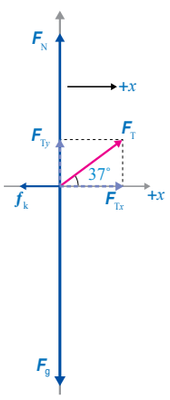
المعطياتُ:

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

المطلوبُ:

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

الحلُّ:



- أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ للصندوقِ.
- قبلَ البدءِ بحلِّ المسألةِ أحسبُ وزنَ الصندوقِ، ثمَّ أحلل قوةَ الشدِّ في الحبلِ إلى مركّبتيْها، كما هوَ موضحٌ في مخططِ الجسمِ الحرِّ، وعلى النحوِ الآتي:

$F_g = mg = (50)(10) = 500\ N$

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

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

مثال إضافي

أعيد 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 مركبتيها، على النحو الآتي:

$F_g = mg$

$= (50)(10) = 500\ N$

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

$= (200) \cos 53° = 200 \times 0.6$

$= 120\ N$

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

$= (200) \sin 53° = 200 \times 0.8$

$= 160\ N$

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

$\Sigma F_x = ma$

$F_{Tx} - f_k = ma$

وبجعل (f_k) موضوع القانون:

$f_k = F_{Tx} - ma$

$= 120 - (50)(1.3)$

$= 120 - 65$

$= 55\ N$

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

ب. لحساب معامل الاحتكاك الحركي، يلزم أولًا 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.

$\sum F_y = 0$

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

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

$= 380\ N$

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

$f_k = \mu_k F_N$

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

$= \frac{55}{380}$

$= 0.15$

أ . أطبّقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن على الصندوقِ في اتجاهِ المحورِ x؛ لإيجادِ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ.

$$\sum F_x = ma$$

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

وبجعلِ (f_k) موضوعَ القانونِ:

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

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

$$= 95 \text{ N}$$

مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ (95 N)، وتؤثرُ في عكسِ اتجاهِ حركةِ الصندوقِ.

ب . لحسابِ معاملِ الاحتكاكِ الحركيِّ، يلزمُ أولًا معرفةُ مقدارِ القوةِ العموديةِ، لذا؛ أطبّقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن على الصندوقِ في اتجاهِ المحورِ y؛ لإيجادِ مقدارِها، معَ مراعاةِ أنَّهُ لا توجدُ حركةٌ على هذا المحورِ.

$$\sum F_y = 0$$

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

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

$$= 500 - 120$$

$$= 380 \text{ N}$$

أستخدمُ معادلةَ الاحتكاكِ الحركيِّ؛ لحسابِ مقدارِ معاملِ الاحتكاكِ، كما يأتي:

$$f_k = \mu_k F_N$$

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

$$= \frac{95}{380} = 0.25$$

35

معلومة إضافية

أوضِّح للطلبة أن وجود قوة الاحتكاك لا يعد أمرًا سلبيًا دائمًا، حيث يوجد لقوى الاحتكاك آثار إيجابية. ولتوضيح ذلك أسألهم: هل يمكنكم الاستناد إلى جدار عند انعدام قوى الاحتكاك؟ لا. هل يمكنك المشي على أرضية ملساء؟ لا.

بناء المفهوم.

معامل الاحتكاك السكوني.

- أوضِّح للطلبة أن مقدار قوة الاحتكاك الحركي بين سطحين ثابت، أما مقدار قوة الاحتكاك السكوني بين أي سطحين فيكون متغيرًا؛ اعتمادًا 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

- أستخدم **استراتيجية التفكير الناقد**، وأسأل الطلبة الأسئلة الآتية:

– أيهما أكبر معامل الاحتكاك السكوني أم معامل الاحتكاك 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 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. وأيضًا لا يتغير معامل الاحتكاك بين سطحين بتغير مساحة السطحين المتلامسين؛ لأنه يعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين فقط.

- لا أستبعد أيًّا من إجابات الطلبة، وأشجعهم على طرح الأسئلة، ونقد إجابات بعضهم، واحترام الرأي الآخر.

مثال إضافي

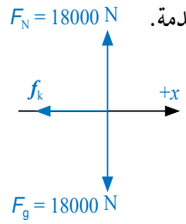
تقود سلمى سيارة كتلتها (1.8×10^3 kg)، بسرعة (90 km/h) شمالًا على طريق أفقي مستقيم في طقس ماطر. وعندما أقبلت على إشارة ضوئية، أضاءت باللون الأحمر، فضغطت سلمى على المكابح بقوة، مما أدى إلى انزلاق إطارات السيارة على سطح الطريق. إذا كان بعد مقدمة السيارة عن الإشارة لحظة الضغط على المكابح (60 m)، ومعامل الاحتكاك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

أ. أحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في السيارة.

ب. أحسب مقدار تسارع السيارة.

جـ. هل تتوقف السيارة عند الإشارة تمامًا، أم قبلها، أم بعدها؟ أوضِّح الحسابات المستخدمة.

الحل:



أرسم مخطط الجسم الحر للسيارة لحظة الضغط على المكابح.

أ. 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:

$$f_k = \mu_k F_N$$
$$= (0.40)(1.8 \times 10^4)$$
$$= 7.2 \times 10^3 \text{ N}$$
$$f_k = 7.2 \times 10^3 \text{ N}, -x$$

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

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

$$\sum F_x = ma$$
$$F - f_k = ma$$
$$0 - 7.2 \times 10^3 = 1.8 \times 10^3 \times a$$
$$a = \frac{-7.2 \times 10^3}{1.8 \times 10^3}$$
$$= -4 \text{ m/s}^2$$
$$a = 4 \text{ m/s}^2, -x$$

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

جـ. للإجابة عن السؤال؛ يجب حساب المسافة التي تقطعها السيارة حتى تتوقف ($d_{stopping}$) بحسب التسارع المحسوب في الفرع السابق، مع تعويض السرعة النهائية صفرًا ($v_f = 0$).

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

$$v_i = 90 \text{ km/h}$$
$$= 25 \text{ m/s}$$

ثم نستخدم المعادلة الثالثة للحركة:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$
$$0 = (25)^2 + 2(-4)\, d_{stopping}$$
$$d_{stopping} = \frac{625}{8}$$
$$= 78.13 \text{ m}$$

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

المثال 9

الشكلُ (22): انزلاقُ رياضيٍّ على منحدرٍ ثلجيٍّ.

يتزلجُ رياضيٌّ على منحدرٍ ثلجيٍّ يميلُ على الأفقيِّ بزاويةِ (25°)، كما هوَ موضحٌ في الشكلِ (22). إذا علمتُ أنَّ كتلةَ الرياضيِّ (50 kg)، و $g = 10\ m/s^2$، $\sin 25° = 0.42$، $\cos 25° = 0.91$، فأحسبُ مقدارَ تسارعِهِ في الحالتينِ الآتيتينِ:

أ. إذا كانَ المنحدرُ الثلجيُّ أملسَ.

ب. إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ بينَ الزلاجةِ والثلجِ (0.10).

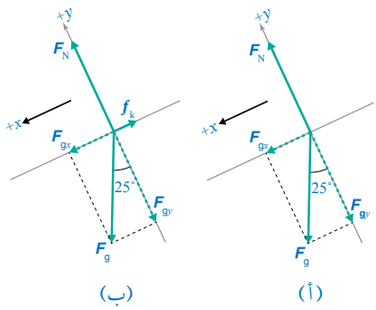
المعطياتُ:

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

المطلوبُ:

$a = ?$

الحلُّ:



- أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ للمتزلجِ في حالةِ المنحدرِ الأملسِ (أ)، والمنحدرِ الخشنِ (ب)، معَ اختيارِ المحورِ x في اتجاهٍ يوازي المستوى المائلَ، والمحورُ y عموديٌّ عليْهِ، مثلَما هوَ موضحٌ.
- قبلَ البدءِ بحلِّ المسألةِ أحلّلُ وزنَ المتزلجِ إلى مركّبتينِ متعامدتينِ: F_{gx} و F_{gy}، مثلَما هوَ موضحٌ في مخططَيِ الجسمِ الحرِّ، وكما يأتي:

$$F_{gx} = F_g \sin\theta$$
$$= mg \sin 25° = 50 \times 10 \times 0.42 = 210 \text{ N}$$
$$F_{gy} = F_g \cos\theta$$
$$= mg \cos 25° = 50 \times 10 \times 0.91 = 455 \text{ N}$$

أ. أنظرُ مخططَ الجسمِ الحرِّ (أ)، ثمَّ أُطبِّقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن على المتزلجِ الرياضيِّ في اتجاهِ المحورِ x؛ لحسابِ مقدارِ تسارعِهِ:

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

ب. أنظرُ مخططَ الجسمِ الحرِّ (ب)، وأُلاحظُ أنَّهُ توجدُ قوةُ احتكاكٍ حركيٍّ تؤثرُ في عكسِ اتجاهِ انزلاقِ المتزلجِ. لذا؛ يلزمُ بدايةً حسابُ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ، ومنْ أجلِ ذلكَ أحسبُ مقدارَ القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في المتزلجِ بتطبيقِ القانونِ الثاني لنيوتن عليهِ في اتجاهِ المحورِ y، معَ مراعاةِ أنَّهُ لا توجدُ حركةٌ في اتجاهِ هذا المحورِ.

$$\sum F_y = 0$$
$$F_N - F_{gy} = 0$$
$$F_N = F_{gy} = 455 \text{ N}$$

ثمَّ أستخدمُ معادلةَ الاحتكاكِ الحركيِّ لحسابِ مقدارِ قوةِ الاحتكاكِ:

$$f_k = \mu_k F_N$$
$$= (0.10)(455)$$
$$= 45.5 \text{ N}$$

ينزلقُ المتزلجُ الرياضيُّ إلى أسفلِ المنحدرِ الثلجيِّ، ولحسابِ مقدارِ تسارعِهِ أطبّقُ القانونَ الثانيَ لنيوتن عليْهِ في اتجاهِ المحورِ x، معَ اعتبارِ الاتجاهِ الموجبِ إلى أسفلِ المنحدرِ.

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

أُلاحظُ أنَّ مقدارَ تسارعِ المتزلجِ الرياضيِّ أكبرُ في حالةِ المنحدرِ الأملسِ.

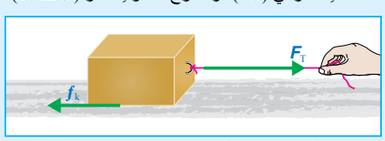
تمرينٌ

أثَّرَتْ قُوَّةُ شدٍّ أفقيةٌ مقدارُها (200 N) في اتجاهِ اليمينِ، في صندوقٍ كتلتُهُ (50 kg)، يستقرُّ على سطحٍ أفقيٍّ خشنٍ، كما هو موضحٌ في الشكلِ (23). إذا علمتُ أنَّ معاملَ الاحتكاكِ الحركيِّ (0.3)، وتسارعَ السقوطِ الحرِّ (10 m/s^2)، فأحسبُ مقدارَ:

أ. قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ المؤثرةِ في الصندوقِ.

ب. القوةِ المحصلةِ المؤثرةِ في الصندوقِ.

جـ. تسارُعِ الصندوقِ.



الشكلُ (23): صندوقٌ ينزلقُ على سطحٍ أفقيٍّ خشنٍ.

تمرين

أ. نحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي باستخدام العلاقة:

$$f_k = \mu_k F_N$$
$$= \mu_k mg$$
$$= (0.30)(50)(10)$$
$$= 150 \text{ N}$$
$$f_k = 150 \text{ N}, -x$$

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

$$\sum F_x = F_T - f_k$$
$$= 200 - 150 = 50 \text{ N}$$
$$\sum F_x = 50 \text{ N}, +x$$

جـ. لحساب مقدار تسارعه نطبق القانون الثاني لنيوتن عليه في اتجاه المحور x.

$$\sum F_x = ma$$
$$a = \frac{\sum F_x}{m}$$
$$= \frac{50}{50}$$
$$= 1 \text{ m/s}^2$$

المناقشة.

أسأل الطلبة:

– علام يعتمد تسارع جسم ينزلق إلى أسفل مستوى مائل أملس، تحت تأثير وزنه فقط؟

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 ميل المستوى.

– علام يعتمد تسارع جسم ينزلق إلى أسفل مستوى مائل خشن، تحت تأثير وزنه فقط؟

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 ميل 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؟

ستتنوع الإجابات، إجابات محتملة: طبيعة السطح الذي يتزلج عليه (ثلج جاف، ثلج رطب، جليد، نظيف أو غير نظيف)، زاوية ميل المنحدر الثلجي، ساكن أو متحرك،... .

التعزيز:

يبين الجدول (1) أن معامل الاحتكاك بين المطاط (إطارات السيارات) والخرسانة الجافة (أو الأسفلت)، أكبر منه بين المطاط والخرسانة المبللة، معتمدًا على بيانات الجدول، أوضح للطلبة سبب انزلاق السيارات في الأيام الماطرة وكثرة حوادث السيارات. وأبيّن لهم أن سبب ذلك يرجع 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.

أُفكِّرُ: إجابات محتملة:

الجنازير 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 كوادر الدفاع المدني في استمرار تقديم خدماتهم للمواطنين حتى في العواصف الثلجية.

أتحقَّق:

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 أنَّ تقديم الأدلة والبراهين يُعزِّز التفكير، وأنَّه يتعيَّن على الإنسان دعم أفكاره بالأدلة والبراهين التي تضفي طابعي القوة والمصداقية عليها. فالأدلة والبراهين ضرورية عند اتخاذ قرارات تتعلق بمواقف حياتية ذات علاقة بقوى الاحتكاك وتجنب مخاطرها.

الشكلُ (24): انزلاقُ سيارةٍ على طريقٍ مغطًّى بالثلجِ والجليدِ.

أُفكِّرُ: عادةً تُلَفُّ جنازيرُ حولَ إطاراتِ السياراتِ، وبخاصةٍ سياراتُ الدفاعِ المدنيِّ في العواصفِ الثلجيةِ. بناءً على ما تعلمتُهُ في هذا الدرسِ، ما الهدفُ منْ وضعِ هذهِ الجنازيرِ حولَ إطاراتِ السياراتِ؟ أفسِّرُ إجابتي.

الفيزياءُ والحياةُ: تُصدرُ مديريتا الأمنِ العامِّ والدفاعِ المدنيِّ نشراتٍ توعويةً وتحذيراتٍ لسائقي المركباتِ عندَ تأثرِ المملكةِ بمنخفضٍ جويٍّ، منْ ضمنِها تحذيرُهُمْ منْ خطرِ انزلاقِ المركباتِ على الطرقاتِ عندَ سقوطِ الأمطارِ أو الثلوجِ؛ حيثُ تتكونُ طبقةٌ فاصلةٌ بينَ إطارِ السيارةِ (وهوَ مطاطٌ) وسطحِ الطريقِ، وهذا يقللُ منْ مقدارِ كلٍّ منْ: معاملِ الاحتكاكِ السكونيِّ ومعاملِ الاحتكاكِ الحركيِّ بينهُما؛ ما يؤدي إلى سهولةِ انزلاقِ إطاراتِ السيارةِ على الطريقِ، ويزيدُ المسافةَ اللازمةَ لإيقافِ السيارةِ، ويجعلُ قيادةَ السيارةِ والسيطرةَ عليها وتوجيهَها أمرًا صعبًا، خاصةً عندَ قيادتِها بتهوُّرٍ، وعدمِ الالتزامِ بالإرشاداتِ والشواخصِ المروريةِ، أنظرُ الشكلَ (24). لذا؛ يجبُ أخذُ هذهِ التحذيراتِ والإرشاداتِ بعينِ الاعتبارِ، وعدمُ قيادةِ السيارةِ إلا في حالةِ الضرورةِ القصوى في مثلِ هذهِ الظروفِ الجويةِ، وإذا لزم قيادتُها وجبَ أخذُ الحيطةِ والحذرِ، والقيادةُ بتمهُّلٍ، والتقيُّدُ بتوجيهاتِ الجهاتِ الرسميةِ المسؤولةِ وإرشاداتِها.

أتحقَّقُ: إذا علمتُ أنَّ مقدارَ قوةِ الاحتكاكِ بينَ الخرسانةِ ونعلِ الحذاءِ المصنوعِ منَ المطاطِ أكبرُ منهُ بينَ الخرسانةِ والنعلِ المصنوعِ منَ الجلدِ، فأيَّ الحذاءينِ أختارُ للمشيِ في يومٍ ماطرٍ؟ أُفسِّرُ إجابتي.

أبحثُ: لعلمِ الفيزياءِ دورٌ مهمٌّ في عمليةِ التحقيقِ المروريِّ في الحوادثِ المروريةِ. أبحثُ في دورِ قسمِ التحقيقِ المروريِّ التابعِ لمديريةِ الأمنِ العامِّ في كيفيةِ تحديدِ السيارةِ أوِ السياراتِ المُسبِّبةِ لحادثٍ ما، والمعلوماتِ والبياناتِ التي يجمعُها مندوبُ الحوادثِ. وأُعدُّ عرضًا تقديميًّا أعرضهُ أمامَ طلبةِ الصفِّ.

أبحث: يجب أن تتضمن العروض التقديمية التي يعدها الطلبة: أن لعلم الفيزياء – بخاصة القانون الثاني لنيوتن وقوى الاحتكاك ومعادلات الحركة بتسارع ثابت – دورًا مهمًّا في عملية التحقيق المروري في الحوادث المرورية؛ وأبيّن للطلبة أنه عند 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.

إيجابياتُ قوى الاحتكاكِ وسلبياتُها
Advantages and Disadvantages of Friction Forces

لقوى الاحتكاكِ تطبيقاتٌ وآثارٌ كثيرةٌ في حياتِنا، بعضُها مفيدٌ وضروريٌّ، وبعضُها الآخرُ ضارٌّ ومزعجٌ لا بُدَّ منْ معالجتِهِ والتقليلِ منهُ.

إيجابياتُ قوى الاحتكاكِ Advantages of Friction Forces

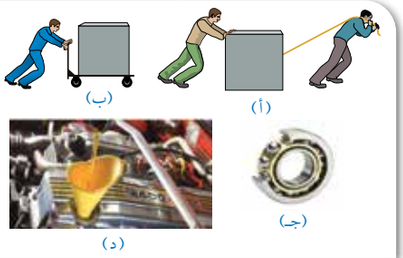
منَ التطبيقاتِ والأنشطةِ التي يحتاجُ تنفيذُها وجودَ قوى الاحتكاكِ: حركةُ المركباتِ؛ فعندَ انعدامِ قوى الاحتكاكِ بينَ إطاراتِ المركبةِ وسطحِ الطريقِ، فإنَّ الإطاراتِ تدورُ في مكانِها، فتبقى المَركبةُ ساكنةً. ونحتاجُ إلى قوى الاحتكاكِ للكتابةِ على الورقِ والسبورةِ، وإشعالِ أعوادِ الثقابِ، والمشيِ، أنظرُ الشكلَ (25). فقوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ تساعدُنا في المشيِ، وتغييرِ اتجاهِ حركتِنا؛ فعندَما أدفعُ بقدمي سطحَ الأرضِ إلى الخلفِ فإنَّ قوةَ الاحتكاكِ السكونيِّ بينهُما تؤثرُ بقوةٍ في قدمي إلى الأمامِ في اتجاهِ حركتي، وتمنعُ انزلاقَها نحوَ الخلفِ. وتتضحُ أهميةُ الاحتكاكِ السكونيِّ عندَ محاولةِ المشيِ على سطوحٍ ملساءَ أوْ زلقةٍ، حيثُ يصعبُ ذلكَ.

سلبياتُ قوى الاحتكاكِ Disadvantages of Friction Forces

منَ الآثارِ السلبيةِ لقوى الاحتكاكِ: أنَّها تُسبِّبُ تآكلَ بعضِ المنتجاتِ التي نستخدمُها في حياتِنا اليوميةِ، مثلِ: الأحذيةِ، والملابسِ، وتُسبِّبُ تآكلَ بطانةِ مكابحِ المركباتِ. بالإضافةِ إلى أنَّها تعيقُ انزلاقَ الأجسامِ بعضِها فوقَ بعضٍ، وتُسبِّبُ تباطؤَها؛ ما يتطلبُ التأثيرَ فيها بقوةٍ أكبرَ لتحريكِها والمحافظةَ على استمراريةِ حركتِها مقارنةً بالقوةِ اللازمةِ لذلكَ على سطوحٍ ملساءَ. وتجري معالجةُ بعضِ هذهِ الآثارِ والتقليلُ منْها باستخدامِ العجلاتِ، والتزييتِ، والتشحيمِ، أنظرُ الشكلَ (26).

الشكلُ (25): قوى الاحتكاكِ ضروريةٌ: (أ) للكتابةِ على الورقِ، (ب) وإشعالِ عودِ الثقابِ، (جـ) والمشيِ.

لماذا لا يمكنُ المشيُ على أرضيةٍ زلقةٍ؟ أُفسِّرُ إجابتي.



الشكلُ (26): عندَ استخدامِ العجلاتِ أصبحَ تحريكُ الصندوقِ في الشكلِ (ب) أسهلَ بكثيرٍ منْ تحريكِهِ في الشكلِ (أ). (جـ) تستخدمُ كراتُ البيليا (Ball Bearings) لتسهيلِ حركةِ أجزاءِ الآلاتِ وتقليلِ الاحتكاكِ. (د) يوضعُ الزيتُ في محركِ السيارةِ للتقليلِ من قوى الاحتكاكِ.

هلْ يلزمُ تشحيمُ كراتِ البيليا وتزييتُها؟ أفسِّرُ إجابتي.

إجابة سؤال الشكل (25):

لا يمكن المشي على أرضية زلقة؛ لأنه عندما ندفع بأقدامنا سطح الأرض إلى الخلف فإنه لا توجد 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: التأمُّل والتساؤل.**

أخبر الطلبة أنَّ التأمُّل والتساؤل يُؤثِّران إيجابًا في قدرتهم على التركيز والاستيعاب، إذ يتيح لهم التأمل في كثير من المواقف الحياتية والتطبيقات التكنولوجية المقدرة على استيعابها والتوصل إلى حل المشكلات المتعلقة بها.

المناقشة.

- استخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** في تدريس الطلبة هذا الموضوع.
- أوزع الطلبة إلى مجموعات؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلم.
- أوزع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة بحيث يتفاعل الجميع معًا.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة إجابة الأسئلة الآتية كتابيًّا؛ على أن يتفاعل الجميع معا قبل كتابتها:

– 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 نوعَي الاحتكاك له دور في ذلك؟

قوة الاحتكاك السكوني لها دور مهم في عملية المشي، فهي تساعدنا في عملية المشي ولا تعيقها.

– أوجِّه طلبتي إلى تفسير 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.

- أطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.
- أدير نقاشًا بين أفراد المجموعات للتوصل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

المناقشة

- أستخدم **استراتيجية التفكير الناقد**، وأسأل الطلبة:

– برأيك، أيهما تعتقد أنه أفضل: أن يكون مقدار قوة الاحتكاك كبيرًا أم صغيرًا؟

الإجابة: لا تكون الإجابة بالمطلق؛ فقوة 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. فهنالك 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 يعدها الطلبة المزيد من الآثار الإيجابية والآثار السلبية لقوى الاحتكاك، وكيفية معالجة الآثار السلبية:

أذكر للطلبة بعض الآثار والتطبيقات الإيجابية: عمل أنظمة المكابح في المركبات. واستخدام العاملين في المصانع والأماكن التي تكون أرضياتها مغطاة بالزيوت والسوائل، أحذية نعالها مصنوعة من المطاط. 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.

أذكر للطلبة بعض الآثار السلبية: يؤدي الاحتكاك بين أجزاء محرك السيارة، وبين أجزاء الآلات المختلفة إلى تحويل جزء من الطاقة الحركية إلى طاقة تنتقل على شكل 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 تُستخدم فيها أنظمة تبريد تعتمد على حركة الماء بين أجزاء المحرك لتبريدها، كما تستخدم المراوح لتبريدها. أيضًا يتم تزييت أجزاء المحرك والآلات وتشحيمها، وتفقدها بشكل منتظم؛ للتقليل من الاحتكاك بين أجزائها. ومعالجة الاحتكاك داخل مفاصل جسم الإنسان بوضع سائل للتقليل من الاحتكاك، أو استخدام مفاصل صناعية.

الفيزياء والطبُّ: تسمّى المناطقُ التي تجمعُ اثنينِ أوْ أكثرَ منَ العظامِ في جسمِ الإنسانِ المفاصلَ (Joints)، معظمُ المفاصلِ تكونُ متحركةً؛ ما يسمحُ للعظامِ بالحركةِ. وأتوقّعُ أنَّهُ يوجدُ احتكاكٌ عندَ هذهِ المفاصلِ؛ لأنَّها تربطُ موادَّ صلبةً معًا. في الواقعِ تكونُ قوى الاحتكاكِ بينَ العظامِ في منطقةِ المفصلِ قليلةً جدًّا؛ لأنَّ سطوحَ العظامِ في منطقةِ المفصلِ مغطاةٌ بغضاريفَ، إضافةً إلى وجودِ غشاءٍ زلاليٍّ يفرزُ مائعًا لزجًا يسمّى السائلَ الزلاليَّ (Synovial Fluid) داخلَ المفصلِ، إذْ يُعدُّ هذا السائلُ بمنزلةِ مادةِ تشحيمٍ، يقللُ الاحتكاكَ، ويحمي العظامَ منَ التآكلِ.

الشكلُ (27): صورةٌ بالأشعةِ السينيةِ لمفصلِ ركبةٍ ملتهبٍ مصابٍ بهشاشةِ عظامٍ، ومفصلِ ركبةٍ صناعيٍّ.

عندَ تعرضِ المفصلِ للتلفِ يُستخدمُ مفصلٌ صناعيٌّ (Artificial Joint) مكانَهُ، يُصنعُ منَ الفولاذِ المقاومِ للصدأِ أوِ التيتانيومِ، أوِ البلاستيكِ. ولهذهِ المفاصلِ الصناعيةِ معاملاتُ احتكاكٍ صغيرةٌ جدًّا، تشبه المفاصلَ الطبيعيةَ تقريبًا، أنظرُ الشكلَ (27). وتُستخدمُ فيهِ موادُّ تشحيمٍ صناعيةٌ، مثلُ الموادِّ الهلاميةِ (Gels)؛ لتقليلِ الاحتكاكِ.

أيضًا توجدُ موادُّ لزجةٌ طبيعيةٌ (أوْ موادُّ تشحيم Lubricants) في جسمِ الإنسانِ تقلّلُ منْ قوى الاحتكاكِ داخلَ الأعضاءِ أوْ بينَها. فمثلًا، يُساعدُ إفرازُ اللعابِ في عمليةِ البلعِ؛ إذ يُقلّلُ منَ احتكاكِ الموادِّ الغذائيةِ التي يجري تناولُها معَ جدرانِ البلعومِ والمريءِ، ويُسهِّلُ انزلاقَها. كما يُساعدُ وجودُ مخاطٍ لزجٍ (Slippery Mucus) بين أعضاءِ الجسمِ على حريةِ حركتِها نسبةً إلى بعضِها في أثناءِ حركةِ الإنسانِ، وفي أثناءِ عمليتيْ التنفسِ، وخفقانِ القلبِ.

أبحثُ: لقوى الاحتكاكِ آثارٌ إيجابيةٌ، وآثارٌ سلبيةٌ. أبحثُ في مصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمتاحةِ ومنها شبكةُ الإنترنتِ عن المزيدِ منْ إيجابياتِ قوى الاحتكاكِ وسلبياتِها، وعنْ كيفيةِ معالجةِ سلبياتِها وتقليلِ آثارِها. وأُعدُّ عرضًا تقديميًّا أعرضهُ أمامَ طلبةِ الصفِّ.

✓ **أتحقَّقُ:** أذكرُ ثلاثَ إيجابياتٍ لقوةِ الاحتكاكِ، وثلاثَ سلبياتٍ.

الفيزياء والطب: في الشكل (27) اللون الاحمر الذي يظهر في صورة الأشعة أضيف لتحديد موقع الالتهاب؛ إذ أن صور الأشعة السينية تكون غير ملونة.

أخطاء شائعة

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

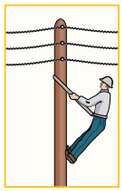
✓ **أتحقَّق:**

الإيجابيات: حركة المركبات، والكتابة على الورق واللوح. 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... .

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما المقصودُ بكلٍّ منْ: قوةِ الشدِّ، القوةِ العموديةِ، قوةِ الاحتكاكِ؟ وهلْ وجودُ الاحتكاكِ إيجابيٌّ أمْ سلبيٌّ؟ أُفسِّرُ إجابتي.
2. **أُحلِّلُ وأستنتجُ:** يوضِّحُ الشكلُ المجاورُ تسلُّقَ عاملِ صيانةٍ في شركةِ الكهرباءِ لعمودِ كهرباءَ؛ إذْ ينتعلُ حذاءً بمواصفاتٍ خاصةٍ، وأيضًا يستخدمُ حزامًا أحدُ طرفيْهِ ملتفٌّ حولَ خصرِهِ، وطرفهُ الآخرُ ملتفٌّ حولَ العمودِ.



أ. أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ لعاملِ الصيانةِ، مسمّيًا القوى المؤثرةَ فيهِ.
ب. **أُفسِّرُ:** هلْ يعتمدُ هذا العاملُ في صعودِهِ العمودَ على قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ أمِ الحركيِّ؟ أُفسِّرُ إجابتي.
جـ. أُحددُ موقعيْنِ في الشكلِ تؤثرِ فيهِما قوةُ الاحتكاكِ في العاملِ، وأوضِّحُ أهميتَهُما.

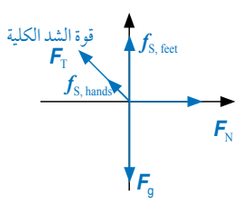
3. **أُطبِّقُ:** يبينُ الشكلُ المجاورُ ميزانًا نابضيًّا معلقًا في نهايتِهِ ثقلٌ (m)، كتلتهُ (10 kg). إذا علمتُ أنَّ $g = 10\ m/s^2$، فأجدُ قراءةَ الميزانِ في الحالاتِ الآتيةِ:

أ. إذا كانَ الثقلُ ساكنًا.
ب. إذا تحركَ الثقلُ والميزانُ إلى أعلى بسرعةٍ متجهةٍ ثابتةٍ.
جـ. إذا تحركَ الثقلُ والميزانُ إلى أعلى بتسارعٍ مقدارهُ ($1\ m/s^2$).
د. إذا تحركَ الثقلُ والميزانُ إلى أسفلَ بتسارعٍ مقدارهُ ($1\ m/s^2$).

4. **أحسبُ:** صندوقٌ كتلتهُ (30 kg). أحسبُ مقدارَ القوةِ العموديةِ المؤثرةِ فيهِ عندَما يكونُ مستقرًّا على:
أ. سطحٍ أُفقيٍّ.
ب. مستوًى مائلٍ يميلُ عنِ الأُفقِ بزاويةِ (20°).
5. **التفكيرُ الناقدُ:** في أثناءِ دراستي وزميلتي شيماءَ لموضوعِ قوى الاحتكاكِ، قالتْ: «إنَّ زيادةَ عرضِ إطارِ السيارةِ يزيدُ منْ قوةِ الاحتكاكِ المؤثرةِ فيها؛ لذا ينبغي على السائقينَ استخدامُ إطاراتٍ أقلَّ عَرضًا؛ لتقليلِ احتكاكِها بالطريقِ». أُناقشُ صحَّةَ قولِ شيماءَ بناءً على ما تعلمتُهُ في هذا الدرسِ.

1 **قوة الشد** قوة سحب تؤثر في جسم عن طريق سلك أو خيط أو حبل، وتؤثر في اتجاه طول الخيط أو الحبل أو السلك، وتكون متساوية في جميع أجزاء الحبل وعند طرفيه.
القوة العمودية قوة تلامس تنشأ بين الأجسام عند تلامسها.
قوة الاحتكاك قوة تلامس تعيق حركة الأجسام الصلبة المتلامسة بعضها فوق بعض، وتمانع حركتها، وتؤثر بشكل مواز لسطحي التلامس بين الجسمين. وتنشأ هذه القوة بين سطحي الجسمين المتلامسين عند تحريك أو محاولة تحريك بعضهما فوق بعض.
لا يمكن القول أن الاحتكاك إيجابي أو سلبي، ففي بعض الحالات تكون قوة الاحتكاك ضرورية لنا لنتمكن من المشي أو الكتابة، حيث يكون ذلك غير ممكن من دون احتكاك. وفي حالات أخرى مثل سخونة أجزاء الآلات عند دورانها بسبب الاحتكاك أو عند مقاومة الهواء لحركة الأجسام فيه، فهي تكون سلبية.

2 أ.



ب. يعتمد العامل في صعوده على قوة الاحتكاك السكوني؛ حيث تساعد هذه القوة العامل في الصعود وعدم الانزلاق.
جـ. تؤثر قوة الاحتكاك السكوني عند موقع تلامس قدمي العامل مع العمود، وتمنع انزلاق قدميه. وتؤثر أيضًا قوة احتكاك سكوني عند نقطة تلامس يديه مع الحبل، وتساعده في سحب الحبل وتغيير موقع الحبل على العمود ليتمكن من الصعود. كما تؤثر قوة احتكاك سكوني عند نقطة التفاف الحبل حول العمود، وتمنع الحبل من الانزلاق إلى أسفل.

3 التقويم

مراجعة الدرس

3 أ. قراءة الميزان تساوي قوة الشد في الخيط المتصل بالثقل، لذا نطبق القانون الثاني لنيوتن على الثقل في اتجاه المحور y؛ لحساب مقدار قوة الشد، مع مراعاة أن الثقل ساكن.

$$\sum F_y = 0$$
$$F_T - F_g = ma = 0$$
$$F_T = F_g$$
$$= mg$$
$$= 10 \times 10$$
$$= 100\ N$$

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

$$F_T - F_g = ma = 0$$
$$F_T = F_g = 100\ N$$

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

$$F_T - F_g = ma$$
$$F_T = F_g + ma$$
$$= 100 + 10 \times 1$$
$$= 110\ N$$

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

$$F_g - F_T = ma$$
$$F_T = F_g - ma$$
$$= 100 - 10 \times 1$$
$$= 90\ N$$

4 أ. على السطح الأفقي:

$$F_N - F_g = ma = 0$$
$$F_N = F_g = mg$$
$$= 30 \times 10 = 300\ N$$

ب. على المستوى المائل:

$$F_N - F_g \cos\theta = ma = 0$$
$$F_N = F_g \cos\theta = (300) \cos 20^\circ$$
$$= (300)(0.94)$$
$$= 282\ N$$

5 بناء على ما تعلمته في هذا الدرس، تعتمد قوة الاحتكاك بين سطحين متلامسين على معامل الاحتكاك بينهما، وعلى القوة العمودية التي يؤثر بها أحدهما 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.

الدرس 3

القوة المركزية
Centripetal Force

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة.

- أوضِّح 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 رياضية خاصة بالقوة المركزية باستخدام القانون الثاني لنيوتن في الحركة.
- أوضِّح للطلبة أهمية القوة المركزية، وأنها ليست نوع جديد من القوى، وأن كثيرًا من الأجهزة والأدوات التي نستخدمها في حياتنا تتحرك حركة دائرية.

◄ الربط بالمعرفة السابقة.

- أذكِّر الطلبة أن القوة والسرعة والتسارع كميات فيزيائية متجهة. وأذكِّرهم بتعريف كل من هذه الكميات الفيزيائية.
- أذكِّر الطلبة أيضًا بأبرز ما تعلموه عن قوانين نيوتن في الحركة، والقصور الذاتي، والقوة المحصلة.

2 التدريس

◄ استخدام الصور والأشكال.

- أوجِّه 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؟

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

◄ الفكرةُ الرئيسةُ:

تؤثرُ قوةٌ مركزيةٌ في الأجسامِ التي تتحركُ حركةً دائريةً. وللحركةِ الدائريةِ تطبيقاتٌ كثيرةٌ في حياتِنا اليوميةِ.

◄ نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أستنتجُ أنَّ الحركةَ الدائريةَ لجسمٍ تتطلبُ تأثيرَ قوةٍ فيهِ باستمرارٍ، نحوَ مركزِ المسارِ الدائريِّ.
- أستقصي العواملَ التي يعتمدُ عليْها مقدارُ القوةِ المركزيةِ.
- أُطبِّقُ بحلِّ مسائلَ على القوةِ المركزيةِ.

◄ المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

القوةُ المركزيةُ Centripetal Force

القوةُ المركزيةُ والحركةُ الدائريةُ المنتظمةُ
Centripetal Force and Uniform Circular Motion

درستُ في الوحدةِ (2) الحركةَ الدائريةَ المنتظمةَ، وعرفتُ أنَّها حركةُ جسمٍ بسرعةٍ ثابتةِ المقدارِ في مسارٍ دائريٍّ نصفُ قطرِهِ (r) حولَ محورٍ، ويُحدَّدُ موقعهُ بالنسبةِ إلى هذا المحورِ (محورِ الدورانِ). وعرفتُ أنَّ متجهَ السرعةِ المماسيةِ عندَ أيَّةِ نقطةٍ على المسارِ يكونُ مماسيًّا للمسارِ عندَ تلكَ النقطةِ، ومتعامدًا معَ متجهِ الموقعِ الخاصِّ بها.

هلْ يلزمُ تأثيرُ قوةٍ محصلةٍ في الجسمِ؛ لكَيْ يتحركَ حركةً دائريةً منتظمةً؟

للإجابةِ عنْ ذلكَ؛ أنظرُ سياراتِ السباقِ الموضحةَ في الشكلِ (28) عندَ المنعطفِ. أُلاحظُ أنَّ كلَّ سيارةٍ تتحركُ في مسارٍ منحنٍ عندَ المنعطفِ، وهوَ يُمثِّلُ جزءًا منْ دائرةٍ، وبحسبِ القانونِ الأولِ لنيوتن، تتحركُ السياراتُ في مسارٍ مستقيمٍ بسرعةٍ ثابتةٍ ما لمْ تؤثرْ فيها قوةٌ محصلةٌ، وبما أنَّ مساراتِها غيرُ مستقيمةٍ؛ فهيَ تتأثرُ بقوةٍ محصلةٍ.

سأدرسُ حركةَ إحدى هذهِ السياراتِ عندَ المنعطفِ، وأفترضُ أنَّها تتحركُ بسرعةٍ مماسيةٍ ثابتةٍ مقدارًا. إنَّ اتجاهَ هذهِ السرعةِ يتغيرُ بشكلٍ مستمرٍّ، ويدلُّ تغيرُها على وجودِ تسارعٍ، وبحسبِ القانونِ الثاني لنيوتن، فإنَّ وجودَ التسارعِ يعني وجودَ قوةٍ محصلةٍ تؤثرُ فيها.

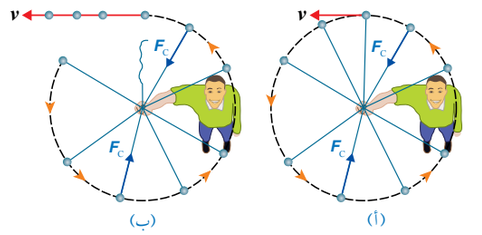
الشكلُ (28): لكَيْ تتحركَ السياراتُ في المنعطفِ، يلزمُ تأثيرُ قوةٍ محصلةٍ فيها نحوَ مركزِ المسارِ الدائريِّ الذي يُشكِّلُهُ المنعطفُ.

– وماذا يعني تسارعها؟

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

إضاءة للمعلم/للمعلمة

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 وتكون سرعته المماسية غير ثابتة. 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.



الشكلُ (29): منظرٌ علويٌّ لكرةٍ مربوطةٍ بنهايةِ خيطٍ تتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ.
(أ) تؤثرُ قوةٌ مركزيةٌ في الكرةِ نحوَ مركزِ مسارِها الدائريِّ. (ب) عندَ انقطاعِ الخيطِ تنعدمُ القوةُ المركزيةُ، وتتحركُ الكرةُ في اتجاهِ سرعتِها المماسيةِ للمسارِ الدائريِّ عندَ نقطةِ انقطاعِ الخيطِ.

القوةُ المركزيةُ ومنشؤُها Centripetal Force and its Origin

يوضِحُ الشكلَ (29/ أ) كرةً كتلتُها (m)، مربوطةً بنهايةِ خيطٍ طولهُ (l)، تتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ تقريبًا، بسرعةٍ مماسيةٍ ثابتةٍ مقدارًا (v). بحسبِ القانونِ الأولِ لنيوتن تميلُ الكرةُ إلى الحركةِ في مسارٍ مستقيمٍ مماسيٍّ للمسارِ الدائريِّ؛ بسببِ قصورِها الذاتيِّ. وللمحافظةِ على استمرارِ حركتِها حركةً دائريةً منتظمةً يلزمُ تأثيرُ قوةٍ محصلةٍ فيها نحوَ مركزِ المسارِ الدائريِّ، يكونُ اتجاهُها عموديًّا على اتجاهِ سرعتِها المماسيةِ، تُسمّى **القوةَ المركزيةَ Centripetal Force**، رمزُها (F_C)، تُسبِّبُ تغيُّرًا في سرعتِها المتجهةِ، أي تُكسبُها تسارعًا مركزيًّا. وإذا انقطعَ الخيطُ عندَ نقطةٍ معينةٍ على المسارِ الدائريِّ ستتحركُ الكرةُ في مسارٍ مستقيمٍ مماسيًّا للمسارِ الدائريِّ عندَ تلكَ النقطةِ، بحسبِ القانونِ الأولِ لنيوتن. أنظرُ الشكلَ (29/ ب).

والسؤالُ: هلِ القوةُ المركزيةُ نوعٌ جديدٌ منْ أنواعِ القوى؟ وما منشأُ هذهِ القوةِ؟ إنَّ القوةَ المركزيةَ ليستْ نوعًا جديدًا منَ القوى، وإنَّما هيَ اسمٌ يُطلقُ على القوةِ المحصلةِ المؤثرةِ عموديًّا على متجهِ السرعةِ المماسيةِ لجسمٍ متحركٍ في مسارٍ دائريٍّ.

أما أصلُ هذهِ القوةِ ومنشؤُها فيعتمدُ على النظامِ قيدَ الدراسةِ. فمثلًا، القوةُ المركزيةُ المسبِّبةُ لدورانِ القمرِ الصناعيِّ في مدارٍ حولَ الأرضِ ناتجةٌ عنْ قوةِ تجاذبٍ كتليٍّ بينَ القمرِ والأرضِ.

أصمِّمُ باستخدامِ برنامجِ السكراتشِ (Scratch) عرضًا يوضحُ القوةَ المركزيةَ ومنشأَها، ثمَّ أشاركُهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

المناقشة.

- أوضِّح للطلبة مفهوم القوة المركزية، واتجاه تأثيرها في الجسم، ثم أسألهم:

– متى تؤثر القوة المركزية في جسم؟

عندما يتحرك في مسار منحن.

– هل القوة المركزية نوع جديد من القوى؟

إن القوة المركزية ليست نوعًا جديدًا من القوى، وإنما هي اسم يطلق على القوة المحصلة المؤثرة عموديًّا على متجه السرعة المماسية لجسم متحرك في مسار دائري.

– بما أن القوة المركزية ليست نوعًا جديدًا من القوى، فما أصل هذه القوة أو ما منشؤها؟

يعتمد أصل القوة المركزية على الحالة الفيزيائية قيد الدراسة.

– هل لكم أن تعطوا أمثلة على ذلك لتوضيح الإجابة؟

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

نشاط سريع

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

– أطلب إلى مجموعة من الطلبة الاصطفاف جنبًا إلى جنب على أرضية أفقية مستوية، بحيث يشكلون مسارًا منحنيًا على شكل قوس، ويكونون مواجهين لمركز الدائرة التي يشكلها مسارهم المنحني. والآن، أدحرج الكرة نحوهم بحيث تمر أمام الطالب الأول في المسار المنحني، ثم أطلب إلى بقية الطلبة المصطفّين محاولة جعل الكرة تتحرك في مسار دائري (أو جزء من دائرة) تقريبًا. كيف يمكنهم ذلك؟ عن طريق دفع كل منهم للكرة دفعة صغيرة عموديًّا على اتجاه سرعتها ونحو مركز المسار الدائري. ثم أسألهم: ما الذي تمثله قوة الدفع التي أثروا بها في الكرة؟ القوة المحصلة، التي يجب أن تؤثر نحو مركز الدائرة. ماذا تسمى هذه القوة المحصلة؟ القوة المركزية. هل هناك أية قوة تؤثر في الكرة بعيدًا عن مركز المسار الدائري؟ لا يوجد قوى تؤثر في الكرة بعيدًا عن مركز المسار الدائري.

- استمع إلى إجابات الطلبة، ثم أدير نقاشًا بينهم للتوصل إلى الإجابات الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

أوجِّه الطلبة إلى تصميم عرض تفاعلي يوضح القوة المركزية ومنشأها، باستخدام برنامج السكراتش (Scratch)، ثم أوجِّههم إلى مشاركته أو عرضه أمام الزملاء في الصف

إضاءة للمعلم/ للمعلمة

عند تحريك جسم (كرة مثلًا) مربوط في نهاية خيط في مسار دائري أفقي فوق الرأس، فإن الخيط الممتد بين الكرة ويد الشخص الممسك به لا يكون في مستوى أفقي تمامًا، بل يكون الخيط مائلًا؛ بحيث يكون هنالك مركبتان 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.

◄ **بناء المفهوم.**

القوة المركزية.

- أوضِّح 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.**

- أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (31)، ثم أسألهم:

– كيف تتحرك السيارة في الشكل؟

داخل منعطف في مسار منحن.

– على افتراض أن مقدار سرعتها ثابت، هل توجد قوة محصلة تؤثر في السيارة؟ نعم.

– كيف يكون مقدار سرعتها ثابتًا رغم وجود قوة محصلة تؤثر فيها؟

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

– ما منشأ هذه القوة المحصلة (القوة المركزية)؟

منشؤها قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة وسطح الطريق.

– في أي اتجاه تؤثر هذه القوة؟

نحو مركز الدائرة التي يعد المنعطف جزءًا منها.

– ما أهمية قوة الاحتكاك السكوني الجانبية هذه؟

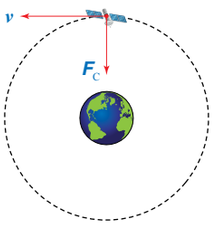
تَمكّن السائق من الانعطاف بسيارته داخل منعطف الطريق من دون أن تنزلق السيارة خارج المنعطف.

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

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

✓ **أتحقَّق:**

القوة المركزية قوة محصلة تؤثر في جسم فتجعله يتحرك حركة دائرية ويكون اتجاهها نحو مركز مساره الدائري، رمزها (F_C)، تسبب تغيرًا في سرعته المتجهة، أي تكسبه تسارعًا مركزيًّا. والقوة المركزية ليست نوعًا جديدًا من القوى؛ وإنما هي اسم يطلق على القوة المحصلة المؤثرة في جسم يتحرك في مسار دائري.



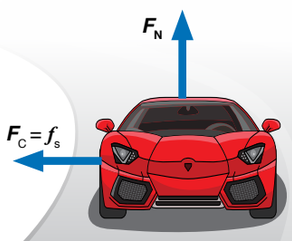
الشكلُ (30): القوةُ المركزيةُ هيَ قوةُ التجاذبِ الكتليِّ بينَ الأرضِ والقمرِ الصناعيِّ، وتؤثرُ عموديًّا على اتجاهِ سرعةِ القمرِ.

ويكونُ اتجاهُ سرعةِ القمرِ الصناعيِّ عندَ أيِّ موقعٍ في مسارِهِ في اتجاهِ المماسِّ لذلكَ الموقعِ. أنظرُ الشكلَ (30) الذي يوضحُ متجهَيْ السرعةِ المماسيةِ والقوةِ المركزيةِ.

والقوةُ المركزيةُ المسبِّبةُ لدورانِ الإلكتروناتِ حولَ النواةِ ناتجةٌ عنْ قوةِ جذبٍ كهرسكونيةٍ بينَ النواةِ والإلكتروناتِ. وقوى الشدِّ في الحبالِ والأسلاكِ المتصلةِ بأجسامٍ تتحركُ حركةً دائريةً مثالٌ على قوًى مركزيةٍ. والقوةُ المركزيةُ المؤثرةُ في الملابسِ الموضوعةِ في مجفِّفةِ الملابسِ ناتجةٌ عنِ القوةِ العموديةِ التي تؤثرُ بها جدرانُ المُجفِّفةِ فيها.

إنَّ القوةَ المركزيةَ التي تمنعُ سيارةَ السباقِ الموضحةَ في الشكلِ (31) منَ الانزلاقِ خارجَ المنعطفِ خلالَ مسارِ السباقِ، هيَ قوةٌ جانبيةٌ منشؤُها قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ إطاراتِها وسطحِ الطريقِ، تؤثرُ نحوَ مركزِ الدائرةِ التي يُعدُّ المنعطفُ جزءًا منْها. ويستقصي سائقو سياراتِ السباقِ ومصمِّموها القيمَ القصوى لهذهِ القوةِ للحصولِ على أكبرِ سرعاتٍ ممكنةٍ عندَ المنعطفاتِ؛ للمنافسةِ على صدارةِ السباقاتِ. وعندَ انعدامِ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ، كأنْ يكونَ الطريقُ مغطًّى بالجليدِ أوِ الزيتِ، فإنَّهُ وبحسبِ القانونِ الأولِ لنيوتن في الحركةِ سوفَ تتحركُ السيارةُ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا في مسارٍ مستقيمٍ مماسيٍّ للمسارِ الدائريِّ عندَ موقعِ انعدامِ القوةِ المركزيةِ.

✓ **أتحقَّقُ:** ما القوةُ المركزيةُ؟ وهلِ القوةُ المركزيةُ نوعٌ جديدٌ منَ القوى؟ أُفسِّرُ إجابتي.



الشكلُ (31): القوةُ المركزيةُ هيَ قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ إطاراتِ السيارةِ وسطحِ الطريقِ، وتؤثرُ نحوَ مركزِ المسارِ الدائريِّ، عموديًّا على اتجاهِ سرعةِ السيارةِ.

أخطاء شائعة

- أبيِّن للطلبة أن القوة المركزية ليست نوعًا جديدًا من القوى، وإنما هي اسم يطلق على القوة المحصلة المؤثرة عموديًّا في متجه السرعة المماسية لجسم متحرك في مسار دائري. فعند تدوير كرة مربوطة في نهاية خيط في مسار دائري أُفقي، فإن القوة المحصلة المؤثرة فيها نحو مركز المسار الدائري هي قوة الشد في الخيط. عند توجيه السؤال إلى الطلبة قد يجيب بعضهم خطأ: بأن القوة المحصلة المؤثرة في الكرة هي مجموع قوة الشد في الخيط والقوة المركزية. ولتصحيح هذا الفهم، أبيّن للطلبة أن قوة الشد في الخيط هي القوة الوحيدة المؤثرة نحو مركز المسار مسببة حركة الكرة الدائرية، ولأنها كذلك فقد اصطُلح على تسميتها «قوة مركزية».

◄ **التعزيز:**

- أوضِّح 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 مماس للمسار الدائري عند نقطة انعدام القوة.

حسابُ القوةِ المركزيةِ Calculating Centripetal Force

يُكتبُ القانونُ الثاني لنيوتن في الحركةِ في حالِ ثباتِ الكتلةِ في الصورةِ:

$$\sum F = ma$$

وفي حالةِ الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ، فإنَّ القوةَ المحصلةَ نحوَ مركزِ الدورانِ تساوي القوةَ المركزيةَ ($\sum F = F_c$)؛ لذا يُمكنُ كتابةُ معادلةِ حسابِ مقدارِ القوةِ المركزيةِ المؤثِّرةِ في جسمٍ يتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً في مسارٍ دائريٍّ نصفُ قطرِهِ (r)، وبسرعةٍ مماسيةٍ (v)، وتسارعٍ مركزيٍّ (a_c)، كما يأتي:

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

ويكونُ مقدارُ القوةِ المركزيةِ ثابتًا في الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ، واتجاهُها عموديًّا على متجهِ السرعةِ المماسيةِ. ولاستقصاءِ العواملِ التي يعتمدُ عليْها مقدارُ القوةِ المركزيةِ اللازمِ التأثيرُ بها في جسمٍ لكَيْ يتحركَ حركةً دائريةً منتظمةً؛ أُنفِّذُ التجربةَ الإثرائيةَ (القوَّةُ المركزيةُ في الحركةِ الدائريةِ المنتظمةِ) الواردةَ في كتابِ الأنشطةِ والتجاربِ العمليةِ.

واعتمادًا على معادلةِ حسابِ القوةِ المركزيةِ، يُمكنُ التوصلُ إلى أنَّ مقدارَ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في جسمٍ كتلتُهُ (m) يتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً- يعتمدُ على:

أ . نصفِ قطرِ المسارِ الدائريِّ عندَ ثباتِ مقدارِ السرعةِ المماسيةِ؛ حيثُ يلزمُ التأثيرُ بقوةٍ مركزيةٍ أكبرَ لجعلِ الجسمِ يتحركُ في مسارٍ دائريٍّ نصفُ قطرِهِ أصغرُ. ففي الشكلِ (29)، يزدادُ مقدارُ القوةِ المركزيةِ اللازمةِ لحركةِ الكرةِ في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ بنقصانِ نصفِ قطرِ المسارِ الدائريِّ عندَ ثباتِ مقدارِ السرعةِ المماسيةِ. وبما أنَّ قوةَ الشدِّ في الخيطِ هيَ القوةُ المركزيةُ، وتوجدُ قيمةٌ قصوى لمقدارِ قوةِ الشدِّ التي يتحملُها الخيطُ قبلَ أنْ ينقطعَ، فيكونُ هنالكَ حدودٌ لنصفِ قطرِ المسارِ.

ب. مربعِ مقدارِ السرعةِ المماسيةِ عندَ ثباتِ نصفِ قطرِ المسارِ الدائريِّ، حيثُ يلزمُ التأثيرُ بقوةٍ مركزيةٍ أكبرَ لجعلِ الجسمِ يتحركُ في مسارٍ دائريٍّ بسرعةٍ أكبرَ. ففي الشكلِ (29)، يزدادُ مقدارُ القوةِ المركزيةِ اللازمةِ لحركةِ الكرةِ في المسارِ الدائريِّ الأُفقيِّ بزيادةِ مقدارِ سرعتِها المماسيةِ عندَ ثباتِ نصفِ قطرِ مسارِها الدائريِّ، ويكونُ هنالكَ حدودٌ لمقدارِ السرعةِ المماسيةِ.

✓ **أتحقَّقُ:** علامَ يعتمدُ مقدارُ القوةِ المركزيةِ اللازمِ التأثيرُ بها في جسمٍ يتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً؟

أفكِّرُ: عندَما يجلسُ شخصٌ في سيارةٍ تتحركُ خلالَ منعطفٍ حادٍّ، فإنَّهُ يشعرُ أنَّهُ توجدُ قوةٌ تدفعهُ إلى خارجِ المنعطفِ نحوَ بابِ السيارةِ، حيثُ يُسمّيها بعضُ الأشخاصِ قوةً طاردةً مركزيةً Centrifugal Force. وعندَما تُدوِّرُ كرةً مربوطةً بنهايةِ خيطٍ في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ تشعرُ أنَّهُ توجدُ قوةٌ تؤثرُ فيها خارجَ المسارِ. هلْ هذهِ القوةُ حقيقيةٌ، أمْ قوةٌ وهميةٌ؟ أُفسِّرُ إجابتي.

ملاحظةٌ: يُساعدُ رسمُ مخططِ الجسمِ الحرِّ لراكبِ السيارةِ أوِ الكرةِ في استقصاءِ حقيقةِ هذهِ القوةِ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: الأدلة والبراهين:** تقديم الأدلة والبراهين في القضايا العلمية، له دور كبير في التفسير العلمي للقضايا، ودحض الخطأ منها، كما في توضيح مفهوم القوة المركزية، ونفي وجود قوة طاردة عن المركز..

المناقشة.

- أطلب 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.

✓ **أتحقَّق:**

يعتمد مقدار القوة المركزية على:

أ . نصف قطر المسار الدائري.

ب. مربع مقدار السرعة المماسية.

أفكِّرُ: أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** في تدريس الطلبة هذا الموضوع.

- أوزِّع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلم.
- أوزِّع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة؛ بحيث يتفاعل الجميع معًا.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة رسم مخطط الجسم الحر لراكب سيارة تتحرك خلال منعطف (أو لكرة تتحرك في مسار دائري أفقي)، ثم إجابة الأسئلة الآتية كتابيًّا؛ على أن يتفاعل الجميع معًا 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 فيهما نحو مركز المسار الدائري الذي يشكل المنعطف جزءً منه.

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

لا؛ لا يوجد قوة تدفع أجسامنا إلى خارج المنعطف، والقوة الطاردة المركزية قوة غير حقيقية، وهي قوة وهمية لا وجود لها، وهذا ما يوضِّحه 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 مثلًا، فإن أجسامنا تميل إلى الاستمرار في الحركة بسرعة ثابتة في خط مستقيم نتيجة قصورها الذاتي، فتقترب أجسامنا من الجدار الداخلي لباب السيارة حتى تلامسه، فتؤثر فيه بقوة (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.

- أطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.
- أدير نقاشًا بين أفراد المجموعات للتوصل إلى الإجابة الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.

المناقشة.

- أستخدم **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.

جـ. 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:

$$a_C = \frac{v^2}{r}$$
$$= \frac{(6.3)^2}{0.5}$$
$$= 79.4 \text{ m/s}^2$$

جـ. لإيجاد مقدار القوة المركزية، نستخدم العلاقة الآتية:

$$F_C = m\, a_C$$
$$= (0.05)(79.4)$$
$$= 4 \text{ N}$$

المثال 10

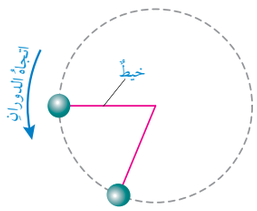
كرةٌ كتلتُها (50 g) مربوطةٌ في نهايةِ خيطٍ طولهُ (100 cm)، تتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً في مسارٍ دائريٍّ أفقيٍّ، كما هوَ موضحٌ في الشكلِ (32). فإذا علمتُ أنَّ الزمنَ الدوريَّ للكرةِ (0.5 s)، فأحسبُ مقدارَ:

أ . سرعتِها المماسيةِ.

ب . تسارعِها المركزيِّ.

جـ. القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ فيها.

د . قوةِ الشدِّ في الخيطِ.



الشكلُ (32): منظرٌ علويٌّ لكرةٍ مربوطةٍ في نهايةِ خيطٍ.

المعطياتُ:

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

المطلوبُ:

$v = ?,\ a_C = ?,\ F_C = ?,\ F_T = ?$

الحلُّ:

أ . لإيجادِ مقدارِ السرعةِ المماسيةِ أستخدمُ العلاقةَ الآتيةَ، علمًا بأنَّ طولَ المسارِ الدائريِّ يساوي $(2\pi r)$:

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

ب . لإيجادِ مقدارِ التسارعِ المركزيِّ أستخدمُ العلاقةَ الآتيةَ:

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

جـ . لإيجادِ مقدارِ القوةِ المركزيةِ أستخدمُ العلاقةَ الآتيةَ:

$$F_C = m\, a_C$$
$$= (0.05)(158.8)$$
$$= 7.9 \text{ N}$$

د . قوةُ الشدِّ في الخيطِ هي نفسُها القوةُ المركزيةُ:

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

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **بناء الشخصية: المشاركة.** أخبر الطلبة أنَّ للمشاركة دورًا في الوصول إلى المعرفة، بحيث يتشارك أفراد المجموعة في تقديم الأراء وتبادل الأسئلة والإجابات سعيًا لبناء تصور شامل وواضح للمفهوم قيد المناقشة؛ كما حدث في نفي وجود قوة طاردة عن المركز.

بناء المفهوم.

الحركة الدائرية المنتظمة.

- أطلب إلى الطلبة تحديد اتجاه القوة المركزية، والتسارع المركزي، والسرعة المماسية لجسم يتحرك حركة دائرية منتظمة (السيارة الواردة في المثال 11 مثلًا).

القوة المركزية والتسارع المركزي يكونان نحو مركز المسار الدائري؛ لذا يتغير اتجاههما باستمرار في أثناء حركة الجسم بحيث يشيران دائمًا 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.

- أطلب إلى الطلبة وصف مقدار كل من: القوة المركزية، والتسارع المركزي، والسرعة المماسية للجسم نفسه. تبقى مقاديرها جميعًا ثابتة في الحركة الدائرية المنتظمة.

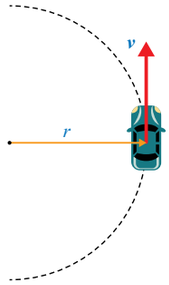
المثالُ 11

تتحركُ سيارةٌ كتلتُها (1.5×10^3 kg) في مسارٍ دائريٍّ نصفُ قطرِه (50 m) بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها (15 m/s)، كما هوَ موضحٌ في الشكلِ (33). إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ إطاراتِ السيارةِ وسطحِ الطريقِ (0.8)، وسطحُ الطريقِ أُفقيٌّ، فأحسبُ مقدارَ:

أ . التسارعِ المركزيِّ للسيارةِ.

ب . القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في السيارةِ.

جـ. أكبرِ سرعةٍ يمكنُ أنْ تتحركَ بها السيارةُ منْ دونِ أنْ تنزلقَ.



الشكلُ (33): منظرٌ علويٌّ لسيارةٍ تتحركُ في مسارٍ دائريٍّ.

المعطياتُ:

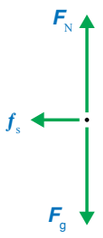
$m = 1.5 \times 10^3$ kg, $r = 50$ m, $v = 15$ m/s, $\mu_s = 0.8$

المطلوبُ:

$a_C = ?, F_C = ?, v_{max} = ?$

الحلُّ:

بدايةً، أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ للسيارةِ، حيثُ تؤثرُ فيها القوى الآتيةُ: وزنُها (F_g) رأسيًّا إلى أسفلَ، والقوةُ العموديةُ (F_N) التي يؤثِّرُ بها سطحُ الطريقِ الأُفقيُّ في السيارةِ وتكونُ رأسيًّا إلى أعلى، وقوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ (f_s) بينَ إطاراتِ السيارةِ وسطحِ الطريقِ، وتكونُ نحوَ مركزِ المسارِ الدائريِّ، وقوةُ دفعِ محركِ السيارةِ إلى الأمامِ في اتجاهِ الحركةِ، وقوةُ احتكاكٍ حركيٍّ بينَ السيارةِ والهواءِ في عكسِ اتجاهِ الحركةِ. ورُسمتِ القوى المؤثرةُ عموديًّا على اتجاهِ الحركةِ فقطْ في مخططِ الجسمِ الحرِّ للتبسيطِ.



أ . لإيجادِ مقدارِ التسارعِ المركزيِّ للسيارةِ؛ أستخدمُ العلاقةَ الآتيةَ:

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

ب . لإيجادِ مقدارِ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في السيارةِ؛ أستخدمُ العلاقةَ الآتيةَ:

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

47

مثال إضافي

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

الحل:

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

$$f_{s,max} = \mu_s F_N$$
$$= (0.5)(1.5 \times 10^4)$$
$$= 7.5 \times 10^3 \text{ N}$$
$$= F_C$$

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

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

طريقة أُخرى للتدريس

العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.

- لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على معرفة العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية اللازم تأثيرها في جسم لكي يتحرك في مسار دائري، أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** في تدريس الطلبة هذا الموضوع.
- أوزِّع الطلبة إلى مجموعات كبيرة غير متجانسة؛ ليساعدوا بعضهم في عملية التعلم.
- أوزِّع الأدوار والمهام على أفراد كل مجموعة بحيث يتفاعل الجميع معًا.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة التعاون معًا في تنفيذ التجربة الآتية:
- بداية، يصطف أفراد كل مجموعة جنبًا إلى جنب على أرضية أفقية مستوية، بحيث يشكلون مسارًا منحنيًا على شكل قوس، ويكونون 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 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 أطلب 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 كبيرًا، ومرة أخرى نصف قطر صغيرًا، 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.
- أستمع إلى إجابات الطلبة، ثم أدير نقاشًا بينهم للتوصل إلى الإجابات الصحيحة، وتصحيح المفاهيم غير الصحيحة.
- أتجوَّل بين أفراد المجموعات موجهًا ومساعدًا ومرشدًا، وأصحح المفاهيم غير الصحيحة لديهم.
- أطلب إلى كل مجموعة عرض النتائج التي توصلوا إليها على اللوح أمام المجموعات الأخرى، ثم مناقشة هذه النتائج.

جـ. لإيجادِ مقدارِ أكبرِ سرعةٍ؛ يجبُ بدايةً حسابُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى المؤثرةِ في السيارةِ، ومنْ أجلِ ذلكَ يجبُ إيجادُ القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في السيارةِ معَ ملاحظةِ أنَّ سطحَ الطريقِ أفقيٌّ. لذا؛ أطبق القانونَ الثانيَ لنيوتن في اتجاهِ المحورِ y، معَ ملاحظةِ أنَّهُ لا توجدُ حركةٌ في اتجاهِهِ.

$$\sum F_y = ma_y = 0$$
$$F_N - F_g = 0$$
$$F_N = F_g = mg = (1.5 \times 10^3)(10)$$
$$= 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$

ثمَّ أحسبُ مقدارَ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى المؤثرةِ في السيارةِ، وهيَ منشأُ القوةِ المركزيةِ.

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

سوفَ تتحركُ السيارةُ في المسارِ الدائريِّ بأكبرِ سرعةٍ ممكنةٍ إذا كانتْ قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى المؤثرةُ فيها مساويةً للقوةِ المركزيةِ؛ أيْ أنَّ:

$$F_C = f_{s,max}$$
$$\frac{mv_{max}^2}{r} = 1.2 \times 10^4$$
$$v_{max}^2 = \frac{r \times 1.2 \times 10^4}{m} = \frac{(50)(1.2 \times 10^4)}{1.5 \times 10^3} = 400$$
$$v_{max} = 20 \text{ m/s}$$

تمرينٌ

1. في المثالِ 10، أحسبُ مقدارَ أكبرِ سرعةٍ مماسيةٍ يُمكنُ أنْ تتحركَ بِها الكرةُ إذا علمتُ أنَّ مقدارَ أكبرِ قوةِ شدٍّ يتحملُها الخيطُ قبلَ أنْ ينقطعَ تُساوي (10 N).
2. سيارةٌ كتلتُها (1.5×10^3 kg)، تتحركُ في مسارٍ دائريٍّ نصفُ قطرِهِ (90 m) بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها (50 km/h). إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ إطاراتِ السيارةِ وسطحِ الطريقِ (0.6)، وسطحُ الطريقِ أفقيٌّ، فأحسبُ مقدارَ:
   أ. القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في السيارةِ.
   ب. أكبرِ سرعةٍ يمكنُ أنْ تتحركَ بِها السيارةُ على هذا الطريقِ منْ دونِ أنْ تنزلقَ.

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 أوضِّح لهم أن علاقة القوة المركزية $\left(\frac{mv^2}{r}\right)$ 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. فمثلًا 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، فتنزلق خارجه.

تمرين

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

$$F_T = F_C = 10 \text{ N}$$
$$m\frac{v_{max}^2}{r} = 10$$
$$v_{max}^2 = \frac{1 \times 10}{0.05}$$
$$= 200$$
$$v = 14.1 \text{ m/s}$$

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

$$F_N = mg = (1.5 \times 10^3 \text{ kg})(10 \text{ m/s}^2)$$
$$= 1.5 \times 10^4 \text{ N}$$
$$F_C = f_{s,max}$$
$$\frac{mv^2}{r} = \mu_s F_N$$
$$\frac{mv^2}{r} = (0.6)(1.5 \times 10^4 \text{ N}) = 9 \times 10^3 \text{ N}$$
$$v^2 = \frac{r(9 \times 10^3)}{m} = \frac{(90)(9 \times 10^3)}{1.5 \times 10^3} = 540$$
$$v = 23.2 \text{ m/s}$$

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما المقصودُ بالقوةِ المركزيةِ؟ وهلْ هيَ نوعٌ جديدٌ منَ القوى؟ أُفسِّرُ إجابتي.
2. **أستخدمُ المتغيراتِ:** متوسطُ نصفِ قطرِ مدارِ القمرِ حولَ الأرضِ (3.8×10^8 m) تقريبًا، وسرعتهُ المماسيةُ المتوسطةُ (1.0×10^3 m/s)، وكتلتهُ (7.3×10^{22} kg) تقريبًا.
   أ. **أحسبُ** زمنَهُ الدوريَّ في مدارِهِ.
   ب. **أحسبُ** مقدارَ تسارعِهِ المركزيِّ.
   جـ. ما منشأُ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ فيهِ، واللازمةِ لدورانِهِ في مدارِهِ؟
   د. **أحسبُ** مقدارَ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ فيهِ.
3. **أستخدمُ المتغيراتِ:** سيارةٌ كتلتُها (1.1×10^3 kg)، تتحركُ بسرعةِ (12 m/s) في منعطفٍ نصفُ قطرِهِ (25 m).
   أ. **أحسبُ** مقدارَ التسارعِ المركزيِّ للسيارةِ.
   ب. **أحسبُ** مقدارَ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في السيارةِ.
   جـ. ما منشأُ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في السيارةِ؟
   د. **أحسبُ** مقدارَ أكبرِ سرعةٍ مماسيةٍ يمكنُ أنْ تتحركَ بِها السيارةُ في هذا المنعطفِ؛ إذا كانَ مقدارُ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى المؤثرةِ نحوَ مركزِ المنعطفِ (8 kN).
4. **أحسبُ:** قمرٌ صناعيٌّ كتلتهُ (5.5×10^2 kg)، يدورُ حولَ الأرضِ على ارتفاعِ (2.1×10^3 km) منْ سطحِ الأرضِ. إذا كانَ الزمنُ الدوريُّ للقمرِ ساعتينِ وتسعَ دقائقَ، ونصفُ قطرِ الأرضِ (6.38×10^3 km)، فأحسبُ مقدارَ:
   أ. السرعةِ المماسيةِ للقمرِ.
   ب. القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في القمرِ.
5. **أُصدرُ حُكمًا:** في أثناءِ دراستي وزميلتي فاتنَ لموضوعِ القوةِ المركزيةِ، قالتْ: «يجبُ على سائقِ سيارةِ السباقِ التي تتحركُ على طريقٍ أُفقيٍّ لمنعطفٍ – زيادةُ مقدارِ سرعةِ السيارةِ؛ لزيادةِ مقدارِ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ فيها، وبالتالي المحافظةُ على استقرارِها وعدمِ انزلاقِها». أُناقشُ صحةَ قولِ فاتنَ.

1 القوة المركزية قوة محصلة تؤثر في جسم فتجعله يتحرك حركة دائرية منتظمة ويكون اتجاهها نحو مركز مساره الدائري، رمزها (F_C)، تسبب تغيرًا في اتجاه سرعته، أي تكسبه تسارعًا مركزيًّا. وهي ليست نوعًا جديدًا من القوى؛ وإنما هي اسم يطلق على القوة المحصلة المؤثرة عموديًّا على متجه السرعة المماسية لجسم متحرك في مسار دائري.

2 أ.

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$
$$= \frac{2(3.14)(3.8 \times 10^8)}{(1.0 \times 10^3)}$$
$$= 2.39 \times 10^6 \text{ s}$$

ب.

$$a_C = \frac{v^2}{r}$$
$$= \frac{(1.0 \times 10^3)^2}{3.8 \times 10^8}$$
$$= 2.64 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

جـ. قوة التجاذب الكتلي بين الأرض والقمر.

د.

$$F_C = m\, a_C$$
$$= (7.3 \times 10^{22})(2.64 \times 10^{-3})$$
$$= 1.927 \times 10^{20} \text{ N}$$

3 التقويم

مراجعة الدرس

3 أ.

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

ب.

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

جـ. قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة وسطح 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 علميًّا؛ لأن زيادة سرعة السيارة يتطلب زيادة مقدار قوة الاحتكاك السكوني الجانبية اللازم تأثيرها في السيارة لتوفير القوة المركزية المناسبة لضمان عدم انزلاقها، غير أنه يوجد قيمة عظمى لقوة الاحتكاك السكوني، وهذا يعني أنه عند سرعة معينة تصبح هذه القوة غير قادرة على توفير القوة اللازمة لضمان استقرار السيارة في المنعطف، فتنزلق خارجه. *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 وسطح الطريق.

الإثراء والتوسع

المنعطفاتُ المائلةُ

الهدف:

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

الإجراءات والتوجيهات:

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

أطرح على أفراد المجموعات الأسئلة الآتية:

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

قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة وسطح الطريق.

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

قوة الاحتكاك السكوني الجانبية العظمى بين إطارات السيارة وسطح الطريق.

- لماذا يُصمم 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: تمكُّن سائقي السيارات من التحرك بسياراتهم بسرعات أكبر في هذه المنعطفات مقارنة بسرعة تحركهم فيها لو كانت غير مائلة. تجعل عملية القيادة في المنعطفات أكثر أمانا. 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 أنَّ الابتكار يتجاوز أساسًا كل ما هو تقليدي، وأنَّه يوجِد وسائل جديدة للوصول إلى النتائج المنشودة، وأوجه الطلبة إلى البحث في ابتكارات تشبه إمالة الطريق عند المنعطف.

الإثراءُ والتوسعُ

المنعطفاتُ المائلةُ Banked Turns

تصمَّمُ المنعطفاتُ الحادَّةُ في مساراتِ سباقاتِ الدراجاتِ والسياراتِ؛ بحيثُ تكونُ مائلةً. والطرقُ العامةُ، أيضًا تُصمَّمُ بحيثُ تتضمَّنُ قدرًا منَ الميلانِ عندَ المنعطفاتِ، خاصةً الخطرةَ منْها. فما أهميةُ هذا التصميمِ؟

عندَما تدخلُ سيارةٌ منعطفًا طريقُهُ أفقيٌّ فإنَّ قوةَ الاحتكاكِ السكونيِّ الجانبيةَ بينَ إطاراتِها وسطحِ الطريقِ توفِّرُ القوةَ المركزيةَ اللازمةَ لحركتِها فيهِ دونَ أنْ تنزلقَ خارجَ المنعطفِ. فلا يمكنُ أنْ تتحركَ السيارةُ في منعطفٍ أُفقيٍّ إلا بوجودِ قوةِ احتكاكٍ جانبيةٍ تؤثرُ نحوَ مركزِ المنعطفِ.

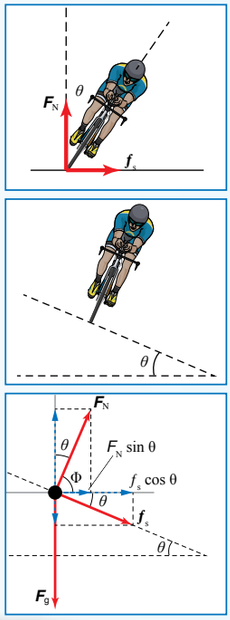
كذلكَ عندَما تدخلُ دراجةٌ هوائيةٌ منعطفًا، فإنَّ راكبَها يديرُ مقودَها لبدءِ الاستدارةِ في المنعطفِ، فتوفِّرُ قوةُ الاحتكاكِ الجانبيةُ القوةَ المركزيةَ نحوَ مركزِ المسارِ الدائريِّ الذي يُشكِّلُهُ المنعطفُ.

إذا زادتْ سرعةُ السيارةِ أوِ الدراجةِ في المنعطفِ يزدادُ مقدارُ القوةِ المركزيةِ اللازمةِ لإبقائِها داخلَهُ، وضمانِ عدمِ انزلاقِها خارجَهُ. وإذا زادتْ سرعتُها بحيثُ أصبحتِ القوةُ المركزيةُ اللازمةُ لإبقائِها داخلَ المنعطفِ أكبرَ منَ القيمةِ العظمى لقوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ الجانبيةِ، فإنَّها ستنزلقُ خارجَ المنعطفِ، وقدْ يسقطُ راكبُ الدراجةِ. منْ أجلِ ذلكَ تُصمَّمُ المنعطفاتُ بشكلٍ مائلٍ، فما فائدةُ ذلكَ؟

عندَ دخولِ دراجةٍ منعطفًا يميلُ بزاويةِ (θ) على الأفقيِّ، فإنَّ القوةَ العموديةَ المؤثرةَ فيها، لها مركِّبةٌ أفقيةٌ نحوَ مركزِ المسارِ الدائريِّ الذي يُشكِّلُهُ المنعطفُ، لذا؛ فهيَ تُساهمُ في القوةِ المركزيةِ إضافةً إلى قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ الجانبيةِ. وهذا يعني أنَّ السياراتِ والدراجاتِ يمكنُ أنْ تتحركَ بسرعاتٍ أكبرَ في المنعطفاتِ المائلةِ قبلَ أنْ تنزلقَ إطاراتُها مقارنةً بالمنعطفاتِ غيرِ المائلةِ. وتُعطى القوةُ المركزيةُ في حالةِ المنعطفاتِ المائلةِ بالعلاقةِ:

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

وتجدرُ الإشارةُ إلى أنَّ تلكَ المنعطفاتِ تُمكِّنُ السياراتِ منَ التحركِ فيها حتّى في حالةِ انعدامِ قوةِ الاحتكاكِ؛ نتيجةً لوجودِ مُركِّبةٍ للقوةِ العموديةِ نحوَ مركزِ المنعطفِ، التي توفرُ القوةَ المركزيةَ المطلوبةَ لضمانِ الحركةِ الدائريةِ.



أبحث مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمتاحةِ ومنْها شبكةُ الإنترنتِ، أبحثُ عنْ منعطفاتٍ مُصمَّمةٍ بشكلٍ مائلٍ في منطقتي، وأُعدُّ وأفرادَ مجموعتي تقريرًا مدعَّمًا بالصورِ عنْ مزايا هذهِ المنعطفاتِ. كذلكَ أبحثُ – بمساعدةِ أفرادِ مجموعتي – عنْ منعطفاتٍ خطرةٍ لمْ تُصمَّمْ بشكلٍ مائلٍ، وأكتبُ رسالةً إلى الجهاتِ المسؤولةِ – بوساطةِ إدارةِ مدرستي – أشرحُ لهمْ ضرورةَ إعادةِ تصميمِ هذا المنعطفِ ليُصبحَ مائلًا، وأُوضِّحُ فيها أهميةَ ذلكَ في تقليلِ حوادثِ السياراتِ والحفاظِ على حياةِ المواطنينَ وممتلكاتِهمْ.

أبحث أوجّه الطلبة إلى البحث في مصادر المعرفة الموثوقة، مزايا المنعطفات المائلة، ثم كتابة توصيات لتصميم منعطف خطر بشكل مائل.

إجابات محتملة: تمكُّن 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 أمانا. تقلل من حوادث السير الناتجة عن فقدان السيطرة على المركبات واندفاعها خارج المنعطف. الحفاظ على حياة المواطنين وممتلكاتهم، ... .

توصيات محتملة:

- عند تصميم المنعطف بشكل مائل يزداد مقدار القوة المركزية المؤثرة في السيارة؛ حيث تصبح القوة العمودية المؤثرة في السيارة مائلة عن المحور الرأسي بمقدار ميل المنعطف نفسه 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 خارجه، ... .

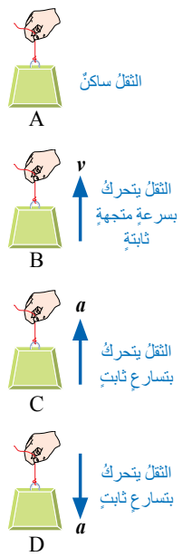
مراجعةُ الوحدةِ

ملاحظةٌ: أينَما يلزمُ أعتبرُ: $g = 10\ m/s^2$، $g_M = 1.6\ m/s^2$، $m_E = 5.98 \times 10^{24}\ kg$، $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$، $r_E = 6.38 \times 10^6\ m$ ما لمْ يُذكَرْ غيرُ ذلكَ.

1. أضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

1. قوةٌ ناتجةٌ عنْ تلامسِ جسميْنِ، وتكونُ دائمًا عموديةً على مستوى التلامسِ بينهُما، إنَّها:
أ. القوةُ العموديةُ ب. قوةُ الشدِّ جـ. الوزنُ د. قوةُ التجاذبِ الكتليِّ

توضِّحُ الأشكالُ المجاورةُ ثقلًا مقدارهُ (10 kg) معلَّقًا في الهواءِ في إحدى نهايتيْ خيطٍ خفيفٍ غيرِ قابلٍ للاستطالةِ، ويُمسكُ شخصٌ طرفَهُ الآخرَ. أستعينُ بهذهِ الأشكالِ للإجابةِ عنِ الأسئلةِ 2 - 4:



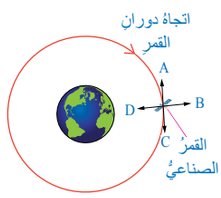
2. شكلانِ قوتا الشدِّ فيهما متساويةٌ، وتساوي وزنَ الثقلِ، هما:
أ. A و B ب. B و C جـ. A و C د. A و D

3. في أيِّ الأشكالِ قوةُ الشدِّ في الحبلِ هيَ الأكبرُ؟
أ. A ب. B جـ. C د. D

4. في أيِّ الأشكالِ قوةُ الشدِّ في الحبلِ هيَ الأصغرُ؟
أ. A ب. B جـ. C د. D

5. القوةُ الّتي تجذبُ الأرضُ بها الجسمَ تسمّى:
أ. قوةَ الشدِّ ب. قوةَ الاحتكاكِ جـ. الوزنَ د. القوةَ العموديةَ

يتحركُ قمرٌ صناعيٌّ حولَ الأرضِ حركةً دائريةً منتظمةً في مدارٍ دائريٍّ، ويوضحُ الشكلُ المجاورُ القمرَ الصناعيَّ عندَ أحدِ مواقعهِ في المدارِ. أستعينُ بالشكلِ للإجابةِ عنِ الأسئلةِ 6 - 9:



6. القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ في القمرِ الصناعيِّ هيَ:
أ. قوةٌ عموديةٌ، في اتجاهِ A ب. قوةٌ مماسيةٌ، في اتجاهِ B
جـ. قوةُ طردٍ مركزيٍّ، في اتجاهِ C د. قوةٌ مركزيةٌ، في اتجاهِ D

7. إذا انعدمتِ القوةُ المؤثرةُ في القمرِ الصناعيِّ، فإنَّهُ سيتحركُ في اتجاهِ السهمِ:
أ. A ب. B جـ. C د. D

8. منشأُ القوةِ المحصلةِ المؤثرةِ في القمرِ الصناعيِّ هوَ:
أ. قوةُ احتكاكٍ ب. قوةٌ عموديةٌ
جـ. قوةُ تجاذبٍ كتليٍّ د. قوةُ شدٍّ

9. إذا تضاعفتِ المسافةُ بينَ مركزيِّ الأرضِ والقمرِ الصناعيِّ مرتيْنِ، فإنَّ قوةَ التجاذبِ الكتليِّ بينهُما:
أ. تصبحُ ربعَ قيمتِها الابتدائيةِ. ب. تتضاعفُ أربعَ مراتٍ.
جـ. تصبحُ نصفَ قيمتِها الابتدائيةِ. د. تتضاعفُ مرّتيْنِ.

مراجعة الوحدة

1 – 1 أ.

2 – أ .

3 – جـ .

4 – د .

5 – جـ

6 – د.

7 – جـ

8 – جـ

9 – أ

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

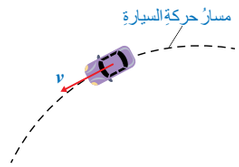
❋ **التفكير: التأمُّل والتساؤل.**

أخبر الطلبة أنَّ التأمُّل والتساؤل يُؤثِّران إيجابًا في قدرتهم على التركيز والاستيعاب ومثال ذلك عند رسمهم مخطط الجسم الحرّ ثم التأمل في متجهات القوى من أجل فهمها وتحليل المسألة.

10. مسبارٌ (مجسٌّ) فضائيٌّ (space probe) على بُعدٍ معيَّنٍ منَ الأرضِ. إذا كانَ وزنُ جسمٍ موجودٍ في المسبارِ (3.5 N)، وتسارعُ السقوطِ الحرِّ في موقعِ المسبارِ ($7\ m/s^2$)، فإنَّ كتلةَ هذا الجسمِ ووزنَهُ على سطحِ الأرضِ على الترتيبِ:

أ. 0.5 kg، 3.5 N ب. 0.5 kg، 5 N جـ. 2 kg، 3.5 N د. 2 kg، 20 N

11. يوضحُ الشكلُ المجاورُ منظرًا علويًّا لسيارةٍ تتحركُ في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا. بناءً على ما سبقَ؛ فأيُّ الجملِ الآتيةِ صحيحةٌ؟



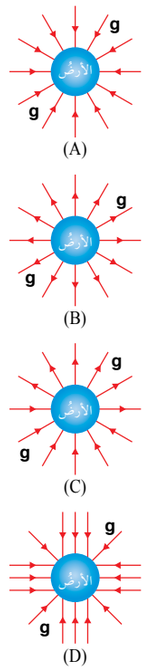
أ. القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ في السيارةِ تساوي صفرًا؛ لأنَّها تتحركُ بسرعةٍ ثابتةٍ.

ب. القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ في السيارةِ لا تساوي صفرًا، وتؤثرُ فيها نحوَ خارجِ المسارِ.

جـ. القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ في السيارةِ لا تساوي صفرًا، وتؤثرُ فيها نحوَ مركزِ المسارِ.

د. القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ في السيارةِ لا تساوي صفرًا، وتؤثرُ فيها في اتجاهِ حركتِها.

12. أيُّ الأشكالِ الموضحةِ في الشكلِ المجاورِ يُمثِّلُ اتجاهَ تسارعِ الجاذبيةِ الأرضيةِ؟



أ. A ب. B جـ. C د. D

13. تستقرُّ سيارةٌ كتلتُها (1.5×10^3 kg) على طريقٍ أُفقيٍّ خشنٍ. عندَ محاولةِ سائقِها تشغيلَها لمْ يعملِ المحركُ، فساعدهُ شخصٌ ودفعَ السيارةَ بقوةٍ أُفقيةٍ مقدارُها (400 N)، ولمْ يستطعْ تحريكَها. أيُّ القوى الآتيةِ تساوي مقدارَ قوةِ دفعِ هذا الشخصِ:

أ. قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ التي يؤثرُ بها سطحُ الطريقِ في قدمَي الشخصِ.

ب. قوةُ الجاذبيةِ المؤثرةُ في السيارةِ.

جـ. القوةُ العموديةُ المؤثرةُ في السيارةِ.

د. قوة الاحتكاكِ الحركيِّ التي يؤثرُ بها سطحُ الطريقِ في قدمَي الشخصِ.

2. أُفسِّرُ: في أيِّ اتجاهٍ يؤثرُ التسارعُ المركزيُّ؟ وهلْ يؤدي إلى تغيرِ مقدارِ السرعةِ المماسيةِ؟ أُفسِّرُ إجابتي.

3. أُحدِّدُ منشأَ القوةِ التي تسبِّبُ الحركةَ الدائريةَ للأجسامِ الآتيةِ:

أ. حركةُ الأرضِ في مدارٍ حولَ الشمسِ.

ب. حركةُ الملابسِ في حوضِ التجفيفِ الأسطوانيِّ في غسّالةٍ (أيْ مُجفِّفةِ الملابسِ).

جـ. حركةُ كرةٍ مربوطةٍ في نهايةِ خيطٍ في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ.

د. حركةُ الإلكترونِ حولَ النواةِ.

10–ب .

11–جـ .

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 ثابتا في الحركة الدائرية المنتظمة.

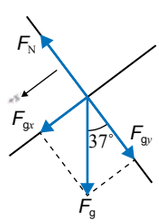
3 أ. قوة التجاذب الكتلي بين كتلة الأرض وكتلة الشمس.

ب. القوة العمودية التي يؤثر بها الجدار الداخلي لحوض التجفيف نحو محور الحوض الأسطواني.

جـ. قوة الشد في الخيط.

د. قوة جذب كهرسكونية بين الإلكترون السالب الشحنة، والنواة الموجبة الشحنة.

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:



$$F_{gx} = F_g \sin\theta$$
$$= mg \sin 37^\circ = 2 \times 10 \times 0.6 = 12\ N$$
$$F_{gy} = F_g \cos\theta$$
$$= mg \cos 37^\circ = 2 \times 10 \times 0.8 = 16\ N$$

أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الصندوق في اتجاه المحور y، مع مراعاة أنه لا توجد حركة عليه.

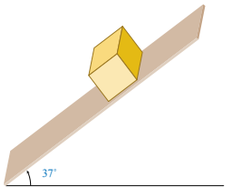
$$\sum F_y = 0$$
$$F_N - F_{gy} = 0$$
$$F_N = F_{gy} = 16\ N$$

ب. لحساب تسارعه نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور x.

$$\sum F_x = ma$$
$$F_{gx} = ma$$
$$a = \frac{F_{gx}}{m} = \frac{12}{2} = 6\ m/s^2$$

4. **أحسبُ: صندوقٌ كتلتهُ (2 kg)، ينزلقُ على مستوًى مائلٍ أملسَ، يميلُ على الأفقيِّ بزاويةِ (37°)، كما هوَ موضحٌ في الشكلِ المجاورِ. إذا علمتُ أنَّ $\sin 37° = 0.6$ ،$\cos 37° = 0.8$، فأحسبُ:**

أ . القوةَ العموديةَ المؤثرةَ في الصندوقِ. ب . تسارعَ الصندوقِ.



5. **أحسبُ: يدورُ قمرٌ صناعيٌّ لتحديدِ المواقعِ (GPS) حولَ الأرضِ في مدارٍ ارتفاعهُ (2.02×10^7 m) فوقَ سطحِها. إذا علمتُ أنَّ كتلتَهُ (1.6×10^3 kg)، فأحسبُ:**

أ . قوةَ التجاذبِ الكتليِّ بينَ القمرِ الصناعيِّ والأرضِ.

ب . تسارعَ الجاذبيةِ الأرضيةِ في موقعِ القمرِ الصناعيِّ.

6. **تفكيرٌ ناقدٌ: تُزوَّدُ سياراتُ السباقِ بإطاراتٍ مسطحةٍ (slick)؛ للسباقِ على طرقٍ جافةٍ، بينَما تُزوَّدُ بإطاراتٍ بها أخاديدُ للسباقِ على طرقٍ مبتلةٍ. أنظرُ الشكلَ المجاورَ.**

أ . **أُفسِّرُ** سببَ استخدامِ كلِّ نوعٍ.

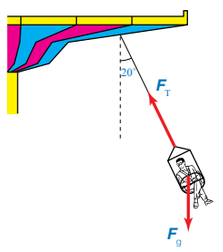
ب . بما أنَّ الاحتكاكَ يعتمدُ على طبيعةِ السطحيْنِ المتلامسيْنِ، فما أهميةُ الأخاديدِ في إطاراتِ السيارةِ؟

7. **أحسبُ: إذا علمتُ أنَّ كتلةَ المشتري (1.9×10^{27} kg) تقريبًا، ونصفَ قطرِهِ (7.15×10^7 m) تقريبًا، فأحسبُ مقدارَ:**

أ . تسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ المشتري.

ب . وزنِ هدى على سطحِ المشتري، إذا علمتُ أنَّ كتلتَها (60 kg).

8. **أحلِّلُ: يجلسُ راكبٌ على كرسيٍّ أفعوانيةٍ معلقٍ بسلسلةٍ مهملةِ الكتلةِ متصلةٍ بقرصٍ دوّارٍ، كما هوَ موضحٌ في الشكلِ المجاورِ. إذا علمتُ أنَّ الأفعوانيةَ تتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً، وكتلةَ الراكبِ والكرسيِّ (95 kg)، ونصفَ قطرِ المسارِ الدائريِّ الذي يتحركُ بهِ الراكبُ والكرسيُّ (4.5 m)، وتَصنعُ السلسلةُ زاويةَ (20°) بالنسبةِ إلى الرأسيِّ، فأحسبُ مقدارَ:**



أ . قوةِ الشدِّ في السلسلةِ.

ب . السرعةِ المماسيةِ للراكبِ في الكرسيِّ.

9. **قمرٌ صناعيٌّ كتلتهُ (135 kg) يدورُ في مدارٍ منخفضٍ حولَ الأرضِ على ارتفاعِ (250 km) منْ سطحِها. إذا كانَ الزمنُ الدوريُّ لهُ (90 min)، وبافتراضِ أنَّ مسارَهُ دائريٌّ؛ فأجيبُ عمّا يأتي:**

أ . **أحسبُ** مقدارَ السرعةِ المماسيةِ للقمرِ الصناعيِّ في مدارِهِ.

ب . **أحسبُ** مقدارَ التسارعِ المركزيِّ للقمرِ الصناعيِّ.

جـ . **أحسبُ** مقدارَ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ فيهِ.

د . **أصفُ** منشأَ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في القمرِ الصناعيِّ.

5 أ.

$$F_g = \frac{Gm_1 m_2}{r^2} = \frac{Gm_1 m_2}{(r_E + R)^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(5.98 \times 10^{24})(1.6 \times 10^3)}{(6.38 \times 10^6 + 2.02 \times 10^7)^2}$$

$$= 9.03 \times 10^2 \text{ N}$$

ب.

$$F_C = F_g$$

$$m_{satellite} a_C = 9.03 \times 10^2 \text{ N}$$

$$a_C = \frac{9.03 \times 10^2}{m_{satellite}} = \frac{9.03 \times 10^2}{1.6 \times 10^3} = 0.56 \text{ m/s}^2$$

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.

ب. في حالة وجود ماء على الطريق تتشكل طبقة فاصلة من الماء بين الإطار وسطح الطريق، مما يقلل التلامس بينهما، وتطفو السيارة على هذه الطبقة، حيث تتحرك إطارات السيارة على طبقة من الماء، فتنزلق ويصعب السيطرة على السيارة، ويساعد وجود الأخاديد على انسياب المياه من أسفل الإطار وتصريفها، بحيث يبقى ملامسًا لسطح الطريق.

7 أ.

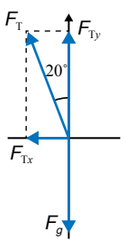
$$g_{Jupiter} = \frac{Gm_{Jupiter}}{r_{Jupiter}^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(1.9 \times 10^{27})}{(7.15 \times 10^7)^2}$$

$$= 24.8 \text{ m/s}^2$$

ب.

$$F_{g,H} = m_H g = (60)(24.8) = 1.488 \times 10^3 \text{ N}$$

8 أ.



$$F_{Ty} = F_g$$

$$F_T \cos\theta = mg$$

$$F_T = \frac{(95)(10)}{\cos 20°} = 1.01 \times 10^3 \text{ N}$$

ب.

$$F_C = F_{Tx}$$

$$m\frac{v^2}{r} = 1.01 \times 10^3 \sin 20° = 345.44 \text{ N}$$

$$v^2 = \frac{(345.44)(4.5)}{95} = 16.36$$

$$v = 4.04 \text{ m/s}$$

$$\approx 4 \text{ m/s}$$

9 أ.

$$r = r_E + R = 6.38 \times 10^6 + 2.50 \times 10^5 = 6.63 \times 10^6 \text{ m}$$

$$T = 90 \times 60 = 5400 \text{ s}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi(6.63 \times 10^6)}{5400} = 7.71 \times 10^3 \text{ m/s}$$

ب.

$$a_C = \frac{v^2}{r} = \frac{(7.71 \times 10^3)^2}{(6.63 \times 10^6)} = 9 \text{ m/s}^2$$

جـ.

$$F_C = ma_C = (135)(9) = 1.22 \times 10^3 \text{ N}$$

د . منشأ القوة المركزية المؤثرة في القمر الصناعي هو قوة التجاذب الكتلي بين كتلة القمر وكتلة الأرض.

مراجعةُ الوحدةِ

10. أُحلّلُ: في إحدى الألعابِ الرياضيةِ يدوِّرُ لاعبٌ مطرقةً كتلتُها (7.26 kg) متصلةً بإحدى نهايتيْ سلسلةٍ طولُها (1.21 m) في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ، كما هوَ موضحٌ في الشكلِ المجاورِ. واللاعبُ الفائزُ هوَ الذي يرميها إلى أبعدِ مسافةٍ ممكنةٍ. فإذا دارَ لاعبٌ حولَ نفسهِ وهوَ ممسكٌ بالطرفِ الحرِّ للسلسلةِ على بُعدِ (0.64 m) منْ محورِ دورانهِ، وأكملَ دورةً كاملةً خلالَ (0.55 s)، وبافتراضِ أنَّ اللاعبَ حركَ السلسلةَ والمطرقةَ في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ في أثناءِ دورانهِ، فأحسبُ مقدارَ:

أ . السرعةِ المماسيةِ للمطرقةِ.

ب . القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في المطرقةِ قبيلَ إفلاتِها.

11. أحسبُ: تتحركُ سيارةٌ كتلتُها (9×10^2 kg) في مسارٍ دائريٍّ نصفُ قطرهِ (70 m) بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا. إذا كانَ معاملُ الاحتكاكِ السكونيِّ بينَ إطاراتِ السيارةِ وسطحِ الطريقِ (0.70)، والقوةُ المركزيةُ المؤثرةُ فيها (2.5×10^3 N)، وسطحُ الطريقِ أفقيٌّ، فأحسبُ مقدارَ:

أ . التسارعِ المركزيِّ للسيارةِ.

ب . السرعةِ المماسيةِ للسيارةِ.

جـ . أكبرِ سرعةٍ يمكنُ أنْ تتحركَ بها السيارةُ على هذا الطريقِ منْ دونِ أنْ تنزلقَ.

12. أحسبُ: يُبينُ الشكلُ المجاورُ لعبةَ الحصانِ الدوّارِ (دوّامةِ الخيلِ) (carousel)، في إحدى مدنِ الألعابِ؛ حيثُ تتحركُ حركةً دائريةً منتظمةً حولَ محورِ دورانٍ. فإذا ركبَ طفلٌ كتلتُهُ (30 kg) أحدَ الأحصنةِ الموجودةِ على اللعبةِ، وكانَ بُعدهُ عنْ محورِ الدورانِ (3 m)، والحصانُ يُتمُّ دورةً كاملةً كلَّ (20 s)، فأحسبُ مقدارَ كلٍّ منْ:

أ . السرعةِ المماسيةِ للطفلِ.

ب . القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في الطفلِ.

جـ . السرعةِ المماسيةِ للطفلِ عندَما يجلسُ على حصانٍ آخرَ يبعدُ عنْ محورِ الدورانِ (4 m).

13. حلّقتْ في أحدِ العروضِ الجويةِ إحدى طائراتِ سلاحِ الجوِّ الملكيِّ الأُردنيِّ كتلتُها (1.2×10^4 kg)، في مسارٍ دائريٍّ أُفقيٍّ نصفُ قطرهِ (1 km)، بحيثُ أتمَّتِ الطائرةُ دورتيْنِ خلالَ (1 min). أجيبُ عمّا يأتي:

أ . أحسبُ مقدارَ سرعتِها المماسيةِ.

ب . أحسبُ مقدارَ تسارعِها المركزيِّ.

جـ . أحسبُ مقدارَ القوةِ المركزيةِ المؤثرةِ في الطيارِ؛ إذا علمتُ أنَّ كتلتَهُ (70 kg).

د . أقارنُ مقدارَ التسارعِ المركزيِّ المؤثرِ في الطيارِ بتسارعِ السقوطِ الحرِّ على سطحِ الأرضِ، ماذا أستنتجُ؟

10 أ.

$$r = 1.21 + 0.64 = 1.85 \text{ m}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2\pi\,(1.85)}{0.55} = 21.1 \text{ m/s}$$

ب.

$$F_C = m\,\frac{v^2}{r} = \frac{(7.26)(21.1)^2}{1.85} = 1.75 \times 10^3 \text{ N}$$

11 أ.

$$a_C = \frac{F_C}{m} = \frac{(2.5 \times 10^3)}{(9 \times 10^2)} = 2.78 \text{ m/s}^2$$

ب.

$$v^2 = a_C\, r = (2.78)(70) = 194.6$$

$$v = 13.95 \text{ m/s}$$

جـ.

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

$$m\,\frac{v_{max}^{\ 2}}{r} = \mu_s\, F_N = \mu_s\, mg$$

$$v_{max}^{\ 2} = \mu_s\, r\, g$$

$$= (0.70)(70)(10) = 490$$

$$v_{max} = 22.14 \text{ m/s}$$

12 أ.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3.14)(3)}{20}$$

$$= 0.94 \text{ m/s}$$

ب.

$$F_C = \frac{mv^2}{r} = \frac{(30)(0.94)^2}{3} = 8.84 \text{ N}$$

جـ.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3.14)(4)}{20} = 1.26 \text{ m/s}$$

13 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.

$$a_C = \frac{v^2}{r} = \frac{(209.4)^2}{1000}$$

$$= 43.9 \text{ m/s}^2$$

جـ.

$$F_C = ma_C = (70)(43.9) = 3.073 \times 10^3 \text{ N}$$

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.

الوحدة الخامسة: الموائع FLUIDS

تجربة استهلالية: خواص الموائع.			
الدرس	النتاجات	التجارب والأنشطة	عدد الحصص
الأول: **الموائع الساكنة.**	• توضيح المفاهيم المتعلقة بالموائع الساكنة. • توظيف التجارب العملية في التحقق من قاعدة أرخميدس .	• قوة الطفو وقاعدة أرخميدس.	5
الثاني: **الموائع المتحركة.**	• توضيح المفاهيم المتعلقة بالموائع المتحركة. • استقصاء خصائص المائع المثالي والعوامل المؤثرة في حركته. • توظيف التجارب العملية في التحقق من معادلة برنولي. • توظيف المعرفة بالمفاهيم والعلاقات الخاصة بحركة الموائع في حل مسائل حسابية، وتفسير مواقف حياتية متعلقة بها. • توظيف التجارب العملية في تعرُّف خصائص الموائع المتحركة وتطبيقاتها.	• خصائص الموائع المتحركة.	5

النتاجات السابقة	الصف	النتاجات اللاحقة	الصف
• توضيح المفاهيم المتعلقة بميكانيكا الموائع.	الثامن		
• توضيح المفاهيم المتعلقة بميكانيكا الموائع. • تعرّف معادلة تصف الضغط الذي يؤثر به مائع في نقطة داخله. • استقصاء خصائص ضغط المائع عند نقطة داخله، والعوامل التي يعتمد عليها. • تعرّف أجهزة قياس الضغط والضغط الجوي.	التاسع		

الوحدةُ 5

الموائع Fluids

أتأمَّلُ الصورةَ

قالَ اللّهُ تعالى: ﴿ وَلَهُ ٱلْجَوَارِ ٱلْمُنشَـَٔاتُ فِى ٱلْبَحْرِ كَٱلْأَعْلَٰمِ ﴿٢٤﴾ ﴾. (سورةُ الرحمنِ، الآيةُ 24)

تُعدُّ السفنُ والبواخرُ منْ آياتِ اللهِ تعالى الدالةِ على قدرتِهِ وسلطانِهِ، وهيَ منْ وسائلِ النقلِ البحريةِ الرئيسةِ والمهمةِ؛ حيثُ تُستخدَمُ في عملياتِ نقلِ الركابِ والسياحِ وشحنِ البضائعِ والنفطِ بينَ الدولِ عبرَ البحارِ والمحيطاتِ، وتصلُ حمولتُها إلى مئاتِ آلافِ الأطنانِ، ومعَ ذلكَ تطفو فوقَ سطحِ الماءِ ولا تغرقُ، فما الذي يجعلُ تلكَ السفنَ والبواخرَ تطفو على سطحِ الماءِ رغمَ أنَّها مصنوعةٌ منْ فلزِّ الحديدِ الذي لا يطفو على سطحِ الماءِ؟

- أبيِّن للطلبة أن السفينة وسيلة نقل عامة على سطح الماء للركاب والبضائع، استخدمها الإنسان منذ القدم للتنقل على المسطحات المائية، وهي إحدى أعمدة التجارة والنقل الحديث.
- ألفت انتباه الطلبة أنه على الرغم من أن السفن والبواخر تصنع من الحديد أو الفولاذ الأكثر كثافة من الماء ووزنها وما بها من حمولة يصل إلى مئات الملايين من النيوتن، إلا أنها تطفو فوق سطح الماء.
- أوضِّح للطلبة أن السفن تطفو بسبب قوة دفع الماء لها (قوة الطفو)، حيث تحتوي السفينة على تجويفات هوائية تجعل متوسط كثافة السفينة أقل من كثافة الماء.
- أبيِّن للطلبة أن السفن حاليًّا أكثر أمانًا من ذي قبل؛ فهي مجهزة بأنظمة الرادار والملاحة، فضلا عن وجود نظام تحديد المواقع العالمي GPS لتعقُّب مكان السفن وتوافر شبكة الإنترنت. إضافة إلى الخطوط والتدريجات التي توضع على مقدمة السفينة وجوانبها Draft Mark التي تحدد العمق الآمن وحدود التحميل القصوى الّتي أسهمت في الحد من حوادث الغرق الناتجة عن الحمولة الزائدة.

الوحدةُ 5

الموائع Fluids

أتأمَّل الصورة

- أوجِّه انتباه الطلبة إلى تأمل صورة السفينة التي تحمل على متنها السياح غالبًا، ثم أطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– هل سبق لك أن شاهدت أو ركبت سفينة؟ هل شعرت بالخوف من غرق تلك السفينة وأنت على متنها ؟

– ما المادة التي تصنع منها السفن؟ هل كثافة تلك المادة أكبر من كثافة مياه البحر أم أقل منها؟

هيكل السفينة يصنع غالبًا من الفولاذ ومواد أخرى مختلفة الكثافة. وكثافة الفولاذ أكبر بكثير من كثافة مياه البحر.

– ما القوة التي تؤثر في السفينة وتجعلها تطفو فوق سطح البحر رغم وزنها الكبير جدًّا؟

قوة دفع الماء لها (قوة الطفو) المساوية لوزن السفينة .

– هل هناك حدود آمنة لحمولة السفينة ووزنها؟

نعم؛ هناك تدريجات وخطوط مرسومة على جسم السفينة تسمى خطوط التحميل الآمنة؛ تشير إلى الحد الأقصى لحمولة السفينة بما فيها وزن السفينة، ويجب عدم تجاوزها.

الفكرة العامة:

- أكتب الفكرة العامة على اللوح، ثم أوجِّه الطلبة إلى استخراج المفاهيم التي تتناولها، ثم أطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

– هل كثافة الغاز أو الهواء داخل المنطاد المحلق في سماء وادي رم جنوب الأردن في الصورة أكبر من كثافة الهواء الجوي المحيط بالمنطاد أم أقلّ؟

تستخدم في المنطاد إما غازات كثافتها أقل من كثافة الهواء المحيط به مثل غاز الهيليوم أو الهيدروجين، وإما أنه يجري تسخين الهواء داخل المنطاد فتقل كثافته؛ لتصبح أقل من كثافة الهواء المحيط به.

– هل يزداد ضغط الهواء عندما تزداد سرعته؟ أم يقل؟ وما علاقة ذلك بطيران الطائرة؟

يقل ضغط الهواء كلما ازدادت سرعته، وسرعة الهواء فوق جناح الطائرة تكون أكبر منها أسفل الجناح؛ مما يولد فرقًا في الضغط، ومن ثَم تنشأ قوة رفع تدفع بالأجنحة والطائرة إلى أعلى.

مشروع الوحدة:

تصميم طائرة عمودية

تحقيقًا لمنحى STEAM ولتدريب الطلبة على تطبيق خطوات بناء المشروع العلمي بدءًا من التخطيط والتصميم وبناء النماذج العلمية المناسبة واختبار تلك النماذج؛ جاء هذا المشروع –تصميم طائرة عمودية (مروحية)– تطبيقًا لما تعلمه الطلبة عن معادلة برنولي وتطبيقاتها. أوجِّه الطلبة إلى إمكانية الاستفادة من المواقع الإلكترونية الموثوقة والآمنة في البحث عن مقاطع فيديو تعليمية وتصاميم مشابهة في هذا المجال؛ مثل التصميم المبين في الشكل، ثم أُجري الخطوات الآتية:

- أتفق مع الطلبة على معايير تقويم المشروع.

الفكرةُ العامةُ:

تختلفُ الموائعُ (السوائلُ والغازاتُ) الساكنةُ عنِ الموائعِ المتحركةِ في خصائصِها وسلوكِها والمعادلاتِ التي تصفُ حركتَها، وكلاهُما يلعبُ دورًا مهمًّا وحيويًّا في حياتِنا، إضافةً إلى تطبيقاتِها العمليةِ في مختلفِ المجالاتِ والتخصصاتِ.

الدرسُ الأولُ: الموائعُ الساكنةُ

الفكرةُ الرئيسةُ: يؤثرُ المائعُ الساكنُ في الأجسامِ المغمورةِ فيهِ كليًّا أوْ جزئيًّا بقوةِ دفعٍ تُسمّى قوةَ الطفْوِ.

الدرسُ الثاني: الموائعُ المتحركةُ

الفكرةُ الرئيسةُ: للموائعِ المتحركةِ خصائصُ وسلوكاتٌ وتطبيقاتٌ خاصةٌ بِها، يمكنُ تفسيرُها عنْ طريقِ معادلةِ الاستمراريةِ ومعادلةِ برنولي.

56

- أقسِّم الطلبة مجموعات، وأكلِّف كل مجموعة بتصميم نموذج للطائرة العمودية.
- أناقش مع طلبة الصف التصاميم المقدمة من المجموعات؛ لاختيارالتصميم المناسب بالاعتماد على المعايير التي اتُّفِق عليها.
- أكلِّف المجموعات بتنفيذ التصميم المتفق عليه واختباره عمليًّا أمام الطلبة (قدرة الطائرة المصممة على الطيران، والقدرة على التحكم بها باستخدام جهاز التحكم (الريموت)، علمًا بأنَّه يمكن شراء جهاز التحكم والشريحة الخاصة به من محلات الإلكترونيات.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **القضايا ذات العلاقة بالعمل: إدارة المشاريع.**

أوجِّه الطلبة إلى أهمية التخطيط للمشروع بشكل دقيق وعلمي، ودراسته، وجمع معلومات كافية عنه قبل البدء بتنفيذه، وعمل المخططات والتصاميم المناسبة، واختبارها.

تجربةٌ استهلاليةٌ

خصائصُ الموائعِ

الموادُّ والأدواتُ: كأسانِ شفافتانِ، ماصةٌ، مشرطٌ، ورقتا رقائقِ ألمنيوم متماثلتانِ، ماءٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ في التعاملِ معَ الأدواتِ الزجاجيةِ والحادةِ.

خطواتُ العملِ: بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أنفذُ الخطواتِ الآتيةَ:

الجزءُ الأولُ:

1. **ألاحظُ:** أملأُ الكأسَ الزجاجيةَ بالماءِ، ثم أطوي إحدى رقائقِ الألمنيوم طياتٍ عدةً؛ حتى تصبحَ على شكلِ مكعبٍ أوْ كرةٍ مصمتةٍ وأضعُها على سطحِ الماءِ وألاحظُ ما يحدثُ لَها.
2. **أصممُ** منْ رقاقةِ الألمنيوم الثانيةِ شكلًا مجوفًا على شكلِ قاربٍ بسيطٍ مثلًا كما في الشكلِ، وأضعهُ على سطحِ الماءِ. أدونُ ملاحظاتي حولَ ما يحدثُ للقاربِ.

الجزءُ الثاني:

1. أضيفُ كميةً منَ الماءِ في الكأسِ، وأستخدمُ المشرطَ في قطعِ الماصّةِ إلى نصفيْنِ؛ بحيثُ يبقى نصفاها معلقيْنِ معًا، وأثنيها لتكونَ الزاويةُ بينَ نصفيْها قائمةً تقريبًا. أضعُ النصفَ الأولَ من الماصةِ في الكأسِ بشكلٍ رأسيٍّ، بحيثُ ينغمرُ جزءٌ منهُ في الماءِ، والنصفُ الثاني بشكلٍ أفقيٍّ، كما في الشكلِ.
2. **ألاحظُ:** أنفخُ في الطرفِ الأيسرِ للماصةِ الأفقيةِ، وأدونُ ملاحظاتي حولَ حركةِ الماءِ داخلَ الماصةِ الرأسيةِ، وعندَ فوهتِها.
3. **أقارنُ:** أكررُ الخطوةَ (2) ولكنْ بالنفخِ بقوةٍ أكبرَ لزيادةِ سرعةِ الهواءِ في الماصةِ الأفقيّةِ، وأدونُ ملاحظاتي حولَ الفرقِ بينَ نتائجِ الخطوتيْنِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أحللُ:** هلِ اختلفَ متوسطُ كثافةِ القاربِ عنْ كثافةِ رقاقةِ الألمنيوم التي صُنِعَ منْها القاربُ؟ أوضِّحُ ذلكَ.
2. **أفسرُ:** (تغرقُ رقاقةُ الألمنيوم الأولى في الماءِ وتستقرُّ في قعرِ الكأسِ، بينَما تطفو الأخرى فوقَهُ رغمَ أنَّ وزنَ كلٍّ منَ الرقاقتيْنِ نفسُهُ)، ما السببُ؟
3. **أتنبأُ:** ماذا سيحدثُ للقاربِ إذا وضعْنا بعضَ الأثقالِ الخفيفةِ فوقَهُ؟
4. أحددُ اتجاهَ حركةِ الماءِ في الماصةِ الرأسيةِ عندَ النفخِ في الماصةِ الأفقيةِ.
5. هلْ حدثَ فرقٌ بينَ ضغطِ الهواءِ فوقَ سطحِ الماءِ في الكأسِ، وضغطِهِ في الماصةِ الرأسيةِ بعدَ نفخِ الهواءِ؟ أُوَضِّحُ ذلكَ.
6. **أصفُ** ما يحدثُ للماءِ في كلٍّ منَ الكأسِ والماصةِ الرأسيةِ وعندَ فوهتِها في الخطوتيْنِ (2) و(3). وما علاقةُ ذلكَ بفرقِ ضغطِ الهواءِ؟

الماصة الرأسية نتيجة فرق ضغط الهواء؛ حيث ينتقل السائل من منطقة الضغط المرتفع إلى منطقة الضغط المنخفض.

الخطوة (3): يهبط مستوى الماء بشكل أكبر في الكأس ويرتفع بشكل أكبر كذلك في الماصة الرأسية؛ نتيجة زيادة الفرق في ضغط الهواء.

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. **أداة التقويم:** سلم التقدير العددي.

الرقم	معيار الأداء	1	2	3	4
1	الالتزام بتعليمات الأمان والسلامة العامة أثناء تنفيذ خطوات التجربة.				
2	تنفيذ خطوات التجربة بدقة.				
3	تصميم قاربًا يطفو فوق سطح الماء.				
4	وصف نتائج التجربة التي تم التوصل إليها.				
5	مقارنة النتائج التي تم توصل إليها بنتائج الزملاء.				
6	احترام الرأي والرأي الآخر.				

تجربة استهلالية

الهدف:

- استقصاء العلاقة بين كلٍّ من: متوسط كثافة الجسم وكثافة المائع وطفو الجسم في المائع عمليًّا.
- استقصاء العلاقة بين سرعة المائع وضغطه عمليًّا (معادلة برنولي).

زمن النشاط: 20 دقيقة.

إرشادات السلامة: أحذّر الطلبة عند التعامل مع الأدوات الزجاجية والحادة .

المهارات العلمية: المقارنة، الملاحظة، التوقع، الاستنتاج، التفسير، الوصف، التنبؤ.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجّه الطلبة إلى الاستعانة بدليل الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، وأنبّه الطلبة إلى:

– التأكد من عدم تسرب المياه إلى داخل القارب أثناء تصميمهم الشكل المجوف.

– وضع ثقل داخل القارب؛ ليساعد على اتزان القارب وعدم انقلابه.

– عدم ملامسة الماصة الرأسية أسفل كأس الماء.

النتائج المتوقعة:

من المتوقع أن يتوصل معظم الطلبة إلى نتائج دقيقة وصحيحة، لكن ربما لا يطفو القارب المصمم فوق الماء عند بعضهم؛ بسبب تسرب المياه إليه أوعدم انتظام شكله.

التحليل والاستنتاج:

1. نعم؛ متوسط كثافة القارب هي متوسط كثافة كل من مادة الألمنيوم والهواء داخل تجويف القارب، وهي أقل من كثافة الألمنيوم التي صنع منها القارب أو كثافة مكعب الألمنيوم (كثافة الألمنيوم أكبر من كثافة الهواء).
2. لأن متوسط كثافة القارب (كثافة الهواء وكثافة الألمنيوم) الذي صنع من رقاقة الألمنيوم الثانية أقل من كثافة المكعب (الألمنيوم) الذي صنع من الرقاقة الأولى وأقل من كثافة الماء؛ ومن ثَمَّ فإنه يطفو وتكون قوة دفع السائل للقارب مساوية لوزنه، بينما قوة دفع السائل للمكعب أقل من وزنه؛ فيغرق.
3. يزداد حجم الجزء المغمور من القارب في السائل.
4. يندفع الماء رأسيًّا إلى أعلى في الماصة الرأسية.
5. نعم؛ يقل ضغط الهواء عند فوهة الماصة الرأسية ليصبح ضغط الهواء فوق سطح الماء في الكأس (الضغط الجوي) أكبر منه فوق سطح الماء في الماصة الرأسية، فيتولد فرق في الضغط.
6. الخطوة (2): يهبط مستوى الماء في الكأس بينما يرتفع في

الدرس 1

الموائع الساكنة
Static Fluids

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:

- أوضِّح للطلبة أن الموائع الساكنة فرع من فروع ميكانيكا الموائع (السوائل والغازات) التي تُعنى بدراسة الموائع في حالة السكون؛ من حيث الضغط الذي يؤثر به المائع في الأجسام المغمورة فيه، وكذلك قوة دفع المائع لتلك الأجسام، التي تسمى قوة الطفو Buoyant Force.
- أوجِّه الأسئلة الآتية إلى الطلبة:

– ما القوى العمودية المؤثرة في تلك السفن؟

وزن السفينة إلى أسفل، وقوة دفع الماء إلى أعلى أي: (قوة الطفو).

– هل السفن والبواخر الطافية على سطح الماء في حالة اتزان؟

نعم؛ حيث إن القوة المحصلة العمودية المؤثرة فيها تساوي صفرًا.

الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكِّر الطلبة بما تعلموه سابقًا عن: الكثافة وعلاقتها بالحجم، قوة الطفو وعلاقتها بالكثافة، الضغط وعلاقته بالقوة، العوامل المؤثرة في ضغط السائل، الضغط الذي يؤثر به المائع في نقطة داخله، عن طريق المناقشة، وطرح أمثلة من الحياة اليومية.

أتحقَّق:

الموائع: هي المواد التي تتصف بخاصيتي القدرة على الجريان وتغيير شكلها، وتشمل السوائل والغازات.

الدرس 1 — الموائعُ السكونيةُ — Static Fluids

الفكرةُ الرئيسةُ:

يؤثرُ المائعُ الساكنُ في الأجسامِ المغمورةِ فيهِ كليًّا أوْ جزئيًّا، بقوةِ دفعٍ رأسيًّا إلى أعلى تُسمّى قوةَ الطفوِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أوضِّحُ المفاهيمَ المتعلقةَ بالموائعِ الساكنةِ.
- أوظِّفُ التجاربَ العمليةَ في التحققِ منْ قاعدةِ أرخميدس.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

الموائعُ	Fluids
ضغطُ المائعِ	Fluid Pressure
قوةُ الطفوِ	Buoyant Force
قاعدةُ أرخميدس	Archimedes' Principle
مقياسُ كثافةِ السوائلِ	Hydrometer

الموائعُ Fluids

المادةُ في حالتِها الطبيعيةِ تكونُ على إحدى ثلاثِ حالاتٍ: (الصلبةِ أوِ السائلةِ، أوِالغازيةِ)، وتتميزُ المادةُ في الحالتيْنِ السائلةِ والغازيةِ عنْها في الحالةِ الصلبةِ بخاصيتَيْ الجريانِ (الانسيابِ)، وتغييرِ شكلِها إذا أثرتْ فيها قوًى خارجيةٌ؛ لأنَّ قوى التماسكِ بينَ جزيئاتِها ضعيفةٌ مقارنةً بالحالةِ الصلبةِ. ويُطلَقُ على الموادِّ التي تتصفُ بخاصيتَيْ القدرةِ على الجريانِ وتغييرِ الشكلِ **الموائعُ Fluids**.

إنَّ دراسةَ الموائعِ (السوائلِ والغازاتِ) لَها أهميةٌ كبيرةٌ في حياتِنا اليوميةِ يمكنُ ملاحظتُها بسهولةٍ؛ فالهواءُ تحلقُ فيهِ الطائراتُ والمناطيدُ، والماءُ تطفو على سطحِهِ السفنُ والبواخرُ، والدمُ يجري في أوردتِنا وشرايينِنا، إضافةً إلى تطبيقاتِ الموائعِ في مجموعةٍ واسعةٍ منَ التخصصاتِ الهندسيةِ والطبيةِ والأرصادِ الجويةِ، وتخصصَيْ الفيزياءِ والعلومِ الحياتيةِ. وتقسمُ الموائعُ منْ حيثُ حالتُها الحركيةُ إلى قسميْنِ هُما: **الموائعُ السكونيةُ Static Fluids والموائعُ المتحركةُ Fluids in Motion.**

عندَما تشاهدُ باخرةً تطفو على سطحِ الماءِ، كما في الشكلِ (1)، قدْ تتساءلُ: ما القوةُ التي يؤثرُ بِها الماءُ في السفينةِ لتطفوَ على سطحِ البحرِ؟

أتحقَّقُ: ما المقصودُ بالموائعِ؟

الشكلُ (1): باخرةٌ تطفو على سطحِ الماءِ.

2 التدريس

نشاط سريع

أحضر بالونًا وأنفخه وأربطه بشكل جيد من فوهته، وأوجِّه السؤال الآتي إلى الطلبة: ماذا سيحدث للبالون إذا تركته حرًا في هواء الغرفة؟ أفلت البالون وأدع الطلبة يشاهدون ما يحدث له. أدير نقاشًا حول ذلك؛ لمحاولة تفسير هبوط البالون إلى أسفل بينما نرى بالونات تطير في الهواء إلى أعلى ولا تهبط إلى أسفل.

أخطاء شائعة

يعتقد بعض الطلبة أن للمادة ثلاث حالات (صلبة، سائلة، غازية) فقط، أوضّح للطلبة أن هناك حالة رابعة للمادة وهي البلازما، كما في الشمس والنجوم وهي ليست موجودة في الحالة الطبيعية للمادة، ولكنها تنتج بفعل الضغط والحرارة الشديدين اللذين تتعرض لهما تلك الأجرام.

ضغطُ المائعِ Fluid Pressure

تعلمتُ في صفوفٍ سابقةٍ أنَّ **الضغطَ** P **(Pressure)** قوةٌ عموديةٌ F تؤثرُ في وحدةِ المساحةِ A ووحدةُ قياسِهِ في النظامِ الدوليِّ SI هيَ باسكال Pascal (Pa = N/m²)، وتعلمتُ أيضًا أنَّ المائعَ يؤثرُ بضغطٍ في جميعِ الاتجاهاتِ على النقاطِ أوِ الأجسامِ داخلَهُ ويُعطى بالعلاقةِ:

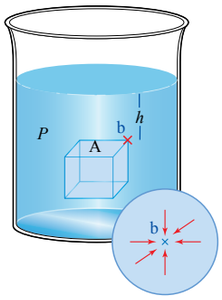
$$P = \rho_f gh$$

حيثُ: h : ارتفاعُ عمودِ المائعِ فوقَ تلكَ النقطةِ.

ρ_f : كثافةُ المائعِ.

g : تسارعُ السقوطِ الحرِّ.

أيْ أنَّ **ضغطَ المائعِ Fluid Pressure** المتجانسِ (كثافتهُ ثابتةٌ) عندَ أيةِ نقطةٍ داخلَهُ يتناسبُ طرديًّا مع كلٍّ منْ عمقِ النقطةِ داخلَ المائعِ، وكثافةِ المائعِ وتسارعِ السقوطِ الحرِّ. وحسبَ العلاقةِ أعلاهُ فإنَّ جميعَ النقاطِ التي تقعُ على العمقِ نفسِهِ تحتَ سطحِ المائعِ يكونُ الضغطُ عندَها لهُ القيمةُ نفسُها وفي جميعِ الاتجاهاتِ. فلو تخيّلتُ مكعبًا وهميًّا مغمورًا في مائعٍ متجانسٍ كالماءِ مثلًا كما في الشكلِ (2)، فإنَّ ضغطَ المائعِ P المؤثرَ إلى أسفلَ عندَ أيةِ نقطةٍ على سطحِ المكعبِ العلويِّ هوَ نفسهُ ضغطُ المائعِ عندَ النقطةِ b ($P = \rho_f gh$).



الشكلُ (2): الضغطُ داخلَ المائعِ.

أفكِّرُ: ضغطُ الماءِ المؤثرُ في السطحِ الأفقيِّ للمكعبِ لا يعتمدُ على مساحتهِ A. أفسرُ ذلكَ.

تمرينٌ

أجدُ ضغطَ الماءِ المؤثرَ في سمكةٍ على عمقِ 20 m تحتَ سطحِ البحرِ (كثافةُ ماءِ البحرِ 1024 kg m⁻³ ، $g = 10\ m\ s^{-2}$).

أتحقَّقُ: هلْ يتغيرُ ضغطُ سائلٍ معينٍ عندَ نقطةٍ ما فيهِ بتغيرِ ارتفاعِ موقعِ السائلِ عنْ سطحِ الأرضِ؟ أوضِّحُ إجابتي.

مثالٌ إضافيٌّ

غواص تحت سطح البحر يؤثر في جسمه ضغط مقداره 5×10^5 Pa، أحسب عمق الغواص عن سطح البحر؛ علمًا بأن كثافة ماء البحر 1024 kg m⁻³ وتسارع السقوط الحر 10 m s⁻².

الحل:

$P = \rho_f gh$

$5 \times 10^5 = 1024 \times 10 \times h \rightarrow h = 48.8$ m

تمرين

الحل:

$P = \rho_f gh = 1024 \times 10 \times 20 = 2.048 \times 10^5$ Pa

بناء المفهوم:

ضغط المائع

- أستخدم **استراتيجية الطاولة المستديرة**؛ عن طريق تقسيم الطلبة مجموعات، وأوجِّه إلى الطلبة السؤال الآتي:

– ماذا يعني لك مفهوم الضغط؟ وما العوامل التي يعتمد عليها الضغط؟

- يقدم كل طالب في المجموعة فقرة تسهم في الإجابة عن السؤال، وبعد ذلك تنظم كل مجموعة إجاباتها، وتعرضها على المجموعات الأخرى؛ للتوصل في النهاية إلى مفهوم الضغط والعوامل التي يعتمد عليها.

أفكِّرُ: لأن جميع النقاط على السطح الأفقي للمكعب تقع على العمق نفسه من سطح الماء (h)، وبناء عليه؛ فإن ضغط الماء عند تلك النقاط يكون متساويًا حسب العلاقة:

$$P = \rho_f gh$$

ولا يعتمد على المساحة.

أخطاء شائعة

- عدم التمييز بين عمق السائل وعمق النقطة تحت سطح السائل؛ لذا أبيِّن للطلبة الفرق بينهما.

إضاءة للمعلم/للمعلمة

بغض النظر عن شكل المجسم المغمور في المائع الساكن سواء كان منتظمًا أو غير منتظم، فإن القوى التي يؤثر بها المائع تكون باتجاه عمودي في أوجه ذلك المجسم.

أتحقَّق:

نعم؛ فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض يقل تسارع السقوط الحر (g) ومن ثَم يقل ضغط السائل حسب العلاقة: $P = \rho_f gh$

بناء المفهوم:

قوة الطفو

- لترسيخ مفهوم قوة الطفو؛ أطلب إلى الطلبة طرح أمثلة من الحياة اليومية على أجسام تطفو فوق سطح السائل. ثم أكلِّف أحد الطلبة برسم مخطط الجسم الحر لجسم ما من تلك الأجسام التي طرحت، وتوجيه أسئلة تتعلق بالقوة المحصلة المؤثرة في ذلك الجسم، ثم التطرق إلى الأجسام المغمورة في الغازات كالهواء مثلًا، وملاحظة كيف تختلف القوة اللازمة لسحب جسم مغمور في السائل عنها في الهواء والتوصل في النهاية إلى مفهوم قوة الطفو.

استخدام الصور والأشكال:

- أشرك الطلبة في تنفيذ نشاط سريع بربط ثقل كتلته 0.1 kg تقريبًا بخيط كما في الشكل 3/ أ ومحاولة سحبه إلى أعلى من أسفل الحوض إلى سطح الماء، ومن ثم إلى الهواء خارج الماء، ثمّ أوجِّه الأسئلة الآتية إلى الطلبة:

– هل تغير مقدار قوة الشد في الخيط في أثناء سحب الجسم خلال الماء؟ لا.

– أيهما أكبر قوة الشد في الخيط أثناء سحب الجسم: خلال الماء أم خلال الهواء؟

قوة الشد خلال وجود الجسم في الهواء أكبر.

– هل يتأثر الثقل بقوة دفع إلى أعلى من قبل الماء أم من قبل الهواء أم من كليهما؟

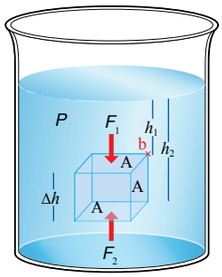
يتأثر بقوة دفع من كليهما؛ ولكن قوة دفع الماء أكبر بكثير من قوة دفع الهواء، التي يمكن إهمالها مقارنة مع وزن الجسم.

معلومة إضافية

ماء البحر هو الماء الموجود في بحار العالم ومحيطاته، وتبلغ نسبة ملوحته تقريبًا 3.5% أي 35 g/L والأملاح الذائبة فيه في الغالب أيونات الصوديوم والكلوريد. تبلغ كثافة ماء البحر $1024\ kg.m^{-3}$ في المتوسط، وهي أعلى من كثافة الماء العذب (النقي) $1000\ kg.m^{-3}$؛ لأن الأملاح الذائبة تزيد كتلة الماء دون أن تُحدث تغييرًا واضحًا في حجمه؛ لذا فإن قوة الطفو في الماء المالح أكبر منها في المياه العذبة حسب العلاقة: $F_B = \rho_f Vg$، وبالتالي فإن السباحة في مياه البحر أسهل منها في مياه الأنهار والبرك والبحيرات. أما البحر الميت الذي يمثل أخفض نقطة على سطح الكرة الأرضية؛ حيث ينخفض 437 m تحت مستوى سطح البحر، فتبلغ نسبة الملوحة فيه 340 g/L وهي نسبة كبيرة جدًّا تعادل عشرة أضعاف نسبة ملوحة البحار الأخرى، وكثافة مياهه تبلغ $1240\ kg.m^{-3}$ مقارنة بكثافة مياه البحار الأخرى $1024\ kg.m^{-3}$، وبسبب ذلك تطفو الأجسام على سطحه بسهولة.

الشكلُ (3/ أ): سحبُ حجرٍ مغمورٍ في الماءِ.

الشكلُ (3/ ب): السباحةُ في البحرِ الميتِ.



الشكلُ (4): القوى المؤثرةُ في مكعبٍ داخلَ السائلِ.

قوةُ الطفوِ (F_B) Buoyant Force

وزنُ الأجسامِ المغمورةِ في المائعِ يبدو أقلَّ منْ وزنِها في الهواءِ؛ فمنَ السهلِ مثلًا رفعُ حجرٍ منْ داخلِ الماءِ إلى سطحِ الماءِ كما في الشكلِ (3/أ)، وفجأةً يبدو الجسمُ أثقلَ عندَ رفعِهِ خارجَ سطحِ الماءِ، وتجدُ صعوبةً في رفعِهِ. كذلكَ فإنَّ السباحةَ في مياهِ البحرِ الميتِ المالحةِ جدًّا كما في الشكلِ (3/ب)، تكونُ أكثرَ سهولةً منَ السباحةِ في مياهِ البركِ أوْ حتّى مياهِ البحارِ الأخرى الأقلِّ ملوحةً. وفي كلتا الحالتيْنِ تؤثرُ قوةُ جذبِ الأرضِ إلى أسفلَ في كلٍّ منَ الحجرِ وجسمِكَ، بينَما يؤثرُ الماءُ بقوةِ دفعٍ إلى أعلى في تلكَ الأجسامِ. ما طبيعةُ هذهِ القوةِ؟ ومنْ أينَ تنشأُ؟ وما العواملُ التي تعتمدُ عليْها؟

ضغطُ المائعِ لا يؤثرُ فقطْ في السطحِ العلويِّ للمكعبِ (على عمقِ h_1) وإنَّما يؤثرُ في جميعِ جوانبِ المكعبِ بما فيها السطحُ السفليُّ للمكعبِ (على عمقِ h_2) كما في الشكلِ (4)؛ على النحوِ الآتي:

الضغطُ في السطحِ العلويِّ: $P_1 = \rho_f g h_1$

الضغطُ في السطحِ السفليِّ: $P_2 = \rho_f g h_2$

وفرقُ الضغطِ بينَ سطحَيِ المكعبِ السفليِّ والعلويِّ ΔP:

$$\Delta P = \rho_f g(h_2 - h_1) = \rho_f g \Delta h$$

وبما أنَّ الضغطَ هوَ القوةُ التي يؤثرُ بها المائعُ في وحدةِ المساحةِ ($P = \frac{F}{A}$)، فإنَّ:

القوةَ المؤثرةَ عموديًّا في السطحِ العلويِّ للمكعبِ F_1:

$$F_1 = P_1 \times A = \rho_f g h_1 A\ ,\ -y$$

القوةَ المؤثرةَ عموديًّا في السطحِ السفليِّ للمكعبِ F_2:

$$F_2 = P_2 \times A = \rho_f g h_2 A\ ,\ +y$$

وبالتالي؛ فإنَّ محصلةَ القوى F التي يؤثرُ بها المائعُ (قوةَ دفعِ المائعِ) في المكعبِ تساوي:

$$F = F_2 - F_1$$
$$= \rho_f g A(h_2 - h_1)$$
$$= \rho_f g A(\Delta h)$$

لكنَّ حجمَ المكعبِ V يُعطى بالعلاقةِ: $V = A\ (\Delta h)$

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

- **التفكير: الأدلة والبراهين.**

أخبر الطلبة أنَّ استعمال الأدلة والبراهين من طرائق التفكير؛ فإقامة الدليل لها أهمية في تأكيد المعرفة، وكثير من العلاقات الفيزيائية تقوم على البرهان الرياضي كما في حالة قوة الطفو.

استخدام الصور والأشكال:

- أكلِّف الطلبة بعمل دوران بزاوية معينة للمكعب في الشكل (4)، ورسم القوى التي يؤثر بها السائل في جوانب المكعب. وأوضّح للطلبة كيف أن القوة المحصلة التي تؤثر في جوانب المكعب لا تتغير؛ عن طريق تحليل تلك القوى.

أيْ أنَّ قوةَ دفعِ المائعِ المؤثرةَ رأسيًّا إلى أعلى في المكعبِ تساوي:

$$F = \rho_f V g$$

حيثُ:

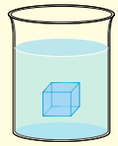
ρ_f : كثافةُ المائعِ.

V : حجمُ المكعبِ.

وتُسمّى محصلةُ القوى التي يؤثرُ بها المائعُ في الجسمِ المغمورِ فيهِ كليًّا أوْ جزئيًّا رأسيًّا إلى أعلى **قوةَ الطفوِ** (F_B) **Buoyant Force**.

ألاحظُ أنَّ قوةَ الطفوِ تمَّ اشتقاقُها نظريًّا باستخدامِ قوانينِ نيوتن لحالةٍ خاصةٍ، وهيَ مكعبٌ مغمورٌ في الماءِ ولكنَّها تطبَّقُ على الأجسامِ بأشكالِها المختلفةِ (منتظمةً أوْ غيرَ منتظمةٍ) المغمورةِ في أيِّ مائعٍ، وتنشأُ قوةُ الطفوِ بسببِ فرقٍ في الضغطِ بينَ أعلى الجسمِ المغمورِ في المائعِ وأسفلِهِ بغضِّ النظرِ عنْ عمقِ المائعِ أوْ شكلِ الجسمِ.

أفكّرُ: أعلّلُ: محصلةُ القوى التي يؤثرُ بها المائعُ في الجوانبِ العموديةِ للمكعبِ المغمورِ في المائعِ- كما في الشكلِ - تساوي صفرًا؟

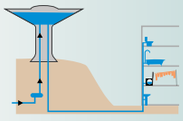


الفيزياءُ والحياةُ

برجُ المياهِ هوَ خزّانٌ مائيٌّ يُبنى على ارتفاعٍ عالٍ منْ أجلِ الاحتفاظِ بمواردَ مائيةٍ، وتوليدِ الضغطِ على نظامِ توزيعِ المياهِ. يتغيرُ الضغطُ كلَّما ارتفعَ خزّانُ المياهِ؛ فلكلِّ 10.2 cm منَ الارتفاعِ يتغيرُ الضغطُ بمقدارِ 1 kPa تقريبًا حسبَ العلاقةِ:

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

وهوَ ما يكفي لتوفيرِ الضغطِ اللازمِ لمتطلباتِ نظامِ لتوزيعِ المياهِ على طوابقِ المبنى. ويُستخدَمُ البرجُ في عددٍ منِ المدارسِ والجامعاتِ والمستشفياتِ وغيرِها؛ ويمثّلُ الشكلُ أدناهُ صورةً لبرجِ المياهِ في مدينةِ الحسينِ الطبيةِ في العاصمةِ عمّانَ.



أتحقَّقُ: ما العواملُ التي تعتمدُ عليْها قوةُ الطفوِ؟

قاعدةُ أرخميدس Archimedes' Principle

العالمُ اليونانيُّ أرخميدس توصلَ إلى معادلةِ قوةِ الطفوِ السابقةِ نفسِها ولكنْ عنْ طريقِ التجربةِ قبلَ ذلكَ بفترةٍ طويلةٍ، وعُرِفَتْ في ما بعدُ بقاعدةِ أرخميدس. ولدراسةِ العواملِ التي تعتمدُ عليها قوةُ الطفوِ (قوةُ دفعِ المائعِ) عمليًّا، وللتحققِ كذلكَ منْ قاعدةِ أرخميدس عمليًّا؛ أُجري التجربةَ الآتيةَ:

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

*** القضايا الإنسانية والسياسية والوطنية : المواطنة**

أوجِّه الطلبة إلى أهمية المواطنة الصالحة القائمة على الانتماء للوطن، مبينًا لهم كيف استثمر العالم أرخميدس علمه وفكره في تطوير أدوات وآلات حربية للدفاع عن وطنه ضد الغزو الروماني لبلاده.

أفكّرُ: لأن القوى التي يؤثر بها السائل في أحد جوانب المكعب العمودية يساوي في المقدار، ويعاكس في الاتجاه القوى التي يؤثر بها السائل في الجانب العمودي المقابل لذلك الجانب أي أن محصلتهما تساوي صفرًا، وعليه؛ فإن القوة المحصلة التي يؤثر بها المائع في جميع الجوانب العمودية للمكعب المغمور في المائع تساوي صفرًا.

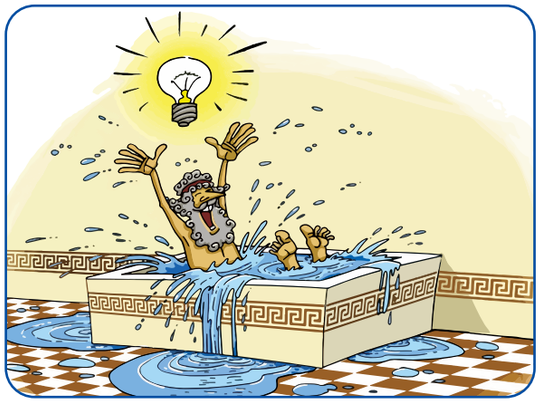
أتحقَّقُ:

العوامل التي تعتمد عليها قوة الطفو:

1. كثافة المائع المزاح ρ_f 2. حجم المائع المزاح V_f 3. تسارع السقوط الحر g

معلومة إضافية

قصة العالم أرخميدس وتاج الملك



أرخميدس (212–287 قبل الميلاد) عالم رياضيات يوناني وفيزيائي ومهندس ومخترع وعالم فلك، ويعد أحد كبار العلماء في العصور القديمة، وهناك قول مشهور عن أرخميدس يقول فيه :«أعطني رافعة ومكانًا لأقف فيه وسأحرك العالم» مشيرًا إلى قوة الرافعة.

- إن قصة اكتشاف قاعدة أرخميدس الشهيرة مثيرة جدًّا؛ ففي أحد الأيام أعطى الملك هيرون- ملك سيراكوز- تاجًا مصنوعًا من الذهب للعالم أرخميدس، وطلب إليه أن يفحصه دون أن يتلفه، حيث كان الملك يشك في أن التاج ممزوج بالفضة.
- كانت تلك مشكلة جديدة تواجه أرخميدس، لكنه اكتشف الحل بطريقة غريبة جدًّا؛ فعندما دخل حوض الاستحمام اكتشف أن مستوى الماء في الحوض ارتفع وأن جسمه أزاح كمية من الماء، فقفز من الحوض وخرج يركض في الشارع و يصرخ: «يوريكا يوريكا» أي وجدتها وجدتها. فقد ملأ وعاء بالماء وغمر التاج فيه، وقاس كتلة الماء الذي أزاحه التاج، ثم ملأ الوعاء بالماء مرة أخرى، وغمر فيه كتلة مساوية له من الذهب الخالص، وجمع الماء وقاس كتلته؛ فوجد أن كتلتي الماء الذي أزيح في كلتا الحالتين مختلفتان، واكتشف من تنفيذ هذه التجربة أن التاج الذهبي غير نقي. وعُرفت في ما بعد النتيجة التي توصل إليها بقاعدة أرخميدس؛ واستنادًا إلى ذلك توصل أرخميدس إلى طريقة لمعرفة الكثافة النسبية للمواد.
- اخترع أرخميدس كثيرًا من الأجهزة التي استخدمت باعتبارها آلات حربية فعالة بشكل خاص في الدفاع عن بلده سيراكوز عندما هاجمها الرومان.

التجربة 1

قوة الطفو وقاعدة أرخميدس

الهدف:

- التحقق من قاعدة أرخميدس عمليًّا.
- إيجاد قوة الطفو عمليًّا.

زمن النشاط: 35 دقيقة.

إرشادات السلامة:

أحذّر الطلبة من سكب السوائل على الأرضية حتى لا تصبح زلقة، وفي التعامل مع الأدوات الزجاجية.

المهارات العلمية:

القياس، استعمال المتغيرات، التجريب، التوقع، الملاحظة، الحسابات.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجِّه الطلبة إلى الاستعانة بكتاب الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، ثم أوضِّح لهم ما يأتي:
  - ضرورة معايرة كل من الميزان النابضي والميزان الإلكتروني قبل استخدامهما.
  - الدقة في قياس الكتلة والوزن، والنظر بشكل عمودي إلى تدريج الميزان النابضي عند أخذ القياسات.

النتائج المتوقعة:

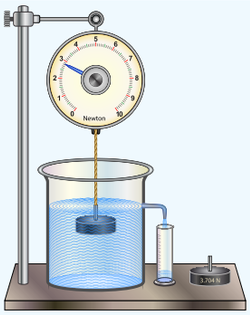
يتوقع من الطلبة الحصول على نتائج دقيقة، والتوصل إلى قاعدة أرخميدس. ربما تختلف النتائج من مجموعة إلى أخرى بالرغم من استخدامهم للأدوات نفسها. وسبب ذلك يعود ربما إلى عدم معايرة الموازين بشكل صحيح أو عدم الدقة في أخذ القياسات؛ لذا؛ سأنبّه الطلبة إلى تلك الأخطاء لتلافيها.

التحليل والاستنتاج:

1. النقصان في وزن القطعة يساوي وزن السائل المزاح في جميع الحالات.
2. عند زيادة كثافة السائل (استخدام سائل الجليسرين – الذي كثافته أقل من كثافة الألمنيوم وأكبر من كثافة الماء) يقل وزن قطعة الألمنيوم في السائل (الوزن الظاهري) وعليه؛ يزداد النقصان في وزن القطعة، أما السائل المزاح فإن وزنه يزداد لأن كثافته ازدادت وحجمه بقي ثابتًا.
3. قوة الطفو = النقصان في وزن القطعة = وزن السائل المزاح في جميع الحالات.
4. عند استبدال قطعة الخشب بقطعة الألمنيوم فإنها تطفو فوق السائل؛ لأن كثافتها أقل من كثافة السائل وينغمر جزء منها، فيقل وزن السائل المزاح، بحيث يكون وزن السائل المزاح مساويًا لوزن القطعة في الهواء؛ على أساس أن وزن القطعة في السائل يساوي صفرًا.
5. بزيادة حجم قطعة الألمنيوم يزداد كل من: حجم السائل المزاح، ووزنه، و قوة الطفو.

التجربةُ 1

قوةُ الطفوِ وقاعدةُ أرخميدس



الموادُّ والأدواتُ: قطعتانِ متماثلتانِ في الحجمِ إحداهُما فلزيةٌ كالألمنيومِ مثلًا، وأخرى خشبيةٌ، مخبارٌ مدرجٌ، ميزانٌ إلكترونيٌّ، ميزانٌ نابضيٌّ، دورقُ إزاحةٍ، سائلانِ مختلفانِ في الكثافةِ (ماءٌ، جليسرينٌ).

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سكبِ السوائلِ على الأرضيةِ؛ حتى لا تصبحَ زلقةً، وفي التعاملِ مع الأدواتِ الزجاجيةِ.

خطواتُ العملِ: بالتعاونِ مع أفرادِ مجموعتي، أنفذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. **أقيسُ** كلًّا منْ كتلةِ المخبارِ المدرجِ فارغًا (m_1)، باستخدامِ الميزانِ الإلكترونيِّ ووزنِ قطعةِ الألمنيومِ في الهواءِ باستخدامِ الميزانِ النابضيِّ F_g، ثمَّ أدوِّنُ النتائجَ في الجدولِ.
2. أبدأُ بملْءِ دورقِ الإزاحةِ بالماءِ وأتوقفُ مباشرةً قبلَ أنْ يبدأَ الماءُ بالانسكابِ منْ فتحةِ الدورقِ.
3. **ألاحظُ:** أضعُ المخبارَ المدرجَ تحتَ فتحةِ الدورقِ، ثمَّ أُنزلُ قطعةَ الألمنيومِ المعلَّقةَ بالميزانِ ببطْءٍ في الماءِ حتى تنغمرَ كليًّا، وألاحظُ انسكابَ الماءِ في المخبارِ أثناءَ ذلكَ، كما في الشكلِ، وأقيسُ وزنَ القطعةِ في الماءِ (F'_g) وأدوِّنُ النتيجةَ في الجدولِ.
4. **أقيسُ** كتلةَ المخبارِ والماءِ المنسكبِ فيهِ (الماءِ المُزاحِ) معًا (m_2) باستخدامِ الميزانِ الإلكترونيِّ، وأدوِّنُ النتيجةَ في الجدولِ.
5. **أحسبُ** النقصانَ في وزنِ القطعةِ ($F_g - F'_g$) ووزنِ الماءِ المزاحِ $F_{g/} = (m_2 - m_1)\, g$
6. أكررُ الخطواتِ السابقةَ مستخدمًا سائلًا آخرَ غيرَ الماءِ مثلَ الجليسرينِ، وأدونُ النتائجَ في الجدولِ.
7. أكررُ الخطواتِ (1-6) مستخدمًا القطعةَ الخشبيةَ بدلًا منَ الألمنيومِ، معَ الانتباهِ إلى أنَّ الخشبَ لا ينغمرُ كليًّا، وأدونُ النتائجَ في الجدولِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أقارنُ** بينَ النقصانِ في وزنِ القطعةِ وبينَ وزنِ السائلِ المزاحِ.
2. **أحللُ:** عندَ تغييرِ كثافةِ السائلِ، ما التغيرُ الذي حدثَ لكلٍّ منَ: النقصانِ في وزنِ القطعةِ، ووزنِ السائلِ المزاحِ؟
3. **أصفُ** العلاقةَ بينَ قوةِ الطفوِ وكلٍّ منَ: النقصانِ في وزنِ القطعةِ، ووزنِ السائلِ المزاحِ.
4. **أصفُ** التغيرَ في وزنِ السائلِ المزاحِ عندَ استخدامي قطعةَ الخشبِ، ما العلاقةُ بينَ وزنِ السائلِ المزاحِ ووزنِ القطعةِ في الهواءِ؟
5. **أتوقعُ** ما يحدثُ لكلٍّ منْ حجمِ السائلِ المزاحِ ووزنهِ عندَ استخدامي قطعةَ ألمنيومٍ ذاتَ حجمٍ أكبرَ.

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. **أداة التقويم:** سلم التقدير العددي.

الرقم	معيار الأداء	1	2	3	4
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة أثناء تنفيذ خطوات التجربة.				
2	تنفيذ خطوات التجربة بدقة.				
3	معايرة كلًّا من الميزان الإلكتروني والميزان النابضي قبل استخدامهما.				
4	قياس الكتل باستخدام الميزان الإلكتروني بشكل صحيح.				
5	قياس الوزن باستخدام الميزان النابضي بشكل صحيح.				
6	حساب قوة الطفو بدقة عالية.				
٧	التعاون مع الزملاء في المجموعة، وفي المجموعات الأخرى.				

ربَّما توصلتَ مما سبقَ إلى العواملِ التي تعتمدُ عليْها قوةُ الطفوِ وهيَ:

- كثافةُ المائعِ المزاحِ ρ_f : العلاقةُ طرديةٌ.
- حجمُ المائعِ المزاحِ V_f : العلاقةُ طرديةٌ.
- تسارعُ السقوطِ الحرِّ g : العلاقةُ طرديةٌ.

صاغَ العالمُ أرخميدس النتائجَ التجريبيةَ التي توصَّلَ إليْها على شكلِ قاعدةٍ علميةٍ سُمّيتْ **قاعدةَ أرخميدس** **Archimedes' Principle** وتنصُّ على ما يأتي:

«قوةُ الطفوِ المؤثرةُ في الجسمِ المغمورِ كليًّا أوْ جزئيًّا في مائعٍ تساوي وزنَ المائعِ المزاحِ».

وبصورةٍ أخرى: «الجسمُ المغمورُ كليًّا أوْ جزئيًّا في مائعٍ يخسرُ منْ وزنِهِ بمقدارِ وزنِ المائعِ المزاحِ»، أنظرُ الشكلَ (5).

ويُعبَّرُ عنْها بالرموزِ على الصورةِ الآتيةِ:

$$F_B = F_{gf} = m_f g = \rho_f V_f g$$
$$= F_g - F'_g$$

حيثُ

F_{gf} : وزنُ المائعِ المزاحِ.

F_g : وزنُ الجسمِ الحقيقيِّ (الناشئُ عنْ جذبِ الأرضِ للجسمِ)، ويساوي: $F_g = m_o g = \rho_o V_0 g$

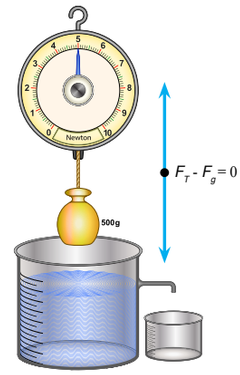
m_o : كتلةُ الجسمِ، ρ_o : كثافةُ الجسمِ، V_o : حجمُ الجسمِ.

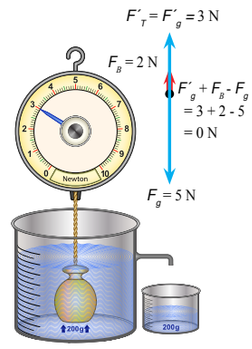
m_f : كتلةُ الماءِ المزاحِ.

F'_g : وزنُ الجسمِ في المائعِ = محصلةَ قوتَيْ الطفوِ والوزنِ الحقيقيِّ للجسمِ ($F'_g = F_g - F_B$)، ويُسمّى الوزنَ الظاهريَّ ويساوي قوةَ الشدِّ في الحبلِ F'_T ($F'_T = F'_g$) كما في الشكلِ (5).

تُطبَّقُ قاعدةُ أرخميدس على جميعِ الأجسامِ المغمورةِ بغضِّ النظرِ عنْ شكلِ الجسمِ ونوعِ المائعِ.

✓ **أتحقَّقُ:** أذكرُ نصَّ قاعدةِ أرخميدس بالكلماتِ، وأعبرُ عنْها بالرموزِ.





الشكلُ (5): قاعدةُ أرخميدس.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

❋ **التفكير: التخطيط.**

أوضِّح للطلبة أنَّ التخطيط المبني على أسس علمية وواقعية يُعد من طرائق المعرفة العلمية، وتتمثل أهميته في تنظيم الوقت وزيادة الكفاءة وتقليل الجهد والتكاليف؛ للحصول على منتج بمواصفات عالية، مبيِّنًا لهم أن العمل المخبري من الأمور التي تحتاج إلى التخطيط الجيد، والإعداد، وتحضير الأدوات، وتنفيذ الخطوات المعدة بدقة؛ للوصول إلى نتائج صحيحة يمكن تعميمها بطرائق التواصل المختلفة بغية تحقيق الفائدة منها.

✓ **أتحقَّق:**

نص قاعدة أرخميدس: «قوة الطفو المؤثرة في الجسم المغمور كليًّا أو جزئيًّا في مائع تساوي وزن المائع المزاح»، ويُعبَّر عنها بالرموز على النحو الآتي:

$$F_B = F_{gf} = m_f g = \rho_f V_f g$$

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية جاهزة عن موضوع قاعدة أرخميدس، ويفضل الفيديوهات التفاعلية.

أشارِك الطلبة هذه المواد التعليمية باستخدام الروابط الإلكترونية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو أستعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة لمشاركة الطلبة وذويهم.

طريقة أُخرى للتدريس — قاعدة أرخميدس

- في حال عدم توفر دورق إزاحة في مختبر المدرسة من أجل التحقق من قاعدة أرخميدس عمليًّا وإجراء تجارب مماثلة؛ يمكن استخدام **استراتيجية العرض العملي** امام الطلبة؛ وذلك عن طريق استخدام مخبار مدرج وميزان نابضي؛ كما في الشكل على النحو الآتي:

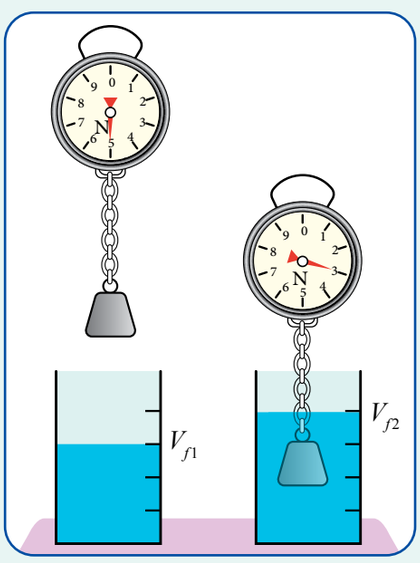
– أضع كمية معينة من الماء في المخبار، وأقيس حجم الماء فيه V_{f1}.

– أعلق ثقلًا ما بميزان نابضي، وأقيس وزنه في الهواء F_g، ثم أغمر الثقل في الماء، وأقيس وزنه F'_g.

– أقيس حجم الماء في المخبار V_{f2}.

– أطبّق قاعدة أرخميدس الآتية، للتأكد من صحّة القاعدة:

$$F_B = F_g - F'_g = \rho_f (V_{f2} - V_{f1}) g$$



نشاط سريع

- أفترض أنّ لديّ حوض ماء وثلاثة مكعبات (من رصاص، وخشب، وفلين) متماثلة في الحجم، وضعناها داخل حوض وتركت حرة الحركة. أوجِّه إلى الطلبة الأسئلة الآتية:

– ما الذي يحدث لكل من تلك المكعبات لحظة إفلاتها؟

مكعب الرصاص يهبط إلى أسفل ويستقر أسفل الحوض، في حين يرتفع مكعبا الخشب والفلين إلى أعلى ويطفوان فوق سطح الماء.

– ما تفسير ما حدث للمكعبات؟

اختلاف كثافة تلك المكعبات؛ فالمكعب الأكبر كثافة من الماء يكون وزنه أكبر من قوة الطفو فيغرق، بينما المكعب الأقل كثافة من الماء يطفو.

– يزعم فريق من الطلبة أن قوى الطفو في المكعبات الثلاثة –أثناء وجودها داخل الماء وقبل إفلاتها– متساوية، بينما يدعي فريق آخر أن قوة الطفو تختلف بحسب وزن المكعب، ما رأيك في ذلك؟

زَعْم الفريق الأول صحيح؛ لأن حجم الماء المزاح يساوي حجم المكعب أثناء انغمار المكعبات كليًّا في الماء، وبما أن قوة الطفو تساوي وزن الماء المزاح (حسب قاعدة أرخميدس) وأحجام المكعبات متساوية، فإن قوى الطفو تكون متساوية، ولكن اختلاف أوزان المكعبات يؤدي إلى اختلاف القوة المحصلة المؤثرة في كل منها فيطفو مكعبا الفلين والخشب؛ بينما يهبط مكعب الرصاص إلى أسفل؛ لأن وزنه أكبر من قوة الطفو.

المناقشة

- أستخدم **استراتيجية التعلم التعاوني** بتقسيم الطلبة مجموعات، ثم أطرح عليهم السؤال الآتي:

– علل كلًّا مما يأتي:

أ. قوة الطفو المؤثرة من قبل المائع في الأجسام المتماثلة في الحجم والمغمورة كليًّا في المائع تكون متساوية بغض النظر عن كتلتها. لأن قوة الطفو تعتمد على حجم الجسم ولا تعتمد على كتلته أو كثافته.

ب. قوة الطفو لا تتغير بتغير عمق الجسم في المائع، أما ضغط المائع فيزداد بزيادة عمق الجسم. لأن قوة الطفو لا تعتمد على عمق الجسم، بينما يعتمد الضغط على العمق.

- ثم أطلب إلى كل مجموعة الإجابة عن السؤال؛ على أن يشارك كل طلبة المجموعة في النقاش.

المثال 1

غواصةُ Atlantis XII أسطوانيةُ الشكلِ حجمُها $250\ m^3$ تقريبًا. تحملُ السياحَ إلى أعماقٍ تصلُ إلى $30\ m$؛ لمشاهدةِ الشعابِ المرجانيةِ في سواحلِ المكسيكِ. باعتبارِ كثافةِ مياهِ البحرِ $1024\ kg\ m^{-3}$،

أحسبُ:

أ. ضغطَ الماءِ عندَ هذا العمقِ.

ب. قوةَ الطفوِ.

المعطياتُ: $V_o = 250\ m^3$ ، $h = 30\ m$ ، $\rho_f = 1024\ kg\ m^{-3}$

المطلوبُ: $P = ?$ ، $F_B = ?$

الحلُّ:

أ. $P = \rho_f g h = 1024 \times 10 \times 30 = 3.07 \times 10^5\ Pa$

ب. $F_B = \rho_f V_f g$, $V_f = V_o$

$= 1024 \times 250 \times 10 = 2.56 \times 10^6\ N$

الشكلُ (6): حجرٌ مغمورٌ كليًّا في الماءِ، بينَما تبقى الكرةُ معلقةً داخلَ الماءِ.

منَ المفيدِ مقارنةُ القوى المؤثرةِ في الأجسامِ المغمورةِ كليًّا في المائعِ معَ تلكَ المؤثرةِ في الأجسامِ المغمورةِ جزئيًّا (الطافيةِ على سطحِ المائعِ)، على النحوِ الآتي:

الأجسامُ المغمورةُ كليًّا Fully Submerged Objects

عندَ وضعِ جسمٍ ما في مائعٍ؛ كثافتُهُ أكبرُ منْ كثافةِ المائعِ (مثلِ الحجرِ في الماءِ) فإنَّهُ يهبطُ ويستقرُّ أسفلَ الماءِ، بينَما يبقى جسمٌ آخرُ كثافتُهُ مُساويةٌ كثافةَ المائعِ (مثلِ الكرةِ) معلَّقًا فيهِ كما في الشكلِ (6). وفي هاتينِ الحالتيْنِ فإنَّ:

- حجمَ الجسمِ يساوي حجمَ المائعِ المزاحِ $V_o = V_f$
- قاعدةَ أرخميدس:

جسمٌ مستقرٌّ أسفلَ المائعِ: $F_B = F_{gf} = F_g - F'_g$

جسمٌ معلَّقٌ في المائعِ: وزنُ الجسمِ في المائعِ (الوزنُ الظاهريُّ) يساوي صفرًا $(F'_g = 0)$

قوةُ الطفوِ: $F_B = F_{gf} = F_g - F'_g = F_g$

64

- أوجِّه المجموعات إلى عرض آرائها على الطلبة، والسماح للطلبة في المجموعات الأخرى بالمشاركة في إبداء الرأي والمناقشة، مع مراعاة آداب الحوار والمناقشة مثل: احترام الرأي والرأي الآخر، والإصغاء الجيد.

مثال إضافي

سُحب حجر يستقر أسفل بئر ماء بحبل رأسيًّا لأعلى ، فإذا كانت قوة الشد في الحبل في أثناء وجود الحجر في الماء 100 N وعند خروج الحجر من الماء أصبحت قوة الشد 400 N، بافتراض أن كثافة الماء $1000\ kg\ m^{-3}$، أحسب:

أ. قوة الطفو. ب. حجم الحجر.

الحل:

أ. $F_B = F_g - F'_g$

$F_B = 400 - 100 = 300\ N$

ب. $F_B = \rho_f V_f g$

$300 = 1000 \times V_f \times 10 \Rightarrow V_f = 0.03\ m^3 = V_o$

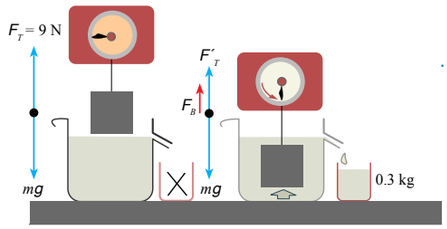
المثالُ 2

قامتْ ماريةُ بإجراءِ تجربةٍ للتحققِ منْ قاعدةِ أرخميدس، اعتمادًا على البياناتِ المبينةِ في الشكلِ (7) وباعتبارِ كثافةِ الماءِ $1000\ kg\ m^{-3}$؛ أجدُ:

أ . قوةَ الطفوِ.

ب. قراءةَ الميزانِ بعدَ غمرِ الجسمِ في الماءِ.

حـ. حجمَ الجسمِ.



الشكل (7): تجربة قاعدة أرخميدس.

المعطياتُ:

$F_g = 9$ N ، $m_f = 0.3$ kg

المطلوبُ:

$F_B = ?$ ، $F'_g = ?$ ، $V_o = ?$

الحلُّ:

أ . قوةُ الطفوِ:

$F_B = m_f g = 0.3 \times 10 = 3$ N

ب . قراءةُ الميزانِ بعدَ غمرِ الجسمِ في الماءِ:

$F_B = F_g - F'_g$

$3 = 9 - F'_g \rightarrow F'_g = 6$ N

جـ . حجمُ الجسمِ V_o:

$F_B = \rho_f V_f g$

$3 = 1000 \times V_f \times 10$

$V_f = 3 \times 10^{-4}\ m^3 = V_o$

تمرينٌ

كرةٌ فلزيةٌ وزنُها في الهواءِ 10 N غُمرتْ في الماءِ فخسرتْ من وزنِها 3.5 N، باعتبارِ كثافةِ الماءِ $1000\ kg\ m^{-3}$ أجدُ:

أ . قوةَ الطفوِ.

ب . وزنَ الكرةِ في الماءِ.

جـ . كثافةَ مادةِ الكرةِ.

أصمِّمُ باستخدامِ برنامجِ السكراتش (Scratch) عرضًا يوضحُ حركةَ الأجسامِ المغمورةِ كليًّا في المائعِ، ثمَّ أشاركُهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

مثال إضافي

قطعة ذهبية كتلتها 193 g مغمورة في سائل الكيروسين تتأثر بقوة طفو مقدارها 0.08 N، على أساس أن كثافة الكيروسين $800\ kg\ m^{-3}$، أحسب:

أ. كثافة الذهب. ب. وزن القطعة في السائل.

الحل:

أ.

$F_B = \rho_f V_f g$

$0.08 = 800 \times V_f \times 10 \Rightarrow V_f = 1 \times 10^{-5}\ m^3 = V_o$

$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} = \frac{0.193}{1 \times 10^{-5}} = 1930\ kg\ m^{-3}$

ب.

$F_B = F_g - F'_g$, $F_g = m_o g$

$0.08 = (0.193 \times 10) - F'_g \Rightarrow F'_g = 1.85$ N

معلومة إضافية

خشب يغرق، ولا يطفو فوق سطح الماء

من المعروف أن الخشب يطفو فوق سطح الماء؛ لأن كثافته أقل من كثافة الماء، ولكن يوجد أنواع من الأخشاب كثافتها أكبر من كثافة الماء، وتمتاز بصلابتها مثل أخشاب بولوكي الأسترالية Australian buloke التي يُطلق عليها الأخشاب الحديدية، ويعد هذا النوع من الأخشاب الأكثر صلابة في العالم، يؤخذ من شجر ينمو في أستراليا، وأخشاب من شجر ينمو في دول عدة مثل: أمريكا الجنوبية، والبرازيل، ونيجيريا.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أوضِّح للطلبة أنَّ التحليل أحد المفاهيم العابرة، وأنَّه من خطوات التفكير، وأنَّ أهميته تتمثَّل في استخراج المعلومة من نص، أو رسم بياني، أو شكل بعد تحليله كما في التوصل إلى الإجابة في المثال 2.

أوجِّه الطلبة إلى تصميم عرض تفاعلي يوضح حركة الأجسام المغمورة كليًّا في المائع، باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) ثم أوجِّههم إلى مشاركته أو عرضه أمام الزملاء في الصف.

تمرين

الحل:

أ . قوة الطفو:

$F_B = F_g - F'_g = 3.5$ N

ب. وزن الكرة في الماء:

$10 - F'_g = 3.5 \Rightarrow F'_g = 6.5$ N

جـ. كثافة مادة الكرة:

$F_B = \rho_f V_f g$

$3.5 = 1000 \times V_f \times 10$

$V_f = 3.5 \times 10^{-4}\ m^3$

بما أن الكرة مغمورة في الماء فإن:

$V_f = V_o = 3.5 \times 10^{-4}$

$F_g = \rho_o V_0 g$

$10 = \rho_o \times 3.5 \times 10^{-4} \times 10$

$\rho_o = 2857\ kg\ m^{-3}$

نشاط سريع

- أحضر كرة قدم (غير منفوخة) ومنفاخًا وأكلِّف أحد الطلبة بنفخ الكرة بحيث يتوقف عن النفخ عندما تصبح كروية الشكل، أضع الكرة في حوض من الماء وأنبه الطلبة إلى ملاحظة حجم الجزء المغمور منها في الماء. أخرج الكرة من الماء وأزيد مقدارالنفخ فيها إلى أقصى درجة آمنة، ثم أضعها في حوض الماء. أوجِّه الأسئلة الآتية إلى الطلبة (على افتراض أن حجم الكرة بقي ثابتًا):

– هل تغير حجم الجزء المغمور من الكرة في الماء؟

نعم؛ لأن وزن الكرة ازداد عند زيادة نفخها.

– هل تغير مقدار قوة الطفو؟

نعم.

– ما تفسيرك لما حدث؟

عند زيادة نفخ الكرة ازداد وزنها؛ فازداد الجزء المغمور منها وبناء عليه ازدادت قوة الطفو لتصبح مساوية لوزن الكرة.

أخطاء شائعة

- الوزن الظاهري والكتلة: يعتقد بعض الطلبة أن كتلة الأجسام أو وزنها يقل عند غمرها في الماء أوالمائع بشكل عام؛ لأن باستطاعتهم رفعها بسهولة داخل الماء. أوضِّح للطلبة أن كتلة الجسم المغمور (m) تبقى ثابتة ووزنه (F_g) لا يتغير؛ وإنما قوة الطفو تدفع الجسم إلى أعلى؛ فيبدو أن وزن الجسم (الوزن الظاهري) قد قلَّ.

- يعتقد بعض الطلبة أن قوة الطفو في البالون المغمور في الهواء أو السائل تعتمد على كثافة الغاز الموجود داخل البالون، أوضح لهم أن كثافة الغاز داخل البالون تؤثر في وزن البالون ومن ثَم في القوة المحصلة، ولا تؤثر كثافة الغاز داخل البالون في قوة الطفو التي تعتمد على كثافة الغاز أو السائل المغمور فيه البالون وعلى حجم البالون.

التعزيز: قاعدة أرخميدس للأجسام المغمورة جزئيًّا

أوضِّح للطلبة أنه يمكن معرفة نسبة حجم الجزء المغمور من الجسم في المائع (يساوي حجم المائع المزاح V_f) إلى حجم الجسم الكلي V_o اعتمادًا على معرفة كثافة كل من الجسم ρ_o والمائع ρ_f الموضوع فيه؛ حسب العلاقة الآتية: $\frac{V_f}{V_o} = \frac{\rho_o}{\rho_f}$

الشكلُ (8): قوةُ الطفوِ المؤثرةُ في كرةِ قدمٍ تطفو على سطحِ الماءِ.

الأجسامُ الطافيةُ Floating Objects

عندَ وضعِ جسمٍ ما في مائعٍ كثافتهُ أقلُّ منْ كثافةِ المائعِ (مثلَ كرةِ القدمِ في الماءِ) كما في الشكلِ (8)، فإن جُزءًا منْها يطفو على سطحِ المائعِ، أيْ أنَّ حجمَ السائلِ المزاحِ V_f يساوي حجمَ الجزءِ المغمورِ منَ الجسمِ وهوَ أقلُّ منْ حجمِ الجسمِ.

وفي هذهِ الحالةِ فإنَّ:

وزنَ الجسمِ في المائعِ (الوزنُ الظاهريُّ) يساوي صفرًا ($F'_g = 0$).

قوةَ الطفوِ = وزنَ السائلِ المزاحِ= وزنَ الجسمِ الحقيقيِّ

$$F_B = F_{gf} = F_g - F'_g = F_g$$

والجدولُ (1) يلخصُ حالاتٍ خاصةً لقاعدةِ أرخميدس.

الجدولُ (1): حالاتُ قاعدةِ أرخميدس

الحالةُ	اتجاهُ محصلةِ القوى	قوةُ الطفوِ F_B	حجمُ السائلِ المزاحِ V_f	حالةُ الجسمِ
$\rho_o > \rho_f$	$-y$	$F_B < F_g$	$V_f = V_o$	ينغمرُ ويهبطُ في المائعِ
$\rho_o = \rho_f$	$\Sigma F = 0$	$F_B = F_g$	$V_f = V_o$	يبقى معلقًا في المائعِ
$\rho_o < \rho_f$	$\Sigma F = 0$	$F_B = F_g$	$V_f =$ حجمَ الجزءِ المغمورِ منَ الجسمِ	يطفو جزءٌ منهُ فوقَ سطحِ المائعِ

المثالُ 3

كرةٌ مطاطيةٌ حجمُها $0.004\ m^3$ وكثافةُ مادتِها $970\ kg\ m^{-3}$، وُضِعتْ في سائلٍ كثافتهُ $1200\ kg\ m^{-3}$، أحسبُ حجمَ الجزءِ المغمورِ منَ الكرةِ.

المعطياتُ: $V_o = 0.004\ m^3$ ، $\rho_o = 970\ kg\ m^{-3}$ ، $\rho_f = 1200\ kg\ m^{-3}$

المطلوبُ: حجمُ الجزءِ المغمورِ منَ الكرةِ.

الحلُّ:

بما أنَّ كثافةَ الكرةِ أقلُّ منْ كثافةِ السائلِ؛ فإنَّ الكرةَ تنغمرُ جزئيًّا في السائلِ.

أطبِّقُ العلاقةَ: $F_B = F_g$

$$\rho_f V_f g = \rho_o V_o g \rightarrow \rho_f V_f = \rho_o V_o$$

$$1200 \times V_f = 970 \times 0.004 \rightarrow V_f = 0.0032\ m^3$$

حجمُ السائلِ المزاحِ = حجمَ الجزءِ المغمورِ منَ الكرةِ = $0.0032\ m^3$

مثال إضافي

مكعب كتلته $0.5\ kg$ يطفو فوق سطح الماء، باعتبار كثافة الماء $1000\ kg\ m^{-3}$ أحسب:

أ. قوة الطفو.

ب. حجم الماء المزاح.

الحل:

أ.

$$F_B = F_g = m_o g = 0.5 \times 10 = 5\ N$$

ب.

$$F_B = \rho_f V_f g$$

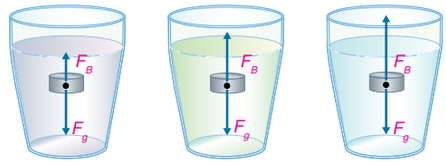
$$5 = 1000 \times V_f \times 10 \Rightarrow V_f = 5 \times 10^{-4}\ m^3$$

المثالُ 4

وُضِعَتْ ثلاثةُ أجسامٍ متماثلةٍ تمامًا داخلَ ثلاثِ كؤوسٍ مملوءةٍ بسوائلَ مختلفةٍ، وتُركتْ حرةَ الحركةِ، ومُثِّلَتْ قوتا الطفوِ ووزنِ الجسمِ بأسهُمٍ، كما في الشكلِ (9). أجيبُ عمّا يأتي:

أ . أرتبُ السوائلَ في الكؤوسِ تنازليًّا حسبَ كثافتِها.

ب. أصفُ حركةَ الأجسامِ.



(أ) $F_B > F_g$ (ب) $F_B = F_g$ (جـ) $F_B < F_g$

الشكلُ (9): القوى المؤثرةُ في أجسامٍ مغمورةٍ في الماءِ

المعطياتُ:

مخطَّطُ الجسمِ الحرِّ لكلِّ جسمٍ.

المطلوبُ:

ترتيبُ السوائلِ تنازليًّا حسبَ الكثافةِ، ووصفُ حركةِ كلِّ جسمٍ في السائلِ.

الحلُّ:

أ . الترتيبُ التنازليُّ: كثافةُ السائلِ في الكأسِ (أ)، كثافةُ السائلِ في الكأسِ (ب)، كثافةُ السائلِ في الكأسِ (جـ)، وذلكَ منْ خلالِ المقارنةِ بينَ قوى الطفوِ في الحالاتِ الثلاثِ.

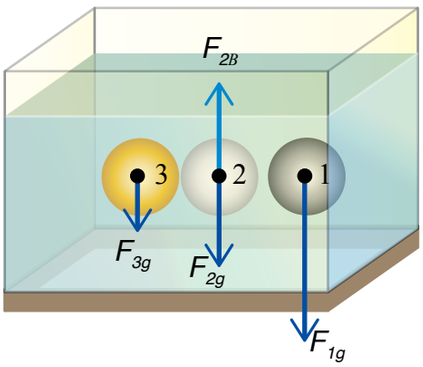
ب . محصلةُ القوى المؤثرةِ في الجسمِ (أ) إلى أعلى؛ لأنَّ قوةَ الطفوِ أكبرُ منْ وزنِ الجسمِ ($F_B > F_g$) وبالتالي؛ سيتحركُ الجسمُ إلى أعلى بتسارعٍ حتى يطفوَ جزءٌ منهُ ليستقرَّ على سطحِ الماءِ، أما الجسمُ (ب) فيبقى معلقًا في الماءِ؛ لأنَّ ($F_B = F_g$)، بينَما الجسمُ (جـ) سيتحركُ إلى أسفلَ بتسارعٍ؛ لأنَّ ($F_B < F_g$)، ليستقرَّ في قاعِ الكأسِ.

التعزيز:

أوضّح للطلبة أنّ كثافة جسم الإنسان تعتمد على عوامل عدة، منها: كتلة الدهون، وكتلة العضلات والعظام، لهذا وبعكس ما يظن بعض الأشخاص الذين يعانون من السمنة- فإنهم يَطفون أسهل من غيرهم؛ لأن الدهون أخف وأقل كثافة من الماء، فازدياد كتلة الدهون نسبةً إلى باقي كتلة الجسم من عضلات وعظام تقلل من كثافة جسم الإنسان. ثم أوجّه إلى الطلبة السؤال: ما تأثير ذلك في قوة الطفو التي تؤثر في الجسم عند السباحة؟ **أجابة محتملة:** نقصان كثافة الجسم سيزيد من قوة الطفو المؤثرة فيه، مما يسهل عليه السباحة..

مثال إضافي

وضعت ثلاث كرات متماثلة في الحجم داخل حوض مملوء بالماء؛ كما في الشكل، فبناء على المعطيات الموجودة أجيب عما يأتي:

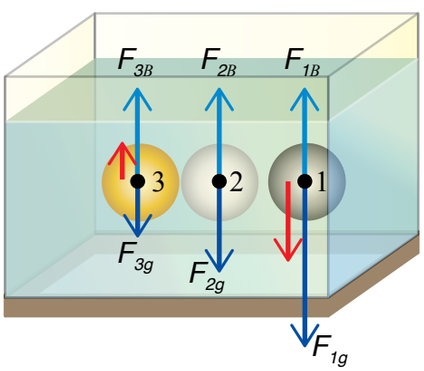


1. أرسم مخطط الجسم الحر للكرتين (1)، و (3) لحظة إفلاتها.

2. أرتب القوى المحصلة المؤثرة في كل كرة تصاعديًّا من حيث المقدار، محددًا اتجاهها لحظة إفلاتها.

الحل:

1. قوى الطفو المؤثرة في الكرات جميعها متساوية في المقدار والاتجاه، لأن حجم الكرات متساوٍ، وعليه فإن وزن السائل المزاح متساوٍ. والشكل الآتي يمثل مخطط الجسم الحر للكرات الثلاث:



2. الترتيب التصاعدي: القوة المحصلة المؤثرة في الكرة 2 وتساوي صفرًا(متزنة)، القوة المحصلة المؤثرة في الكرة 3 واتجاهها لأعلى، القوة المحصلة المؤثرة في الكرة 1 واتجاهها لأسفل. وقد مُثِّلَت القوى المحصلة بأسهم حمراء، كما في الشكل.

مثال إضافي

مكعب طول ضلعه 5 cm يطفو فوق سطح سائل ما، فإذا علمت أن كثافة مادة المكعب تكافئ ربع كثافة ذلك السائل؛ فأحسب:

1. حجم السائل المزاح.
2. حجم الجزء المغمور من المكعب في السائل.

الحل:

$l = 0.05$ m , $\rho_o = 0.25\,\rho_f$

1. حجم السائل المزاح:

$V_o = l^3 = (0.05)^3 = 1.25 \times 10^{-4}$ m^3

$$\frac{V_f}{V_o} = \frac{\rho_o}{\rho_f}$$

$$\frac{V_f}{1.25 \times 10^{-4}} = \frac{0.25\,\rho_f}{\rho_f}$$

$V_f = 3.125 \times 10^{-5}$ m^3

2. حجم الجزء المغمور من المكعب يساوي حجم السائل المزاح:

$= 3.125 \times 10^{-5}$ m^3

المناقشة:

- أوجِّه السؤال الآتي إلى الطلبة:

– لماذا تطفو الأسماك على سطح الماء عند الموت؟

- ثم أدير نقاشًا مع الطلبة حول ما يحدث عندما تموت السمكة

يبقى الأكسجين داخل المثانة بالإضافة إلى تكون غازات إضافية في جسم السمكة خلال عملية التحلل، وهو يملأ جميع أجزاء السمكة وتصبح السمكة مثل البالون المغلق؛ لذلك تطفو الأسماك إلى السطح في تلك الحالة بفعل الغازات الزائدة الموجودة في جسم السمكة بعد الموت.

مثال إضافي

في المثال 6، إذا علمت أن كتلة بالون الهيليوم 4 kg، فأحسب حجم البالون اللازم لاتزانه في الهواء.

الحل:

عند اتزان البالون فإن:

$F_B = F_g$

$\rho_{air}\, V_o\, g = m_o\, g$

$1.29 \times V_o = 4 \Rightarrow V_o = \frac{4}{1.29} = 3.1$ m^3

المثال 5

قاربٌ مطاطيٌّ كتلتهُ 200 kg ومتوسطُ كثافتهِ 100 kg m^{-3} ينقلُ عددًا منَ المهاجرينَ، كما في الشكلِ (10)، إذا علمتُ أنَّ كثافةَ ماءِ البحرِ 1024 kg m^{-3} فأجدُ كتلةَ أكبرِ حمولةٍ يمكنُ وضعُها فوقَ سطحِ القاربِ؛ بحيثُ يبقى طافيًا (أفترضُ أنَّ حافةَ القاربِ العلويةَ عندَ سطحِ الماءِ تمامًا).

الشكلُ (10): قاربٌ ينقلُ عددًا منَ المهاجرينَ.

المعطياتُ: $m' = 200$ kg ، $\rho_o = 100$ kg m^{-3} ، $\rho_f = 1024$ kg m^{-3}

المطلوبُ: كتلةُ الحمولةِ $m = ?$

الحلُّ:

حجمُ الجزءِ المغمورِ منَ القاربِ في هذهِ الحالةِ يساوي حجمَ القاربِ (V_o)، وبالتالي؛ فإنَّ حجمَ السائلِ المزاحِ يساوي حجمَ القاربِ:

$$V_f = V_o = \frac{m'}{\rho_o} = \frac{200}{100} = 2 \text{ m}^3$$

أطبِّقُ العلاقةَ:

$F_B = F_g$

$\rho_f\, V_f\, g = (m + m')\, g$

$1024 \times 2 = (m + 200) \rightarrow m = 1848$ kg

هلْ هذهِ الحمولةُ آمنةٌ؟ أبرِّرُ رأيي.

المثال 6

مُلئَ بالونٌ بغازِ الهيليومِ، وتُرِكَ في الهواءِ، فإذا علمتُ أنَّ كثافةَ الهواءِ 1.29 kg m^{-3}، وقطرَ البالونِ 0.4 m فأجدُ قوةَ الطفوِ.

المعطياتُ: $r = 0.2$ m ، $\rho_{air} = 1.29$ kg m^{-3} ، $g = 10\ m/s^2$

المطلوبُ: $F_B = ?$

الحلُّ:

حجمُ البالونِ: $V_o = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3.14 \times (0.2)^3 = 0.033$ m^3

قوةُ الطفوِ: $F_B = \rho_{air} V_o\, g = 1.29 \times 0.033 \times 10 = 0.43$ N

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

*** القضايا ذات العلاقة بالعمل: الأمن والسلامة.**

ألفت انتباه الطلبة إلى أهمية المحافظة على اتباع قواعد الأمن والسلامة العامة في العمل؛ رابطًا النتيجة التي توصلت إليها من المثال بقضية الهجرة غير الشرعية، فهؤلاء المهاجرون يعرضون حياتهم للخطر، ولا يتبعون قواعد الأمن والسلامة؛ حيث حُمِّل القارب وزنًا زائدًا عن الحد الأقصى لحمولته؛ الأمر الذي سيؤدي إلى غرقه.

تطبيقاتُ قاعدةِ أرخميدس Applications of Archimedes' Principle

قاعدةُ أرخميدس لَها تطبيقاتٌ كثيرةٌ ومتنوعةٌ، وفي ما يأتي بعضُ تلكَ التطبيقاتِ في حياتِنا اليوميةِ:

السفينةُ Ship

كيفَ تطفو السفينةُ على سطحِ الماءِ وهيَ مصنوعةٌ منَ الحديدِ في حينِ يغرقُ مسمارُ الحديدِ في الماءِ؟

عندَما تطفو السفينةُ على سطحِ البحرِ تكونُ قوةُ الطفوِ مساويةً لوزنِها؛ لذا تُصنَعُ السفينةُ بحيثُ تحوي تجويفًا كبيرًا يزيدُ منْ حجمِها ويقلِّلُ منْ متوسطِ كثافتِها؛ ليصبحَ أقلَّ منْ كثافةِ الماءِ، وعندَ إنزالِ السفينةِ إلى الماءِ فإنَّ حجمَ الماءِ المزاحِ ـ المساوي لحجمِ الجزءِ المغمورِ منَ السفينةِ ـ يزدادُ بالتدريجِ فتزدادُ تبعًا لذلكَ قوةُ الطفوِ حسبَ قاعدةِ أرخميدس(قوةُ الطفوِ تساوي وزنَ الماءِ المزاحِ) إلى أنْ تصبحَ قوةُ الطفوِ مساويةً لوزنِ السفينةِ كما في الشكلِ(11)، ويتوقفُ ازديادُ حجمِ الجزءِ المغمورِ منَ السفينةِ لتطفوَ على سطحِ الماءِ؛ حيثُ محصلةُ القوى المؤثرةِ عليْها تساوي صفرًا.

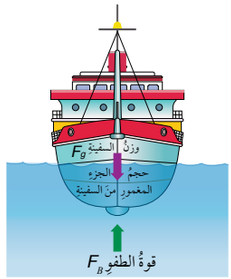
الغواصةُ Submarine

سفينةٌ متخصصةٌ يمكنُها الغوصُ والتنقلُ تحتَ سطحِ الماءِ على أعماقٍ مختلفةٍ، وبإمكانِها أنْ تطفوَ، أنظرُ الشكلَ (12). وتحوي الغواصةُ خزاناتٍ كبيرةً يجري إدخالُ الماءِ إليْها أوْ إخراجهُ منْها، فيزدادُ متوسطُ كثافتِها أوْ يقلُّ لتصبحَ قوةُ الطفوِ إما أكبرَ منْ وزنِ الغواصةِ فتطفو وإما أقلَّ فتهبطُ أوْ تظلُّ مساويةً لقوةِ الطفوِ فتبقى معلقةً على عمقٍ ثابتٍ في الماءِ. وتُستخدَمُ الغواصةُ للأغراضِ العسكريةِ وللأغراضِ المدنيةِ كذلكَ، مثلَ: الأبحاثِ العلميةِ والسياحةِ.

مقياسُ كثافةِ السوائلِ Hydrometer

يعرف **مقياسُ كثافةِ السوائلِ Hydrometer** بأنه أداة تُستخدَمُ لقياسِ كثافةِ السائلِ؛ مثلِ: قياسِ كثافةِ الحليبِ، وكثافةِ محلولِ بطاريةِ السيارةِ، وغيرِها.

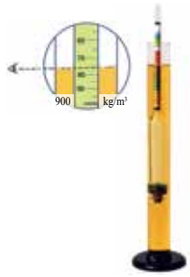
يوضعُ الأنبوبُ في السائلِ المرادِ قياسُ كثافتِهِ فيطفو ليستقرَّ عندَ تدريجٍ محددٍ يمثلُ كثافةَ السائلِ، أنظرُ الشكلَ (13)، وكلَّما زادتْ كثافةُ



الشكلُ (11): سفينةٌ تطفو على سطحِ البحرِ، والقوى المؤثرةُ فيها.

الشكلُ (12): غواصةٌ في أعماقِ المياهِ.

أفكِّرُ: لماذا تطفو السفينةُ بشكلٍ أكبرَ في المياهِ المالحةِ منْها في المياهِ العذبةِ؟



الشكلُ (13): قياسُ كثافةِ البنزينِ باستخدامِ مقياسِ كثافةِ السوائلِ.

إجابة سؤال النص:

قراءة مقياس الكثافة $875\ kg/m^3$، وتمثل تلك القراءة كثافة البنزين في المخبار.

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية جاهزة عن تطبيقات لقاعدة أرخميدس ويفضل الفيديوهات التفاعلية، أو عروض تقديمية.

أشارك الطلبة هذه المواد التعليمية باستخدام الروابط الإلكترونية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو أستعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة، بمشاركة الطلبة وذويهم.

التعزيز:

لتعزيز مفهوم قوة الطفو عند الطلبة؛ أطلب إلى كل طالب اختيار زميل له بحيث يكتب كل منهم إلى زميله/ زميلتها مثالًا أو تطبيقًا على قاعدة أرخميدس في السوائل أو الغازات، ويطلب إليه/ إليها كتابة تفسير علمي لذلك التطبيق، ثم يجري تبادل الأدوار بينهما. أكلِّف بعض الطلبة بعرض مدوناتهم للمناقشة أمام الطلبة.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجِّه الطلبة إلى تأمل الشكل (13)، ثم أطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– علل: يكون تدريج المقياس عكسيًّا؛ بمعنى التدريج الأقل من الأعلى، ويزداد كلما هبطنا إلى أسفل المقياس؟

لأنه كلما ازدادت كثافة السائل في المخبار تزداد قوة الطفو؛ لتدفع بالمقياس إلى أعلى، فيقل حجم الجزء المغمور منه في السائل.

– ما وظيفة قطع الرصاص في قعر مقياس الكثافة؟

تساعد قطع الرصاص في عملية اتزان المقياس بشكل رأسي في المائع.

أفكِّرُ: كثافة المياه المالحة أكبر من كثافة المياه العذبة، وبما أن قوة الطفو تزداد بزيادة كثافة المائع حسب قاعدة أرخميدس $F_B = \rho_f V_f g$ ؛ فإن السفينة سيطفو جزء أكبر من حجمها فوق سطح المياه المالحة.

إضاءة للمعلم/للمعلمة

مناطيد الهواء الساخن غير فعالة لحمل أوزان كبيرة وهي مخصصة فقط لنزهات قصيرة، وأوزان أخف بالمقارنة مع حجمها الهائل؛ لأن حجم $1\ m^3$ من الهواء الساخن لا يمكنه أن يحمل إلا ما بين 400 g و 500 g. لذلك جاءت الفكرة باستعمال غازات اقل كثافة بكثير من الهواء مثل الهيدروجين الذي بمقدور حجم $1\ m^3$ منه حمل كتلة تزيد عن 1kg. ولذلك صُممت مناطيد تُملأ بغاز الهيدروجين، ولكن الهيدروجين سريع الاشتعال؛ فبعد حادثة احتراق منطاد هيندينبيرغ الشهيرة عام 1937 في نيوجرسي، تم الاستغناء عن الهيدروجين في المناطيد لأنه سريع الاشتعال واستُخدم بدلاً منه الهيليوم الآمن، بالرغم من أن الهيليوم أثقل بمرتين من الهيدروجين، لكن هذا لا يؤثر بشكل فعلي؛ لأن وزن الهواء أعلى منه بـ 70 مرة تقريبًا. وبقيت مشكلة أن الهيليوم ليس متوفرًا مثل الهيدروجين. ولكن السؤال كيف يجري التحكم بهبوط منطاد الهيليوم وصعوده؟

تستخدم أكياس رملية في عملية الصعود؛ حيث يُنزَّل عدد من تلك الأكياس؛ فيقل وزن المنطاد ويرتفع إلى أعلى، وأثناء عملية الهبوط تُفرَّغ كمية من غاز الهيليوم من صمام في أعلى المنطاد بواسطة حبل يتصل بالصمام. والشكل المجاور يظهر صورة رجل ألماني استطاع الطيران على ارتفاع 7620 m باستخدام 52 بالونًا مليئة بغاز الهيليوم مدة تزيد على نصف ساعة، وقد هبط باستخدام مظلة. حديثًا تطورت المناطيد حيث أُضيفت إليها محركات كهربائية للتحكم في حركة تلك المناطيد واتجاهها.

إجابة سؤال النص:

يبقى البالون معلقًا في الهواء عندما تصبح قوة الطفو مساوية لوزن المنطاد؛ أي محصلتهما تساوي صفرًا.

الشكلُ (14): مقياسُ كثافةِ سوائلَ إلكترونيٌّ.

السائلِ ازدادتْ قوةُ الطفوِ ليرتفعَ المقياسُ في السائلِ إلى أعلى بشكلٍ أكبرَ. كمْ تبلغُ كثافةُ البنزينِ في الشكلِ (13)؟

ويُفضَّلُ استخدامُ المقياسِ الإلكترونيِّ، كما في الشكلِ (14)؛ لأنَّهُ أكثرُ دقةً وسهولةً في الاستخدامِ.

المنطادُ Balloon

تُستخدَمُ المناطيدُ في أغراضٍ مختلفةٍ مثلِ: السياحةِ والرياضةِ والرصدِ الجويِّ؛ حيثُ يتسارعُ المنطادُ إلى أعلى، ويرتفعُ في الهواءِ عندَما يكونُ وزنهُ أقلَّ منْ قوةِ الطفوِ المؤثرةِ فيهِ منْ قبلِ الهواءِ المحيطِ بهِ. وفي حالِ كانتْ قوةُ الطفوِ أقلَّ منْ وزنهِ يتسارعُ إلى أسفلَ ويهبطُ. متى يبقى معلقًا في الهواءِ؟

الشكلُ (15): منطادٌ مملوءٌ بالغازِ.

تُصنَّفُ المناطيدُ حسبَ نوعيةِ الغازِ المُحمَّلِ بِها؛ فمثلًا: المنطادُ الغازيُّ الذي يكونُ مملوءًا بغازٍ أخفَّ منَ الهواءِ الجويِّ، كغازِ الهيليومِ أوِ الهيدروجينِ؛ مثلَما في الشكلِ (15). وهناكَ نوعٌ آخرُ يُستخدَمُ حاليًّا بشكلٍ كبيرٍ، وهوَ منطادُ الهواءِ السّاخنِ، أنظرُ الشكلَ (16)، حيثُ يجري التحكمُ بصعودهِ أوْ هبوطهِ منْ خلالِ تقليلِ درجةِ حرارةِ الهواءِ داخلَهُ، أوْ زيادتِها.

الشكلُ (16): منطادُ الهواءِ السّاخنِ.

وتوجدُ تطبيقاتٌ أخرى كثيرةٌ تعتمدُ على قاعدةِ أرخميدس مثلَ: العوامةِ الميكانيكيةِ المستخدمةِ في خزاناتِ المياهِ، وحركةِ الأسماكِ صعودًا وهبوطًا في الماءِ منْ خلالِ الحويصلاتِ الهوائيةِ، والسباحةِ وغيرِها.

أفكِّرُ: لماذا يرتفعُ البالونُ في الهواءِ بتسارعٍ أكبرَ في الأجواءِ الباردةِ مقارنةً بتسارعهِ في الأجواءِ الحارةِ؟

أتحقَّقُ: كيفَ يمكنُ التحكمُ بصعودِ كلٍّ مما يأتي وهبوطهِ:

1. منطادُ الهواءِ الساخنِ.
2. الغواصةُ.

أفكِّرُ: تزداد كثافة الهواء المحيط بالبالون في الأجواء الباردة، فتزداد قوة الطفو؛ حيث إنها تعتمد على كثافة المائع (الهواء) حسب العلاقة:

$$F_B = \rho_f\ V_f\ g$$

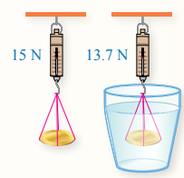
لتزداد تبعًا لذلك محصلة قوة الطفو ووزن البالون؛ فيكتسب البالون تسارعًا أكبر إلى أعلى.

أتحقَّق:

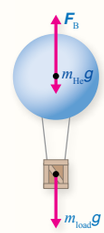
1. **منطاد الهواء الساخن:** عن طريق زيادة درجة حرارة الهواء داخل المنطاد أو تقليلها؛ فعند زيادة درجة حرارة الهواء داخل المنطاد تقل كثافته فيقل وزن المنطاد (عند تسخين الهواء يتمدد فيخرج جزء منه من فتحة المنطاد)؛ ليصبح أقل من قوة الطفو فيصعد إلى أعلى، ويحدث العكس عند تقليل درجة حرارة الهواء داخل المنطاد.
2. **الغواصة:** بواسطة ملء الخزانات بالمياه أو تفريغها؛ فعند ملء الخزانات بالمياه يزداد متوسط كثافة الغواصة، ويزداد وزنها؛ ليصبح أكبر من قوة الطفو فتهبط الغواصة للأسفل، والعكس يحدث أثناء عملية الصعود.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** لماذا تطفو بعضُ الأجسامِ فوقَ سطحِ الماءِ، وبعضُها يبقى معلقًا، وبعضٌ آخرُ ينغمرُ ليستقرَّ في الأسفلِ؟
2. ثلاثةُ مجسماتٍ متماثلةٍ في الحجمِ (A ، B ، C) كثافةُ كلٍّ منها على الترتيبِ $2.5 \times 10^3\ kg/m^3$ ، $9.7 \times 10^2\ kg/m^3$ ، $1.3 \times 10^3\ kg/m^3$ وُضِعتْ داخلَ حوضِ جليسرينٍ كثافتُهُ $1.3 \times 10^3\ kg/m^3$. بناءً على ما سبقَ أجيبُ عما يأتي:
   أ . **أقارنُ** بينَ قوى الطفوِ المؤثرةِ في المجسّماتِ الثلاثةِ لحظةَ إفلاتِها.
   ب. **أقارنُ** بينَ القوى المحصلةِ المؤثرةِ في المجسماتِ الثلاثةِ لحظةَ إفلاتِها.
3. **السببُ والنتيجةُ:** ماذا يحدثُ في كلِّ حالةٍ مما يأتي:
   أ . تفريغُ خزاناتِ المياهِ منَ الغواصةِ.
   ب. تقليلُ درجةِ حرارةِ الهواءِ داخلَ المنطادِ.
   جـ.زيادةُ حجمِ التجويفِ في السفينةِ.
4. **أحسبُ:** قاربٌ مطاطيٌّ يطفو نصفُ حجمِهِ فوقَ سطحِ البحرِ، فإذا علمتُ أنَّ كثافةَ مياهِ البحرِ $1024\ kg\ m^{-3}$ فأجدُ متوسطَ كثافةِ القاربِ.
5. وجدتْ نورُ قطعةَ نقديةً قديمةً لونُها أصفرُ تشبهُ الذهبَ، أرادتِ التأكدَ منْ أنَّ القطعةَ مصنوعةٌ منَ الذهبِ؛ فعلقتِ القطعةَ بميزانٍ نابضيٍّ حساسٍ فكانتْ قراءةُ الميزانِ 15.0 N (في الهواءِ) كما في الشكلِ، وعندَ غمرِها في الماءِ أصبحتْ قراءةُ الميزانِ 13.7 N، أجيبُ عمّا يأتي:



   أ . أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ للقطعةِ بعدَ غمرِها في الماءِ.
   ب. **أحسبُ** قوةَ الطفوِ.
   جـ.**أصدرُ حكمًا:** هلِ القطعةُ النقديةُ مصنوعةٌ منَ الذهبِ؟ علمًا بأنَّ كثافةَ الذهبِ $(19.3 \times 10^3\ kg\ m^{-3})$، وكثافةَ الماءِ $(10^3\ kg\ m^{-3})$.



6. **أحسبُ:** بالونٌ مملوءٌ بغازِ الهيليومِ، ما أقلُّ حجمٍ للبالونِ ليتمكنَ منْ رفعِ ثلاثةِ أشخاصٍ مجموعُ كتلهِمْ يساوي 180 kg، علمًا بأنَّ كتلةَ السلةِ التي تحملهُمْ معَ كتلةِ مادةِ البالونِ تساوي 30 kg، وكثافةَ الهواءِ $1.29\ kg\ m^{-3}$ وكثافةَ الهيليومِ $0.179\ kg\ m^{-3}$؟

3 التقويم

مراجعة الدرس

1. يطفو الجسم عندما تكون كثافته أقل من كثافة الماء حيث قوة الطفو أكبر من وزن الجسم، بينما يبقى الجسم معلقًا في الماء عندما تتساوى كثافة الجسم مع كثافة الماء، أما إذا كانت كثافة الجسم أكبر من كثافة الماء فإن الجسم ينغمر في الماء ليستقر في الأسفل.

2. أ . قوة الطفو المؤثرة في المجسم A = قوة الطفو المؤثرة في المجسم B = قوة الطفو المؤثرة في المجسم C.
   ب. القوة المحصلة المؤثرة في المجسم A باتجاه الأسفل > القوة المحصلة المؤثرة في المجسم B باتجاه الأعلى > القوة المحصلة المؤثرة في المجسم C التي تساوي صفرًا.

3. أ. تفريغ خزانات المياه في الغواصة: يقل وزنها لتصبح قوة الطفو أكبر من وزنها؛ فتصعد إلى الأعلى.
   ب. عند تقليل درجة حرارة الهواء داخل المنطاد يزداد متوسط كثافته ويقل حجمه ليدخل الهواء الجوي المحيط به من الفتحة السفلية للمنطاد، فيزداد وزن المنطاد؛ مما يقلل من محصلة قوتي الطفو والوزن، وبناء عليه؛ فإما أن يقل تسارع المنطاد لأعلى وإما أن يصبح معلقًا أو يهبط إلى أسفل؛ حسب مقدار المحصلة واتجاهها، وحالته الحركية السابقة .
   جـ. عند زيادة حجم تجويف السفينة يزداد حجم السفينة، ويقل متوسط كثافتها؛ مما يسهل طفوها؛ حيث يزداد حجم الجزء الطافي منها.

4. $F_B = F_g$

$$\rho_f V_f g = \rho_o V_o g$$

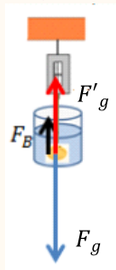
لكن

$$V_f = \frac{V_o}{2}$$

$$1024 \times \frac{V_o}{2} g = \rho_o \times V_o \times g$$

$$\rho_o = 512\ kg/m^3$$

5. أ. مخطط الجسم الحر:



ب.

$$F_B = F_g - F'_g$$

$$F_B = 15 - 13.7 = 1.3\ N$$

جـ.

$$F_B = \rho_f V_f g$$

$$1.3 = 1000 \times V_f \times 10$$

$$V_f = 1.3 \times 10^{-4}\ m^3 = V_o$$

$$F_g = \rho_o V_o g$$

$$15 = \rho_o \times 1.3 \times 10^{-4} \times 10$$

$$\rho_o = 11.54 \times 10^3\ kg/m^3$$

بما أن كثافة القطعة اختلفت عن كثافة الذهب؛ فهذا يدل على أن القطعة ليست مصنوعة من الذهب.

6. $180 + 30 = 210\ kg$

$$F_B = F_g$$

$$\rho_f V_f g = (m_{He} + 210) g$$

$$V_f = V_o\ ,\ m_{He} = \rho_{He} V_o$$

$$\rho_f V_o = (\rho_{He} V_o + 210)$$

$$V_o = \frac{210}{\rho_f - \rho_o}$$

$$V_o = \frac{210}{1.29 - 0.179}$$

$$V_o = 189\ m^3$$

الدرس 2

الموائع المتحركة
Fluids in Motion

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة:

- أوضِّح للطلبة أن الموائع في حالة الحركة تختلف في سلوكها وخصائصها والمعادلات التي تحكمها وتطبيقاتها العملية عن الموائع في حالة السكون.
- أبيِّن للطلبة أن الموائع المتحركة تختلف أيضًا في خصائصها وسلوكها من مائع إلى آخر، مثل طبيعة الجريان، واللزوجة، والعلاقة بينهما، وقابليتها للانضغاط.
- أوجِّه السؤال الآتي إلى الطلبة:

– أثناء مشاهدتك جريان المياه في القنوات والممرات المائية والجداول، هل هو انسيابي أم مضطرب؟ أم يتغير حسب المجرى؟

◄ الربط بالمعرفة السابقة:

- أذكِّر الطلبة بمفهوم الكثافة وعلاقتها بكل من الحجم والكتلة، والعلاقة بين طفو الأجسام في السوائل وكثافة كل منهما بطرح أمثلة حياتية، وطفو البالون في الهواء. أذكِّرهم كذلك بمفهوم اللزوجة، والتمييز بين الحركة المنتظمة وغير المنتظمة، وذلك بتوجيه الأسئلة، وإعطاء أمثلة تطبيقية من الحياة اليومية وأمثلة رياضية على تلك المفاهيم والعلاقات.

إجابة محتملة: قد يكون انسيابيًا في أماكن ومضطرب في أماكن أخرى، حسب طبيعة الممر.

2 التدريس

نشاط سريع

- أشعل عود ثقاب ثم أطفئه أمام الطلبة، طالبًا إليهم ملاحظة جريان الدخان وهو يتصاعد إلى أعلى، وأوجِّه السؤال الآتي إلى الطلبة: صف حركة الدخان المتصاعد من عود الثقاب. ثم أبين للطلبة منطقة الجريان الانسيابي (المنتظم)، ومنطقة الجريان غير المنتظم.

الدرس 2

الموائعُ المتحركةُ
Fluids in Motion

◄ الفكرةُ الرئيسةُ:

للموائعِ المتحركةِ خصائصُ وسلوكاتٌ وتطبيقاتٌ خاصةٌ بها، يمكنُ تفسيرُها عنْ طريقِ معادلةِ الاستمراريةِ وقاعدةِ برنولي.

◄ نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أوضحُ المفاهيمَ المتعلقةَ بالموائعِ المتحركةِ.
- أستقصي خصائصَ المائعِ المثاليِّ والعواملَ المؤثرةَ في حركتِهِ.
- أوظفُ التجاربَ العمليةَ في التحققِ منْ مبدأِ برنولي.
- أوظفُ معرفتي بالمفاهيمِ والعلاقاتِ الخاصةِ بحركةِ الموائعِ في حلِّ مسائلَ حسابيةٍ، وتفسيرِ مواقفَ حياتيةٍ متعلقةٍ بها.
- أوظفُ التجاربَ العمليةَ في تعرفِ خصائصِ الموائعِ المتحركةِ وتطبيقاتِها.

◄ المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

المائعُ المثاليُّ	Ideal Fluid
الجريانُ المنتظمُ	Regular(Steady) Flow
مائعٌ غيرُ لزجٍ	Nonviscous Fluid
غيرُ قابلٍ للانضغاطِ	Incompressible
غيرُ دوّاميٍّ	Irrotational
معدلُ التدفقِ الحجميِّ	Volume Flow Rate
معادلةُ الاستمراريةِ	Continuity Equation
معادلةُ برنولي	Bernoulli's Equation
مقياسُ فنتوري	Venturi Meter
خطُّ الجريانِ	Flow Line

خصائصُ الموائعِ المتحركةِ Properties of Fluids in Motion

تتساءلُ ربَّما عنْ كثيرٍ منَ المشاهداتِ والمواقفِ الحياتيةِ والتطبيقاتِ المتعلقةِ بحركةِ الموائعِ وسلوكِها؛ فمثلًا إذا كانَ طولُ خرطومِ المياهِ- أثناءَ ريِّ نباتاتِ حديقتكَ المنزليةِ- غيرَ كافٍ لوصولِ المياهِ إلى مسافةٍ أبعدَ لشمولِ مساحةٍ أكبرَ؛ فإنكَ بسهولةٍ تضغطُ بإصبعكَ لإغلاقِ جزءٍ منْ فوهةِ الخرطومِ، مثلَما في الشكلِ (17).

سنتناولُ في هذا الدرسِ حركةَ الموائعِ وخصائصَها ومعادلاتِها، والتطبيقاتِ المتعلقةَ بها إضافةً إلى تفسيرِ المشاهداتِ والمواقفِ الحياتيةِ المختلفةِ. ومنْ أبرزِ خصائصِ الموائعِ المتحركةِ:

الجريانُ Flow

يمكنُ التمييزُ بينَ نوعيْنِ رئيسيْنِ منْ جريانِ الموائعِ؛ هما: الجريانُ المنتظمُ، والجريانُ غيرُ المنتظمِ.

الشكلُ (17): سلوكُ الماءِ المتدفقِ قبلَ الضغطِ على فوهةِ الخرطومِ، وبعدَهُ.

72

◄ التعزيز:

لتعزيز مفاهيم الجريان المنتظم والجريان غير المنتظم؛ أبيِّن للطلبة أن لهذين المفهومين أسماء أخرى باللغة العربية واللغة الإنجليزية: منتظم (Regular)، انسيابي (Steady)، طبقي (Laminar)، غير منتظم (Irregular)، مضطرب (Turbulant)، غير انسيابي (Nonsteady).

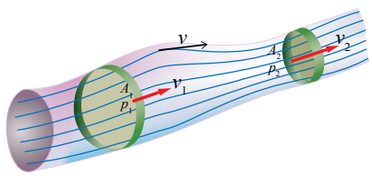
المائعُ الذي تكونُ سرعةُ جزيئاتِهِ عندَ نقطةٍ معينةٍ فيهِ ثابتةً لا تتغيرُ معَ الزمنِ، ولكنَّها يمكنُ أنْ تتغيرَ منْ نقطةٍ إلى أخرى، يسمّى **جريانًا منتظمًا Regular (Steady) Flow** أوِ انسيابيًّا. مثلَما هوَ مبينٌ في الجزءِ السفليِّ منَ الشكلِ (18) حيثُ تنسابُ جزيئاتُ الدخانِ أوِ المائعِ في مساراتٍ منتظمةٍ تُمَثَّلُ بخطوطٍ، كلُّ خطٍّ منْها يسمّى **خطَّ الجريانِ Flow Line** وهوَ خطٌّ يمثلُ مسارَ جزيئاتِ المائعِ عندَ جريانِها. ويمكنُنا تصورُ جريانِ المائعِ في أنبوبٍ يسمّى أنبوبَ الجريانِ سواءٌ كانَ حقيقيًّا مثلَ خرطومِ الماءِ أوِ افتراضيًّا مثلَ التيارِ الهوائيِّ أوِ المائيِّ. وتُمَثَّلُ خطوطُ الجريانِ المنتظمِ لمائعٍ كما في الشكلِ (19)، حيثُ تمتازُ تلكَ الخطوطُ بخصائصَ عدةٍ، منْها:

- أنَّها لا تتقاطعُ.
- كثافتُها (عددُ خطوطِ الجريانِ التي تمرُّ عموديًّا بوحدةِ المساحةِ (A)) تزدادُ بزيادةِ سرعةِ المائعِ $(v_2 > v_1)$.
- المماسُّ لأيّةِ نقطةٍ على خطِّ الجريانِ يحددُ اتجاهَ سرعةِ جزيْءِ المائعِ اللحظيةِ (v) عندَ تلكَ النقطةِ.

يبقى جريانُ المائعِ منتظمًا ما لمْ تتجاوزْ سرعتُهُ قيمةً معينةً تسمّى السرعةَ الحرجةَ؛ فإنْ تجاوزَها يتحولُ جريانَ المائعِ منْ جريانٍ منتظمٍ إلى **جريانٍ غيرِ منتظمٍ Irregular Flow**. وهوَ جريانٌ تتغيرُ سرعةُ المائعِ عندَ نقطةٍ ما فيهِ معَ الزمنِ، كما هوَ مبينٌ في كلٍّ منَ الجزءِ العلويِّ منَ الشكلِ (18) وفي الشكلِ (20/ أ)، أما خطوطُ الجريانِ المنتظمِ وغيرِ المنتظمِ فتظهرُ في الشكلِ (20/ ب)؛ حيثُ تغيّرَ جريانُ المائعِ عندَ وضعِ الكرةِ أمامَ مجراهُ ليتحولَ جريانُهُ منْ جريانٍ منتظمٍ (أمامَ الكرةِ وعلى جانبيْها) إلى جريانٍ غيرِ منتظمٍ (خلفَ الكرةِ).

الشكلُ (18): الجريانُ المنتظمُ والجريانُ غيرُ المنتظمِ لجزيئاتِ الدخانِ المنبعثةِ عندَ إطفاءِ الشمعةِ.

الشكلُ (20):
أ. الجريانُ المنتظمُ والجريانُ غيرُ المنتظمِ للماءِ.
ب. خطوطُ الجريانِ المنتظمِ والجريانِ غيرِ المنتظمِ للماءِ.



الشكلُ (19): خطوطُ الجريانِ المنتظمِ في أنبوبِ الجريانِ.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (18) ثم أطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– لماذا يتصاعد الدخان إلى أعلى؟

لأن درجة حرارة الدخان أكبر من درجة حرارة الهواء المحيط به وبالتالي كثافته أقل، لذا يتأثر بقوة طفو لأعلى من قبل الهواء المحيط به فيرتفع لأعلى (كما في المنطاد).

– هل تتغير سرعة جزيئات الدخان من نقطة إلى أخرى خلال كل من الجريان المنتظم وغير المنتظم؟

نعم، يمكن أن تتغير سرعة جزيئات الدخان في كل من الجريان المنتظم وغير المنتظم.

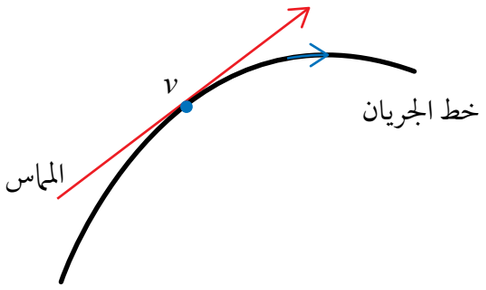
– في أي مناطق الجريان تبقى سرعة جزيئات الدخان عند مرورها بنقطة ما ثابتة مع الزمن في المقدار والاتجاه؟

سرعة أي جزيء تكون ثابتة عند مروره بالنقطة نفسها في منطقة الجريان المنتظم.

بناء المفهوم:

الجريان المنتظم

- أوضِّح للطلبة أن انتقال كمية من المائع ضمن مجرى معين (أنبوب الجريان) يسمى جريانًا، وأبيِّن لهم أنّ جريان المائع يمكن أن يكون منتظمًا (انسيابيًّا) أو غير منتظم (مضطربًا)، وأن سرعة جزيئات المائع تكون ثابتة مع الزمن عند نقطة معينة في الجريان المنتظم كما هو مبين في الشكل، واتجاه السرعة باتجاه المماس عند تلك النقطة.



المناقشة:

- أناقش الطلبة في أوجه الاختلاف بين الجريان المنتظم والجريان غير المنتظم، من حيث: سرعة جزيئات المائع واتجاهها، وكذلك خطوط الجريان. أوضِّح لهم تلك الاختلافات باستخدام أمثلة حياتية ورسومات لخطوط الجريان على السبورة والاستعانة بالأشكال (18)، و(19)، و (20/ ب) وكيف تغيرت حركة الماء في مجرى النهر عندما ضاق مجراه، وأثر حركة الدخان المتصاعد، وخطوط الجريان في انسيابيته.

إضاءة للمعلم/ للمعلمة

- **الإعصار Tornado**: عاصفة هوائية عنيفة تتميز بغيمة مخروطية دوارة. تتشكّل الأعاصير فوق مناطق المياه المدارية أو شبه الاستوائية، ثم تتجه إلى اليابسة. تصنف الأعاصير حسب قوتها إلى خمس درجات؛ تبدأ من أعاصير الدرجة الأولى وهي الأعاصير الخفيفة التي تصل سرعة الرياح فيها إلى 132 km/h وتنتهي بالأعاصير المدمرة تصل سرعة الرياح فيها إلى 420 km/h، وتشكل المياه الدافئة- التي تصل درجة حرارتها إلى 27 درجة سلسيوس على عمق 50 مترًا تحت سطح البحر - العامل الأول لحدوث الأعاصير، أما العامل الثاني فهو الرياح؛ فعند مرورها فوق مياه المحيط تحول الماء إلى بخار يرتفع عن سطح الماء، ثم يبرد ويتكاثف ويرجع إلى الحالة السائلة على هيئة قطرات بكميات كبيرة؛ فتتكون الغيوم وهي بداية الإعصار.

تتسبَّب حركة العواصف المرافقة للأعاصير باتجاه السواحل في ارتفاع مستويات مياه المحيط وتندفع تلك المياه إلى اليابسة بفعل الرياح القويّة وقد تتسبَّب في غمر المناطق المنخفضة التي تقع على طول الساحل، وهدم المنازل، وتدمير المنشآت، وتعطيل أنشطة الحياة.

- **الدوّامة Vortex**: هي ماء يدور حول نفسه بسرعة وقوة هائلتين، وقد يتحول في بعض الأحيان إلى تدفق لولبي ، ويمكن أن تحدث الدوّامة في الماء لعدة أسباب منها: التقاء المد السريع بالجزر؛ حيث تبدأ تيارات البحر بالتحرك بشكل دوار، ومنها أيضًا حركة الرياح. وتشكل الدوامات المائية خطورة على المصطافين في بعض الشواطىء وقد أودت بحياة الكثيرين منهم؛ لذا يجب توخي الحذر وعدم الاقتراب منها لأنها ستجرفك إلى أعماق المياه ولن تستطيع مقاومتها.

(أ)

(ب)

الشكلُ (21): التياراتُ الدوّاميةُ في جزيئاتٍ: أ. الهواءِ. ب. الماءِ.

عندَما تدورُ جميعُ جزيئاتِ المائعِ حولَ مركزٍ أوْ محورِ دورانٍ إضافةً إلى حركتِها الانتقاليةِ فإنَّ جريانَ المائعِ يكونُ دوّاميًّا، مثالُ ذلكَ حركةُ جزيئاتِ الهواءِ التي ينتجُ عنْها أعاصيرُ مدمرةٌ وحركةُ جزيئاتِ الماءِ التي ينتجُ عنْها دوّاماتٌ بحريةٌ خطرةٌ، كما في الشكلِ (21)، أما الجريانُ الذي لا تدورُ جزيئاتهُ حولَ مركزِ دورانٍ فيسمّى **الجريانَ غيرَ الدوامي Irrotational Flow**.

القابليةُ للانضغاطِ Compressibility

المائعُ الذي تبقى كثافتهُ ثابتةً ولا تتغيرُ تحتَ تأثيرِ قوةٍ يعدُّ **مائعًا غيرَ قابلٍ للانضغاطِ Incompressible Fluid**، أما المائعُ الذي تتغيرُ كثافتهُ، يعدُّ **مائعًا قابلًا للانضغاطِ Compressible Fluid**.

اللزوجةُ Viscosity

خلالَ جريانِ السائلِ تنسابُ طبقاتُهُ بالنسبةِ إلى بعضِها كما في الشكلِ (22)، وتعدُّ لزوجةُ السائلِ مقياسًا لمقاومةِ طبقاتِ المائعِ لهذهِ الحركةِ، فكلَّما زادتْ لزوجةُ المائعِ قلَّتْ قابليتهُ للجريانِ؛ وبذلكَ

أعدُّ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (movie maker) يبيِّنُ خصائصَ المائعِ المثاليِّ، وأحرصُ على أنْ يشتملَ الفيلمُ على مفهومِ كلٍّ منَ: الجريانِ المنتظمِ، والجريانِ غيرِ الدوّاميِّ، وانعدامِ اللزوجةِ، وعدمِ القابليةِ للانضغاطِ، وعلى صورٍ متحركةٍ لأمثلةٍ توضيحيةٍ، ثمَّ أشاركُهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

الشكلُ (22): طبقاتُ المائعِ وخطوطُ جريانهِ.

استخدام الصور والأشكال:

أوجِّه الطلبة إلى دراسة الشكل (22)، ثم أوضّح لهم أن سرعة تدفق طبقة المائع الملامس للجدار الداخلي لأنبوب الجريان هي الأقل (تساوي صفرًا تقريبًا)، وكلما اقتربنا من مركز الأنبوب تزداد سرعة تدفق طبقات المائع، وهذا يعني أن سرعة المائع ليست ثابتة عبر المقطع العرضي للأنبوب؛ فهي أكبر ما يمكن عند مركز الأنبوب، وأقل ما يمكن عند الجدران الداخلية له، كما هو واضح في الجزء الأيسر من الشكل، وكذلك خطوط الجريان في الجزء الأيمن.

أوجِّه الطلبة إلى عمل فلم قصير باستخدام برنامج صانعِ الأفلام (movie maker) يوضح خصائص المائع المثاليّ على أن يشتمل الفلم على مفهوم كل من: الجريان المنتظم، والجريان غير الدوّامي، وانعدام اللزوجة، وعدم القابلية للانضغاط، مدعمًا بالشروحات الصوتية المناسبة والصور أو مقاطع فيديو، ثم أطلب منهم تنظيم عرضها أمام الزملاء/ الزميلات في الصف.

تنخفضُ سرعتهُ؛ فمثلًا لتحريكِ كميةٍ منَ العسلِ بسرعةٍ ما في أنبوبِ الجريانِ نحتاجُ إلى قوةٍ أكبرَ منَ التي نحتاجُها لتحريكِ الكميةِ نفسِها منَ الماءِ، وبالسرعةِ نفسِها. يجدرُ الذكرُ بأنَّ تأثيرَ اللزوجةِ في جريانِ السائلِ يقابلهُ تأثيرُ قوةِ الاحتكاكِ في انزلاقِ جسمٍ على سطحٍ خشنٍ. فزيادةُ لزوجةِ الدمِ مثلًا قدْ تؤدي إلى زيادةِ مخاطرِ الإصابةِ بالجلطاتِ الدمويةِ عندَ الإنسانِ؛ حيثُ يصعبُ جريانُ الدمِ داخلَ الشرايينِ فيُعطى المريضُ أدويةً تقللُ لزوجةَ الدمِ (وهيَ أدويةٌ مميعةٌ).

لذا؛ يمكنُ تعريفُ **المائعِ غيرِ اللزجِ Nonviscous Fluid** بأنَّهُ المائعُ الذي لا يوجدُ قوى احتكاكٍ بينَ طبقاتِهِ أثناءَ جريانِهِ.

المائعُ المثاليُّ Ideal Fluid

ولتسهيلِ دراسةِ حركةِ الموائعِ افترضَ العلماءُ **مائعًا مثاليًّا Ideal Fluid** يتصفُ بالخصائصِ الآتيةِ:

- جريانُهُ منتظمٌ.
- غيرُ قابلٍ للانضغاطِ.
- غيرُ لزجٍ.
- غيرُ دوّاميٍّ.

ولا يوجدُ في الواقعِ مائعٌ مثاليٌّ يتصفُ بهذهِ الخصائصِ الأربعِ؛ وإنَّما هوَ نموذجٌ افترضهُ العلماءُ يساعدُ ويُسهّلُ دراسةَ مائعٍ لا يتصفُ بخاصيةٍ أوْ أكثرَ منْ خصائصِ المائعِ المثاليِّ.

أتحقَّقُ: ما الخاصيةُ التي يمتلكُها المائعُ المتحركُ في الحالاتِ الآتيةِ:

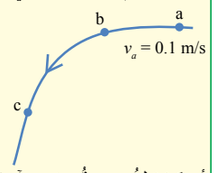
أ. كثافتهُ ثابتةٌ لا تتغيرُ أثناءَ جريانِهِ.

ب. توجدُ قوى احتكاكٍ (قوى مقاومةٍ) بينَ طبقاتِهِ أثناءَ جريانِهِ.

جـ. لا تدورُ جزيئاتهُ حولَ مركزِ دورانٍ أثناءَ جريانِهِ.

ولاستقصاءِ بعضٍ منْ خصائصِ الموائعِ؛ أُجري التجربةَ الآتيةَ:

أفكِّرُ: يمثلُ الشكلُ خطَّ جريانٍ منتظمٍ لمائعٍ، فإذا كانتْ سرعةُ أحدِ جزيئاتِ المائعِ لحظةَ مرورِهِ بالنقطةِ (a) تساوي 0.1 m/s، بناءً على ما تقدمَ؛ أجيبُ عمّا يأتي:



أ. كمْ تبلغُ سرعةُ جزيءٍ آخرَ منَ المائعِ لحظةَ مرورِهِ بالنقطةِ (a) بعد (4 s) منْ مرورِ الجزيءِ الأولِ؟

ب. هلْ سرعةُ جزيءِ المائعِ عند مرورِهِ بالنقاطِ b و c هيَ نفسُها عندَ مرورِهِ بالنقطةِ (a)؟

أفكِّرُ:

أ – من خصائص الجريان المنتظم أن سرعة جزيئات المائع عند نقطة معينة ثابتة لا تتغير مع الزمن، وبناءً عليه؛ فإن سرعة جزيء آخر عند النقطة a بعد 4 ثوانٍ هي سرعة الجزيء الأول نفسها $v_a = 0.1$ m/s.

ب– سرعة جزيء المائع في الجريان المنتظم يمكن أن تتغير من نقطة إلى أخرى ولكنها عند النقطة نفسها لا تتغير؛ ومن ثَم فإن سرعة الجزيء عند النقاط b و c ليست بالضرورة تساوي سرعته عند النقطة a؛ فمثلًا اتجاه السرعة عند النقطة a (اتجاه المماس) في الشكل يختلف عن اتجاه السرعة عند النقطة c.

أتحقَّق:

أ . غير قابل للانضغاط.

ب. لزج.

جـ. غير دوَّامي

معلومة إضافية

- أخبر الطلبة أنّ لزوجة المائع تعتمد على عدة عوامل، هي:
  - درجة الحرارة.
  - نوع المائع
  - الحالة الفيزيائية للمائع.

التعزيز:

- لتعزيز مفهوم اللزوجة عند الطلبة؛ أوضِّح لهم أن لزوجة الدم هي المقياس المستخدم لحساب مدى المقاومة التي يواجهها الدم المتدفق في الشرايين أو الشعيرات، أو الأوردة الدموية أثناء تأدية وظيفته الأساسية، وتعتمد لزوجة الدم على عاملين أساسيين: كمية البروتينات المتوفّرة في بلازما الدم، وعدد كريات الدم الحمراء، فإذا زادت نسبتها في الدم فسوف يصاب الإنسان بمتلازمة لزوجة الدم.
- يختلف مقدار اللزوجة الطبيعي في الجسم حسب الجنس؛ فنسبتها عند الذكور تصل إلى 4.7 أمّا عند الإناث فهي تصل إلى 4.3. ويعد النمط الصحي الذي يتبعه الشخص من أهم العوامل التي تزيد من لزوجة الدم وتؤدي إلى حدوث الجلطات مثل: تناول الوجبات السريعة المشبعة بالدهون السيئة، والتدخين، وقلة شرب السوائل.

التجربة 2

خصائص الموائع المتحركة

الهدف: استقصاء خصائص الموائع المتحركة عمليًّا.

زمن النشاط: 35 دقيقة.

إرشادات السلامة: أحذّر الطلبة من سكب السوائل على الأرضية؛ حتى لا تصبح زلقة، والحذرفي التعامل مع الأدوات الزجاجية.

المهارات العلمية:

الملاحظة، التوقع، التجريب، الاستنتاج، القياس، المقارنة.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجِّه الطلبة إلى الاستعانة بدليل الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، وأنبِّه الطلبة إلى التعامل بحذر مع السوائل وخاصة الجليسرين؛ تجنبًا لانسكابه على الأرض.
- أنبِّه الطلبة عند سكب الماء في المحقن في الخطوة (5) إلى مراعاة عدم دخول فقاعات هواء إلى الخرطوم.
- إذا تعذر على كلّ مجموعة إجراء التجربة أو أجزاء منها فيمكن إجراء عرض توضيحي أمام الطلبة بمشاركة عدد منهم.

النتائج المتوقعة:

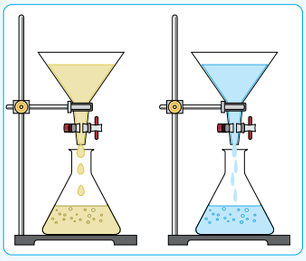
في الخطوات من 1 إلى 3 يُتوقع التوصل إلى نتائج جيدة ومتشابهة من المجموعات كافة، أما بالنسبة للخطوتين الرابعة والخامسة فيمكن عدم ملاحظة الحركة الدورانية للماء والبذور خلف الحجر، ولكن يلاحظ حركة غير منتظمة أو(مضطربة).

التحليل والاستنتاج:

1. خاصية اللزوجة؛ ولزوجة الجليسرين أكبر من لزوجة الماء؛ بدليل أن الزمن اللازم لإفراغ سائل الجليسرين أكبر من الزمن اللازم لإفراغ الحجم نفسه من الماء.
2. خاصية الانضغاط؛ ولوحظ أن الماء غير قابل للانضغاط، بينما الهواء قابل للانضغاط.
3. حركة البذور تكون انسيابية والجريان منتظمًا في الأنبوب وأمام الحجر، أما خلف الحجر فتكون حركة البذور مضطربة ودورانية (دواميَّة)، ويكون الجريان غير منتظم.
4. تدور العجلة نتيجة التيارات الدوامية خلف الحجر.

التجربةُ 2

خصائصُ الموائعِ المتحركةِ



الموادُّ والأدواتُ: قمعانِ شفافانِ معَ صنبورٍ، محقنانِ طبيانِ، خرطومٌ شفافٌ طولهُ (1 m) تقريبًا، ساعتا إيقافٍ، ماءٌ، جليسرينٌ، كأسانِ فارغتانِ، بذورٌ جافةٌ صغيرةُ الحجمِ، حجرٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سكبِ السوائلِ على الأرضيةِ؛ حتى لا تصبحَ زلقةً، والحذرُ في التعاملِ معَ الأدواتِ الزجاجيةِ.

خطواتُ العملِ: بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أنفذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. أحضرُ قمعينِ متماثلينِ، وأضعُ كلًّا منهُما على حاملٍ كما في الشكلِ، وأغلقُ كلًّا منهُما باستخدامِ الصنبورِ أوِ السدادةِ، وأضعُ أسفلَ كلِّ منَ القمعينِ كأسًا فارغةً، ثمَّ أسكبُ كميةً منَ الماءِ في القمعِ الأولِ، وأسكبُ كميةً أخرى منَ الجليسرينِ مماثلةً لكميةِ الماءِ في الحجمِ في القمعِ الثاني (يمكنُ استخدامُ مخبارٍ مدرجٍ).
2. **أقيسُ:** أفتحُ صنبورَ كلٍّ منَ القمعينِ في اللحظةِ نفسِها بالتزامنِ معَ تشغيلِ ساعتيْ الإيقافِ، وأدونُ الفترةَ الزمنيةَ لإفراغِ محتوى كلِّ قمعٍ.
3. **ألاحظُ:** أحضرُ محقنينِ، وأملأُ نصفَ المحقنِ الأولِ بالماءِ باستخدامِ الضاغطِ، ونصفَ المحقنِ الثاني بالهواءِ، وأغلقُ كلًّا منهُما بسدادةٍ أو بإصبعي، وأضغطُ الماءَ والهواءَ في كلٍّ منَ المحقنينِ، وأدوِّنُ ملاحظاتي حولَ تغيرِ حجمِ كلٍّ منَ الهواءِ والماءِ.
4. أصلُ طرفَ الخرطومِ بالقمعِ، وأرفعُ القمعَ إلى أعلى مسافةٍ رأسيةٍ مقدارُها (30 cm) تقريبًا، وأترك باقيَ الخرطومِ مستقيمًا ما أمكنَ على طاولةِ المختبرِ؛ بحيثُ يصبُّ طرفُهُ الآخرُ في كأسٍ فارغةٍ.
5. **ألاحظُ:** أبدأُ بسكبِ الماءِ في القمعِ ونثرِ بذورٍ صغيرةِ الحجمِ فيه لتجريَ في الخرطومِ، وأدوِّنُ ملاحظاتي حولَ حركةِ الماءِ منْ خلالِ حركةِ البذورِ عبرَ الخرطومِ، أضعُ حجرًا أوْ كرةً أمامَ مجرى الماءِ عندَ خروجِهِ منَ الأنبوبِ، وألاحظُ حركةَ البذورِ أمامَ الحجرِ وخلفَهُ. هلْ تلاحظُ دورانَ البذورِ حولَ مركزِ دورانٍ أوْ محورِ دورانٍ؟

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أستنتجُ** الخاصيةَ التي توصلتُ إليْها في الخطوةِ (2) وأقارنُها بينَ حالتيْها في كلٍّ من المائعينِ.
2. **أستنتجُ** الخاصيةَ التي توصلتُ إليْها في الخطوةِ (3) وأقارنُ بينَ حالتيْها في كلٍّ من المائعينِ.
3. **أقارنُ** بينَ حركةِ البذورِ أثناءَ مرورِها في الخرطومِ وأمامَ الحجرِ وخلفَهُ. متى يكونُ الجريانُ غيرَ منتظمٍ؟ ومتى يكونُ منتظمًا؟ ما الخصائصُ التي استنتجتُها لجريانِ الماءِ في الخطوةِ (5)؟
4. **أتوقعُ** ما يحدثُ لعجلةٍ قابلةٍ للدورانِ إذا وُضِعتْ في مجرى الماءِ خلفَ الحجرِ.

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. **أداة التقويم:** قائمة الرصد.

الرقم	معيار الأداء	نعم	لا
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة أثناء تنفيذ خطوات التجربة.		
2	قياس زمن إفراغ محتوى كل قمع بدقة؛ باستخدام ساعة الإيقاف.		
3	استنتاج خواص المائع عن طريق التجربة.		
4	تدوين الملاحظات بأمانة ودقة كما هي.		
5	التعاون مع المعلم/ المعلمة والزملاء واحترام الآخرين.		
6	المحافظة على نظافة المختبر.		

معادلةُ الاستمراريةِ Continuity Equation

نلاحظُ الكثيرَ منَ المشاهداتِ في حياتِنا اليوميةِ؛ مثلَ حركةِ المياهِ المتدفقةِ منْ فوهةِ الخرطومِ بعدَ الضغطِ عليْهِ في الشكلِ (17) بدايةَ الدرسِ، وتدفقِ الماءِ منْ مضخةِ رشِّ المزروعاتِ، ونقصانِ قطرِ أنبوبِ جريانِ الماءِ المتدفقِ منَ الصنبورِ أثناءَ سقوطِهِ في الشكلِ (23)؛ حيثُ تزدادُ سرعةُ الماءِ أثناءَ سقوطِهِ فتقلُّ مساحةُ مقطعِ الأنبوبِ. فما العلاقةُ التي تربطُ بينَ مساحةِ مقطعِ أنبوبِ الجريانِ وسرعةِ مرورِ المياهِ فيهِ؟

الشكلُ (23): نقصانُ مساحةِ مقطعِ أنبوبِ جريانِ الماءِ أثناءَ سقوطِهِ.

لنفترضْ أنَّ مائعًا مثاليًّا يجري في أنبوبٍ مفتوحِ الطرفينِ ومساحةُ مقطعِهِ العرضيِّ متغيرةٌ كما في الشكلِ (24). وبما أنَّ المائعَ المثاليَّ غيرُ قابلٍ للانضغاطِ فإنَّ كتلةَ المائعِ m_1 التي تعبرُ مساحةَ مقطعٍ معينٍ A_1 منَ الأنبوبِ بسرعةِ v_1 تساوي كتلةَ المائعِ m_2 التي تعبرُ مساحةَ مقطعٍ آخرَ A_2 منَ الأنبوبِ بسرعةِ v_2 في الفترةِ الزمنيةِ Δt نفسِها، أيْ أنَّ:

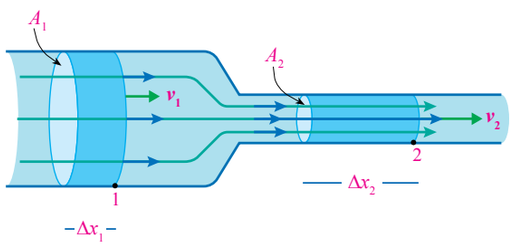
$$m_1 = m_2$$

وبما أنَّ $m = \rho_f V$ ، $V = A\Delta x$ (Δx: المسافةُ التي يقطعُها المائعُ في الفترةِ الزمنيةِ Δt) فإنَّ:

$$\rho_1 A_1 \Delta x_1 = \rho_2 A_2 \Delta x_2$$

وبقسمةِ طرفيْ المعادلةِ على Δt، وحيثُ إنَّ $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ فإنَّ:

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$



الشكلُ (24): جريانُ مائعٍ مثاليٍّ في أنبوبِ جريانٍ أفقيٍّ، مساحةُ مقطعِهِ متغيرةٌ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **بناء الشخصية: المشاركة.**

أخبر الطلبة أنَّ المشاركة إحدى مجالات بناء الشخصية، وأوضِّح لهم أهمية المشاركة في الأنشطة العملية والتجارب المخبرية، والتعاون مع الزملاء.

طريقة أُخرى للتدريس — معادلة الاستمرارية

- يمكن التمهيد لمعادلة الاستمرارية بإجراء نشاط بسيط داخل مختبر العلوم؛ باستخدام صنبور حوض المياه الموجود، وخرطوم طوله نصف متر تقريبًا (ويمكن استخدام الصنبور نفسه بدل الخرطوم) وساعة إيقاف، وكأس فارغة.
- أوضِّح للطلبة فكرة النشاط وخطواته التي تتمثل في ما يأتي:

– وصل الخرطوم بفوهة الصنبور، ثم فتح الصنبور ببطء بحيث يكون تدفق المياه منه انسيابيًّا ما أمكن، مع ملاحظة سرعة تدفق الماء.

– مِلء الكأس بالماء بالتزامن مع تشغيل ساعة الإيقاف؛ لقياس زمن ملء الكأس بالماء.

– الضغط على فوهة الخرطوم، وملاحظة سرعة تدفق الماء.

- أوجِّه السؤال الآتي إلى الطلبة:

– كيف تغيرت سرعة تدفق الماء؟ وما الذي جعلها تتغير؟

تزداد سرعة تدفق الماء عند الضغط على فوهة الخرطوم؛ لأن مساحة مقطع الخرطوم نقصت.

– مِلء الكأس بالماء مع الضغط على فوهة الخرطوم، بالتزامن مع تشغيل ساعة الإيقاف لقياس زمن ملء الكأس بالماء.

- أوجِّه السؤال الآتي إلى الطلبة:

– قارن بين زمن تدفق الماء في الحالتين؟ ماذا تستنتج من ذلك؟

زمن تدفق الماء لملء الكأس في الحالتين نفسه. نستنتج من ذلك أنه كلما نقصت مساحة المقطع A زادت سرعة الماء v بحيث يبقى معدل التدفق الحجمي (Av) ثابتًا.

مثال إضافي

ينساب الماء في خرطوم لحديقة المنزل بسرعة 3 m/s، فإذا وصل طرفه بفوهة مساحة مقطعها العرضي ربع مساحة المقطع العرضي للخرطوم، فأحسب سرعة خروج الماء من فوهة الخرطوم.

الحل:

لنفرض أن مساحة مقطع الخرطوم A_1 وسرعة انسياب الماء فيه $v_1 = 3$ m/s ومساحة مقطع فوهة الخرطوم A_2.

$$A_2 = \frac{1}{4} A_1$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$A_1 \times 3 = \frac{1}{4} A_1 v_2$$

$$v_2 = 3 \times 4 = 12 \text{ m/s}$$

أي أن سرعة الماء ازدادت أربعة أضعاف عندما قلت مساحة مقطع الخرطوم إلى الربع (علاقة عكسية).

أُفكِّر:

أ. عند الضغط على فوهة الخرطوم تقل مساحة مقطع فوهته، فتزداد سرعة تدفق الماء؛ حسب معادلة الاستمرارية:

$(A_1 v_1 = A_2 v_2)$.

ب. أثناء نزول المياه من فتحة الصنبور إلى أسفل تزداد طاقة حركتها، ومن ثَم سرعتها بفعل الجاذبية الأرضية، وحسب معادلة الاستمرارية فإن مساحة مقطع مجرى الماء تقل.

✓ أتحقَّق:

يعتمد معدل التدفق الحجمي للمائع من أنبوب الجريان على:

1. سرعة تدفق المائع (v).
2. مساحة المقطع العرضي للأنبوب (A).

وحيث إنَّ كثافةَ المائعِ ثابتةٌ ($\rho_1 = \rho_2$)؛ لأنَّهُ غيرُ قابلٍ للانضغاطِ، فإنَّ:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

هذهِ المعادلةَ تُسمّى **معادلةَ الاستمرارية** **Continuity Equation** ويُعبَّرُ عنْها بالكلماتِ كما يأتي: «حاصلُ ضربِ مساحةِ المقطعِ العرضيِّ لأنبوبِ جريانِ المائعِ في سرعةِ المائعِ عندَ ذلكَ المقطعِ يساوي مقدارًا ثابتًا ($A\,v = constant$) للمائعِ المثاليِّ». ويمثلُ المقدارُ Av **معدلَ التدفقِ الحجميِّ** $\frac{V}{\Delta t}$ **Volume Flow Rate** وهوَ حجمُ المائعِ الذي يَعبُرُ مساحةَ مقطعٍ معينٍ منَ الأنبوبِ في وحدةِ الزمنِ:

$$A\,v = \frac{V}{\Delta t}$$

ووحدةُ قياسهِ m^3/s في النظامِ الدوليِّ للوحداتِ.

معادلةُ الاستمراريةِ تعبيرٌ رياضيٌّ عنْ مبدأِ حفظِ الكتلةِ، وتنطبقُ على أيِّ مقطعٍ منَ أنبوبِ الجريانِ، وليسَ شرطًا عندَ طرفيْهِ. وتكمنُ أهميةُ معادلةِ الاستمراريةِ في أنَّها تصفُ حركةَ المائعِ عندَ مرورهِ في أنبوبِ جريانٍ تتغيرُ مساحةُ مقطعهِ؛ فعندَما ينتقلُ المائعُ منْ أنبوبٍ واسعٍ (مساحةُ مقطعهِ كبيرةٌ) إلى أنبوبٍ أضيقَ (مساحةُ مقطعهِ صغيرةٌ) تزدادُ سرعةُ المائعِ لضمانِ مرورِ الحجمِ نفسهِ منَ المائعِ في الزمنِ نفسهِ. وتفسرُ معادلةُ الاستمراريةِ كثيرًا منَ المشاهداتِ مثلَ تدفقِ مياهِ النهرِ بسرعةٍ أكبرَ في الأماكنِ التي يضيقُ فيها مجرى النهرِ عنْ تلكَ التي يتسعُ فيها المجرى. والآنَ هلْ يمكنُ الإجابةُ على التساؤلِ الذي وردَ بدايةَ الدرسِ المتعلقِ بالضغطِ على فوهةِ خرطومِ مياهِ الريِّ؛ لوصولِ المياهِ إلى مسافةٍ أكبرَ؟

✓ أتحقَّقُ: ما العواملُ التي يعتمدُ عليْها معدلُ التدفقِ الحجميِّ في أنبوبِ الجريانِ؟

الفيزياءُ والطبُّ

عندَ حدوثِ انسدادٍ جزئيٍّ أوْ كليٍّ لبعضِ الشرايينِ التي تغذّي عضلةَ القلبِ؛ نتيجةَ تراكمِ الموادِّ الدهنيةِ على جدرانِ الشرايينِ الداخليةِ مسببةً تضيُّقًا في الشرايينِ، كما يبدو في الشكلِ: تزدادُ سرعةُ تدفقِ الدمِ في تلكَ الشرايينِ حسبَ معادلةِ الاستمراريةِ، فيلجأُ الأطباءُ إلى إجراءِ عمليةِ القسطرةِ لتوسعةِ تلكَ الشرايينِ باستخدامِ البالونِ وتركيبِ شبكاتٍ أحيانًا، لذا؛ يُنصحُ بتناولِ غذاءٍ صحيٍّ وإجراءِ فحوصاتٍ مخبريةٍ دوريةٍ للكوليسترولِ والدهونِ في الدمِ.

أُفكِّرُ: أفسّرُ ما يأتي:

أ. زيادةُ سرعةِ الماءِ المتدفقِ من خرطومِ المياهِ عندَ الضغطِ على فوهتهِ.

ب. نقصانُ اتساعِ مجرى الماءِ في الشكلِ (23) أثناءَ سقوطهِ نحوَ الأسفلِ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

❋ **التفكير: الأدلة والبراهين.**

أخبر الطلبة أنَّ استعمال الأدلة والبراهين من طرائق التفكير؛ فإقامة الدليل لها أهمية في التوصل إلى المعرفة، وكثير من العلاقات الفيزيائية تقوم على البرهان الرياضي؛ كما في حالة التوصل لمعادلة الاستمرارية.

الفيزياء والطب

أطلب إلى الطلبة الاستعانة بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة، ومنها الإنترنت، للحصول على معلومات عن مرض تضيق الشرايين من حيث: أسبابه وعلاجه وطرائق الوقاية منه، وعلاقته بالفيزياء من حيث سرعة تدفق الدم في الشرايين وضغط الدم، وإعداد تقرير بذلك. يمكن الطلب من إدارة المدرسة تقديم دعوة لاستضافة طبيب اختصاص في المدرسة لإعطاء محاضرة عن النوبات القلبية وتضيق الشرايين، وإدارة حوار ومناقشة مع الطلبة.

المثال 7

يضخُّ قلبُ الإنسانِ الدمَ إلى الشرايينِ التي تتفرعُ إلى شعيراتٍ، فإذا علمتُ أنَّ الدمَ يتدفقُ بسرعةِ 5×10^{-2} m/s في شريانٍ مساحةُ مقطعهِ $6\ mm^2$، يتفرعُ إلى شعيراتٍ متماثلةٍ مساحةُ مقطعِ كلِّ شُعيرةٍ منْها $0.3\ mm^2$ وسرعةُ تدفقِ الدمِ في كلٍّ منْها 2×10^{-3} m/s أجدُ:

أ . معدلَ التدفقِ الحجميِّ للدمِ في الشريانِ.

ب. عددَ الشعيراتِ التي تفرعتْ منَ الشريانِ.

المعطياتُ: $A_1 = 6\ mm^2 = 6 \times 10^{-6}\ m^2$ ، $v_1 = 5 \times 10^{-2}$ m/s

$A_2 = 0.3\ mm^2 = 3 \times 10^{-7}\ m^2$ ، $v_2 = 2 \times 10^{-3}$ m/s

المطلوبُ: $\frac{V}{\Delta t} = ?$ ، عددُ الشعيراتِ $N = ?$

الحلُّ:

أ . معدلُ التدفقِ الحجميِّ:

$$\frac{V}{\Delta t} = A_1 v_1 = (6 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-2}) = 3 \times 10^{-7}\ m^3/s$$

ب . عددُ الشعيراتِ N:

سرعةُ تدفقِ الدمِ في كلِّ شعيرةٍ (v_2) متساويةٌ؛ لأنَّ مساحةَ مقطعِ الشعيراتِ متساويةٌ.

معدلُ التدفقِ في الشريانِ = مجموعَ معدلِ التدفقِ في الشعيراتِ.

$$A_1 v_1 = N(A_2 v_2)$$

$$3 \times 10^{-7} = N \times (3 \times 10^{-7})(2 \times 10^{-3})$$

$$3 \times 10^{-7} = N \times 6 \times 10^{-10}$$

$$N = 500$$

ألاحظُ أنَّ سرعةَ اندفاعِ الدمِ في الشعيراتِ الدمويةِ صغيرةٌ (قليلةٌ) جدًّا مقارنةً معَ سرعتهِ في الشريانِ، الأمرُ الذي يتيحُ حدوثَ عملياتِ تبادلِ الغازاتِ (الأكسجينِ وثاني أكسيدِ الكربونِ) معَ الخلايا والأنسجةِ، إضافةً إلى تزويدِها بالموادِّ الغذائيةِ، وهذهِ منْ حِكَمِ اللهِ عزَّوجلَّ.

79

مثال إضافي

كم مترًا مكعبًا من الدم يضخ قلب شخص عمره 75 عامًا خلال حياته كلها؛ على أساس أن متوسط معدل التدفق الحجمي لدمه 5 L في الدقيقة؟

الحل:

$$\frac{V}{\Delta t} = 5\ \frac{L}{min} = 5 \times \frac{10^{-3}}{60} = 8.3 \times 10^{-5}\ m^3/s$$

كمية الدم التي يضخها قلبه خلال 75 عامًا هي:

$$75\ y = 75 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 2.46 \times 10^9\ s$$

$$V_{tot} = 8.3 \times 10^{-5} \times 2.46 \times 10^9$$

$$V_{tot} = 204180\ m^3$$

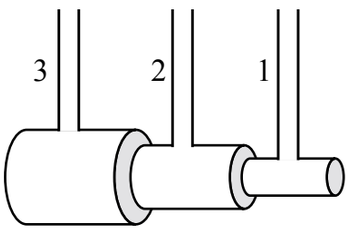
على اعتبار أن متوسط كثافة الدم $1000\ kg/m^3$ فإن قلب الإنسان يضخ ما يقارب 200000 ton من الدم خلال 75 عامًا.

المناقشة:

- أستخدم استراتيجية التفكير الناقد في الحكم على صحة الرأي الآتي:

«ارتفاع المائع في الأنابيب الثلاثة (3، 2، 1) يكون متساويًا أثناء جريان المائع في الأنبوب الأفقي متغير المقطع، وبعد سكونه».

- أقسِّم الطلبة إلى مجموعتين؛ مؤيدة ومعارضة، وأحدِّد زمنًا محددًا للتشاور في ما بينهم، لتقدم كل مجموعة الأدلة والبراهين على صحة رأيها، وفي النهاية يتوصل الجميع إلى توضيح ما يحدث للمائع أثناء جريان المائع وبعد توقفه.



أثناء جريان المائع في المقاطع الثلاثة تتغير سرعته حسب مساحة المقطع؛ فسرعته في المقطع 1 تكون الأعلى وضغطه الأقل، وبناء عليه يكون ارتفاع المائع فيه الأقل، يليه المقطع 2 ثم المقطع 3 بالترتيب، أما أثناء سكون المائع فإن ارتفاع المائع في المقاطع الثلاثة متساوٍ تقريبًا؛ حيث الضغط متساوٍ تقريبًا.

مثال إضافي

يدخل الماء خرطوم حديقة مساحة مقطعه $8 \times 10^{-4}\ m^2$ بسرعة 6 m/s فإذا وُصل نهاية الخرطوم الذي يخرج منه الماء بفوهة مساحة مقطعها $1.2 \times 10^{-4}\ m^2$ فأحسبُ:

أ. معدل التدفق الحجمي للماء أثناء خروجه من الفوهة.

ب. سرعة تدفق الماء أثناء خروجه من الفوهة.

الحل:

أ.

$A_2 v_2 = A_1 v_1$

$A_2 v_2 = (8\times10^{-4})(6) = 4.8 \times 10^{-3}\ m^3/s$

ب.

$A_2 v_2 = 4 \times 10^{-3}$

$1.2 \times 10^{-4} \times v_2 = 4.8 \times 10^{-3}$

$v_2 = \frac{4.8 \times 10^{-3}}{1.2 \times 10^{-4}} = 40\ m/s$

تمرين

$r_2 = 0.01\ m$

$\frac{V}{\Delta t} = 1.25 \times 10^{-3}\ m^3/s$

$r_1 = 0.02\ m$

$A_1 v_1 = \frac{V}{\Delta t}$

الحل:

أ.

$\pi r_1^2 v_1 = \frac{V}{\Delta t}$

$3.14 \times 0.02^2 \times v_1 = 1.25 \times 10^{-3}$

$v_1 = \frac{1.25 \times 10^{-3}}{1.256 \times 10^{-3}} = 0.995\ m/s$

ب.

$A_2 v_2 = \frac{V}{\Delta t} \Rightarrow \pi r_2^2 v_2 = \frac{V}{\Delta t}$

$3.14 \times 0.01^2 \times v_2 = 1.25 \times 10^{-3}$

$v_2 = \frac{1.25 \times 10^{-3}}{3.14 \times 10^{-4}} = 3.980\ m/s$

جـ.

$\frac{V}{\Delta t} = 1.25 \times 10^{-3}$

$\frac{V}{20} = 1.25 \times 10^{-3}$

$V = 2.5 \times 10^{-2}\ m^3$

المثالُ 8

يتدفقُ الماءُ في شلالاتِ نياجارا كما في الشكلِ (25)، وعندَ لحظةٍ معينةٍ يتدفقُ بمعدلِ $5525\ m^3/s$ منْ مجرًى عرضهُ 670 m وعمقُ الماءِ فيهِ تقريبًا 2 m، أحسبُ:

أ . سرعةَ الماءِ المتدفقِ عندَ تلكِ اللحظةِ.

ب. حجمَ الماءِ المتدفقِ في 5 min.

الشكلُ (25): تدفقُ شلالاتِ نياجارا.

المعطياتُ: $\frac{V}{\Delta t} = 5525\ m^3/s$ ، $l = 670\ m$ ، $h = 2\ m$

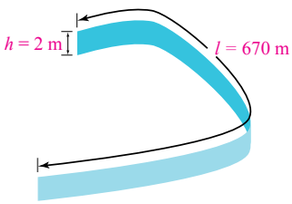
المطلوبُ: $v = ?$ ، $V = ?$

الحلُّ:

أ . مساحةُ المقطعِ العرضيِّ لمجرى الماءِ كما في الشكلِ

$A = l \times h = 2 \times 670 = 1340\ m^2$

لإيجادِ سرعةِ تدفقِ الماءِ أستخدمُ المعادلةَ الآتيةَ:



$A\ v = \frac{V}{\Delta t}$

$1340 \times v = 5525 \rightarrow v = \frac{5525}{1340} \cong 4\ m/s$

ب . حجمُ الماءِ المتدفقِ في (5 min):

$\frac{V}{5 \times 60} = 5525 \rightarrow V = 1.657 \times 10^6\ m^3$

تمرينٌ

أنبوبُ ماءٍ نصفُ قطرهِ 0.02 m يتدفقُ فيهِ الماءُ بمعدلِ $1.25 \times 10^{-3}\ m^3/s$ يضيقُ ليصبحَ نصفُ قطرهِ 0.01 m، أحسبُ:

أ . سرعةَ تدفقِ الماءِ في الجزءِ الواسعِ منَ الأنبوبِ.

ب . سرعةَ تدفقِ الماءِ في الجزءِ الضيقِ منَ الأنبوبِ.

جـ . حجمَ الماءِ المتدفقِ منَ الجزءِ الضيقِ في 20 s.

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن معادلة الاستمرارية وتطبيقاتها Applications of continuity equation، علمًا بأنه يمكن إعداد عروض تقديمية تتعلق بموضوع الدرس.

أشارك الطلبة هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو أستعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة، بمشاركة الطلبة وذويهم.

معادلةُ برنولي Bernoulli's Equation

ربَّما تستغربُ وتتساءلُ: كيفَ لطائرةٍ مثلَ الإيربصِ كتلتُها تزيدُ عنْ 300 tons أنْ تطيرَ في الهواءِ؟ وما الذي يجعلُ كرةَ التنسِ ترتفعُ إلى أعلى في الهواءِ داخلَ الكأسِ عندَ تسليطِ تيارٍ هوائيٍّ أفقيٍّ (يؤدي إلى زيادةِ سرعةِ الهواءِ) فوقَ سطحِ الكأسِ، كما في الشكلِ (26)؟

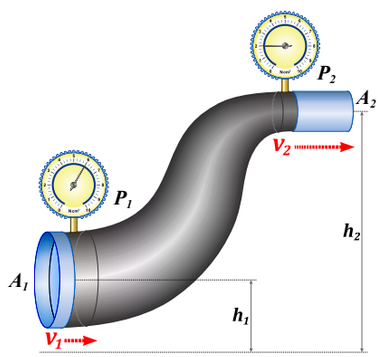
العالمُ الفيزيائيُّ السويسريُّ دانيال برنولي (1700 - 1782) درسَ العلاقةَ بينَ ضغطِ المائعِ وسرعتِهِ وارتفاعِهِ.

أفترضُ أنَّ مائعًا مثاليًّا يجري عبرَ أنبوبٍ يتغيرُ كلٌّ منْ مساحةِ مقطعِهِ العرضيِّ وارتفاعِهِ عنْ سطحِ الأرضِ، كما في الشكلِ (27)، فإنَّ المعادلةَ التي تربطُ بينَ ضغطِ المائعِ وسرعتِهِ وارتفاعِهِ اشتقَّها العالمُ برنولي، وهيَ تطبيقٌ لمبدأِ حفظِ الطاقةِ على المائعِ المثاليِّ، وسُمِّيتْ تلكَ المعادلةُ **بمعادلةِ برنولي Bernoulli's Equation** وتنصُّ على: «أنَّ مجموعَ الضغطِ والطاقةِ الميكانيكيةِ (أيْ طاقةِ الوضعِ + طاقةُ الحركةِ) لوحدةِ الحجومِ يساوي مقدارًا ثابتًا» عندَ جميعِ النقاطِ على طولِ مجرى المائعِ المثاليِّ.

ويُعبَّرُ عنها رياضيًّا على النحوِ الآتي:

$$P + \frac{1}{2}\rho_f v^2 + \rho_f gh = Constant$$

الشكلُ (26): ارتفاعُ كرةِ التنسِ في الهواءِ عندَ تسليطِ تيارٍ هوائيٍّ فوقَ الكأسِ أُفقيًّا.

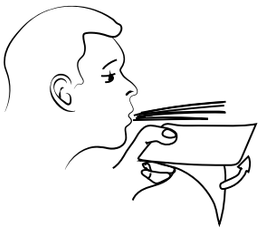


الشكلُ (27): جريانُ المائعِ في أنبوبٍ تتغيرُ مساحةُ مقطعِهِ وارتفاعُهُ.

نشاط سريع

- أقص قطعتين من الورق أبعاد كل منهما (15 cm × 4 cm)، ثم أكلِّف أحد الطلبة بأداء ما يأتي:

– إمساك قطعة واحدة من قطعتي الورق من طرفها ورفعها بالقرب من فمه والنفخ (إما مباشرة، أو باستخدام ماصة) بشكل أفقي فوق القطعة كما في الشكل، أطلب إلى بقية الطلبة ملاحظة ما يحدث لها.



– إمساك قطعتي الورق بشكل رأسي وتقريبهما من بعضهما مسافة (5 cm) تقريبًا، والنفخ بشكل رأسي بينهما، والطلب إلى بقية الطلبة ملاحظة ما يحدث لهما.

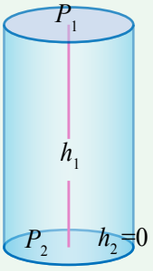
- أستخدم هذا النشاط مقدمة لشرح معادلة برنولي، مع أمثلة من الحياة اليومية.

التعزيز:

أوضِّح للطلبة أن هناك حالة خاصة من معادلة برنولي؛ عندما يكون المائع ساكنًا ($v_1 = v_2 = 0$)، حيث تؤول معادلة برنولي إلى:

$$P_1 + \rho_f gh_1 = P_2 + \rho_f gh_2$$

$$P_1 - P_2 = \rho_f g(h_2 - h_1)$$



ولتبسيط المعادلة يمكننا اختيار $h_2 = 0$ مرجعًا وعلى أساس أن ضغط السائل $P_2 = 0$؛ تؤول معادلة برنولي إلى:

$$P_1 = \rho_f gh_1$$

وتمثل هذه المعادلة ضغط الموائع الساكنة عند نقطة على عمق h_1 تحت سطح المائع الذي درستموه في الدرس الأول (الموائع الساكنة).

* يُلاحظ أن المعادلة أعلاه حالة خاصة من معادلة برنولي للمائع الساكن.

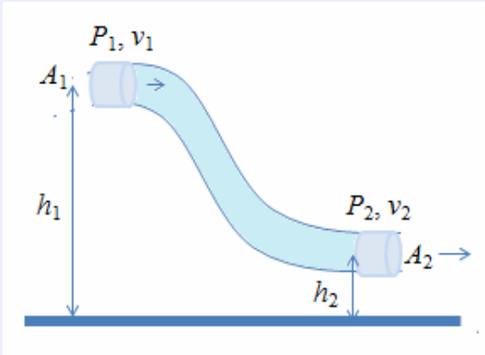
القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **بناء الشخصية: المشاركة.**

أخبر الطلبة أنَّ المشاركة إحدى مجالات بناء الشخصية، أوضِّح لهم أهمية المشاركة في الأنشطة العملية والتجارب المخبرية، والتعاون مع الزملاء؛ كما حدث في النشاط السريع لفهم معادلة برنولي.

إضاءة للمعلم/ للمعلمة

- أوضِّح للطلبة أنّه توجد حالة خاصة أخرى من معادلة برنولي؛ عندما تكون مساحة مقطع أنبوب الجريان منتظمة ($A_1 = A_2$)، كما في الشكل، فإن:



سرعة جريان المائع تبقى ثابتة $v_1 = v_2$ حسب معادلة الاستمرارية.

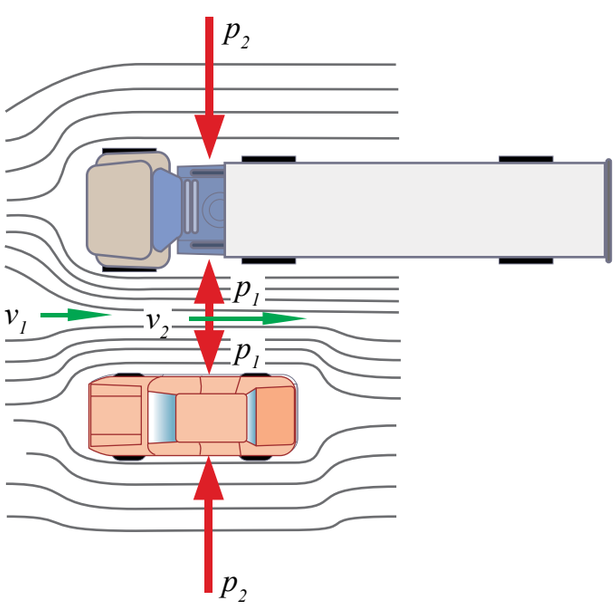
معادلة برنولي تؤول إلى:

$$P_1 + \rho_f g h_1 = P_2 + \rho_f g h_2$$

أوجِّه الطلبة إلى عمل فلم قصير باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح معادلة برنولي على أن يشتمل الفلم على حالات مختلفة لتطبيق معادلة برنولي في الحياة اليومية، مدعمًا بالشروحات الصوتية المناسبة والصور أو مقاطع فيديو، ثم أطلب إلى الطلبة تنظيم عرضه أمام الزملاء/ الزميلات في الصف.

معلومة إضافية

يبين الشكل مسقطًا رأسيًّا لسيارة تتجاوز شاحنة على الطريق السريع، حيث يتدفق الهواء الذي يمر بين المركبتين في قناة أضيق فتزداد سرعته من v_1 إلى v_2 ؛ مما يتسبب في انخفاض ضغط الهواء بينهما P_1 ليصبح أقل من ضغط الهواء خارجهما P_2 . وبسبب فرق الضغط هذا، تنشأ قوة تدفع كل من السيارة والشاحنة نحو بعضهما من منطقة الضغط الأكبر(الأعلى) إلى منطقة الضغط الأقل. لذا يُنصح سائقوا السيارات الصغيرة بترك مسافة جانبية كبيرة تفصلهم عن الشاحنة؛ حتى لا يكون الممر ضيقًا جدًا ويؤثر فرق الضغط في السيارة الصغيرة فيدفعها نحو الشاحنة في أثناء التجاوز. كما ينصح الأشخاص بعدم الوقوف بجانب خط سكة حديد أو قريبًا من خط المركبات السريعة لأن ذلك يسبب اندفاعهم نحو القطار أو الشاحنة نتيجة فرق الضغط أيضًا.



عندَ مقارنةِ موقعينِ: (1 و 2) على مجرى السائلِ نحصلُ على:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

حيثُ:

P_1 : ضغطُ المائعِ عندَ الموقعِ الأولِ.

P_2 : ضغطُ المائعِ عندَ الموقعِ الثاني.

ρ_f : كثافةُ المائعِ.

v_1 : سرعةُ المائعِ في الموقعِ الأولِ.

v_2 : سرعةُ المائعِ في الموقعِ الثاني.

h_1 : ارتفاعُ مركزِ الأنبوبِ في الموقعِ الأولِ عنْ مستوًى مرجعيٍّ (سطحُ الأرضِ مثلًا).

h_2 : ارتفاعُ مركزِ الأنبوبِ في الموقعِ الثاني عنِ المستوى المرجعيِّ نفسهِ في الموقعِ الأولِ.

g : تسارعُ السقوطِ الحرِّ.

$(\frac{1}{2}\rho_f v^2)$: طاقةُ الحركةِ لوحدةِ الحجومِ

$$\frac{\frac{1}{2}mv^2}{V} = \frac{1}{2}\rho_f v^2 \ , \ \frac{m}{V} = \rho_f$$

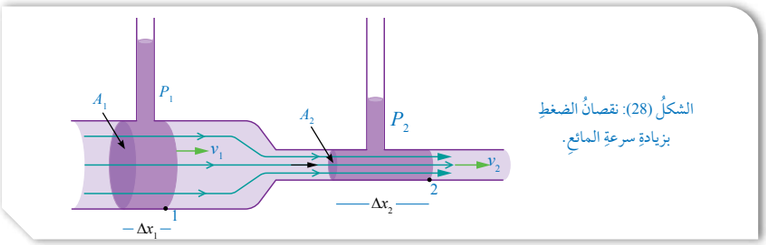
$(\rho_f g h)$: طاقةُ الوضعِ لوحدةِ الحجومِ

$$\frac{mgh}{V} = \rho_f g h \ , \ \frac{m}{V} = \rho_f$$

و على اعتبارِ المثالِ الآتي حالةً خاصةً؛ عندَما يكونُ أنبوبُ الجريانِ أفقيًّا ($h_1 = h_2$)، كما في الشكلِ (28) فإنَّ معادلةَ برنولي تؤولُ إلى:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2$$

أعدُّ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (movie maker) يوضحُ معادلةَ برنولي، وأحرصُ على أنْ يشتملَ الفيلمُ على حالاتٍ مختلفةٍ لتطبيقِ معادلةِ برنولي في الحياةِ اليوميةِ، وعلى صورٍ متحركةٍ لأمثلةٍ توضيحيةٍ، ثمَّ أشاركُهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.



الشكلُ (28): نقصانُ الضغطِ بزيادةِ سرعةِ المائعِ.

وبحسبِ معادلةِ الاستمراريةِ فإنَّ سرعةَ المائعِ v_2 في الأنبوبِ ذي القطرِ الأصغرِ تكونُ أكبرَ منْ سرعةِ المائعِ v_1 في الأنبوبِ ذي القطرِ الأكبرِ، وبناءً على المعادلةِ السابقةِ يكونُ الضغطُ P_2 أقلَّ منَ الضغطِ P_1 بمعنى: «**يقلُّ ضغطُ المائعِ كلَّما ازدادتْ سرعتُهُ**» كما في الشكلِ (28)، وهذهِ حالةٌ خاصةٌ منْ معادلةِ برنولي، وحقيقةٌ مهمةٌ يمكنُ منْ خلالِها تفسيرُ كثيرٍ منَ المشاهداتِ والظواهرِ الحياتيةِ. ما الدليلُ على أنَّ $(P_2 < P_1)$ في الشكلِ (28)؟

أفكِّرُ: أفسِّرُ ارتفاعَ كرةِ التنسِ في الهواءِ عندَ تسليطِ تيارٍ هوائيٍّ فوقَها في الشكلِ (26).

✓ **أتحقَّقُ:** أذكرُ نصَّ معادلةِ برنولي عنِ المائعِ المثاليِّ، وأُعبِّرُ عنْها بصورةٍ رياضيةٍ.

المثالُ 9

يجري الماءُ في خرطومٍ أفقيٍّ بسرعةِ $v_1 = 3$ m/s، فإذا كانَ ضغطُ الماءِ في الخرطومِ 1.4×10^5 Pa وعندَ تقليلِ قطرِ الخرطومِ هبطَ ضغطُ الماءِ ليصبحَ 1.1×10^5 Pa ، أحسبُ:

أ . سرعةَ الماءِ عبرَ الجزءِ الضيقِ منَ الخرطومِ.

ب. نسبةَ مساحةِ مقطعِ الجزءِ الضيقِ إلى مساحةِ الجزءِ الواسعِ منَ الخرطومِ.

المعطياتُ: $v_1 = 3$ m/s ، $P_1 = 1.4 \times 10^5$ Pa ، $P_2 = 1.1 \times 10^5$ Pa ، $\rho_f = 10^3$ kg/m³

المطلوبُ: $v_2 = ?$ ، $\frac{A_2}{A_1} = ?$

الحلُّ:

أ . بما أنَّ أنبوبَ الجريانِ أفقيٌّ فإنَّ:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2$$

$$1.4 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times 3^2 = 1.1 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{69} = 8.3 \text{ m/s}$$

ب. أطبِّقُ معادلةَ الاستمراريةِ:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{3}{8.3} = 0.36$$

أفكِّرُ:
عند تسليط تيار هوائي باتجاه أفقي فوق الكأس تزداد سرعة الهواء فيقل ضغطه حسب معادلة برنولي، وبسبب فرق الضغط؛ تندفع الكرة من منطقة الضغط المرتفع إلى منطقة الضغط المنخفض فترتفع إلى أعلى.

✓ **أتحقَّق:** نص معادلة برنولي:

مجموع الضغط والطاقة الميكانيكية (طاقة الوضع+ طاقة الحركة) لوحدة الحجوم يساوي مقدارًا ثابتًا عند جميع النقاط على طول مجرى المائع المثالي.

ويُعبَّر عنها رياضيًّا على النحو الآتي: $P + \frac{1}{2}\rho_f v^2 + \rho_f gh = \text{Constant}$

إجابة سؤال النص:
الدليل على أن P_2 أقل من P_1 هو أنّ ارتفاع عمود المائع في الأنبوب 2 أقل منه في الأنبوب 1.

مثال إضافي

ثقب صغير في خزان مياه كبير مفتوح من الأعلى، مثبت على قاعدة، كما في الشكل، فإذا كان ارتفاع الثقب عن سطح الأرض 3 m، وارتفاع مستوى سطح الماء عن الثقب 7 m، فأحسب سرعة اندفاع الماء من الثقب؟

الحل:

أ. باعتبار أن الخزان واسع جدًّا، وأنَّه والثقب مفتوحان للهواء الجوي فيمكن اعتبار الضغط عند كل منهما يساوي الضغط الجوي $(P_1 = P_2 = P_o)$، كذلك بما أن قطر الثقب صغيرٌ جدًّا مقارنة مع قطر الخزان فإنه يمكننا اعتبار سرعة هبوط الماء في الخزان تساوي صفرًا $(v_2 = 0)$، وبالتالي:

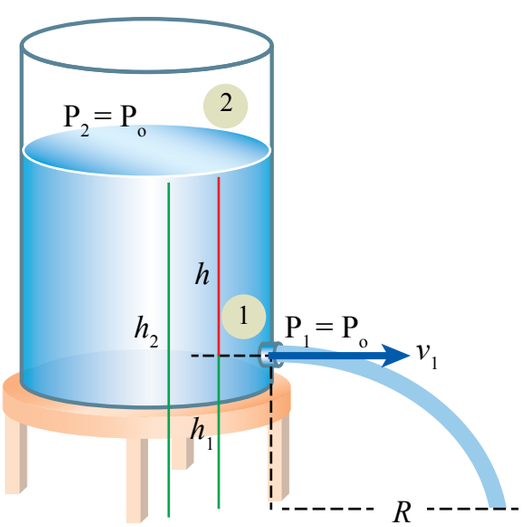
$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 + \rho_f gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2 + \rho_f gh_2$$

$$P_o + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 + \rho_f gh_1 = P_o + \rho_f gh_2$$

$$\frac{1}{2}v_1^2 = g(h_2 - h_1)\ ,\ (h_2 - h_1) = h$$

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g(10 - 3)} = 11.83 \text{ m/s}$$

* تُسمّى هذه المعادلة نظرية تورشيللي Torricelli's theorem، وهذه حالة خاصة أخرى من معادلة برنولي، وهي نفسها إحدى معادلات الحركة الخاصة بالسقوط الحر.



مثال إضافي

يُراد تصميم منزل بحيث يتحمل رياح الأعاصير، فإذا علمت أن سرعة الرياح القصوى في تلك المنطقة $88\ m\ s^{-1}$ ومساحة سطح المنزل $450\ m^2$ وكثافة الهواء $1.029\ kg\ m^{-3}$، فما مقدار أقل قوة يجب أن تتحمّلها دعامات السقف؛ بحيث لا يتطاير السقف في الهواء عند هبوب الرياح؟

الحل:

نطبق معادلة برنولي:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

بافتراض أن سرعة الرياح داخل المنزل تساوي صفرًا $(v_1 = 0)$، فإن $(\frac{1}{2}\rho_f v_1^2 = 0)$ وحيث إنَّ ارتفاع أعلى السقف وأسفله تقريبًا متساويان $(h_1 = h_2)$، فإنَّ $(\rho_f g h_1 = \rho f g h_2)$، وعليه؛ تؤول معادلة برنولي إلى:

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho_f v_2^2 = \frac{1}{2} \times 1.029 \times 88^2 = 3984\ Pa$$

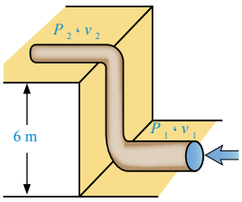
$$F = (P_1 - P_2)A = 3984 \times 450 = 1.79 \times 10^6\ N$$

المثال 15

يتمُّ تشغيلُ نظامِ تدفئةٍ مركزيةٍ لتسخينِ المياهِ في منزلٍ مكونٍ منْ طابقيْنِ باستخدامِ مضخةٍ في الطابقِ الأرضيِّ تضخُّ الماءَ بسرعةِ $0.5\ m/s$ خلالَ أنبوبٍ نصفُ قطرهِ $2\ cm$ تحتَ ضغطِ $3 \times 10^5\ Pa$ إلى الطابقِ الثاني الذي يرتفعُ مسافةَ $6\ m$ عنِ المضخةِ، كما في الشكلِ (29)؛ ليتدفقَ الماءُ منْ أنبوبٍ نصفُ قطرهِ $1.2\ cm$. أحسبُ:

أ . سرعةَ تدفقِ الماءِ في الأنبوبِ في الطابقِ الثاني.

ب. ضغطَ الماءِ في الأنبوبِ في الطابقِ الثاني.



الشكلُ (29): ضخُّ المياهِ إلى الطابقِ الثاني.

المعطياتُ: $v_1 = 0.5\ m/s$ ، $P_1 = 3 \times 10^5\ Pa$ ، $r_1 = 2\ cm$, $r_2 = 1.2\ cm$ ، $\rho_f = 10^3\ kg/m^3$ ، $h_1 = 0\ m$ ، $h_2 = 6\ m$

المطلوبُ: $P_2 = ?$ ، $v_2 = ?$

الحلُّ:

أ . أستخدمُ معادلةَ الاستمرارية:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2} = \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} v_1 = \frac{(0.02)^2}{(0.012)^2} \times 0.5 = 1.39\ m/s$$

ب. أستخدمُ معادلةَ برنولي:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho_f (v_1^2 - v_2^2) + \rho_f g (h_1 - h_2)$$

$$P_2 = 3 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times (0.5^2 - 1.39^2) + 10^3 \times 10 \times (0 - 6)$$

$$= 2.39 \times 10^5\ Pa$$

تمرينٌ

أنبوبُ تزويدٍ نصفُ قطرهِ $4\ cm$ يرتفعُ عنْ سطحِ الأرضِ مسافةً رأسيةً مقدارُها $3\ m$ ومعدلُ تدفقِ السائلِ فيهِ $2 \times 10^{-3}\ m^3/s$ يتصلُ بأنبوبٍ على سطحِ الأرضِ نصفُ قطرهِ $1.5\ cm$ وضغطُ السائلِ فيهِ $3 \times 10^5\ Pa$ ، فإذا علمتُ أنَّ كثافةَ السائلِ $2000\ kg/m^3$ ، فأحسبُ مِقدارَ ما يأتي:

أ . سرعةُ السائلِ المتدفقِ منَ الأنبوبِ السفليِّ.

ب . ضغطُ السائلِ في أنبوبِ التزويدِ العلويِّ.

تمرين

$\rho_f = 2000\ kg/m^3$, $P_2 = 3 \times 10^5\ Pa$,

$r_2 = 1.5\ cm$, $r_1 = 4\ cm$,

$A_1 v_1 = 2 \times 10^{-3}\ m^3/s$, $h_1 = 3\ m$, $h_2 = 0$

الحل:

أ.

$$A_2 = \pi r_2^2 = 3.14 \times (1.5 \times 10^{-2})^2 = 7.1 \times 10^{-4}\ m^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$2 \times 10^{-3} = 7.1 \times 10^{-4} \times v_2$$

$$v_2 = 2.8\ m/s$$

ب.

$$A_1 = \pi r_1^2 = 3.14 \times (4 \times 10^{-2})^2 = 5 \times 10^{-3}\ m^2$$

$$A_1 v_1 = 2 \times 10^{-3}$$

$$5 \times 10^{-3} \times v_1 = 2 \times 10^{-3} \Rightarrow v_1 = 0.4\ m/s$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

$$(P_1 - 3 \times 10^5) = \frac{1}{2} \times 2000 \times (2.8^2 - 0.4^2) - 2000 \times 10 \times 3$$

$$P_1 = 2.47 \times 10^5\ Pa$$

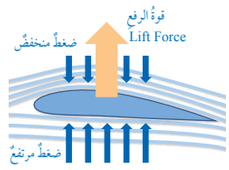
تطبيقاتٌ على معادلةِ برنولي

Applications of Bernoulli's Equation

معادلةُ برنولي تُطبَّقُ في مواقفَ وأوضاعٍ عديدةٍ، وتفسرُ كثيرًا منَ الظواهرِ والمشاهداتِ الحياتيةِ المختلفةِ؛ نتناولُ منْها ما يأتي:

أجنحةُ الطائرةِ Airplane Wings

قوةُ الرفعِ Lift Force: تُستخدَمُ معادلةُ برنولي عندَ تصميمِ أجنحةِ الطائراتِ، عنْ طريقِ تصميمِ شكلِ الجناحِ الانسيابيِّ ليكونَ سطحُ الجناحِ العلويُّ منحنيًا (محدبًا)، وسطحهُ السفليُّ شبهَ مستوٍ؛ كما في الشكلِ (30) الذي يمثلُ مقطعًا عرضيًّا للجناحِ، وعندَما يتحركُ الجناحُ عبرَ الهواءِ ينسابُ الهواءُ فوقَ الجناحِ بسرعةٍ أكبرَ منَ انسيابِهِ تحتَ الجناحِ، وبالتالي، فإنَّ ضغطَ الهواءِ فوقَ الجناحِ أقلُّ منْ ضغطِهِ أسفلَ الجناحِ حسبَ معادلةِ برنولي، وبذلكَ تتولدُ **قوةُ الرفعِ Lift Force** (F_L)، وهيَ القوةُ المتولدةُ نتيجةَ فرقِ الضغطِ بينَ أسفلِ الجناحِ وأعلاهُ، وهيَ التي تدفعُ بأجنحةِ الطائرةِ نحوَ الأعلى.

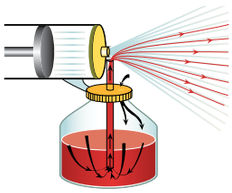


الشكلُ (30): صورةُ جناحِ الطائرةِ وخطوطِ الجريانِ حولَ مقطعٍ عرضيٍّ لهُ.

علامَ يدلُّ تزاحمُ خطوطِ جريانِ الهواءِ فوقَ الجناحِ؟

المِرْذاذُ Atomizer

يتكونُ المرذاذُ منْ أنبوبٍ أفقيٍّ واسعٍ ينتهي بأنبوبٍ ضيقٍ يمرُّ فوقَ أنبوبٍ آخرَ رأسيٍّ؛ الجزءُ السفليُّ منهُ مغمورٌ في السائلِ والجزءُ العلويُّ يتصلُ معَ الأنبوبِ الأفقيِّ الضيقِ، كما في الشكلِ (31). يعتمدُ عملُ المرذاذِ على اندفاعِ الهواءِ منَ الأنبوبِ الواسعِ إلى الأنبوبِ الضيقِ فتزدادُ سرعتهُ حسبَ معادلةِ الاستمراريةِ، وينخفضُ ضغطهُ حسبَ معادلةِ برنولي أيْ أنَّ ضغطَ الهواءِ عندَ فوهةِ الأنبوبِ الرأسيِّ أقلُّ منْ ضغطِ الهواءِ داخلَ الوعاءِ الزجاجيِّ؛ ما يؤدي إلى اندفاعِ السائلِ إلى أعلى، ليختلطَ معَ الهواءِ المندفعِ منَ الأنبوبِ الأفقيِّ، ويتشتتَ على شكلِ رذاذٍ ناعمٍ منَ القطراتِ. تعملُ كثيرٌ منَ الأجهزةِ والأدواتِ بالطريقةِ الموضحةِ في الشكلِ ووفقَ استخداماتِها؛ مثلَ: زجاجاتِ العطورِ، ومرشاتِ الطلاءِ، ومرشاتِ المنظفاتِ، وفي مازجِ السيارةِ (الكاربوريتر).



الشكلُ (31): المرذاذُ.

ما فائدةُ الفتحةِ في أعلى القارورةِ؟

إجابة سؤال الشكل (30):

يدل تزاحم خطوط الجريان على أن سرعة جريان المائع كبيرة، وهذه من خواص خطوط الجريان: كثافتها (عدد خطوط الجريان التي تمر عموديًّا بوحدة المساحة) تزداد بزيادة سرعة المائع.

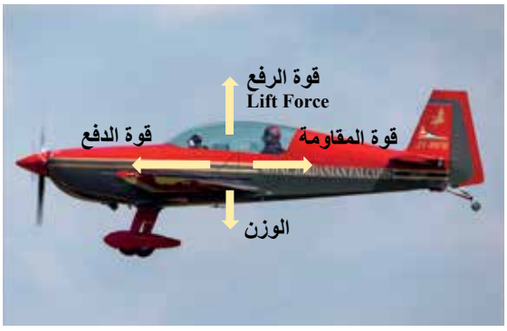
إجابة سؤال الشكل (31):

الفائدة من الفتحة في أعلى القارورة: دخول الهواء الجوي إلى داخل القارورة؛ بحيث يبقى الضغط فوق السائل في القارورة مساويًا للضغط الجوي، فيتولد فرق في ضغط الهواء بين أعلى الماصة الرأسية وأعلى السائل داخل القارورة يؤدي إلى اندفاع السائل إلى أعلى عبر الماصة.

معلومة إضافية

طيران الطائرة

أوضّح للطلبة أن عملية التحكم في قدرة الطائرة على الطيران وبقائها في الجو تحدث عن طريق أربع قوى رئيسة؛ كما في الشكل، وهي:



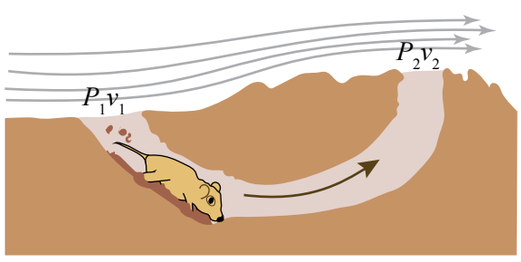
- قوة المقاومة: قوة مقاومة الهواء لحركة الطائرة.
- وزن الطائرة: قوة الجاذبية الأرضية باتجاه مركز الأرض.
- قوة الرفع: القوة التي يؤثر بها الهواء في جسم الطائرة إلى أعلى؛ نتيجة فرق الضغط بين أعلى الجناح وأسفله.
- قوة الدفع: القوة التي تدفع بالطائرة إلى الأمام باستخدام المحركات.

المناقشة

- أوجّه إلى الطلبة السؤال الآتي:

– كيف يمكن للحيوانات العيش في أنفاق تحت الأرض نسبة الأكسجين فيها قليلة جدًّا؟ تعمل تلك الحيوانات كالخُلد مثلًا أنفاقًا كما في الشكل.

- أدير نقاشًا مع الطلبة عن كل من: سرعة الهواء وضغطه فوق الفتحتين، وسبب ارتفاع إحدى الفتحتين عن الأخرى.
- أوضّح للطلبة أن الهواء تزداد سرعته فوق الفتحة 2 بسبب شكلها المحدب، فيقل ضغط الهواء؛ ليصبح أقل منه فوق الفتحة 1، وبسبب فرق الضغط هذا يجري تيار من الهواء داخل النفق (من منطقة الضغط المرتفع 1 إلى منطقة الضغط المنخفض 2) فسبحان الله العظيم مدبر كل شيء!



استخدام الصور والأشكال:

- أوجِّه الطلبة إلى الاطلاع على الشكلين (32) و (33)، وأبيّن لهم أن جهاز مقياس فنتوري -الذي اخترعتْه شركة GB Venturi الإيطالية (1746)- موضوع على امتداد أحد أنابيب شبكة نقل المياه؛ من أجل قياس سرعة جريان الماء في الأنبوب (v_1) عن طريق قياس فرق ضغط الماء (ΔP) بين المقطع الواسع (مساحة مقطعه A_1) لمقياس فنتوري والمقطع الضيق (مساحة مقطعه A_2)، ومن ثم أطلب إليهم تطبيق المعادلة الآتية:

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2\,\Delta P}{\rho_f (A_1^2 - A_2^2)}}$$

ولإيجاد معدل التدفق الحجمي؛ نطبق المعادلة:

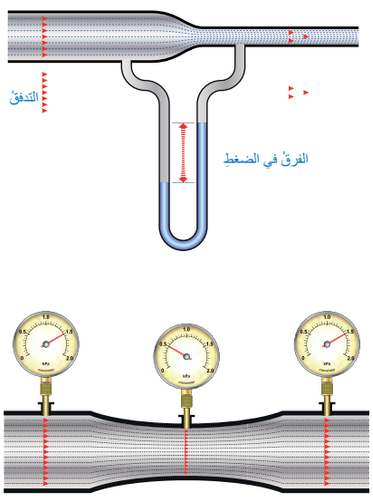
$$\frac{V}{\Delta t} = A_1\, v_1$$

مقياسُ فنتوري Venturi Meter

مقياسُ فنتوري Venturi Meter جهازٌ يُستخدَمُ لقياسِ سرعةِ ومعدّلِ تدفقِ الموائعِ في الأنابيبِ بتطبيقِ معادلةِ برنولي؛ وهو أنبوبٌ مفتوحُ الطرفينِ، مختنِقٌ (ضيِّقٌ) في وسطِهِ، وعندَ مرورِ المائعِ في الاختناقِ تزدادُ سرعتهُ فيقلُّ ضغطهُ، أعلِّلُ ذلكَ.

يتمُّ قياسُ سرعةِ ومعدّلِ تدفقِ المائعِ عنْ طريقِ قياسِ الفرقِ بينَ ضغطِ المائعِ في الأنبوبِ وضغطهِ في اختناقِ الأنبوبِ، كما هوَ مبينٌ في الشكلِ (32). والصورةُ المبينةُ في الشكلِ (33) تُظهِرُ الاستخدامَ العمليَّ لمقياسِ فنتوري.

الشكلُ (33): مقياسُ فنتوري في إحدى محطاتِ المياهِ.



الشكلُ (32): أشكالٌ مختلفةٌ لمقياسِ فنتوري.

ما الفرقُ بينَ مقياسَيْ فنتوري في الشكلِ؟

إجابة سؤال الشكل (33):

الشكل العلوي لمقياس فنتوري يُستخدم فيه فرق ارتفاع المائع في الأنبوب الرفيع المنحني؛ لمعرفة فرق الضغط بين أنبوبي فنتوري باستخدام المعادلة:

$$\Delta P = \rho_f\, g \Delta h$$

بينما الشكل السفلي لمقياس فنتوري يستخدم فيه جهاز قياس الضغط مباشرة؛ لذا يمكن معرفة فرق الضغط بطرح مقدار الضغط في الأنبوب الضيق (الأوسط) من مقدار الضغط في الأنبوب الواسع.

توظيف التكنولوجيا

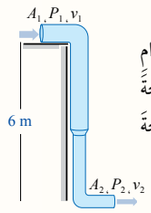
أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن معادلة برنولي Bernoulli's equation، علمًا بأنه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلَّق بموضوع الدرس.

أشارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو أستعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.

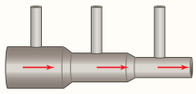
مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أوضحُ المقصودَ بكلٍّ ممّا يأتي:
المائعُ المثاليُّ، قوةُ الرفعِ، معادلةُ الاستمراريةِ، خطُّ الجريانِ.

2. **أحلُّ مشكلاتٍ:** تتطايرُ الأسقفُ المعدنيةُ للمنازلِ الجاهزةِ عندَ هبوبِ رياحٍ قويةٍ، كما هوَ مبينٌ في الشكلِ.
أ . ما التفسيرُ العلميُّ لِما يحدثُ؟
ب. ما النصيحةُ التي أقدِّمُها لأصحابِ تلكَ المنازلِ لحلِّ تلكَ المشكلةِ؟



3. **أستخدمُ المتغيراتِ:** يتدفقُ الماءُ منَ ارتفاعِ 6 m عنْ سطحِ الأرضِ -باستخدامِ مضخةٍ- عبرَ أنبوبٍ متغيرِ مساحةِ المقطعِ كما في الشكلِ، فإذا علمتُ أنَّ مساحةَ مقطعِ الطرفِ العلويِّ للأنبوبِ $0.2\ m^2$، وضغطَ الماءِ $1.5 \times 10^5\ Pa$ ومساحةَ مقطعِ الطرفِ السفليِّ للأنبوبِ $0.05\ m^2$، وسرعةَ الماءِ فيه 4 m/s فأجدُ:
أ . سرعةَ الماءِ في الطرفِ العلويِّ للأنبوبِ.
ب. ضغطَ الماءِ في الطرفِ السفليِّ للأنبوبِ.
جـ. حجمَ الماءِ المتدفقِ منَ الطرفِ السفليِّ للأنبوبِ خلالَ (2 min).



4. **أقارنُ:** يمثلُ الشكلُ أنبوبَ جريانٍ مساحةُ مقطعهِ غيرُ منتظمةٍ. عندَ جريانِ المائعِ في الأنبوبِ أجيبُ عمّا يأتي:
أ . أوضحُ كيفَ تتغيرُ سرعةُ المائعِ في الأنبوبِ.
ب. أقارنُ بينَ ارتفاعِ المائعِ في كلِّ أنبوبٍ منَ الأنابيبِ العموديةِ الثلاثةِ.

5. **أحسبُ:** يتفرعُ الشريانُ الأبهرُ البطنيُّ إلى فرعيْنِ رئيسيْنِ يُسمّى كلٌّ منهُما الشريانَ الحرقفيَّ كما في الشكلِ، إذا علمتُ أنَّ قطرَ الشريانِ الأبهرِ 2 cm وسرعةَ جريانِ الدمِ عبرهُ 0.2 m/s وقطرَ كلٍّ منَ الشريانيْنِ الحرقفييْنِ 1 cm (باعتبارِهما متماثليْنِ). فأحسبُ:
أ . معدلَ التدفقِ الحجميِّ للدمِ في كلٍّ منَ الشرايينِ الثلاثةِ.
ب. سرعةَ تدفقِ الدمِ في الشريانِ الحرقفيِّ.

مراجعة الدرس

1 **المائع المثالي:** المائع الذي يتصف بالخصائص الأربع (جريانه منتظم، غير قابل للانضغاط، غير لزج، غير دوامي).
قوة الرفع: القوة المتولدة نتيجة فرق الضغط بين أسفل الجناح وأعلاه، والتي تدفع أجنحة الطائرة نحو الأعلى.
معادلة الاستمرارية: حاصل ضرب مساحة المقطع العرضي لأنبوب جريان المائع في سرعة المائع عند ذلك المقطع يساوي مقدارًا ثابتًا.
خط الجريان: خطّ يمثل مسار جزيئات المائع عند جريانها.

2 أ . عند هبوب رياح بسرعة كبيرة فوق سطح المنزل يقل ضغطها ليصبح أقل من الضغط أسفل السطح (داخل المنزل)، وبسبب فرق الضغط تتولد قوة رفع تدفع بالسقف لأعلى.
ب. فتح نوافذ المنزل بحيث تندفع الرياح أسفل سطح المنزل وأعلاه، فيقل فرق الضغط بينهما لتتولد قوة رفع قليلة جدًّا مقارنة بتلك في حالة إغلاق النوافذ.

3 أ.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$
$$0.2 \times v_1 = 0.05 \times 4 \Rightarrow v_1 = 1\ m/s$$

ب.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$
$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho_f (v_1^2 - v_2^2) + \rho_f g (h_1 - h_2)$$
$$P_2 = 1.5 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times (1^2 - 4^2) + 10^3 \times 10 \times (6 - 0)$$
$$P_2 = 2.025 \times 10^5\ Pa$$

جـ.

$$\frac{V}{\Delta t} = A_2 v_2$$
$$\frac{V}{120} = 0.05 \times 4 \Rightarrow V = 24\ m^3$$

4 أ . حسب معادلة الاستمرارية: تزداد سرعة المائع في الأنبوب كلما قلت مساحة مقطعه؛ لذا تكون سرعة المائع أقل في المقطع الأيسر من الأنبوب لأن مساحة مقطعه هي الأكبر، ثم تزداد في المقطع الذي يليه لتصبح سرعته الأكبر في المقطع الأيمن حيث مساحة المقطع هي الأقل.
ب. حسب معادلة برنولي: يقل ضغط المائع في الأنبوب الأفقي كلما زادت سرعة جريانه؛ فإن ضغط المائع في الأنبوب الأيسر يكون الأكبر، ومن ثَم ارتفاع المائع في الأنبوب العمودي المتصل به يكون الأعلى، ويقل الارتفاع في الأنبوب الأوسط ليصبح أقل ارتفاعًا في الأنبوب الأيمن.

5 أ.

$$A_1 = \pi r_1^2 = 3.14 \times (1 \times 10^{-2})^2 = 3.14 \times 10^{-4}\ m^2$$
$$A_2 = \pi r_2^2 = 3.14 \times (0.5 \times 10^{-2})^2 = 7.85 \times 10^{-5}\ m^2$$
$$A_1 v_1 = 3.14 \times 10^{-4} \times 0.2 = 6.28 \times 10^{-5}\ m^3/s$$
$$A_1 v_1 = 2(A_2 v_2)$$
$$6.28 \times 10^{-5} = 2 \times (A_2 v_2) \Rightarrow A_2 v_2 = 3.14 \times 10^{-5}\ m^3/s$$

ب.

$$A_2 v_2 = 3.14 \times 10^{-5}$$
$$7.85 \times 10^{-5} \times v_2 = 3.14 \times 10^{-5} \Rightarrow v_2 = 0.4\ m/s$$

الغاطس

الهدف:

- بيان المقصود بالغاطس، وخط التحميل.
- تعرُّف أهمية الغاطس واستخداماته.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجِّه الطلبة -ضمن مجموعات- إلى قراءة فقرة (الإثراء والتوسع)، ثم مناقشتها في ما بينهم.
- أطرح على أفراد المجموعات الأسئلة الآتية:

- ما الفرق بين كل من الغاطس، وخط التحميل؟

الغاطس: تدريج يمثل المسافة الرأسية بين سطح الماء وأسفل هيكل السفينة .

خط التحميل: علامة خاصة تمثل العمق الآمن وتشير إلى الحمولة الآمنة للسفينة بما فيها وزن هيكل السفينة والبضائع المحمَّلة والأشخاص الموجودين على متنها. ويختلف خط التحميل في فصل الشتاء عنه في فصل الصيف، وفي المياه المالحة عنه في المياه العذبة.

- ما أهمية الغاطس في السفينة؟

1. تحديد عمق المياه التي يمكن للسفينة أن تبحر فيها بأمان.
2. تحديد وزن الشحنة الموجودة على السفينة.

- أناقش العبارة الآتية: العمق الآمن في المياه المالحة أقل منه في المياه العذبة؛ كما هو مبين في الشكل (ب)؟

تعتمد قوة طفو السفينة- حسب قاعدة أرخميدس - على كثافة المياه الذي تطفو فوقها السفينة؛ فكلما ازدادت كثافة المياه ازدادت قوة الطفو، وبناءً عليه يقل عمق الجزء المغمور من السفينة في المياه المالحة عنه في المياه العذبة.

- ماذا تعرف عن خط بليمسول Plimsoll line؟

هو علامة مرجعية موجودة على هيكل السفينة تشير إلى أقصى عمق يمكن أن تغمر فيه السفينة بأمان عند تحميلها بالبضائع. يختلف هذا العمق حسب أبعاد السفينة ، ونوع الحمولة ، والوقت من العام ، وكثافة المياه التي يتم مواجهتها في الموانئ والبحر. أي أن مجموعة خطوط التحميل المبينة في الشكل داخل الدائرة تسمى خط بليمسول.

الإثراءُ والتوسعُ

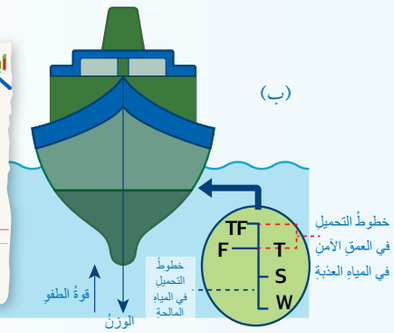
الغاطسُ Draft Mark

(أ)

الغاطسُ Draft Mark هوَ تدريجٌ رقميٌّ يشيرُ إلى المسافةِ الرأسيةِ بينَ سطحِ الماءِ وأسفلِ هيكلِ السفينةِ كما في الشكلِ (أ)، ويحددُ الغاطسُ عمقَ المياهِ التي يمكنُ للسفينةِ أوِ الزورقِ أن يبحرَ فيها بأمانٍ. وقدْ يُستخدَمُ الغاطسُ أيضًا لتحديدِ وزنِ الشحنةِ الموجودةِ على السفينةِ بحسابِ إجماليِّ الماءِ المزاحِ واستخدامِ قاعدةِ أرخميدس. أمّا خطُّ التحميلِ **Load Line** فهوَ علامةٌ خاصةٌ توضَعُ على وسطِ السفينةِ تشيرُ إلى الحمولةِ الآمنةِ للسفينةِ بما فيها وزنُ هيكلِ السفينةِ والبضائعِ المُحمَّلةِ والأشخاصِ الموجودينَ على متنِها كما في الشكلِ (ب). ويجبُ على جميعِ السفنِ التي يبلغُ طولُها 24 m أوْ أكثرَ أنْ يكونَ لديْها علامةُ خطِّ تحميلٍ، حيثُ تمَّ التوصلُ إلى اتفاقيةٍ دوليةٍ للتطبيقِ العالميِّ لخطوطِ التحميلِ؛ منْ أجلِ الحدِّ منْ مخاطرِ إبحارِ السفنِ؛ ذلك أنَّ العديدَ منَ الحوادثِ البحريةِ حدثتْ بسببِ الحمولةِ الزائدةِ للسفنِ.

نظرًا لأنَّ طَفْوَ السفينةِ وغَمرَها يعتمدانِ إلى حدٍّ كبيرٍ على نوعِ الماءِ وكثافتِهِ - حيثُ تتغيرُ قوةُ الطفوِ تبعًا لذلكَ - فليسَ مقبولًا منَ الناحيةِ العمليةِ تحديدُ حدٍّ عامٍّ قياسيٍّ للسفينةِ في جميعِ الأوقاتِ والأماكنِ. لهذا السببِ؛ فإنَّ خطَّ التحميلِ مثلًا لسفينةٍ تبحرُ في الشتاءِ في شمالِ المحيطِ الأطلسيِّ يختلفُ عنهُ عندَما تبحرُ السفينةُ في المناطقِ الاستوائيةِ صيفًا، وكذلكَ الأمرُ بالنسبةِ إلى المياهِ المالحةِ والمياهِ العذبةِ.

أبحث مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمتاحةِ ومنْها شبكةُ الإنترنتِ، أبحثُ عنْ أسبابِ غرقِ بعضِ السفنِ، مثلِ: التايتانكِ، وعلاقةِ ذلكَ بقوةِ الطفوِ والحمولةِ، ثمَّ أكتبُ تقريرًا عنْ ذلكَ، وأقرؤُهُ أمامَ الطلبةِ في غرفةِ الصفِّ يتبعهُ مناقشةٌ معَ زملائي/ زميلاتي.



- أكلِّف الطلبة على شكل مجموعات بتصميم قارب من ورق الألمنيوم السميك نوعًا ما، وتحديد تدريجات الغاطس عليه وخطوط التحميل المختلفة على ذلك القارب؛ بناءً على تجارب عملية يُجرونها.

أبحث أوزع الطلبة إلى مجموعات، وأطلب إلى كل مجموعة البحث في مصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة على الإنترنت عن حوادث غرق سفن مختلفة عبر التاريخ، بحيث يتم التنسيق بين المجموعات على أن تتناول كل مجموعة قصة مختلفة، ثم أوجه المجموعات إلى كتابة تقارير تبين أسباب الغرق وعلاقة تلك الأسباب بقوانين الفيزياء، ثم تعرض كل مجموعة ما توصلت إليه أمام الزملاء/ الزميلات.

مراجعةُ الوحدةِ

1. أضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

1. وحدةُ قياسِ معدلِ التدفقِ الحجميِّ للمائعِ هيَ:
أ . m^3 ب. $m^3 s$ جـ. m^3/s د. m^2/s

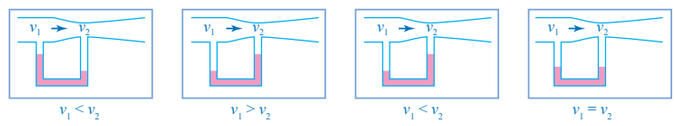
2. أيٌّ ممّا يأتي يُعدُّ تطبيقًا أوْ مثالًا على قاعدةِ أرخميدسَ:
أ . مقياسُ فنتوري. ب. مقياسُ كثافةِ السوائلِ. جـ . المرذاذُ. د. أجنحةُ الطائرةِ.

3. منْ خصائصِ المائعِ المثاليِّ التي تميزهُ عنِ المائعِ الحقيقيِّ أنَّهُ:
أ . لزجٌ. ب. انضغاطيٌّ. جـ. غيرُ دوّاميٍّ. د. جريانهُ غيرُ منتظمٍ.

4. قوةُ الطفوِ لسبيكةٍ وزنُها في الهواءِ 600 N ووزنُها في الماءِ 200 N تساوي:
أ . 800 N ب. 600 N جـ. 400 N د. 200 N

5. عندَ هبوبِ الرياحِ بشكلٍ أفقيٍّ فوقَ فتحةِ مدخنةٍ، كيفَ يتأثرُ الدخانُ الصاعدُ في المدخنةِ:
أ . يرتفعُ الدخانُ بسرعةٍ أكبرَ في المدخنةِ. ب. يرتفعُ الدخانُ بسرعةٍ أقلَّ في المدخنةِ.
جـ. يندفعُ الدخانُ إلى الأسفلِ في المدخنةِ. د. لا يتأثرُ الدخانُ الصاعدُ في المدخنةِ.

6. أيُّ الأشكالِ الآتيةِ يمثلُ ما يحدثُ للمائعِ عندَ جريانهِ في مقياسِ فنتوري:

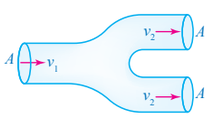


أ . الشكلُ (1). ب. الشكلُ (2). جـ. الشكلُ (3). د. الشكلُ (4).

7. عندَ انتقالِ السفينةِ منَ الماءِ العذبِ إلى ماءِ البحرِ، فإنَّ كلًّا منْ قوةِ الطفوِ وحجمِ الجزءِ المغمورِ منَ السفينةِ بعدَ اتزانها في مياهِ البحرِ مقارنةً بالمياهِ العذبةِ، على الترتيبِ:
أ . تبقى القوةُ ثابتةً، يقلُّ الحجمُ. ب. تبقى القوةُ ثابتةً، يزدادُ الحجمُ.
جـ. تزدادُ القوة، يبقى الحجمُ ثابتًا. د. تزدادُ القوةُ، يقلُّ الحجمُ.

8. أيُّ العباراتِ الآتيةِ صحيحةٌ بالنسبةِ إلى جسمٍ يطفو على سطحِ السائلِ:
أ . حجمُ السائلِ المزاحِ يساوي حجمَ الجسمِ. ب. وزنُ السائلِ المزاحِ يساوي وزنَ الجسمِ في السائلِ.
جـ. قوةُ الطفوِ أكبرُ منْ وزنِ السائلِ المزاحِ. د. حجمُ السائلِ المزاحِ يساوي حجمَ الجزءِ المغمورِ منَ الجسمِ.

9. أنبوبُ جريانٍ مساحةُ مقطعهِ A وسرعةُ جريانِ المائعِ فيهِ v_1، تفرَّعَ إلى أنبوبيْنِ مساحةُ مقطعِ كلٍّ منهُما A كما في الشكلِ، في أيٍّ منَ الأنبوبيْنِ سرعةُ المائعِ v_2 تساوي:



أ . $4v_1$ ب. $2v_1$ جـ. v_1 د. $\frac{1}{2}v_1$

مراجعة الوحدة

1 – جـ . m^3/s

2 – ب. مقياس كثافة السوائل.

3 – جـ. غير دوامي.

4 – جـ. 400 N

5 – أ. يرتفع الدخان بسرعة أكبر في المدخنة.

6 – ب. الشكل (2).

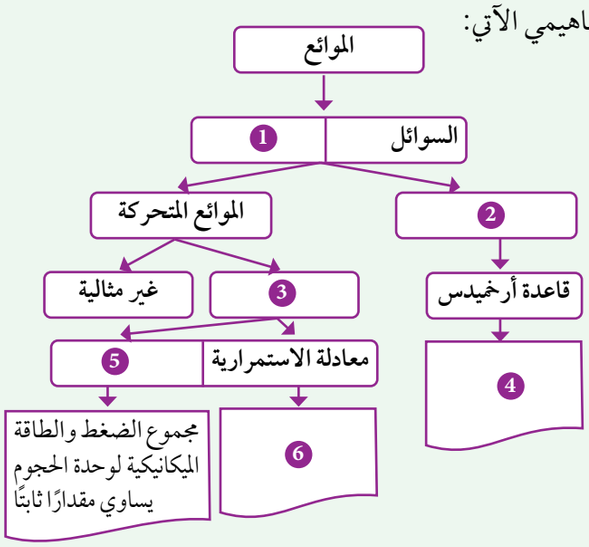
7 – أ. تبقى القوة ثابتة، يقل الحجم.

8 – د. حجم السائل المزاح يساوي حجم الجزء المغمور من الجسم.

9 – د. $\frac{1}{2}v_1$

التعزيز:

أكمل المخطط المفاهيمي الآتي:



إجابات التعزيز:

1) الغازات.
2) الموائع الساكنة.
3) مثالية.
4) قوة الطفو المؤثرة في الجسم المغمور كليًّا أو جزئيًّا في مائع تساوي وزن المائع المزاح.
5) معادلة برنولي.
6) حاصل ضرب مساحة المقطع العرضي لأنبوب جريان المائع في سرعة المائع عند ذلك المقطع يساوي مقدارًا ثابتًا.

2 أ. القارب وهو طافٍ على سطح البحر: قوة الطفو تساوي الوزن الحقيقي.

ب. الغواصة أثناء نزولها في الماء: قوة الطفو أقل من الوزن الحقيقي.

جـ. المنطاد أثناء صعوده إلى الأعلى في الهواء: قوة الطفو أكبر من الوزن الحقيقي.

3 حسب معادلة الاستمرارية؛ فإن معدل التدفق الحجمي للماء من الخرطوم يساوي مقدارًا ثابتًا أي:

$$\frac{V}{\Delta t} = Av = \text{ثابت}$$

فعند الضغط على فوهة الخرطوم قلت مساحة مقطعه A إلى النصف فتضاعفت سرعة تدفق الماء v ليبقى حاصل ضربهما Av ثابتًا، وبما أن حجم الماء المتدفق بقي ثابتًا؛ فإن الزمن اللازم لملء الكأس يبقى ثابتًا (30 s).

4 الحل:

$$F_B = F_g$$

$$\rho_f V_f g = \rho_o V_o g \,,\; V_f = \frac{V_o}{4}$$

$$\rho_f \frac{V_o}{4} g = \rho_o V_o g$$

$$\rho_f = 4\,\rho_o = 4 \times 15 = 60 \text{ kg/m}^3$$

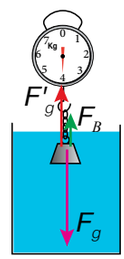
5 الحل:

أ. وزن السائل المزاح (F_{gf}):

$$F_{gf} = m_f g = 2 \times 10 = 20 \text{ N}$$

ب. قوة الطفو = وزن السائل المزاح

$$F_B = F_{gf} = 20 \text{ N}$$

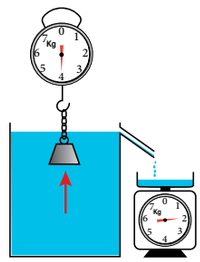


جـ. وزن الجسم الحقيقي (F_g):

$$F_B = F_g - F'_g$$

$$F_g = F_B + m'g = 20 + (4 \times 10) = 60 \text{ N}$$

هـ. مخطط الجسم الحر:



2. **أقارنُ بينَ قوةِ الطفوِ والوزنِ الحقيقيِّ في كلٍّ منَ التطبيقاتِ والحالاتِ الآتيةِ:**
   أ. القاربُ وهوَ طافٍ على سطحِ البحرِ.
   ب. الغواصةُ أثناءَ هبوطِها تحتَ الماءِ.
   جـ. المنطادُ أثناءَ صعودِهِ للأعلى في الهواءِ.

3. **أحلّلُ: الزمنُ اللازمُ لملءِ كأسِ ماءٍ منْ خرطومِ مياهٍ 30 s، وعندَ الضغطِ على فوهةِ الخرطومِ تضاعفتْ سرعةُ تدفقِ الماءِ منَ الخرطومِ. كمْ منَ الوقتِ يلزمُ لملءِ الكأسِ نفسِها؟**

4. **أحسبُ: وُضِعتْ كرةُ قدمٍ متوسطُ كثافتِها 15 kg m^{-3} على سطحِ سائلٍ فاتزنَ عندَ انغمارِ ربعِ حجمِها في السائلِ، أحسبُ كثافةَ السائلِ.**

5. **أحلّلُ: اعتمادًا على البياناتِ المبينةِ في الشكلِ وباعتبارِ كثافةِ الماءِ 10^3 kg m^{-3} أجيبُ عمّا يأتي:**
   أ. أجدُ وزنَ السائلِ المزاحِ. ب. أحسبُ قوةَ الطفوِ.
   جـ. أحسبُ وزنَ الجسمِ الحقيقيِّ. د. أرسمُ مخططَ الجسمِ الحرِّ للجسمِ المعلَّقِ.

6. **أفسرُ ما يأتي:**
   أ. قوةُ الطفوِ لجسمٍ مغمورٍ كليًّا في سائلٍ لا تتغيرُ بتغيرِ عمقِ الجسمِ تحتَ سطحِ السائلِ.
   ب. عندَ وضعِ بالونيْنِ متماثليْنِ حجمًا في الهواءِ؛ أحدُهما مملوءٌ بغازِ الهيليومِ والآخرُ بغازِ الهيدروجينِ؛ فإنَّ قوةَ الطفوِ في كلٍّ منهُما متساويةٌ.

7. **يمثلُ الشكلُ المجاورُ خطوطَ جريانِ الهواءِ حولَ جناحِ الطائرةِ، اعتمادًا عليْهِ أجيبُ عمّا يأتي:**
   أ. في أيةِ منطقةٍ حولَ الجناحِ تتقاربُ خطوطُ الجريانِ؟
   ب. ما العلاقةُ بينَ تقاربِ خطوطِ الجريانِ، وكلٍّ منْ سرعةِ الهواءِ وضغطِهِ؟
   جـ. ما اسمُ المعادلةِ التي تفسرُ قوةَ الرفعِ في أجنحةِ الطائرةِ؟
   د. ما سببُ تولدِ قوةِ الرفعِ في جناحِ الطائرةِ؟
   هـ. كيفَ يمكنُ زيادةُ قوةِ الرفعِ؟

8. **أحلُّ مشكلاتٍ: متزلجٌ كتلتهُ 50 kg يريدُ أنْ يستخدمَ لوحًا خشبيًّا كثافتهُ 600 kg m^{-3} وسماكتهُ 10 cm كما في الشكلِ، إذا علمتُ أنَّ كثافةَ ماءِ البحرِ 1024 kg m^{-3} فأجدُ أقلَّ مساحةٍ للوحِ الخشبِ تُمكِّنُ المتزلجَ منَ استخدامِهِ دونَ أنْ يغرقَ.**

9. **أحسبُ: أنبوبُ نفطٍ أفقيٌّ سرعةُ جريانِ السائلِ فيهِ 20 m/s يضيقُ ليصبحَ قطرهُ نصفَ قطرِ الأنبوبِ الرئيسِ، ويقلُّ ضغطُ السائلِ فيهِ ليصبحَ 2×10^5 Pa، باعتبارِ كثافةِ السائلِ 800 kg m^{-3} أجدُ:**
   أ. سرعةَ جريانِ النفطِ في الأنبوبِ الواسعِ.
   ب. ضغطَ النفطِ في الأنبوبِ الرئيسِ.

6 أ. لأن قوة الطفو تعتمد على فرق الضغط $\Delta P = \rho_f g \Delta h$ الذي يعتمد على الفرق في ارتفاع السائل Δh وليس على الارتفاع نفسه h.

ب. قوة الطفو تعتمد على حجم الهواء المزاح (حجم البالون) وتسارع السقوط الحر وكثافة الهواء المزاح المحيط بالبالون، وليس على كثافة الغاز داخل البالون، وبما أن حجم كل من البالونين متساوٍ فإن حجم الهواء المزاح يكون متساويًا أيضًا، ومن ثَمَّ فإن قوة الطفو تكون متساوية حسب قاعدة أرخميدس $F_B = \rho_f V_f g$.

7 أ. تتقارب خطوط الجريان فوق المنطقة المحدبة من الجناح.

ب. كلما ازدادت سرعة الهواء تتقارب خطوط الجريان ويقل ضغطه.

جـ. معادلة برنولي.

د. بسبب فرق الضغط بين أعلى الجناح وأسفله.

هـ. عن طريق زيادة سرعة الطائرة، ثم زيادة سرعة جريان الهواء فوق الأجنحة، وكذلك بتصميم شكل جناح الطائرة (انحنائه) ومساحته.

8 الحل:

$$m = (50 + \rho_o V_o)$$

$$F_B = F_g$$

$$\rho_f V_f g = (50 + \rho_o V_o) g \,,\; V_f = V_o$$

$$\rho_f V_o - \rho_o V_o = 50$$

$$V_o = \frac{50}{\rho_f - \rho_o} = \frac{50}{1024 - 600} = 0.12 \text{ m}^3$$

$$V_o = Ah$$

$$0.12 = A \times 0.1 \Rightarrow A = 1.2 \text{ m}^2$$

9 أ.

$$A_2 = \pi r_2^2 = \pi (0.5\, r_1)^2$$

$$= 0.25\, \pi r_1^2 = 0.25 A_1$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$A_1 \times 20 = 0.25 A_1 \times v_2$$

$$v_2 = \frac{20}{0.25} = 80 \text{ m/s}$$

ب.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_f v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_f v_2^2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \times 800 \times 20^2 = 2 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 800 \times 80^2$$

$$P_1 = 2.6 \times 10^6 \text{ Pa}$$

الوحدة السادسة: الحركة الموجية Wave Motion

تجربة استهلالية: الموجات تنقل الطاقة ولا تنقل المادة.

الدرس	النتاجات	التجارب والأنشطة	عدد الحصص
الأول: **الموجات وصفاتها.**	• توضيح صفات الموجات والمفاهيم المتعلقة بكلّ منها. • توظيف معرفته بالمفاهيم المتعلقة بالموجات وصفاتها في حلّ مسائل حسابية، وفي تفسير ظواهر ومشاهدات يومية. • تمثيل رسومات بيانيةً تتعلق بصفات الموجات، وتحليلها. • توظيف التجربة العملية في تعرف صفات الموجات. • التوصل إلى أنّ الصوت موجة طولية تعتمد صفاتها على الوسط الذي تنتشر فيه. • التوصل إلى أنّ موجات (الراديو) والضوء والأشعة السينية لها أطوال موجية مختلفة ضمن طيف الموجات الكهرمغناطيسية.		6
الثاني: **خصائص الحركة الموجية.**	• تصميم تجربةً عمليةً لوصف عددٍ من الظواهر الموجية مثل: تراكب موجتين باتجاهين متعاكسين، وانعكاس موجات سطح الماء عن حاجز. • استقصاء عمليّ لشروط حدوث حيود موجات الماء. • تطوير نموذجٍ لتحديد خصائص الموجات: التداخل، الحيود، الانكسار، الاستقطاب. • تنفيذ تجارب عمليةٍ لتوضيح ظاهرة تأثير دوبلر. • توظيف تجارب عملية في معرفة خصائص الموجات: الانعكاس، الانكسار، الحيود، التداخل.	• تجربة (1): استقصاء خاصيتي انعكاس الموجات وانكسارها. • تجربة (2): استقصاء خاصيتي تداخل الموجات وحيودها.	5

النتاجات السابقة	الصف	النتاجات اللاحقة	الصف
• توظيف التجربة العملية في استقصاء صفات الخيال المتكون في العدسات. • توضيح المفاهيم المتعلقة بظاهرة انكسار الضوء. • تطبيق قانون سنل في حل مسائل حسابية. • توظيف المعرفة الذاتية بالمفاهيم والعلاقات الخاصة بانكسار الضوء في: حل مسائل وتفسير ظواهر ومشاهدات. • استقصاء التطبيقات العملية للعدسات.	التاسع	• توضيح خصائص الموجات. • توظيف المعرفة الذاتية بالمفاهيم المتعلقة بالموجات وخصائصها في: تفسير الظواهر والمشاهدات اليومية. • توظيف التجربة العملية في تعريف خصائص الموجات. • توضيح المقصود بالمفاهيم المرتبطة بالضوء. • توظيف التجربة العملية في تعرف المفاهيم الخاصة بالضوء.	الحادي عشر

الوحدةُ 6

الحركةُ الموجيةُ
Wave Motion

أتأمَّلُ الصورةَ

يعملُ العلماءُ في بناءِ نموذجٍ متطورٍ يمكِّنُهُمْ منْ حصادِ الطاقةِ الهائلةِ التي تحملُها موجاتُ البحارِ، التي تشكلُ مصدرَ طاقةٍ متجددةٍ لا ينضبُ، إضافةً إلى كونِها طاقةً نظيفةً مقارنةً ببعضِ مواردِ الطاقةِ الأخرى. وقدْ صممَ العلماءُ جهازًا يُكثِّفُ الموجاتِ ويركِّزُها في مكانٍ ضيقٍ، قبلَ أنْ تُحوَّلَ منْ طاقةٍ حركيةٍ إلى طاقةٍ كهربائيةٍ.

ما نوعُ الطاقةِ التي تحملُها موجاتُ البحرِ، وعلى ماذا تعتمدُ؟

المناقشة:

- أوزع الطلبة إلى مجموعات وأقدم لهم كلمات مفتاحية تتضمن (المحطات النووية، المحطات البخارية، الطاقة الشمسية، السدود، محطات الوقود الأحفوري، الأمواج، طاقة الرياح)، ثم أطلب إليهم البحث عنها في الإنترنت.
- أكلف كل مجموعة بإجراء مناقشة وحوار في ما بينها حول واحدة من طرائق توليد الكهرباء، وتتوصل المجموعة إلى آلية العمل المتبعة في هذه الطريقة، ثم ميزاتها وآثارها السلبية على البيئة.
- أطلب من كل مجموعة اختيار أحد أفرادها ليتحدث أمام الزملاء في الصف حول الطريقة التي اختاروها.
- أدير نقاشًا بين المجموعات حول ما توصلوا إليه.

الوحدةُ 6

الحركة الموجية
Wave Motion

أتأمَّل الصورة

- ألفت انتباه الطلبة إلى صورة نموذج تركيز موجات البحار، ثم أطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– ما نوع الطاقة التي تحملها موجات البحار؟

طاقة ميكانيكية (حركية).

– ما أهمية الحواجز الرأسية المبينة في الشكل؟

تعمل على تكثيف موجات البحر القادمة من أي اتجاه، وتركزها في المركز.

– كيف يجري تحويل طاقة الموجات إلى كهرباء؟

يوضع في مركز الجهاز جزء عائم يتحرك نتيجة مرور الموجات، وهو يتصل مع مولد كهربائي.

– كيف تختلف طريقة توليد الكهرباء باستخدام المياه الجارية عن هذه الطريقة؟

في حالة المياه الجارية تنتقل الطاقة الحركية؛ بسبب جريان الماء، بينما في حالة الموجات تنتقل الطاقة دون الحاجة إلى جريان الماء.

الفكرة العامة:

- أضع على الطاولة مصباحًا كهربائيًّا يعمل على البطارية، وهاتفًا خلويًّا ونابضًا، ثم أنفّذ الخطوات الآتية:

– أشغّل المصباح الكهربائي، بحيث يسقط الضوء الصادر عنه على الحائط.

– أشغّل جرس الهاتف بحيث يسمع الطلبة صوته.

– أحرّك النابض على سطح الطاولة حركة موجية مستعرضة.

- **أطرح الأسئلة الآتية على الطلبة:**

– كيف انتقل الضوء من المصباح إلى الحائط؟

على شكل موجات.

– كيف انتقل الصوت من الهاتف إلى أذنك؟

على شكل موجات.

– هل تعتقد أن شكل موجات الضوء والصوت مشابه للموجات المنتقلة في النابض؟

بعض الطلبة سيجيب: (نعم) وبعضهم الآخر، سيجيب: (لا)، أخبرهم بأن الإجابة الصحيحة سيتوصلون إليها بعد دراسة نوعي الموجات.

– اذكر أشكالًا أخرى للحركة الموجية.

موجات سطح الماء، الموجات المنتشرة في حبل، موجات الزلازل، ...

مشروع الوحدة:

الزلازل والموجات الزلزالية

- أوزِّع الطلبة إلى مجموعات، ثم أنظم نقاشًا بينهم حول الزلازل: أسباب حدوثها، وكيفية انتقال تأثيرها المدمر، وما يترتب على ذلك من خسائر في الأرواح والممتلكات.
- أطرح الأسئلة الآتية على الطلبة، ثم أكلِّف كل مجموعة بالإجابة عن سؤال واحد، عن طريق البحث، ثم إعداد تقرير ملخص ينظمون فيه الأفكار التي توصلوا إليها.

والأسئلة هي:

– كيف تؤدي الحركة المستمرة للصفائح التي تتكون منها القشرة الأرضية إلى حدوث الزلزال؟

– ما أنواع الموجات الزلزالية؟ وكيف ينتشر كل نوع في القشرة الأرضية؟ وما سرعة انتشاره؟

– كيف يتم رصد الزلزال؟ وكيف تقاس قوته؟

الفكرةُ العامةُ:

دراسةُ الحركةِ الموجيةِ وسلوكِ الموجاتِ تساعدُنا في فهمِ كثيرٍ منَ الظواهرِ والمواقفِ الحياتيةِ المتعلقةِ بالصوتِ والضوءِ؛ فالصوتُ والضوءُ ينتقلانِ على شكلِ موجاتٍ تشبهُ موجاتِ الماءِ، حيثُ يمكنُ وصفُها بمعرفةِ طولِها الموجيِّ وترددِها وسعتِها وسرعةِ انتشارِها.

الدرسُ الأولُ: الموجاتُ وصفاتُها

الفكرةُ الرئيسةُ: الموجاتُ تنقلُ الطاقةَ ولا تنقلُ المادةَ، وندركُ ذلكَ بحواسِّنا المختلفةِ؛ فنحنُ نشاهدُ موجاتِ البحرِ وهيَ تنقلُ الطاقةَ الحركيةَ لقاربٍ يرسو على الشاطئِ، بينَما لا تنقلُ الماءَ نحوَ الشاطئِ، وإنَّ موجاتِ الصوتِ والضوءِ تنقلُ الطاقةَ أيضًا.

الدرسُ الثاني: خصائصُ الحركةِ الموجيةِ

الفكرةُ الرئيسةُ: للموجاتِ المختلفةِ سلوكٌ محددٌ يظهرُ في تطبيقاتٍ حياتيةٍ كثيرةٍ عندَ انتقالِها خلالَ الوسطِ الواحدِ، أو بينَ وسطيْنِ مختلفيْنِ، مثلَ: الانعكاسِ والانكسارِ والتداخلِ والحيودِ والاستقطابِ.

– ما الآثار الناتجة عن حدوث الزلازل؟

– كيف نحمي أنفسنا ونحمي الآخرين عند حدوث زلزال؟

- أكلِّف إحدى المجموعات بإعداد مطوية تتضمن التقارير المختصرة التي قدمتها المجموعات الأخرى، ثم بتصويره وتوزيع نسخ منه على طلبة المدرسة.
- أختار عددًا محددًا من الطلبة؛ لبناء نموذج لجهاز رصد الزلازل.

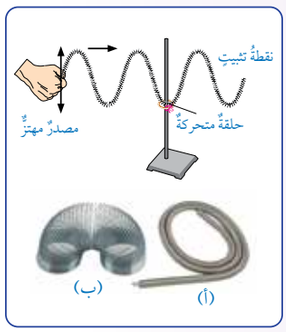
القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التنبّؤ.**

أوضّح للطلبة أنّ التنبّؤ العلمي المبني على الملاحظة يعدّ من طرائق المعرفة العلمية، وأنّ أهميته تتمثّل في اكتساب المعرفة في الحالات التي تصعب فيها الملاحظة، أو إجراء القياس العلمي؛ كما هو الحال عند دراسة الموجات الزلزالية.

تجربةٌ استهلاليةٌ

الموجاتُ تنقلُ الطاقةَ ولا تنقلُ المادةَ



الموادُّ والأدواتُ: نابضانِ فلزيانِ طويلانِ أحدُهما رفيعٌ والآخرُ عريضٌ، منصبٌ فلزيٌّ، حلقةٌ فلزيةٌ، شريطٌ قماشيٌّ ملونٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمَيْنِ.

خطواتُ العملِ: بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أنفذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. أثبتُ المنصبَ الفلزيَّ كما في الشكلِ معَ تثبيتِ قاعدتِهِ بأجسامٍ ثقيلةٍ، ووضعِ الحلقةِ الفلزيةِ حولَ ساقِ المنصبِ.
2. أربطُ النابضَ الرفيعَ (أ) منْ منتصفِهِ معَ الحلقةِ الفلزيةِ باستخدامِ الشريطِ القماشيِّ الملونِ.
3. **أجربُ:** أمسكُ طرفَ النابضِ بيدي وأطلبُ منْ زميلي أنْ يمسكَ الطرفَ الثانيَ ويثبتَ يدَهُ، وأحركُ الطرفَ الذي بيدي للأعلى وللأسفلِ بشكلٍ منتظمٍ، وأراقبُ حركةَ الشريطِ الملونِ، ثمَّ أدوِّنُ ملاحظاتي في الجدولِ.
4. أغيرُ منْ سرعةِ حركةِ يدي للأعلى وللأسفلِ، وأراقبُ حركةَ الشريطِ الملونِ وأدوِّنُ ملاحظاتي في الجدولِ.
5. **ألاحظُ:** أجعلُ مدى حركةِ يدي للأعلى وللأسفلِ أكبرَ وأوسعَ منَ السابقِ، ثمَّ ألاحظُ حركةَ الحلقةِ الفلزيةِ، وأدوِّنُ ملاحظاتي في الجدولِ.
6. **أجربُ:** أضعُ وأفرادَ مجموعتي النابضَ العريضَ (ب) على الأرضِ، ثمَّ أحركُ يدي لتصنعَ أوْ تُحدِثَ تضاغطاتٍ وتخلخلاتٍ متتاليةً، بينَما يثبِّتُ زميلي الطرفَ الآخرَ، ثمَّ ألاحظُ كيفَ ينتقلُ التخلخلُ خلالَ النابضِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أصفُ** شكلَ حركةِ النابضِ، محددًا مصدرَ الطاقةِ اللازمةِ لهذهِ الحركةِ.
2. **أفسّرُ** سببَ حركةِ الحلقةِ الفلزيةِ، موضحًا كيفَ انتقلتِ الطاقةُ الحركيةُ إليْها.
3. **أقارنُ** بينَ اتجاهِ حركةِ الحلقةِ الفلزيةِ واتجاهِ انتشارِ الموجةِ في الحبلِ.
4. أفرقُ بينَ حركةِ دقائقِ الوسطِ في كلٍّ منْ نوعَيِ الموجاتِ الطوليةِ والمستعرضةِ.
5. **أستنتجُ:** ما الطرائقُ التي يمكنُ بِها زيادةُ الطاقةِ المنقولةِ في المدةِ الزمنيةِ نفسِها خلالَ الحركةِ الموجيةِ؟

الموجة أفقيًّا إلى الأمام.

4 في الموجات الطولية تتحرك دقائق الوسط باتجاه انتشار الموجة، وفي الموجات المستعرضة تتحرك دقائق الوسط باتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة.

5 زيادة المعدل الزمني للطاقة المنقولة بواسطة الموجات تكون بزيادة سرعة حركة اليد (زيادة التردد).

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. **أداة التقويم:** سلّم تقدير رقمي.

الرقم	معيار الأداء	1	2	3
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ خطوات التجربة.			
2	قراءة تعليمات التجربة قراءة دقيقة، والتعاون مع الآخرين على تنفيذ الخطوات.			
3	شدّ النابض الرفيع بشكل أفقي وتثبيت أحد طرفيه جيدًا.			
4	وضع النابض العريض على الأرض بشكل مستقيم، وتثبيت أحد طرفيه جيدًا.			
5	توليد موجات مستعرضة وموجات طولية بصورة واضحة.			
6	تغيير مقدار الطاقة الحركية التي تنقلها الموجات.			
7	تغيير سعة الموجة الطولية، وسعة الموجة المستعرضة بصورة صحيحة.			

تجربة استهلالية

الهدف: توليد موجات مستعرضة عمليًّا لاستقصاء انتقال الطاقة الميكانيكية بواسطة الحركة الموجية، بالرغم من عدم انتقال دقائق الوسط باتجاه انتشار الموجات.

زمن النشاط: 20 دقيقة.

إرشادات السلامة: أحذّر الطلبة من خطر سقوط الأجسام والأدوات المختلفة على أقدامهم.

المهارات العلمية: الملاحظة، التفسير، الاستقصاء.

الإجراءات والتوجيهات:

- أطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية، ثم أوضّح لهم ما يأتي:

– طريقة التعامل مع كل من النابضين، لتوليد موجات مستعرضة وموجات طولية.

النابض الرفيع يستخدم لتوليد موجات مستعرضة بعد شده في الهواء بين شخصين وتحريكه من أحد طرفيه إلى الأعلى والأسفل، في حين يستخدم النابض العريض لتوليد موجات طولية بعد وضعه على الأرض وهو مشدود بين شخصين، وتحريكه من أحد طرفيه إلى الأمام والخلف.

ملاحظة: يمكن توليد موجات مستعرضة باستخدام النابض العريض وهو ملقى على الأرض.

– وظيفة الحلقة الفلزية المثبتة بالنابض.

الحلقة تتحرك للأعلى والأسفل؛ لإثبات أن أجزاء النابض لا تنتقل باتجاه انتشار الموجة.

- أوضِّح للطلبة أن مصدر الطاقة التي تنقلها موجات النابض هو اهتزاز اليد.
- أطلب إلى الطلبة زيادة سرعة تحريك طرف النابض، ثم أوضِّح لهم أن ذلك يمثل زيادة طاقة المصدر.
- أطلب إلى الطلبة زيادة مدى تحريك طرف النابض، ثم أوضِّح لهم أن ذلك يمثل زيادة سعة الموجة.

النتائج المتوقعة:

أخبر الطلبة أنّ النتائج قد تختلف بين مجموعاتهم بالرغم من استخدام نوابض متماثلة، وذلك بسبب الاختلاف في وضع النابض، ومقدار الشد فيه وسرعة التحريك لكل مجموعة.

التحليل والاستنتاج:

1 يتحرك النابض الرفيع على شكل موجات مستعرضة (قمم وقيعان متتالية)، بينما يتحرك النابض العريض على شكل موجات طولية (تضاغطات وتخلخلات). ومصدر الطاقة في الحالتين هو حركة اليد.

2 تحركت الحلقة الفلزية نتيجة حركة اليد، وذلك بانتقال الطاقة الحركية من اليد إلى الحلقة بفعل انتشار الموجات في النابض.

3 اتجاه حركة الحلقة رأسيًّا للأعلى والأسفل، واتجاه انتشار

الدرس 1

الموجات وصفاتها
Waves and their Characteristics

1 تقديم الدرس

◄ الفكرة الرئيسة:

- أسأل الطلبة عن الطرائق المختلفة لنقل الطاقة، وأحصل منهم على إجابات، ثم أركّز على طريقة انتقال الطاقة خلال الحركة الموجية. أذكر لهم مثال موجات البحر التي تنقل الطاقة الحركية إلى القارب الذي يرسو على الشاطئ، فتحركه لكن الماء لا ينتقل مع الموجات. وأذكر لهم انتقال الطاقة الصوتية والطاقة الضوئية عن طريق الموجات.
- أطلب إلى الطلبة ذكر أمثلة على ظواهر يومية نستدل منها على وجود أنواع مختلفة من الموجات.
- أركِّز على قضية نقل الموجات للطاقة، وعدم نقلها لدقائق الوسط.

◄ الربط بالمعرفة السابقة:

- أطلب إلى الطلبة مراجعة موضوع الضوء، وتذكُّر ما درسوه في الصف التاسع، مثل: انكسار موجات الضوء في الأوساط المختلفة، كالعدسات، وتكون الأخيلة فيها.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* المهارات الحياتية: الحوار، والاتصال.

أخبر الطلبة أنّ الحوار والاتصال من المفاهيم العابرة التي لها أهمية كبيرة في نقل المعلومات بين الأفراد والجهات المختلفة؛ سعيًا إلى بلوغ المعرفة العلمية، وتوثيق مصدرها كما يحصل عند تحاور طالبين/ طالبتين معًا لصياغة إجابة مشتركة تتضمنأمثلة على الموجات.

◄ الفكرةُ الرئيسةُ:

الموجاتُ تنقلُ الطاقةَ ولا تنقلُ المادةَ، وندركُ ذلكَ بحواسِّنا المختلفةِ؛ فنحنُ نشاهدُ موجاتِ البحرِ وهيَ تنقلُ الطاقةَ الحركيةَ لقاربٍ يرسو على الشاطئِ، بينَما لا تنقلُ الماءَ نحوَ الشاطئِ. وإنَّ موجاتِ الصوتِ والضوءِ تنقلُ الطاقةَ أيضًا.

◄ نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أوضحُ صفاتِ الموجاتِ والمفاهيمَ المتعلقةَ بكلٍّ منْها.
- أوظفُ معرفتي بالمفاهيمِ المتعلقةِ بالموجاتِ وصفاتِها في حلِّ مسائلَ حسابيةٍ، وفي تفسيرِ ظواهرَ ومشاهداتٍ يوميةٍ.
- أمثلُ رسوماتٍ بيانيةً تتعلقُ بصفاتِ الموجاتِ، وأحللُها.
- أوظفُ التجربةَ العمليةَ في تعرفِ صفاتِ الموجاتِ.
- أتوصلُ إلى أنَّ الصوتَ موجةٌ طوليةٌ تعتمدُ صفاتُها على الوسطِ الذي تنتشرُ فيهِ.
- أتوصلُ إلى أنَّ موجاتِ (الراديو) والضوءِ والأشعةِ السينيةِ لَها أطوالٌ موجيةٌ مختلفةٌ ضمنَ طيفِ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ.

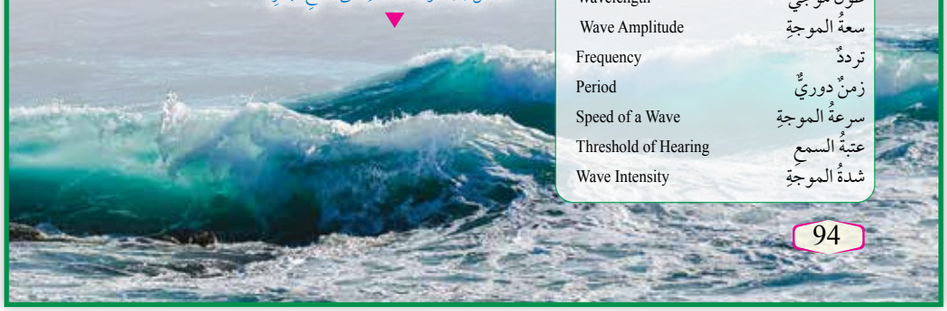
◄ المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

موجةٌ	Wave
موجةٌ طوليةٌ	Longitudinal Wave
موجةٌ مستعرَضةٌ	Transverse Wave
طولٌ موجيٌّ	Wavelength
سعةُ الموجةِ	Wave Amplitude
ترددٌ	Frequency
زمنٌ دوريٌّ	Period
سرعةُ الموجةِ	Speed of a Wave
عتبةُ السمعِ	Threshold of Hearing
شدةُ الموجةِ	Wave Intensity

الموجةُ The wave

تساعدُنا دراسةُ الفيزياءِ في فهمِ الظواهرِ منْ حولِنا. ومنْ بينِ التطبيقاتِ اليوميةِ والظواهرِ الطبيعيةِ التي نشاهدُها كثيرًا في حياتِنا: الموجاتُ والحركةُ الموجيةُ. تنتشرُ الموجاتُ على سطحِ الماءِ، كما في الشكلِ (1)، وتنتقلُ الموجاتُ في حبلٍ مشدودٍ أوْ نابضٍ، كما توجدُ أنواعٌ أخرى منَ الموجاتِ يمكنُنا الإحساسُ بِها دونَ أنْ نراها مثلَ موجاتِ الصوتِ، وموجاتِ الضوءِ.

تُعرَّفُ **الموجةُ Wave** في الفيزياءِ بأنَّها اضطرابٌ أوِ اهتزازٌ ينتقلُ منْ مكانٍ إلى آخرَ، وتعدُّ الموجةُ وسيلةً لنقلِ الطاقةِ، ومعَ أنَّ الاضطرابَ يتسببُ في حدوثِ اهتزازٍ لدقائقِ الوسطِ الناقلِ للموجةِ، إلا أنَّ هذهِ الدقائقَ لا تنتقلُ منْ موقعٍ إلى آخرَ مثلَ الطاقةِ. وقدْ شاهدْنا ذلكَ يحدثُ لأجزاءِ النابضِ في التجربةِ الاستهلاليةِ، حيثُ كانتْ تهتزُّ للأعلى وللأسفلِ، لكنَّها لمْ تنتقلْ باتجاهِ انتقالِ الطاقةِ في النابضِ. تتولدُ الموجاتُ في الوسطِ نتيجةَ اهتزازِ المصدرِ المولدِ للموجاتِ، ثمَّ ينتقلُ الاهتزازُ منَ المصدرِ خلالَ الوسطِ الناقلِ.



الشكلُ (1): موجاتُ الماءِ على سطحِ البحرِ.

2 التدريس

نشاط سريع

- أستخدم بعض الحبال الصغيرة أو النوابض لتوليد موجات؛ حيث يثبت أحد الطلبة طرف الحبل، ويحرك زميله/ زميلتها الطرف الثاني. وأناقش طلبتي في صفات الموجات المتولدة.

◄ بناء المفهوم:

(موجة، موجة مستعرضة، موجة طولية)

- أوضّح للطلبة مفهوم الموجة، ثم أخبرهم بشروط توليد الموجات وكيفية انتقالها في الوسط؛ مبيِّنًا لهم أن الموجات يمكن أن تنتشر في بعد واحد، مثل موجات الحبل والنابض، ويمكن أن تنتشر في بعدين مثل موجات سطح الماء، ويمكن أن تنتشر في ثلاثة أبعاد مثل: موجات الصوت.
- أوضّح للطلبة أن الموجات تقسم من حيث طريقة اهتزاز دقائق الوسط الذي تنتشر فيه إلى نوعين؛ هما الموجات المستعرضة والموجات الطولية، ثم أوضّح لهم المقصود بكل نوع.

أنواعُ الموجاتِ Types of Waves

يُحدَّدُ نوعُ الموجاتِ بناءً على اتجاهِ اهتزازِ دقائقِ الوسطِ؛ إذْ تصنَّفُ الموجاتُ إلى نوعيْنِ رئيسيْنِ هما: موجاتٌ مستعرضةٌ وموجاتٌ طوليةٌ.

الموجاتُ المستعرضةُ Transverse Waves

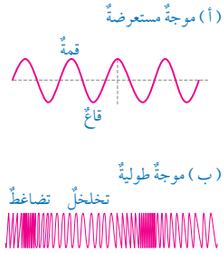
تُسمّى الموجةُ التي يكونُ اتجاهُ اهتزازِ جزيئاتِ الوسطِ الناقلِ لها متعامدًا معَ اتجاهِ انتشارِها **موجةً مستعرضةً Transverse Wave**، مثلَ موجاتِ سطحِ الماءِ والموجاتِ التي تنتقلُ في نابضٍ أوْ حبلٍ مشدودٍ، كما لاحظتُ في التجربةِ الاستهلاليةِ. وتنتشرُ الموجاتُ المستعرضةُ في الأوساطِ الصلبةِ والسائلةِ، بينَما لا يمكنُها الانتقالُ خلالَ الغازاتِ. معَ أنَّ بعضَ الموجاتِ المستعرضةِ مثلَ موجاتِ الضوءِ يمكنُها الانتقالُ في الفراغِ.

يبينُ الشكلُ (2/أ) انتشارَ الموجاتِ المستعرَضَةِ في حبلٍ باتجاهٍ أفقيٍّ معَ امتدادِ الحبلِ، ألاحظُ اهْتزازَ أجزاءِ الحبلِ في اتجاهِ المحورِ العموديِّ على شكلِ قممٍ وقيعانٍ متتاليةٍ.

الموجاتُ الطوليةُ Longitudinal Waves

تُسمّى الموجةُ التي يكونُ فيها اتجاهُ اهتزازِ جزيئاتِ الوسطِ الناقلِ لَها باتجاهِ انتشارِ الموجةِ نفسِها **موجةً طوليةً Longitudinal Wave**، ومثلُ ذلكَ موجاتُ الصوتِ وبعضُ أنواعِ الموجاتِ التي تنتقلُ في النابضِ على شكلِ تضاغطٍ وتخلخلٍ، كما لاحظتُ في النابضِ العريضِ في التجربةِ الاستهلاليةِ.

وينتشرُ هذا النوعُ منَ الموجاتِ في الأوساطِ جميعِها؛ الصلبةِ والسائلةِ والغازيةِ. يبينُ الشكلُ (2/ب) انتشارَ الموجاتِ الطوليةِ في نابضٍ، ألاحظُ كيفَ ينتشرُ التضاغطُ والتخلخلُ على طولِ النابضِ، التضاغطُ منطقةٌ تتقاربُ فيها جزيئاتُ الوسطِ، بينَما تكونُ الجزيئاتُ أكثرَ تباعدًا في منطقةِ التخلخلِ.



الشكلُ (2): الموجاتُ المستعرضةُ والموجاتُ الطوليةُ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **بناء الشخصية: المرونة والتكيف.**

أخبر الطلبة أنّ المرونة والتكيف من المفاهيم العابرة التي لها أهمية كبيرة في بناء الشخصية؛ فالطالب الذي لديه المرونة الكافية للتكيف مع الواقع والبيئة الصفية، له المقدرة على بناء شخصية إيجابية فاعلة، ومن الجوانب العملية للمرونة؛ التمكن من إيجاد البدائل المختلفة عند تنفيذ نشاط عملي للتفريق بين الموجات الطولية والمستعرضة.

المناقشة:

- أناقش الطلبة في تعريف كل من: الموجات المستعرضة والموجات الطولية، وتوضيح أوجه الاختلاف بينهما من حيث: طبيعة الوسط الذي تنتشر فيه الموجات، واتجاه اهتزاز دقائق هذا الوسط.
- أطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

– ما المقصود بكل من: القمة، والقاع، والتضاغط، والتخلخل؟

إجابات محتملة: تعريف كل مفهوم كما ورد في كتاب الطالب.

– اذكر مثالًا على كل نوع من أنواع الموجات.

إجابات محتملة: المستعرضة (موجات الماء، موجات الحبل)، الطولية (موجات الصوت، موجات النابض).

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (2) في الكتاب، مبيّنًا لهم أنّ الفرع (أ) في الشكل يمثل النابض الرفيع أو الحبل عند انتقال موجات مستعرضة فيه، مع التركيز على تعامد اتجاه الاهتزاز مع اتجاه الانتشار، في حين يمثل الفرع (ب) نابضًا عريضًا تنتقل فيه موجات طولية.

التعزيز:

- **أذكر أمثلة مختلفة، مثل:**

تنتشر موجة مستعرضة في حبل أفقي باتجاه الشرق، في حين تهتز أجزاء الحبل للأعلى وللأسفل، وتنتشر موجة مستعرضة أخرى أفقيًّا في نابض رفيع ملقى على الأرض باتجاه الشمال، وتهتز حلقات النابض أفقيًّا باتجاهي الشرق والغرب. وتنتشر موجة طولية أفقيًّا في نابض عريض ملقى على الأرض باتجاه الجنوب، وتهتز حلقات النابض باتجاهَي الجنوب والشمال.

بناء المفهوم:

سعة الموجة

- أوضّح للطلبة أنّ سعة الموجة تعني اتساع اهتزاز دقائق الوسط، وهذا يتطلب توضيح موضع اتزان الجزء المهتز من الوسط، وكيف تحدث الإزاحة باتجاهين متعاكسين عند مرور الموجة، ثم أبيّن لهم أن أقصى إزاحة تسمى السعة، وقد تكون أقصى إزاحة للأعلى أو للأسفل.
- أبيّن للطلبة أن سعة الموجة ناتجة عن سعة اهتزاز مصدر الموجات، أي تعتمد على الطاقة، وأن قسمة الطاقة على مساحة السطح الذي تنتشر عليه الموجات – والعمودي على اتجاه انتشارها – تعطي شدة الموجة.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (3) في الكتاب؛ لملاحظة موقع الشريط الأحمر عند مرور الموجة، وكيف أن أقصى إزاحة له قد تكون للأعلى وقد تكون للأسفل، ثم ملاحظة المسافة الرأسية بين موقع الاتزان وأي من الموقعين المذكورين.

المناقشة:

- أدرّب الطلبة على كيفية إيجاد سعة الموجة الطولية، ثم أناقش ذلك معهم بطرح أمثلة حسابية، مبيّنًا فيها المسافة بين أقصى إزاحة، وموضع الاتزان. ثم أطرح عليهم السؤالين الآتيين:

– إذا كانت المسافة الرأسية بين أعلى إزاحة وأدنى إزاحة لجزيئات الماء عند مرور موجات مستعرضة هي (60 cm). فما مقدار سعة هذه الموجة؟

(30 cm).

– إذا كانت سعة الموجة الطولية في نابض (20 cm). فما مقدار طولها الموجي؟

(40 cm).

أتحقَّق:

تحصل الموجة على الطاقة من مصدر الاهتزاز الذي يولد هذه الموجة، سواء كانت طولية أم مستعرضة، وتنقل الموجة هذه الطاقة خلال الوسط إلى مكان آخر.

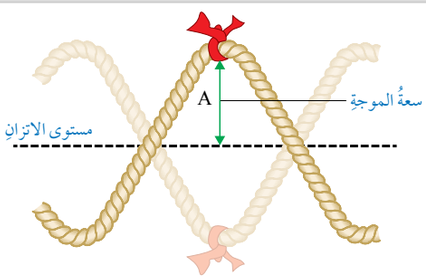
صفاتُ الموجةِ Characteristics of a Wave

للموجاتِ جميعِها – مهما اختلفتْ أنواعُها – صفاتٌ مشتركةٌ، نميِّزُ بها الحركةَ الموجيةَ Wave Motion، وهيَ الطريقةُ التي تنتشرُ بِها الموجاتُ في الأوساطِ المختلفةِ، وتختلفُ باختلافِ أنواعِ الموجاتِ سواءٌ أكانتْ مستعرضةً أمْ طوليةً. وهذهِ الصفاتُ هيَ:

سعةُ الموجةِ Wave Amplitude

لاحظتُ في نوعَي الموجاتِ المستعرضةِ والطوليةِ أنَّ دقائقَ الوسطِ تتحركُ باتجاهيْنِ متعاكسيْنِ على طرفَيْ موقعِ اتزانِها؛ أي أنَّها تهتزُّ، وقدْ يبدو هذا الاهتزازُ أكثرَ وضوحًا في الموجاتِ المستعرضةِ؛ فعندَ انتقالِ موجةٍ مستعرضةٍ في حبلٍ مشدودٍ، أجدُ أنَّ العلامةَ المثبتةَ على الحبلِ، كما يبيِّنُها الشكلُ (3) تُغيِّرُ موقعَها باستمرارٍ بالنسبةِ إلى موقعِ اتزانِها (موقعُ الاتزانِ هوَ نقطةٌ على الحبلِ المشدودِ أفقيًّا بشكلٍ مستقيمٍ في حالةِ عدمِ انتقالِ أيِّ موجةٍ خلالَهُ)، ويمثِّلُ هذا التغيرُ في الموقعِ الإزاحةَ التي تحدثُ لدقائقِ الحبلِ عندَ تلكَ العلامةِ، وتتغيرُ هذهِ الإزاحةُ باستمرارٍ معَ مرورِ الزمنِ. وتُعرَّفُ أقصى إزاحةٍ تُحدثُها الموجةُ لدقائقِ الوسطِ الناقلِ بالنسبةِ إلى موقعِ اتزانِها بأنَّها **سعةُ الموجةِ Wave Amplitude**، ويُرمَزُ إليْها على الشكلِ بالرمزِ (A). كما تُعرَّفُ **شدةُ الموجةِ Wave Intensity** بأنَّها الطاقةُ التي تنقلُها الموجةُ لكُلِّ وَحدةِ مِساحةٍ في الثانيةِ الواحدةِ، وتُقاسُ بوَحدةِ (W/m^2) حسبَ النظامِ الدوليِّ للوَحداتِ. وسعةُ الموجةِ تزدادُ بزيادةِ طاقةِ المصدرِ، وتقلُّ بزيادةِ البعدِ عنهُ. لذلكَ فإنَّ سعةَ الموجةِ تتناسبُ طرديًّا معَ شدتِها.

أتحقَّقُ: منْ أينَ تحصلُ الموجاتُ على طاقتِها؟



الشكلُ (3): سعةُ الموجةِ المستعرضةِ.

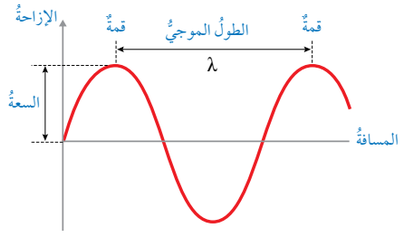
أخطاء شائعة

- قد يعتقد بعض الطلبة أنّ سعة الموجة تساوي المسافة بين موقعي أقصى إزاحة للأعلى وأقصى إزاحة للأسفل لدقائق الوسط المهتز، وهذا غير صحيح، إذ إن هذه المسافة تساوي مثلَي السعة.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: التحليل.**

أوضِّح للطلبة أنّ التحليل هو أحد المفاهيم العابرة، وأنّه من خطوات التفكير، وأنّ أهميته تتمثّل في استخراج المعلومة من نص، أو تجربة عملية، أو صورة بعد تحليلها؛ كاستخراج بعض صفات الموجة من الرسم البياني لها.



الشكلُ (4): الطولُ الموجيُّ للموجةِ المستعرضةِ.

طولُ الموجةِ Wavelength

توصفُ الموجاتُ أيضًا باستخدامِ مفهومِ **الطولِ الموجيِّ Wavelength**، وهوَ المسافةُ بينَ قمتيْنِ متتاليتيْنِ، كما في الشكلِ (4)، أوْ هوَ المسافةُ بينَ قاعيْنِ متتاليينِ، ويُرمزُ إليهِ بالحرفِ اليونانيِّ (λ – لامدا). وبصورةٍ عامةٍ فإنَّ المسافةَ بينَ أيِّ نقطتيْنِ متناظرتيْنِ ومتتاليتيْنِ على الموجةِ تساوي الطولَ الموجيَّ.

التردُّدُ Frequency

تتوالى الموجاتُ عندَ استمرارِ انتقالِها خلالَ الوسطِ بشكلٍ متماثلٍ، ويطلقُ على تكرارِ الموجاتِ المتماثلةِ **التردُّدُ Frequency**، وهوَ عددُ الموجاتِ الكاملةِ (n) التي تعبرُ نقطةً ثابتةً في الوسطِ خلالَ ثانيةٍ واحدةٍ. ويُرمَزُ إليهِ بالحرفِ اللاتينيِّ (f)، أما وحدةُ قياسِ التردُّدِ فهيَ هيرتز (Hz)، وتكافئُ (s^{-1})، ويُستخدَمُ أيضًا مفهومَ **الزمنِ الدوريِّ Period** للتعبيرِ عنِ المدةِ الزمنيةِ اللازمةِ لعبورِ موجةٍ كاملةٍ واحدةٍ نقطةً ثابتةً في الوسطِ. ويُرمَزُ إلى الزمنِ الدوريِّ بالرمزِ (T)، ووحدةُ قياسِهِ هيَ (s). ويرتبطُ التردُّدُ بالزمنِ الدوريِّ للموجةِ بالعلاقةِ الرياضيةِ الآتيةِ:

$$T = \frac{1}{f}$$

✓ **أتحقَّقُ:** كيفَ يمكنُني التمييزُ بينَ الموجاتِ المستعرضةِ والموجاتِ الطوليةِ؟

◄ بناء المفهوم:

طول الموجة، التردد

- أوضِّح للطلبة أنّ طول الموجة تعني المسافة بين أي نقطتين متتاليتين ومتماثلتين في موقعها على مسار الموجة؛ فقد تكونان قمتين أو قاعين أو غيرهما. وينطبق ذلك على نوعي الموجات المستعرضة والطولية.
- أوضِّح للطلبة أن التردد يتعلق بالمصدر أولا ثم بالموجات؛ فعدد اهتزازات المصدر في الثانية الواحدة يحدد تردد الموجات الصادرة عنه. وأمثّل ذلك بتكليف أحد الطلبة بالسير داخل الصف؛ بحيث تمثل كل خطوة من خطواته موجة واحدة، وطول الخطوة يساوي الطول الموجي، وعدد الخطوات في الثانية يساوي التردد.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (4)؛ لتحديد كل من الطول الموجي وسعة الموجة على الشكل، ثم أكلِّفهم برسم أشكال مماثلة، بعد أن أكون قد حددتُ لهم طول الموجة وسعتها، وعدد الموجات لكل شكل.

◄ التعزيز:

- أوضِّح للطلبة العلاقة بين التردد والزمن الدوري؛ مبينًا لهم دلالة الرموز المستخدمة في هذه العلاقة.

✓ **أتحقَّق:**

في الموجات المستعرضة يكون اهتزاز دقائق الوسط عموديًّا على اتجاه انتشار الموجة، بينما يكون موازيًا لاتجاه انتشارها في الموجات الطولية.

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن صفات الموجة Characteristics of Wave، علمًا بأنّه يمكن إعداد عروض تقديمية تتعلّق بموضوع الدرس.

أشارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو أستعمل أيّة وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.

مثال إضافي

يهتز جسم في الهواء، فتصدر عنه (240) موجة طولية في مدة زمنية مقدارها (6 s)، وتنتشر في الهواء. أحسب كلًّا من: الزمن الدوري، والتردد

المعطيات: $(t = 6\ s)$، $(n = 240)$

المطلوب: $(T = ?)$، $(f = ?)$

الحل:

الزمن الدوري (T) يساوي ناتج قسمة الزمن الكلي (t) على عدد الموجات الكاملة المتكونة (n).

$$T = \frac{t}{n} = \frac{6}{240} = 0.025\ s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.025} = 40\ s^{-1}$$

بناء المفهوم:

سرعة الموجة

- أوضّح للطلبة أنّ مفهوم السرعة لا يتغير؛ فهو يعني المسافة المقطوعة في وحدة الزمن، إلّا أن هناك علاقة بين كل من السرعة والتردد والطول الموجي.

نشاط سريع

- أقدِّم النشاط للطلبة، بتوضيح أن الخطوة تقابل موجة، وعدد الخطوات في الثانية يساوي التردد، ثم أكلِّف أحد الطلبة بالسير داخل غرفة الصف بسرعة ثابتة مقدارًا واتجاهًا وخطوات متماثلة؛ بحيث يقيس طالب آخر زمن الحركة. أكتب عدد الخطوات، والمدة الزمنية، وطول الخطوة على اللوح، وأكلِّف طالبًا بإيجاد التردد والسرعة.

التعزيز:

- يمكن تعزيز مفهوم سرعة الموجة بتكرار النشاط السريع السابق، على أن يسير طالبان معًا وهما متلازمان (أي يبدآن في الوقت نفسه وبالسرعة نفسها)، على أن يختلف طول خطوة أحدهما عن الآخر، ثم أطلب إلى الطلبة إجراء مقارنة بين الطول الموجي، والتردد، والسرعة لكل منهما.

المثال 1

يهتزُّ جسمٌ وهوَ يلامسُ سطحَ الماءِ فيصدرُ عنهُ (12) موجةً مستعرضةً في مدةٍ زمنيةٍ مقدارُها (3 s)، وتنتشرُ على سطحِ الماءِ. أحسبُ كلًّا منَ: الزمنِ الدوريِّ والترددِ.

المعطياتُ: $(t = 3\ s)$، $(n = 12)$

المطلوبُ: $(T = ?)$، $(f = ?)$

الحلُّ:

$$T = \frac{t}{n} = \frac{3}{12} = 0.25\ s$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.25} = 4\ s^{-1}$$

تصدرُ الموجاتُ عن مصدرٍ مهتزٍّ، وترددُها يساوي ترددَ هذا المصدرِ، فالترددُ لا يعتمدُ على نوعِ الوسطِ، أيْ أنَّهُ عندَ انتقالِ موجةٍ ترددُها (5 Hz) بينَ وسطيْنِ مختلفيْنِ، فإنَّ ترددَها لا يتغيرُ، ويبقى (5 Hz).

سرعةُ الموجةِ Speed of a Wave

تُحسبُ **سرعةُ الموجةِ Speed of a Wave** بقسمةِ المسافةِ (S) التي تقطعُها على الزمنِ الكليِّ (t) اللازمِ لقطعِ تلكَ المسافةِ، وتُعطى سرعةُ الموجةِ بالعلاقةِ الرياضيةِ الآتيةِ:

$$v = \frac{S}{t}$$

وتتناسبُ سرعةُ الموجةِ (v) طرديًّا معَ ترددِها (f)، لأنَّهُ بزيادةِ سرعةِ انتقالِ الموجةِ يزدادُ عددُ الموجاتِ الكاملةِ التي تعبرُ نقطةً معينةً في الثانيةِ الواحدةِ؛ أيْ يزدادُ الترددُ، ويُمثَّلُ ذلكَ التناسبُ كما يأتي:

$$f \propto v$$

وعندَ مقارنةِ موجتيْنِ تنتقلانِ في وسطٍ بالسرعةِ نفسِها، حيثُ تمتلكُ إحداهُما طولًا موجيًّا أكبرَ منَ الأخرى، نجدُ أنَّ الموجةَ ذاتَ الطولِ الموجيِّ الأكبرِ تنتقلُ بترددٍ أقلَّ، في حينِ تنتقلُ الموجةُ التي هيَ أقصرُ بترددٍ أكبرَ؛ أيْ أنَّ الطولَ الموجيَّ يتناسبُ عكسيًّا معَ الترددِ. ويُمثَّلُ ذلكَ رياضيًّا كما يأتي:

$$f \propto \frac{1}{\lambda}$$

أخطاء شائعة

- قد يعتقد بعض الطلبة أن التغير في سرعة الموجة عند انتقالها من وسط إلى آخر مختلف في خصائصه ناتج عن التغير في التردد، أخبرهم بأن التردد لا يتغير وهو مساوي دائمًا لتردد المصدر، لكن الطول الموجي هو ما يتغير وينتج عن تغيره اختلاف في سرعة الموجة.

مما سبقَ أتوصلُ إلى علاقةٍ رياضيةٍ ترتبطُ فيها سرعةُ الموجةِ بكلٍّ منْ ترددِها وطولِها الموجيِّ، وتنصُّ على أنَّ: سرعةَ الموجةِ تساوي حاصلَ ضربِ الترددِ في الطولِ الموجيِّ، وهيَ:

$$v = f\lambda$$

المثالُ 2

يمسكُ كرم بطرفِ حبلٍ مشدودٍ ويحركهُ للأعلى والأسفلِ بترددٍ مقدارهُ 5 Hz، إذا كانَ طولُ الموجةِ الواحدةِ يساوي 0.4 m، فأجدُ سرعةَ انتقالِ الموجاتِ في الحبلِ:

المعطياتُ: $(\lambda = 0.4\ m)$، $(f = 5\ Hz)$

المطلوبُ: $(v = ?)$

الحلُّ:

$$v = f\lambda = 5 \times 0.4 = 2\ m/s$$

تمرينٌ

تنتقلُ موجةٌ مستعرضةٌ على سطحِ الماءِ بسرعةِ (12 m/s)، إذا علمتُ أنَّ طولَها يساوي 1.5 m، فأجدُ ترددَها.

تعتمدُ سرعةُ الموجةِ على طبيعةِ الوسطِ الذي تنتقلُ فيهِ، كَما هوَ مُبيَّنٌ في الجدولِ (1).

الجدولُ (1): سرعةُ الموجاتِ حسبَ الوسطِ الذي تنتقلُ فيهِ.

نوعُ الموجاتِ والوسطُ الذي تنتقلُ فيهِ	السرعةُ (m/s)
موجاتُ الصوتِ في الهواءِ عندَ مستوى سطحِ البحرِ ودرجةِ حرارةِ (20°C).	343
موجاتُ الصوتِ في ماءِ البحرِ عندَ عمقِ (4 m) ودرجةِ حرارةِ (20°C).	1500
موجاتُ الصوتِ في الصخورِ.	4750
موجاتُ الضوءِ في الألياف البصريةِ الزجاجيةِ.	2.00×10^8
موجاتُ الضوءِ في الهواءِ أو الفراغِ (c).	3.00×10^8

معلومةٌ إضافيةٌ

تعد سرعة الضوء في الفراغ أحد الثوابت الكونية، أوضّح للطلبة أن المقصود بالثوابت الكونية هو مجموعة من الثوابت الفيزيائية التي لا تتغير، وتعتمد عليها بعض الخصائص، ومن هذه الثوابت: النفاذية المغناطيسية للفراغ، والسماحية الكهربائية للفراغ، وثابت الجذب الكتلي، وثابت بلانك، مع تأكيد عدم شمول هذه المعلومة في تقويم الطلبة.

مثالٌ إضافيٌ

إذا كان تردد الموجات التي تنتقل في نابض أفقي 9 Hz، وكانت المسافة بين تضاغطين متتاليين 0.2 m، فأجد سرعة انتقال الموجات في النابض.

المعطيات: $(\lambda = 0.2\ m)$، $(f = 9\ Hz)$

المطلوب: $(v = ?)$

الحل:

$$v = f\lambda = 9 \times 0.2 = 1.8\ m/s$$

تمرين

الحل:

يحسب تردد الموجة بمعرفة سرعتها وطولها الموجي؛ باستخدام العلاقة الآتية:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{12}{1.5} = 8\ s^{-1}$$

التعزيز:

أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الجدول (1) في الكتاب، وتحديد البيانات الخاصة بسرعة الصوت، ثم أسألهم عن سبب اختلاف سرعة الصوت من وسط إلى آخر. ثم أطلب إلى مجموعة أخرى من الطلبة بحث الاختلاف في سرعة الضوء، وسبب هذا الاختلاف. ثم أبيِّن لهم أن سرعة الموجة تعتمد على أمرين هما: نوع الموجة، ونوع الوسط وصفاته. ثم أذكِّرهم بأن سرعة الضوء في الفراغ هي أكبر سرعة يمكن أن تنتقل فيها الطاقة.

وجّه الطلبة إلى استخدام الجداول الإلكترونية (Microsoft Excel) لتمثيل الجدول (1) بيانيًا للمقارنة بين سرعة الموجات المختلفة، ثمَّ أوجّههم إلى مشاركته أو عرضه أمام الزملاء في الصفِّ.

المناقشة:

- ألفت انتباه الطلبة إلى أنَّ تردد الموجات يعتمد على تردد المصدر؛ فهو لا يتغير عند انتقال الموجة من وسط إلى آخر مختلف عنه في خصائصه. لكن على الرغم من ذلك فإنَّ سرعة الموجة الواحدة تتغير. أطرح السؤال:

– لماذا تتغير سرعة الموجة عند انتقالها بين وسطين مختلفين، مع أنَّ ترددها لا يتغير؟

إنَّ سبب تغير سرعة الموجة عند عبورها من وسط إلى آخر هو تغير الطول الموجي؛ فالسرعة تساوي حاصل ضرب التردد في الطول الموجي.

بناء المفهوم:

التمثيل البياني

- أوضّح للطلبة أنّ الأشكال البيانية تعد إحدى طرائق التواصل، وهي تعرض البيانات بطريقة أفضل من عرض الجداول والأرقام؛ لأنها تساعد المتعلم على ربط المتغيرات، وتكوين تصور أكثر وضوحًا للعلاقات بينها. ثم أذكِّرهم بالتمثيل البياني للحركة في الفصل الدراسي الأول.
- أذكّر الطلبة أنه توجد طريقتان لتمثيل الموجات بيانيًّا، الأولى بالنسبة إلى البعد عن مصدر الموجات، والثانية بالنسبة إلى الزمن.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (5) في الكتاب؛ لفهم العلاقة بين الإزاحة والمسافة، حيث مثّلت المسافة على محور (x) بتدريج منتظم بوحدة (m)، ومثّلت الإزاحة من موقع الاتزان على المحور (y) بتدريج منتظم ووحدة (m) أيضًا.
- أبيِّن للطلبة أن المقصود بالمسافة هو البعد بين دقائق الوسط التي تهتز ومصدر الموجات، أما الإزاحة فهي مقدار ابتعاد دقائق الوسط المهتزة عن مركز اتزانها، فعندما تكون الموجات مستعرضة وتنتشر على سطح أفقي، فإن المسافة تكون أفقية، والإزاحة عمودية عليها.

ألاحظُ منَ الجدولِ السابقِ أيضًا أنَّ سرعةَ الموجةِ الواحدةِ تختلفُ منْ وسطٍ إلى آخرَ، وألاحظُ اختلافَ سرعةِ انتقالِ موجاتِ الصوتِ في الهواءِ عنْ سرعةِ انتقالِها في ماءِ البحرِ، وحيثُ إنَّ ترددَ هذهِ الموجاتِ يساوي ترددَ مصدرِها ولا يتغيرُ عندَ انتقالِها منْ وسطٍ إلى آخرَ، فإنَّ التغيرَ في سرعتِها ينتجُ عنْ تغيرِ طولِها الموجيِّ. وتُعدُّ سرعةُ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ في الفراغِ إحدى الثوابتِ الكونيةِ، ويُرمَزُ إليْها بالرمزِ (c).

✓ **أتحقَّقُ:** توصفُ الموجةُ بترددِها وسرعتِها وطولِها الموجيِّ. أيٌّ منْ هذهِ الكمياتِ تتغيرُ عندَ انتقالِ الموجةِ منْ وسطٍ إلى آخرَ مختلفٍ في خصائصِهِ؟

أستخدمُ برنامجَ الجداولِ الإلكترونيةِ (Microsoft Excel) لتمثيلِ البياناتِ في الجدولِ (1) بمخططٍ بيانيٍّ (عمودٌ ثلاثيُّ الأبعادِ)، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي.

تمثيلُ الموجاتِ بيانيًّا Graphical Representations of Waves

عندَ معرفتي للمزيدِ عنِ الموجاتِ وانتشارِها، سأجدُ أنَّهُ منَ المفيدِ تمثيلُ الحركةِ الموجيةِ بيانيًّا؛ سواءٌ أكانتْ موجاتٍ مستعرضةً أمْ موجاتٍ طوليةً، ويمكنني ذلكَ بطريقتيْنِ، في الأولى يتمُّ رسمُ المنحنى البيانيِّ؛ اعتمادًا على المسافةِ التي تقطعُها الموجةُ، وفي الطريقةِ الثانيةِ يكونُ التمثيلُ بالنسبةِ إلى الزمنِ، ولا بدَّ منَ التفريقِ بينَ الطريقتيْنِ.

منحنى الإزاحةِ - المسافةِ Displacement –Distance Graph

عندَ رميِ حجرٍ في بركةِ ماءٍ، تتولدُ موجاتٌ مستعرضةٌ تنتشرُ على سطحِ الماءِ على شكلِ دوائرَ مركزُها نقطةُ سقوطِ الحجرِ. لوْ قمتُ بالتقاطِ صورةٍ ثابتةٍ لمشهدِ تلكَ الموجاتِ عندَ لحظةٍ زمنيةٍ محددةٍ، فإنَّ المشهدَ يبدو كالمنحنى المبينِ في الشكلِ (5)، الذي يمثلُ العلاقةَ بينَ إزاحةِ جزيئاتِ الماءِ للأعلى أوِ الأسفلِ والبعدِ عنْ موقعِ سقوطِ الحجرِ، حيثُ يمثلُ البعدُ عنِ المركزِ على محورِ (x) ووحدةِ قياسِهِ (m)، والإزاحةُ بالنسبةِ إلى مستوى اتزانِ سطحِ الماءِ على محورِ (y) ووحدةِ قياسِها (m).

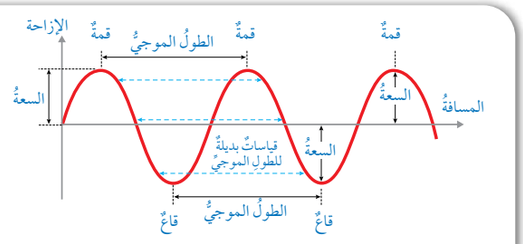
✓ **أتحقَّق:**

عند انتقال الموجة من وسط إلى آخر مختلف في خصائصه، فإنَّ التردد يبقى ثابتًا، أمّا السرعة والطول الموجي فيتغيران.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **المهارات الحياتية: التواصل.**

أخبر الطلبة أنّ التواصل من المهارات الحياتية، ويتخذّ أشكالًا عدّة؛ من بينها الرسومات البيانية، وأنّه يساعدهم على فهم البيانات ونقلها بسهولة، فالتمثيل البياني للموجات يتضمن الكثير من البيانات التي يمكن استنباطها من الشكل.



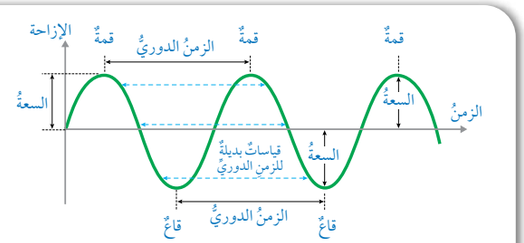
الشكلُ (5): العلاقةُ البيانيةُ بينَ إزاحةِ جزيئاتِ سطحِ الماءِ والبعدِ عنْ مركزِ انتشارِ الموجاتِ عندَ لحظةٍ محددةٍ.

يفيدُ المنحنى في معرفةِ كلٍّ منَ: الطولِ الموجيِّ وهوَ المسافةُ الأفقيةُ بينَ قمتيْنِ متتاليتيْنِ، أو قاعيْنِ متتاليَيْنِ، والسعةِ – وهيَ أكبرُ إزاحةٍ رأسيةٍ لجزيئاتِ الماءِ بالنسبةِ إلى مستوى اتزانِها– وكذلكَ معرفةُ مواقعِ القممِ والقيعانِ المتتاليةِ على سطحِ الماءِ عندَ لحظةٍ زمنيةٍ محددةٍ.

منحنى الإزاحةِ - الزمنِ Displacement –Time Graph

بالرجوعِ إلى مشهدِ الموجاتِ الناتجةِ عنْ رميِ الحجرِ في بركةِ الماءِ، وتحديدِ نقطةٍ معينةٍ على سطحِ الماءِ على بُعدٍ ثابتٍ منْ مركزِ انتشارِ الموجاتِ، ثمَّ وضعِ قطعةِ فلينٍ عندَ هذهِ النقطةِ ومراقبتِها، أجدُ أنَّ قطعةَ الفلينِ تتحركُ للأعلى وللأسفلِ بشكلٍ منتظمٍ معَ مرورِ الزمنِ، وعندَ تمثيلِ العلاقةِ بينَ إزاحةِ قطعةِ الفلينِ والزمنِ أحصلُ على المنحنى المبينِ في الشكلِ (6).

✓ **أتحقَّقُ:** أوضحُ المقصودَ بسعةِ الموجةِ لموجاتٍ طوليةٍ تنتقلُ أفقيًّا في نابضٍ.



الشكلُ (6):العلاقةُ البيانيةُ بينَ إزاحةِ جزيئاتِ سطحِ الماءِ والزمنِ عندَ موقعٍ على بعدٍ ثابتٍ منْ مركزِ انتشارِ الموجاتِ.

101

✓ **أتحقَّق:**

عند انتقال الموجات الطولية أفقيًّا في نابض عريض ممدود على أرض أفقية، فإن اهتزاز حلقات النابض يكون أفقيًّا وباتجاه مواز لاتجاه انتقال الموجة، فتكون السعة مساوية لأقصى إزاحة تحدثها الحلقات من موقع اتزانها، ومقدارها يساوي نصف المسافة بين تضاغطين متتاليين، أو تخلخلين متتاليين، أي أن السعة تساوي نصف الطول الموجي.

أخطاء شائعة

- قد يعتقد بعض الطلبة أن التمثيل البياني للمسافة والإزاحة في الشكل (5)، والتمثيل البياني للزمن والإزاحة في الشكل (6) يصلحان لتمثيل الموجات المستعرضة فقط، أخبرهم بأنهما يصلحان لتمثيل كل من الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (6) في الكتاب؛ لفهم العلاقة بين الإزاحة والزمن، حيث مثّل الزمن على محور (x) بتدريج منتظم بوحدة (s)، ومثّلت الإزاحة على المحور (y) بتدريج منتظم ووحدة (m).
- أبيِّن للطلبة أن المقصود بالزمن هو الفترة الزمنية منذ بداية رصد الموجة، أما الإزاحة فهي مقدار ابتعاد دقائق الوسط المهتزة عن مركز اتزانها عند لحظة معينة.

المناقشة:

- أبيِّن للطلبة أن هذا الرسم البياني خاص بدقائق الوسط في مكان واحد، وكيفية اهتزازها مع مرور الزمن، كأن تكون قطعة فلين على سطح الماء، ثم يأخذ الشخص الراصد قراءات الزمن، وإزاحة قطعة الفلين وكتابة النتائج في جدول، ثم تمثيل الجدول بيانيًّا.
- أبيِّن لهم أن الرسم السابق المبين في الشكل (5)، يمثل إزاحة أجزاء مختلفة من الوسط تقع على مسافات مختلفة من مصدر الموجات، وترصد القراءات الخاصة بالإزاحة والمسافة جميعها في لحظة واحدة.
- أدرّب الطلبة على كيفية استخراج البيانات من الشكلين، مراعيًا اختلاف تدريج المحور (x) في كل منهما. وأطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– ما الذي تمثله المسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين في الشكل (5)؟

(الطول الموجي).

– ما الذي تمثله المسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين في الشكل (6)؟

(الزمن الدوري).

– ما الذي تمثله المسافة الرأسية بين إحدى القمم والمحور الأفقي في أيّ من الشكلين؟

(سعة الموجة).

التعزيز:

يمكن تعزيز مفهوم الرسوم البيانية لدى الطلبة بالمقارنة بين الرسمين؛ من حيث البيانات التي يحصل عليها من كل رسم.

منحنى الإزاحة – المسافة يفيد في معرفة: السعة، والطول الموجي، وعدد الموجات الكلي خلال مسافة محددة، في حين نحصل من المنحنى **الإزاحة – الزمن** على كل من: السعة، والزمن الدوري، والتردد، وعدد الموجات التي تعبر نقطة محددة خلال فترة زمنية.

ملاحظة:

للمقارنة بين الشكلين السابقين، أؤكد للطلبة أنه في الشكل الأول تقاس الإزاحة في مواقع مختلفة ويكون الزمن ثابتًا، في حين أنه في الشكل الثاني تقاس الإزاحة في لحظات زمنية مختلفة في موقع واحد.

مثال إضافي

أغيِّر تدريج محور المسافة في المثال (3) بحيث يصبح (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1)، وتدريج محور الإزاحة؛ بحيث يصبح (5, 10)، ثم أحل المثال مرة أخرى.

الحل:

الطول الموجي: $\lambda = 0.5 - 0.1 = 0.4$ m

السعة: $A = 10$ m

عدد الموجات الكاملة: $n = 2$

يفيدُ المنحنى في معرفةِ كلٍّ منَ:

- الزمنِ الدوريِّ للحركةِ الموجيةِ: وهوَ الفرقُ في الزمنِ بينَ قمتيْنِ متتاليتيْنِ، أوْ قاعيْنِ متتاليَيْنِ.
- السعةِ: وهيَ أكبرُ إزاحةٍ رأسيةٍ تُحدثُها قطعةُ الفلينِ بالنسبةِ إلى مستوى اتزانِها على سطحِ الماءِ.
- عددِ القممِ والقيعانِ التي تحدثُ لقطعةِ الفلينِ خلالَ مدةٍ زمنيةٍ محددةٍ.

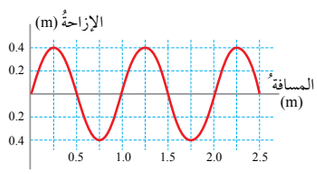
ملاحظةٌ

ألاحظُ منَ الشكليْنِ السابقيْنِ (5،6) تماثلًا في تعريفِ الطولِ الموجيِّ والزمنِ الدوريِّ وفي تمثيلِهما على المنحنى.

المثالُ 3

تنتشرُ موجاتٌ مستعرضةٌ في حبلٍ ممدودٍ بشكلٍ أفقيٍّ، وفي لحظةٍ زمنيةٍ محددةٍ رُسِمَتِ العلاقةُ بينَ إزاحةِ أجزاءِ الحبلِ وبُعدِ كلِّ جزءٍ عنْ مصدرِ الاهتزازِ، فكانتْ كما في الشكلِ (7). معتمدًا على الرسمِ، أجدُ كلًّا منْ:

الطولِ الموجيِّ، السعةِ، عددِ الموجاتِ الكاملةِ.



الشكلُ (7): العلاقةُ بينَ إزاحةِ أجزاءِ الحبلِ والبُعدِ عنِ المصدرِ.

المعطياتُ: الشكلُ المجاورُ.

المطلوبُ: λ ، A ، n

الحلُّ:

الطولُ الموجيُّ: $\lambda = 1.25 - 0.25 = 1.0$ m

السعةُ: $A = 0.4$ m

عددُ الموجاتِ الكاملةِ: $n = 2$

طريقة أخرى للتدريس

موجات مستعرضة

- أطبِّق **إستراتيجية التعلم التعاوني**؛ أوزِّع الطلبة إلى مجموعات، ثم أوزِّع عليهم حبلًا مناسبًا، وجهاز هاتف للتصوير.
- أكلِّف اثنين من كل مجموعة بعمل الموجات، على أن يمسك أحدهما بالطرف الأول للحبل ويثبته جيدًا، ويمسك الآخر بالطرف الثاني للحبل، ويُحدِث اهتزازات متتالية للأعلى والأسفل.
- عند الحصول على نمط منتظم لمسار الموجات في الحبل، يلتقط أحد أفراد المجموعة صورة ثابتة للحبل بواسطة جهاز الهاتف. ثم أكلِّف المجموعات بإعادة المحاولة للحصول على صور واضحة.
- أعرض الصور على الطلبة باستخدام جهاز العرض، أو بتمرير الهاتف على مجموعات الطلبة. أطلب إليهم مقارنة الصورة بالرسم البياني للمثال (3).

المثالُ 4

تنتشرُ موجاتٌ مستعرضةٌ على سطحِ الماءِ، وتُحدثُ اهتزازًا في قطعةِ فلينٍ على بُعدِ (x) منْ مصدرِ الموجاتِ، مُثِّلَتِ العلاقةُ بينَ الإزاحةِ الرأسيةِ لقطعةِ الفلينِ والزمنِ بيانيًّا، فكانتْ كما في الشكلِ (8).

معتمدًا على الرسمِ، أجدُ كلًّا منَ:

الزمنِ الدوريِّ، التردد، السعةِ.

المعطياتُ: الشكلُ المجاورُ.

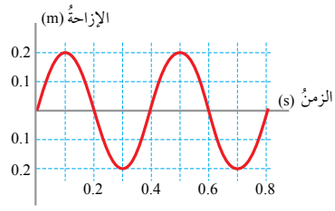
المطلوبُ: T ، f ، A

الحلُّ:

الزمنُ الدوريُّ: $T = 0.5 - 0.1 = 0.4$ s

السعةُ: $A = 0.2$ m

التردُّدُ: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.4} = 2.5\ s^{-1}$



الشكلُ (8): العلاقةُ بينَ إزاحةِ قطعةِ الفلينِ والزمنِ.

موجاتُ الصوتِ Sound Waves

ينتجُ الصوتُ عنِ اهتزازِ مصدرِ الصوتِ، وينتقلُ الاهتزازُ إلى دقائقِ الوسطِ المحيطِ، فينتشرُ في الاتجاهاتِ جميعِها على شكلِ موجاتٍ طوليةٍ. عندَ اهتزازِ وترٍ مشدودٍ في الهواءِ، فإنَّهُ يتحركُ باتجاهيْنِ متعاكسيْنِ فيؤثرُ في جزيئاتِ الهواءِ المحيطةِ بهِ مُحدثًا فيها مجموعةً منَ التضاغطاتِ (ضغطُ الهواءِ المرتفعُ) والتخلخلاتِ (ضغطُ الهواءِ المنخفضُ) المتتاليةِ التي تنتشرُ في الهواءِ ناقلةً الصوتَ منَ الوترِ إلى أذنِ السامعِ. وتختلفُ الأصواتُ بعضُها عنْ بعضٍ في الطولِ الموجيِّ والترددِ والسعةِ، ونتيجةً لذلكَ يمكنُنا تمييزُ الأصواتِ المختلفةِ.

جهارةُ الصوتِ Loudness

يُعبَّرُ عنْ علوِّ الصوتِ أوِ انخفاضِهِ **بجهارةِ الصوتِ Loudness** وهوَ مقياسٌ لاستجابةِ الأذنِ للصوتِ، ويمكنُ التعبيرُ عنْ هذهِ الصفةِ **بمستوى شدةِ الصوتِ Sound Intensity Level** الذي يُقاسُ بوحدةِ **ديسيبل Decibel (dB)**. وتعتمدُ جهارةُ الصوتِ على سعةِ موجاتِهِ، وعلى شدتِهِ عندَ ثبوتِ التردد.

مثال إضافي

غيّر تدريج محور الزمن في المثال (4)؛ بحيث يصبح (1, 2, 3, 4)، وتدريج محور الإزاحة؛ بحيث يصبح (0.3, 0.6)، ثم حل المثال مرة أخرى.

الحل:

الزمن الدوري: $T = 2.5 - 0.5 = 2$ s

السعة: $A = 0.6$ m

التردد: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.5\ s^{-1}$

بناء المفهوم:

موجات الصوت

- أذكِّر الطلبة بأن الصوت يصدر عن جسم مهتز، وينتشر على شكل موجات تحمل الطاقة الصوتية، وأبيِّن لهم صفات موجات الصوت من حيث: طريقة الاهتزاز، وأن مميزات الموجة الصوتية تحدد صفات الصوت الذي نسمعه.

المناقشة:

- أطلب إلى الطلبة مراجعة موضوع الصوت، وتذكّر ما درسوه في صفوف سابقة، بأن الصوت ينتقل في الهواء وفي أوساط أخرى، وأن للصوت سرعة محددة تعتمد على الوسط الذي ينتقل فيه، وقد ينعكس فيحدث له صدى.
- أبيِّن للطلبة أنّ موجات الصوت موجات طولية تنتشر في الأوساط المختلفة على شكل تضاغط وتخلخل، وأنّ ما درسوه عن مميزات الموجات وصفاتها ينطبق على موجات الصوت. ثم أناقشهم في خبراتهم اليومية في ما يتعلق بتوليد الصوت وانتقاله والإحساس به. وأطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– كيف يتولد الصوت وكيف ينتشر؟

– كيف تنتقل موجات الصوت؟

– وكيف تلتقط الأذن الصوت؟

يتولد الصوت بفعل مصدر مهتز، يولد الموجات التي تنقل الطاقة.

تنتشر موجات الصوت في الوسط على شكل تضاغطات وتخلخلات متتالية في جزيئات هذا الوسط.

تلتقط الأذن موجات الصوت بطريقة ميكانيكية تهتز فيها طبلة الأذن عند تصادم موجات الصوت معها، ثم تنتقل الاهتزازات عبر أجزاء الأذن الأخرى، ثم تتحول إلى إشارات كهربائية ينقلها العصب السمعي إلى الدماغ.

بناء المفهوم:

جهارة الصوت

- أستعرض مع الطلبة الآية الكريمة الآتية:

﴿ يَٰٓأَيُّهَا ٱلَّذِينَ ءَامَنُواْ لَا تَرۡفَعُوٓاْ أَصۡوَٰتَكُمۡ فَوۡقَ صَوۡتِ ٱلنَّبِيِّ وَلَا تَجۡهَرُواْ لَهُۥ بِٱلۡقَوۡلِ كَجَهۡرِ بَعۡضِكُمۡ لِبَعۡضٍ أَن تَحۡبَطَ أَعۡمَٰلُكُمۡ وَأَنتُمۡ لَا تَشۡعُرُونَ ٢ ﴾ الآية (2) من سورة الحجرات.

- أوضِّح للطلبة معنى الجهر بأنه عكس السرّ، وجهارة الصوت تصف مقدار ضخامته، ويطلق أحيانًا على مكبر الصوت (المجهار).
- أبيِّن أن صفة جهارة الصوت مقياس لإحساس الأذن بشدة الصوت.

المناقشة:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الجدول (2) في الكتاب، ومقارنة قيم شدة الصوت بقيم مستوى شدة الصوت، حيث إنهما مقياسان مختلفان للتعبير عن ضخامة الصوت، والعلاقة بينهما لوغارتمية، فعندما يزيد مستوى شدة الصوت للحديث العادي عن مستوى شدة الصوت لحفيف أوراق الشجر بمقدار (50 dB)، فإن هذا يعني أن شدة الصوت وطاقته تزداد بمقدار (100000) مرة.

التعزيز:

- أوضِّح للطلبة ما يأتي:
  - الطاقة التي تنقلها موجات الصوت تعتمد على طاقة مصدر الصوت، وتقل شدتها كلما ابتعدت عنه.
  - تسمى جهارة الصوت مستوى شدة الصوت، وهو مقياس لإحساس الأذن بعلو الصوت.
  - هناك مجال معين لحدود سمع الإنسان السليم، وتوجد عادات غير صحية تتعلق بمستوى شدة الصوت، والتعرض لها يسبب أضرارًا قد تكون بالغة لحاسة السمع. مثل: تعرض سائقي الآليات الثقيلة، والذين يعملون في صيانة الطائرات للأصوات العالية دون وضع واقيات للأذن.

الجدول (2): مقارنةٌ بينَ شدةِ الصوتِ ومستوى شدةِ الصوتِ لبعضِ الأصواتِ المألوفةِ.

مصدرُ الصوتِ	شدةُ الصوتِ ($Watt/m^2$)	مستوى شدةِ الصوتِ (dB)
عتبةُ السمعِ عندَ ترددِ (1000 Hz)	1×10^{-12}	0
حفيفُ أوراقِ الشجرِ	1×10^{-11}	10
المحادثةُ العاديةُ	1×10^{-6}	60
شاحنةٌ كبيرةٌ	1	120
طائرةٌ نفاثةٌ	1×10^{2}	140

بعضُ الآلاتِ كالمنشارِ أوِ الطائرةِ يكونُ مستوى شدةِ صوتِها عاليًا؛ لأنَّ موجاتِهِ تحملُ الكثيرَ منَ الطاقةِ، وتكون سعتُها كبيرةً، في حينِ يكونُ لحفيفِ أوراقِ الشجرِ أوِ الهمسِ في الحديثِ مستوى شدةِ صوتٍ منخفضٌ، لأنَّ موجاتِهِ تحملُ القليلَ منَ الطاقةِ، وسعتُها صغيرةٌ، ويعودُ الاختلافُ في مستوى الشدةِ إلى طاقةِ المصدرِ.

يقعُ مستوى شدةِ الصوتِ المسموعِ لدى الإنسانِ ضمنَ المجالِ (0 – 180 dB)، ويمثلُ المستوى (0 dB) **عتبةَ السمعِ Threshold of Hearing** لدى الإنسانِ، وهيَ أدنى مستوى شدةٍ للصوتِ يمكنُ للإنسانِ سماعهُ. وتعدُّ الأصواتُ التي يزيدُ مستوى شدتِها على (120 dB) ضارةً بالأذنِ. وللتمييزِ بينَ شدةِ الصوتِ ومستوى شدتِهِ، أنظرُ الجدولَ (2) الذي يتضمنُ بعضَ الأمثلةِ على بعضِ الأصواتِ المألوفةِ التي نسمعُها كثيرًا.

✓ **أتحقَّقُ:** أوضِّحُ المقصودَ بعتبةِ السمعِ لدى الإنسانِ السليمِ.

درجةُ الصوتِ Pitch of Sound

يُسمّى إحساسُنا بترددِ الصوتِ درجةَ الصوتِ Pitch of Sound، فنحنُ نميزُ بينَ الأصواتِ الحادةِ والأصواتِ الغليظةِ عندَما نصغي لبعضِ الآلاتِ الموسيقيةِ، كالتي في الشكلِ (9)؛ فالآلاتُ الموسيقيةُ صغيرةُ الحجمِ مثلَ الناي يَصدرُ عنْها موجاتٌ صوتيةٌ قصيرةٌ وعاليةُ الترددِ، فيكونُ صوتُها حادًّا (درجتهُ عاليةٌ)، بينَما يصدرُ عنِ الآلاتِ الموسيقيةِ كبيرةِ الحجمِ مثلَ البوقِ موجاتٌ صوتيةٌ طويلةٌ ومنخفضةُ الترددِ، فيكونُ صوتُها غليظًا (درجتهُ منخفضةٌ).

الشكلُ (9): تختلفُ الآلاتُ الموسيقيةُ الهوائيةُ في درجةِ الصوتِ.

إضاءة للمعلم/للمعلمة

تتناسب شدة الصوت عند نقطة عكسيًّا مع مربع بعدها عن مصدر الصوت؛ لأن الطاقة تتوزع على سطح كروي، وتحسب شدة موجات الصوت بقسمة طاقتها على مساحة سطح الكرة التي تعطى بدلالة مربع نصف قطرها.

✓ **أتحقَّق:**

عتبة السمع عند الإنسان السليم هي أدنى مستوى شدة للصوت يمكن للإنسان سماعه.

يمكنُنا سماعُ مجالٍ واسعٍ منَ الترددات الصوتيةِ عنْ طريقِ حاسةِ السمعِ لديْنا، فالترددات التي تحسُّ بها أذنُ الإنسانِ سليمِ السمعِ تقعُ في المتوسطِ ضمنَ المجالِ (20 Hz - 20 kHz). ومعَ تقدمِ العمرِ يفقدُ الإنسانُ مقدرتَهُ على سماعِ الترددات العاليةِ التي تزيدُ على (14 kHz).

سرعةُ الصوتِ Speed of Sound

نستمتعُ في كثيرٍ منَ المناسباتِ الوطنيةِ مثلَ يومِ الاستقلالِ، وفي الأفراحِ والمناسباتِ الخاصةِ بمشاهدةِ عروضِ الألعابِ الناريةِ، وكثيرًا ما يلفتُ انتباهَنا سماعُ الصوتِ متأخرًا بمدةٍ زمنيةٍ عن رؤيتِنا الوميضَ، ويُعدُّ هذا دليلًا ملموسًا على سرعةِ الصوتِ، وهيَ تساوي في الهواءِ (340 m/s) تقريبًا، وتقلُّ كثيرًا عنْ سرعةِ الضوءِ، ومقدارُها (3×10^8 m/s).

تتأثرُ سرعةُ موجاتِ الصوتِ بطبيعةِ الوسطِ الناقلِ، فهيَ كبيرةٌ في الوسطِ غيرِ القابلِ للانضغاطِ، وتقلُّ في الأوساطِ القابلةِ للانضغاطِ. لذلكَ أجدُ أنَّ سرعةَ الصوتِ في الصخورِ والماءِ أكبرُ منْها في الهواءِ، كما لاحظتُ في الجدولِ (1)، وذلكَ لأنَّ الصخورَ والماءَ وسَطانِ غيرُ قابليْنِ للانضغاطِ، بينَما يمكنُ بسهولةٍ ضغطُ الهواءِ.

تتأثرُ سرعةُ الصوتِ بكثافةِ الوسطِ الذي ينتقلُ فيهِ. عندَ انتشارِ الصوتِ في الهواءِ، على سبيلِ المثالِ، فإنَّ سرعتَهُ تزدادُ كلَّما قلَّت كثافةُ الهواءِ، وحيثُ إنَّ كثافةَ الهواءِ تقلُّ بارتفاعِ درجةِ الحرارةِ، أجدُ أنَّ سرعةَ الصوتِ في الهواءِ تزدادُ بارتفاعِ درجةِ حرارتِهِ. وينتقلُ الصوتُ في الغازاتِ قليلةِ الكثافةِ مثلَ غازِ الهيليومِ بسرعةٍ أكبرَ منْ سرعتِهِ في الهواءِ.

أفكِّرُ: يمكنُ للإنسانِ العاديِّ أنْ يتحدثَ بصوتٍ يقعُ ترددهُ بينَ (85 Hz - 3 kHz)، فما أهميةُ سماعهِ لتردداتٍ أخرى تزيدُ على الترددِ الذي يتحدثُ بهِ؟

الربطُ بالحياةِ

معظمُنا يكونُ سعيدًا بسماعِ صوتِهِ الذي يألفهُ، لكنْ عندَما يستمعُ أحدُنا لتسجيلِ صوتِهِ عبرَ أجهزةِ التسجيلِ المختلفةِ، ربَّما يشعرُ بالحرجِ. إذ إنَّ كلًّا منّا اعتادَ على سماعِ صوتِهِ عندَما تنتقلُ موجاتُهُ الصوتيةُ خلالَ عظامِ الجمجمةِ إلى الأذنيْنِ (وليسَ خلالَ الهواءِ كما هوَ الحالُ عندَ سماعِ صوتِهِ المسجلِ)؛ حيثُ تصبحُ سرعتُهُ أكبرَ منْها في الهواءِ، ويختلفُ الطولُ الموجيُّ نتيجةً لذلكَ.

كيفَ يسمعُ الآخرونَ صوتي؟ أيسمعونَهُ كما أسمعهُ أنا عندَما أتحدثُ؟ أمْ كما أسمعهُ منْ جهازِ التسجيلِ؟

المثالُ 5

تنتقلُ موجاتُ الصوتِ في الهواءِ بسرعةِ 340 m/s، إذا علمتُ أنَّ ترددَها يساوي 425 Hz؛ فما طولُها الموجيُّ؟

المعطياتُ: (v = 340 m/s)، (f = 425 Hz)

المطلوبُ: λ = ?

الحلُّ:

$$v = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{425} = 0.8 \text{ m}$$

أفكِّرُ: تُنفَخُ بعضُ البالوناتِ بغازِ الهيليومِ كيْ ترتفعَ في الهواءِ. عندَما يستنشقُ شخصٌ غازَ الهيليومِ منَ البالونِ ثمَّ يتحدثُ، نلاحظُ أنَّ صوتَهُ يصبحُ مختلفًا إلى درجةٍ كبيرةٍ. ما الذي يُحدثهُ غازُ الهيليومِ في صوتِ الشخصِ؟

أفكِّرُ:

يتكون صوت الإنسان من مجموعة من ترددات عالية وأخرى منخفضة، تعطي صوته صفة خاصة، ولأن سرعة الصوت في غاز الهيليوم أكبر بكثير من سرعته في الهواء؛ بسبب كثافته القليلة؛ فإن التحدث برئة مملوءة بالهيليوم يزيد من الطول الموجي لموجات الصوت، فتخفت الترددات المنخفضة، وتبقى الترددات العالية، فيصبح صوته مثل صوت الشخصية الكرتونية البطة Donald Duck.

إضاءة للمعلم/المعلمة

تكون سرعة الصوت كبيرة في الصخر والماء، وقليلة في الوسط القابل للانضغاط مثل الهواء. بينما في الهواء فإن نقصان كثافة الهواء تزيد من سرعة الصوت فيه، وفي هذه الحالة يكون التأثير لعامل آخر غير الانضغاط؛ إذ إنه في الهواء منخفض الكثافة يمكن للجزيئات الاهتزاز بشكل أفضل؛ فتزيد سرعة الصوت.

بناء المفهوم:

درجة الصوت، سرعة الصوت

- أبيِّن للطلبة أن درجة الصوت هي مقياس آخر لإحساس الأذن بالصوت؛ للتمييز بين الصوت الرفيع والصوت الغليظ.
- أبيِّن لهم أيضًا أن الصوت الرفيع يكون تردده عاليًا، والطول الموجي لموجاته قصيرًا. في حين يكون للصوت الغليظ تردد منخفض، وطول موجي كبير.
- أوضِّح للطلبة أن موجات الصوت مثل باقي الموجات الأخرى لها سرعة في الوسط الواحد، وأن العلاقة بين التردد والطول الموجي والسرعة هي نفسها التي درسها سابقًا.
- أكلِّف الطلبة بالرجوع إلى الجدول (1)؛ للاطلاع على القيم المختلفة لسرعة الصوت في الأوساط المختلفة.
- أوضِّح للطلبة مجال الترددات التي يسمعها الإنسان، ثم أبحث عن مجال السمع عند بعض الحيوانات، وأخبر الطلبة بذلك. ثم أبيِّن لهم سبب اختلاف سرعة الصوت في الأوساط المختلفة.

الربط مع الحياة:

يمكن تسجيل أصوات بعض الطلبة، ثم يسمع كل منهم التسجيل، ويبدي رأيه بذلك.

أفكِّرُ:

إن الإنسان بحاجة لسماع أصوات أخرى غير صوته، مثل المخلوقات الأخرى والأجهزة والآلات..

مثال إضافي

تنتقل موجات الصوت في الماء بسرعة 1500 m/s إذا علمت أن ترددها يساوي 600 Hz؛ فما طولها الموجي؟

المعطيات: (v =1500 m/s)، (f = 600 Hz)

المطلوب: λ = ?

الحل:

$$v = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{600} = 2.5 \text{ m}$$

بناء المفهوم:

الموجات الكهرمغناطيسية

- أوضّح للطلبة أن الطيف الكهرمغناطيسي يتكون من مجموعة من الترددات المختلفة، وأن جزءًا صغيرًا منه تراه عين الإنسان. أقدّم لهم فكرة بسيطة عن الطبيعة المزدوجة للإشعاع، دون الدخول في مفاهيم وعلاقات تفوق مستواهم.

المناقشة:

- أناقش الطلبة في ما سبق من أنواع الموجات، وأبيِّن لهم أن الموجات التي تنقل الطاقة الميكانيكية تحتاج إلى وسط مادي للانتشار؛ لذلك فهي تسمى موجات ميكانيكية، في حين تنقل الموجات الكهرمغناطيسية الطاقتين الكهربائية والمغناطيسية خلال الأوساط المادية، وخلال الفراغ أيضًا.

استخدام الصور والأشكال:

- أقدِّم الشكل (10) للطلبة على أنه رسم ثلاثي الأبعاد، فعند رسم الشكل على اللوح، فإنه إذا كان المجال الكهربائي يهتز رأسيًّا وينطبق على محور (y)، والمجال المغناطيسي يهتز أفقيًّا، وينطبق على محور (x)؛ فإن اتجاه انتشار الموجة يكون إلى الأمام (داخلاً في اللوح)، أو إلى الخلف (خارجًا منه).

معلومة إضافية

مصادر بعض الموجات الكهرمغناطيسية.

أقدّم للطلبة فكرة عن مصادر بعض الموجات الكهرمغناطيسية؛ حيث تصدر موجات الراديو وموجات الميكرويف عن الحركة التذبذبية للشحنات في دارة كهربائية، ويصدر الضوء المرئي والأشعة تحت الحمراء والأشعة فوق البنفسجية، وغيرها من الموجات عن انتقال الإلكترون بين مدارات الذرة، وتنتج الأشعة السينية عن انتقال الإلكترون إلى المدارات القريبة من النواة في العناصر الثقيلة، وتصدر أشعة جاما من داخل نوى بعض العناصر المشعة.

الموجاتُ الميكانيكيةُ والموجاتُ الكهرمغناطيسيةُ

Mechanical Waves and Electromagnetic Waves

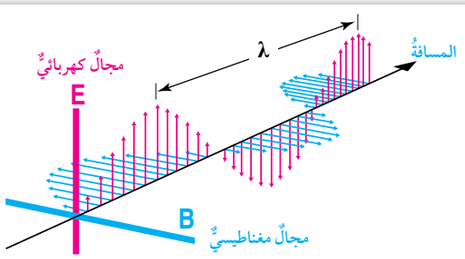
قُسِّمتِ الموجاتُ عندَ بدايةِ الدرسِ منْ حيثُ اتجاهُ الاهتزازِ الذي تُحدثهُ عندَ انتشارِها إلى نوعيْنِ: موجاتٍ مستعرضةٍ، وموجاتٍ طوليةٍ، إلا أنَّهُ يوجدُ تقسيمٌ آخرُ للموجاتِ منْ حيثُ طبيعةُ الأوساطِ التي تنتشرُ فيها، وتأثيرُها في هذهِ الأوساطِ؛ فهيَ تُقسَّمُ إلى نوعيْنِ:

الموجاتُ الميكانيكيةُ Mechanical Waves

تحتاجُ كلٌّ منْ موجاتِ الماءِ والصوتِ والنابضِ وبعضِ الموجاتِ الأخرى إلى وسطٍ تنتشرُ خلالَهُ؛ إذْ إنَّها تسببُ اهتزازًا ميكانيكيًّا في جزيئاتِ هذا الوسطِ، فهيَ تنقلُ الطاقةَ الميكانيكيةَ خلالَ الوسطِ. لذلكَ فهيَ تُسمّى موجاتٍ ميكانيكيةً. وألاحظُ أنَّ هذهِ الموجاتِ يمكنُ أنْ تكونَ مستعرضةً أوْ طوليةً.

الموجاتُ الكهرمغناطيسيةُ Electromagnetic Waves

للإشعاعِ الكهرمغناطيسيِّ طبيعتانِ: جسيميةٌ وموجيةٌ؛ فهوَ ينتقلُ على شكلِ موجاتٍ مستعرضةٍ تُسمّى موجاتٍ كهرمغناطيسيةً Electromagnetic waves، لا تحتاجُ وسطًا ماديًّا لتُحدثَ اهتزازًا في جزيئاتِهِ؛ لأنَّها تتكونُ، كما يبينُ الشكلُ (10) منْ مجاليْنِ متعامديْنِ: أحدُهُما كهربائيٌّ (**E**)، والآخرُ مغناطيسيٌّ (**B**)، يتذبذبُ كلٌّ منهُما بشكلٍ عموديٍّ على الآخرِ، وكلاهُما عموديٌّ على اتجاهِ انتشارِ الموجةِ الكهرمغناطيسيةِ. وبذلكَ فإنَّ الطاقةَ التي تنقلُها الموجاتُ الكهرمغناطيسيةُ طاقةٌ كهربائيةٌ وطاقةٌ مغناطيسيةٌ.

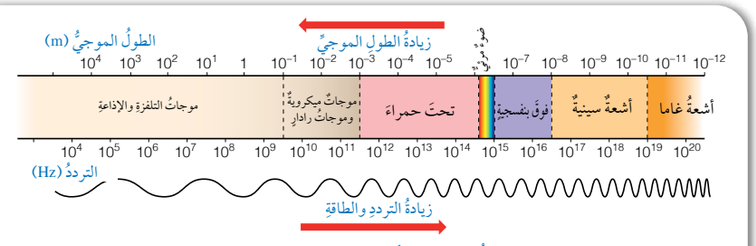


الشكلُ (10): موجةٌ كهرمغناطيسيةٌ.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

❋ **التفكير: إنتاج المعرفة.**

أخبر الطلبة أنّ إنتاج المعرفة مرحلة متقدمة من مراحل التفكير، وأنّه يساعدهم على استكمال البنية المعرفية لديهم؛ إذ سيكتسبون معرفة جديدة عند البحث في مصادر الموجات الكهرمغناطيسية المختلفة في أطوالها الموجية.



الشكلُ (11): مكوناتُ الطيفِ الكهرمغناطيسيِّ.

تحصلُ موجاتُ الإشعاعِ الكهرمغناطيسي على طاقتِها منْ مصدرِها الذي يتكونُ منْ جُسيماتٍ مشحونةٍ (مثلَ الإلكتروناتِ) تهتزُّ بترددٍ محددٍ (f) حولَ مركزِ اتزانِها، ويكونُ لكلِّ موجةٍ كهرمغناطيسيةٍ ترددٌ (f) مساوٍ لترددِ مصدرِها وطولٌ موجيٌّ (λ) خاصٌّ بها. تنتقلُ موجاتُ الإشعاعِ الكهرمغناطيسي جميعُها في الفراغِ بسرعةٍ ثابتةٍ، هيَ سرعةُ الضوءِ ($c = 299{,}792{,}458$ m/s)، وقيمتُها التقريبيةُ في الفراغِ هيَ (3×10^8 m/s). ولا تختلفُ كثيرًا سرعتُها في الهواءِ عنْها في الفراغِ، إلا أنَّ هذهِ السرعةَ تقلُّ كثيرًا عندَ انتقالِ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ المختلفةِ في الأوساطِ الماديةِ الأخرى مثلَ الزجاجِ أوِ الماءِ. ويرتبطُ الطولُ الموجيُّ للإشعاعِ الكهرمغناطيسيِّ معَ ترددِهِ وفقَ العلاقةِ السابقةِ، التي استُعملتْ في حالةِ الموجاتِ الميكانيكيةِ، معَ استبدالِ سرعةِ الضوءِ في الفراغِ (c) بسرعةِ الموجةِ (v)، بحيثُ تصبحُ العلاقةُ:

$$c = f\lambda$$

تشكِّلُ موجاتُ الإشعاعِ الكهرمغناطيسيِّ ما يُعرَفُ بالطيفِ الكهرمغناطيسيِّ، وهوَ مجالٌ واسعٌ منَ الأطوالِ الموجيةِ المختلفةِ لهذهِ الموجاتِ، التي تختلفُ في خصائصِها. ويبينُ الشكلُ (11) المكوناتِ الرئيسةَ للطيفِ الكهرمغناطيسيِّ.

ألاحظُ أنَّ مكوناتِ الطيفِ الكهرمغناطيسيِّ مرتبةٌ تصاعديًّا منَ اليمينِ إلى اليسارِ حسبَ أطوالِها الموجيَّةِ، وهيَ: موجاتُ أشعةِ غاما، موجاتُ الأشعةِ السينيةِ، موجاتُ الأشعةِ فوقَ البنفسجيةِ، موجاتُ الضوءِ المرئيِّ، موجاتُ الأشعةِ تحتَ الحمراءِ، الموجاتُ الميكرويةُ،

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: الشك المنهجي أو الهادف، وتفحّص المقترحات.**

أخبر الطلبة أنّ الشك المنهجي أو الهادف أحد المفاهيم العابرة التي تفيد الباحث في تمحيص المعلومة؛ لقبول الصحيح ورفض ما سوى ذلك، وأنّه يتعيّن عليهم تقديم المقترحات وتفحّصها للتوصّل إلى المعرفة الصحيحة. ويمكن تطبيق هذا المفهوم عند مناقشة خصائص مكونات الطيف الكهرمغناطيسي، والمقارنة بينها من حيث: طاقتها، وقدرتها على النفاذ من الأوساط المختلفة، وما يترتب على هذه الصفات من استخدامات وتطبيقات.

مثلاً: تستخدم الأشعة تحت الحمراء في الاستشعار الحراري.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجِّه الطلبة لقراءة الشكل (11)، موضحًا لهم تدريج الطول الموجي، واتجاه تزايده، وتدريج التردد والطاقة واتجاه تزايدهما.
- أكتب مكونات الطيف الكهرمغناطيسي على اللوح، وأناقش الطلبة في صفات كل منها واستخداماته.
- أبيّن للطلبة أن جميع هذه المكونات تنتقل في الفراغ بسرعة الضوء، وأن سرعتها تتغير؛ بتغير نوع الوسط وخصائصه.
- أقدّم للطلبة بعض الأمثلة الرقمية على مكونات الطيف الكهرمغناطيسي، تتضمن أطوالًا موجية وترددات مختلفة.
- أؤكد للطلبة عدم وجود حد فاصل بين كل من مكونات الطيف الكهرمغناطيسي، فقد تجد موجات فوق بنفسجية مرتفعة الطاقة تتساوى في أطوالها الموجية مع موجات الأشعة السنسة منخفضة الطاقة.

معلومة إضافية

موجات مكونات الطيف الكهرمغناطيسي.

أقدّم للطلبة فكرة عن موجات مكونات الطيف الكهرمغناطيسي: بأنها ليست محددة الطول الموجي، فالأشعة تحت الحمراء مثلًا تحتوي مجالًا واسعًا من الترددات أو الأطوال الموجية، تبدأ من الطول الموجي (1×10^{-6} m)، وتنتهي بالطول الموجي (1×10^{-3} m)، وكذلك باقي مكونات الطيف. وتبعًا لاختلاف التردد؛ فإن طاقة كل موجة تختلف عن غيرها.

✓ **أتحقَّق:**

الموجات (تحت الحمراء، الرادار، فوق البنفسجية، جميعها من مكونات الطيف الكهرمغناطيسي، لكنها تختلف عن بعضها في التردد والطول الموجي، والطاقة التي تحملها). أكبرها طاقة: فوق البنفسجية، أكبرها تردد: فوق البنفسجية أيضًا، أكبرها طولًا موجيًّا: الرادار. حيث تزداد الطاقة التي تملكها الموجة بزيادة ترددها، أو بنقصان طولها الموجي.

◄ **بناء المفهوم:**

الضوء المرئي.

- أوضّح للطلبة المقصود بالضوء المرئي، وأهمية هذا الجزء من الطيف الكهرمغناطيسي بالنسبة إلى الحياة على كوكب الأرض.

◄ **المناقشة:**

- أناقش الطلبة في خبراتهم في طيف الضوء المرئي، واسألهم عن الألوان السبعة فيه. ثم أبيِّن لهم أن عدد الألوان في الطيف المرئي كبير جدًّا، إذ إن اللون الواحد يتدرج ضمن مجال واسع من الألوان المتقاربة، فمثلاً يتدرج اللون الأصفر من البرتقالي إلى الأخضر، وكذلك جميع ألوان الطيف؛ لذلك يطلق عليه الطيف المتصل. ثم أطرح عليهم السؤال الآتي:

– ما أهمية الضوء بالنسبة إلى الحيوانات والنباتات؟

يمكن للحيوانات الرؤية بفضل الضوء، ويمكن للنباتات صنع غذائها عن طريق التركيب الضوئي.

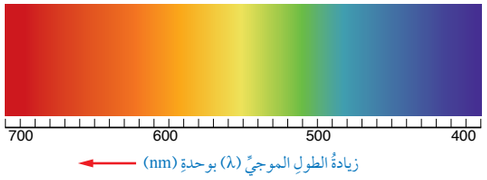
مثال إضافي

أسأل الطلبة عن ثلاثة أطوال موجية (بوحدة nm) مختلفة خاصة باللون الأحمر، وأخرى خاصة باللون الأزرق.

الحل:

الأحمر: 660, 670, 680, 690, 700

الأزرق: 400, 410, 420, 430, 440



الشكلُ (12): الأطوالُ الموجيةُ المختلفةُ لمركباتِ الضوءِ المرئيِّ.

ثمَّ أكبرُها طولًا موجيًّا موجاتُ التلفزةِ والموجاتُ الإذاعيةُ، وهيَ في الوقتِ نفسهِ مرتبةٌ منَ اليسارِ إلى اليمينِ تصاعديًّا حسبَ ترددِها وطاقتِها، حيث تُعدُّ أشعةُ غاما أعلاها طاقةً وترددًا.

✓ **أتحقَّقُ:** أيُّ الموجاتِ الآتيةِ تحملُ طاقةً أكبرَ منْ غيرِها؟ أيُّها أكبرُها ترددًا؟ أيُّها أكبرُها طولًا موجيًّا؟

(موجاتُ الأشعةِ تحتَ الحمراءِ، موجاتُ الرادارِ، موجاتُ الأشعةِ فوقَ البنفسجيةِ).

يشكلُ الضوءُ المرئيُّ جزءًا صغيرًا منَ الطيفِ الكهرمغناطيسيِّ، وهذا الجزءُ هوَ ما تراهُ عينُ الإنسانِ، وتنحصرُ الأطوالُ الموجيةُ للضوءِ المرئيِّ بينَ (400 nm - 700 nm)، ويمكنُ تمييزُ سبعةِ ألوانٍ منْها، ويبينُ الشكلُ (12) الأطوالَ الموجيةَ لهذهِ الألوانِ، إذ يُعدُّ الضوءُ البنفسجيُّ أكبرَها ترددًا وطاقةً وأصغرَها طولًا موجيًّا، في حينِ أنَّ الضوءَ الأحمرَ أكبرُها طولًا موجيًّا وأصغرُها ترددًا وطاقةً.

ألاحظُ منَ الشكلِ أنَّ أصغرَ طولٍ موجيٍّ تراهُ عينُ الإنسانِ: حواليْ (400 nm) للضوءِ البنفسجيِّ، وأكبرُ طولٍ موجيٍّ تراهُ: حواليْ (700 nm) للضوءِ الأحمرِ. وباستخدامِ البادئاتِ الملحقةِ في وحداتِ النظامِ الدوليِّ، فإنَّ: $(700\ nm = 700 \times 10^{-9}\ m = 7 \times 10^{-7}\ m)$.

✓ **أتحقَّقُ:** أستخرجُ منَ الشكليْنِ السابقيْنِ:

- اسمَ الموجاتِ التي لَها ترددٌ مقدارهُ $(1 \times 10^{13}\ Hz)$.
- اسمَ الموجاتِ التي لَها طولٌ موجيٌّ مقدارهُ $(1 \times 10^{-9}\ m)$.
- لونَ الضوءِ المرئيِّ الذي لهُ طولٌ موجيٌّ مقدارهُ (560 nm).

إضاءة للمعلم/للمعلمة

يُسمى طيف الضوء المرئي المبين بالشكل (12) في كتاب الطالب طيفًا متصلًا؛ لأنه لا يتخلله أي خط معتم، ونحصل عليه من تحليل ضوء الشمس، أو أضواء المصباح الكهربائي المتوهج الذي يعمل على فتيل مصنوع من فلز التنغستن. وتوجد أطياف أخرى تعرف بالطيف الخطي؛ لأنها تتخللها بعض الخطوط المعتمة.

✓ **أتحقَّق:**

بعض موجات الأشعة تحت الحمراء ترددها يساوي: $1 \times 10^{13}\ Hz$

بعض موجات الأشعة السينية لها طول موجي يساوي: $1 \times 10^{-9}\ m$

موجات الضوء المرئي ذات اللون الأصفر لها طول موجي يساوي: 560 nm

المثال 6

يتكوَّنُ الضوءُ المرئيُّ منْ عدَّةِ ألوانٍ، تنتقلُ جميعُها في الفراغِ بسرعةِ 3×10^8 m/s معَ أنَّ لكلِّ لونٍ منْ ألوانِ الضوءِ ترددًا مختلفًا، إذا علمتُ أنَّ ترددَ الضوءِ الأصفرِ 530×10^{12} Hz فأحسبُ طولَ موجةِ الضوءِ الأصفرِ في الهواءِ.

المعطياتُ: $(c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$، $(f = 5.3 \times 10^{14} \text{ Hz})$

المطلوبُ: $\lambda = ?$

الحلُّ:

$$c = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{5.3 \times 10^{14}} = 5.7 \times 10^{-7} \text{ m}$$

تطبيقاتُ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ

Applications of Electromagnetic Waves

تختلفُ استخداماتُ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ في التطبيقاتِ التكنولوجيةِ والحياتيةِ باختلافِ خصائصِ كلٍّ منْها، منْ مثلِ: الترددِ والطولِ الموجيِّ والطاقةِ التي تحملُها كلُّ موجةٍ، وقدرتِها على الاختراقِ، وخصائصِ الوسطِ الذي تسيرُ فيهِ، ومنْ بينِ هذهِ الاستخداماتِ استخدامُ الأشعةِ السينيةِ في مجالاتٍ مختلفةٍ، منْ مثلِ: الطبِّ والصناعةِ والمجالاتِ العسكريةِ والأمنيةِ.

تُستخدَمُ الأشعةُ السينيةُ في تصويرِ العظامِ والأعضاءِ الداخليةِ للجسمِ؛ فهيَ تحملُ طاقةً كبيرةً تساعدُها على اختراقِ طبقاتِ الجسمِ. أُلاحظُ الشكلَ (13).

تُستخدمُ الأشعةُ السينيةُ أيضًا في مجالاتٍ صناعيةٍ للكشفِ عنْ عيوبِ الصناعاتِ ونقاطِ الضعفِ في الهياكلِ الفلزيةِ.

وفي المجالاتِ الأمنيةِ، مثلَ فحصِ حقائبِ المسافرينَ في المطاراتِ، أوْ على شكلِ بواباتٍ يدخلُ خلالَها المسافرونَ للكشفِ عنِ الأجسامِ والموادِّ التي قدْ يُخفيها بعضُهم. أُلاحظُ الشكلَ (14).

الشكلُ (13): تصويرُ الأسنانِ باستخدامِ الأشعةِ السينيةِ.

الشكلُ (14): فحصُ الحقائبِ في المطاراتِ.

أبحثُ: مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمتاحةِ ومنها شبكةُ الإنترنتِ أبحثُ عنِ استخدامِ الموجاتِ الأخرى منْ موجاتِ الطيفِ الكهرمغناطيسيِّ، ثمَّ تتبادلُ مجموعاتُ الطلبةِ ما توصلتْ إليهِ منَ استخداماتٍ في ما بينَها.

مثال إضافي

سرعة الضوء في الفراغ 3×10^8 m/s، إذا كان الطول الموجي للضوء الأحمر 650 nm فما تردده؟

المعطيات: $(c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$، $(\lambda = 650 \text{ nm} = 6.5 \times 10^{-7} \text{m})$

المطلوب: $f = ?$

الحل:

$$c = f\lambda$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{6.5 \times 10^{-7}} = 4.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

المناقشة:

- أناقش الطلبة في الاختلاف في التردد والطول الموجي لجميع مكونات الطيف الكهرمغناطيسي، وكذلك الاختلاف في مقدار الطاقة التي تنقلها هذه الموجات، وأبيّن لهم أنّه نتيجة لذلك؛ ستختلف قدرتها على الاختراق والنفاذ خلال الأوساط المختلفة.
- بعد تقديم التطبيقات الواردة في كتاب الطالب، وهي جميعها متعلقة بالأشعة السينية، من الممكن تقديم تطبيقات أخرى خاصة بالأشعة الميكروية، وهي استخدامها في الرادار؛ لتتبع حركة الطائرات في الجو أو مراقبة سرعة السيارات على الطرق، وكذلك استخدامها في أفران الميكرويف.
- بعد توضيح اختلاف مكونات الطيف الكهرمغناطيسي في قدرتها على الاختراق، نتيجة اختلاف طاقاتها، أسأل طلبتي:

– لماذا لا تصلح الأشعة فوق البنفسجية وأشعة غاما لتصوير عظام الإنسان.

الأشعة فوق البنفسجية لا تصل إلى العظام لأنها لا تخترق أنسجة الجسم. وأشعة غاما تخترق أنسجة الجسم والعظام معًا؛ فكلاهما لا تصلح لتصوير العظام.

أبحثُ:

أطلب إلى الطلبة البحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن استخدامات الطيف الكهرمغناطيسي، وإعداد عروض تقديمية تتعلّق بموضوع الدرس.

أكلف الطلبة بعرض ما توصلوا إليه أمام الزملاء/ الزميلات في الصف، ثم أدير نقاشًا بينهم يهدف إلى وصول المعرفة إليهم جميعًا.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

* **التفكير: الأدلة والبراهين.**

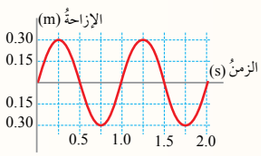
أخبر الطلبة أنّ استعمال الأدلة والبراهين من أشكال التفكير؛ فإقامة الدليل لها أهمية في تأكيد المعرفة، ويمكن تطبيق هذه المفاهيم في الحكم على الاستخدام الصحيح للموجات الكهرمغناطيسية؛ بناءً على خصائصها.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أصفُ كلًّا منْ نوعَيْ الموجاتِ: المستعرضةِ والطوليةِ، وأذكرُ مثالًا على كلِّ نوعٍ.
2. أوضحُ المقصودَ بكلٍّ منَ:
الطولِ الموجيِّ، السعةِ، التردّدِ، الزمنِ الدوريِّ.
3. **أقارنُ** بينَ الموجاتِ: الميكانيكيةِ والكهرمغناطيسيةِ منْ حيثُ: طبيعةُ الوسطِ الناقلِ، ونوعُ الطاقةِ المنقولةِ، وطريقةُ الاهتزازِ.
4. تتابعُ سارةُ برنامجًا تلفزيونيًّا للهواةِ على قناةٍ فضائيةٍ، وتستمعُ إلى صديقتِها سالي وهيَ تعزفُ قيثارتَها في بثٍّ مباشرٍ. أحددُ نوعَ الموجاتِ إنْ كانتْ مستعرضةً أوْ طوليةً في الفقراتِ الآتيةِ:
أ . اهتزازُ أوتارِ قيثارةِ سالي.
ب. موجاتُ الصوتِ المنبعثةُ منَ القيثارةِ إلى جهازِ الميكرفونِ.
جـ. موجاتُ الراديو للقناةِ التلفزيونيةِ المنبعثةِ منَ القمرِ الصناعيِّ.
د. موجاتُ الصوتِ المنبعثةُ خلالَ الهواءِ منْ سماعةِ التلفازِ إلى أذنَيْ سارةَ.
هـ. موجاتُ الصوتِ التي تنتقلُ خلالَ جدارِ غرفةِ سارةَ إلى الغرفةِ المجاورةِ.
5. **أقارنُ:** بينَ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ المبينةِ في الجدولِ الآتي:

الموجاتُ	الطولُ الموجيُّ	التردّدُ	السرعةُ في الفراغِ	مرئيةٌ/ غيرُ مرئيةٍ
الميكرويةُ				
الضوءُ الأزرقُ				
فوقَ البنفسجيةِ				

6. **أحسبُ:** موجتانِ كهرمغناطيسيتانِ؛ الطولُ الموجيُّ للأولى ($\lambda_1 = 3.0 \times 10^{-5}$ m)، والطولُ الموجيُّ للثانيةِ ($\lambda_2 = 1.5 \times 10^{-9}$ m)، تنتقلانِ معًا في الهواءِ. أجدُ ما يأتي:
أ . سرعةَ انتقالِ كلِّ موجةٍ في الهواءِ.
ب. ترددَ كلِّ موجةٍ.
جـ. أحددُ موقعَ كلٍّ منهُما في الطيفِ الكهرمغناطيسيِّ.
7. **أحللُ:** الشكلُ التالي يمثلُ إزاحةَ جزيئاتِ الوسطِ بالنسبةِ إلى الزمنِ عندَ انتقالِ موجةٍ طوليةٍ فيهِ. أستخرجُ منَ الشكلِ كلًّا منَ: الزمنِ الدوريِّ، والسعةِ، ثمَّ أحسبُ التردّدَ.



3 التقويم

مراجعة الدرس

1 الموجات المستعرضة يكون فيها اهتزاز دقائق الوسط عموديًّا على اتجاه انتشارها، مثال: موجات الحبل. والموجات الطولية يكون فيها اهتزاز دقائق الوسط موازيًا لاتجاه انتشارها، مثال: موجات الصوت.

2 **الطول الموجي:** المسافة بين قمتين متتاليتين، أو بين قاعين متتاليين.
السعة: تُعرَّف بأقصى إزاحة تحدثها الموجة لدقائق الوسط الناقل بالنسبة إلى موقع اتزانها.
التردد: عدد الموجات الكاملة (n) التي تعبر نقطة ثابتة في الوسط خلال ثانية واحدة.
الزمن الدوري: المدة الزمنية اللازمة لعبور موجة كاملة واحدة نقطة ثابتة في الوسط.

3 مقارنة:

	موجات ميكانيكية	موجات كهرمغناطيسية
طبيعة الوسط	الأوساط المادية	الأوساط المادية والفراغ
نوع الطاقة	ميكانيكية	كهربائية ومغناطيسية
طبيعة الاهتزاز	مستعرضة وطولية	مستعرضة فقط

4 أ. مستعرضة. ب. طولية. جـ. مستعرضة.
د. طولية. هـ. طولية.

5

الموجات	الطول الموجي	التردد	السرعة في الفراغ	مرئية/ غير مرئية
الميكروية	1×10^{-3} *to* 1×10^{-1} m	3×10^{11} *to* 3×10^{9} Hz	3×10^{8} m/s	غير مرئية
الضوء الأزرق	4×10^{-7} *to* 5×10^{-7} m	7.5×10^{14} *to* 6×10^{14} Hz	3×10^{8} m/s	مرئية
فوق بنفسجية	1×10^{-8} to 3×10^{-7} m	3×10^{16} *to* 1×10^{15} Hz	3×10^{8} m/s	غير مرئية

6 أ . سرعة كلتا الموجتين في الفراغ تساوي (تقريبًا) 3×10^{8} m/s

ب . تردد الأولى: $f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3\times10^{8}}{3 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^{13}$ Hz

تردد الثانية: $f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3\times10^{8}}{1.5 \times 10^{-9}} = 2 \times 10^{17}$ Hz

جـ. الموجة الأولى تقع ضمن موجات الأشعة تحت الحمراء، والموجة الثانية تقع ضمن موجات الأشعة السينية.

7 الزمن الدوري يساوي ثانية واحدة (1 s)، والسعة تساوي (0.3 m)، والتردد (f):

$$f = \frac{1}{T} = 1 \text{ Hz}$$

الدرس 2

خصائصُ الحركةِ الموجيةِ
Properties of Wave Motion

الفكرةُ الرئيسةُ:

للموجاتِ المختلفةِ سلوكٌ محددٌ يظهرُ في تطبيقاتٍ حياتيةٍ كثيرةٍ عندَ انتقالِها خلالَ الوسطِ الواحدِ، أوْ بينَ وسطيْنِ مختلفيْنِ، مثلَ: الانعكاسِ والانكسارِ والتداخلِ والحيودِ والاستقطابِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أصممُ تجربةً عمليةً لأصفَ عددًا منَ الظواهرِ الموجيةِ مثلَ: تراكبِ موجتيْنِ باتجاهيْنِ متعاكسيْنِ، وانعكاسِ موجاتِ سطحِ الماءِ عنْ حاجزٍ.
- أستقصي عمليًّا شروطَ حدوثِ حيودِ موجاتِ الماءِ.
- أطورُ نموذجًا ليحددَ خصائصَ الموجاتِ: التداخلَ، الحيودَ، الانكسارَ، الاستقطابَ.
- أنفذُ تجاربَ عمليةً لتوضيحِ ظاهرةِ تأثيرِ دوبلر.
- أوظفُ تجاربَ عمليةً في معرفةِ خصائصِ الموجاتِ: الانعكاسِ، الانكسارِ، الحيودِ، التداخلِ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

انعكاسُ الموجةِ	Wave Reflection
انكسارُ الموجةِ	Wave Refraction
حوضُ موجاتٍ	Ripple Tank
تراكبُ الموجاتِ	Superposition of Waves
تداخلٌ	Interference
حيودٌ	Diffraction
استقطابٌ	Polarization
تأثيرُ دوبلر	Doppler Effect

انعكاسُ الموجاتِ وانكسارُها
Reflection and Refraction of Waves

تظهرُ خاصيتا انعكاسِ الموجاتِ وانكسارِها بوضوحٍ في كثيرٍ منَ الظواهرِ الصوتيةِ والضوئيةِ. إنَّ صدى الصوتِ الذي نسمعهُ بفارقٍ زمنيٍّ عنِ الصوتِ الأصليِّ ناتجٌ عنْ ظاهرةِ انعكاسِ موجاتِ الصوتِ عنْ جدارٍ أوْ جبلٍ أوْ أيِّ حاجزٍ آخرَ. وصُورُنا التي نراها في المرآةِ وزجاجِ النافذةِ والمسطحاتِ المائيةِ ناتجةٌ عنْ ظاهرةِ انعكاسِ موجاتِ الضوءِ عنِ السطوحِ الملساءِ العاكسةِ. كما أنَّ الموجاتِ التلفزيونيةَ التي ترسلُها الأقمارُ الصناعيةُ تنعكسُ عنْ أطباقٍ مقعرةٍ وتتجمعُ في جهازٍ صغيرٍ يلتقطُ تلكَ الموجاتِ، التي تحولُ في النهايةِ إلى صورٍ نشاهدُها على شاشةِ التلفازِ. كيفَ تَحدثُ كلٌّ منْ ظاهرتيْ انعكاسِ الموجاتِ وانكسارِها؟

سوفَ أتوصلُ باستخدامِ حوضِ الموجاتِ في التجربةِ الآتيةِ إلى خاصيتَيِ انعكاسِ موجاتِ الماءِ وانكسارِها، وإلى شروطِ حدوثِ كلٍّ منهُما. وحوضُ الموجاتِ جهازٌ يتكونُ في أبسطِ أشكالِهِ منْ حوضٍ زجاجيٍّ أوْ بلاستيكيٍّ شفافٍ، توضعُ فيهِ كميةٌ منَ الماءِ بارتفاعٍ مناسبٍ، ويُثبَّتُ مصدرٌ ضوئيٌّ تحتَ الحوضِ، فيظهرُ خيالٌ مكبرٌ للحركةِ الموجيةِ المتكونةِ في الحوضِ على السقفِ، ويمكنُ استخدامُ مرآةٍ تساعدُ في تكوينِ الخيالِ على شاشةٍ مثبتةٍ بشكلٍ رأسيٍّ. ويُزوَّدُ الحوضُ بملحقاتٍ متعددةٍ لتوليدِ أشكالٍ مختلفةٍ منَ الموجاتِ؛ بهدفِ دراسةِ خصائصِ موجاتِ سطحِ الماءِ.

✓ **أتحقَّقُ:** أوضِّحُ عمليةَ انعكاسِ موجاتِ الصوتِ وموجاتِ الضوءِ بذكرِ مثالٍ على كلِّ حالةٍ.

طريقة أُخرى للتدريس | قياس زاويتي السقوط والانعكاس.

- أطبِّق **استراتيجية التعلم التعاوني** وأسلوب أكواب إشارة المرور في تنفيذ نشاط عملي.
- أوزّع الطلبة إلى مجموعات ثم أوزّع على كل مجموعة ثلاثة أكواب: أحمر، وأخضر، وأصفر.
- أوزّع على المجموعات مرآة مستوية، ومصباحًا صغيرًا، وورقة عمل تتضمّن خطوات قياس زاويتي السقوط والانعكاس.
- أطلب إلى أفراد المجموعات تنفيذ التجربة وتكوين انعكاس لضوء المصباح؛ بحيث تظهر بقعة الضوء على ورقة بيضاء مجاورة للمصباح.
- أوضّح لأفراد المجموعات أنّ الأكواب تستعمل لإعطاء إشارة للمعلّم على النحو الآتي: اللون الأحمر يشير إلى حاجة الطلبة العاجلة إلى المساعدة، واللون الأصفر يشير إلى حاجتهم البسيطة إلى المساعدة، أمّا الأخضر فيشير إلى عدم حاجتهم إلى المساعدة.
- أطلب إلى أفراد كل مجموعة مقارنة نتائج مجموعتهم بنتائج المجموعات الأخرى.

الدرس 2

خصائصُ الحركةِ الموجيةِ
Properties of Wave Motion

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:

- أسأل الطلبة عن بعض مشاهداتهم اليومية المتعلقة بالموجات؛ لافتًا انتباههم إلى انعكاس الضوء عن زجاج النافذة، وسماع صدى الصوت.
- أعلق على إجاباتهم؛ مستعرضًا معهم بعض خصائص الموجات؛ كالانعكاس والانكسار.
- أبيّن لهم وجود خصائص أخرى للموجات؛ سيتعلمونها في هذا الدرس، هي: التداخل والحيود والاستقطاب.

الربط بالمعرفة السابقة:

- أجري أمام الطلبة النشاط البسيط الآتي: أملأ كأسًا بالماء إلى النصف، ثم أضع فيها قلمًا، وأناقش الطلبة في خبراتهم حول هذه المشاهدة؛ بطرح الأسئلة الآتية:

– ما سبب رؤية القلم مكسورًا؟ انكسار موجات الضوء وهي خارجة من الماء إلى الهواء عبر جدار الكأس.

– مَن العالم العربي المسلم الذي ناقش هذه الظاهرة؟ الحسن بن الهيثم.

– اذكر بعض الظواهر المتعلقة بانعكاس الموجات. رؤية الخيال في المرآة، صدى الصوت في الغرفة المفرغة من الأثاث، رؤية ضوء القمر في الليل، ...

2 التدريس

بناء المفهوم:

الانعكاس، الانكسار.

- أوضّح للطلبة المقصود بكل من: الانعكاس والانكسار، وأطبّق التعريف على موجات مختلفة، كأن تكون مستعرضة أو طولية، ثم أبيّن لهم أهمية ذلك في حياتنا.

✓ **أتحقَّق:**

تنعكس موجات الصوت (وهي ميكانيكية) عن السطوح الصلبة، وتحافظ على صفاتها بعد الانعكاس، ومثال ذلك حدوث ظاهرة الصدى. تنعكس موجات الضوء (وهي كهرمغناطيسية) عن السطوح الملساء المصقولة كالمرايا انعكاسًا منتظمًا، وتحافظ على صفاتها بعد الانعكاس.

التجربة 1

استقصاء خاصيتي انعكاس الموجات وانكسارها

الهدف: تكوين موجات دائرية ومستقيمة؛ لاستقصاء خاصيتي الانعكاس والانكسار في الحركة الموجية.

زمن النشاط: 35 دقيقة.

إرشادات السلامة:

- أحذّر الطلبة من خطر سقوط الأجسام والأدوات المختلفة على أقدامهم، ووصول الماء على الوصلات الكهربائية.
- أخبر الطلبة أنّ الالتزام بإرشادات السلامة يحفظ لهم حياتهم، ويحافظ على سلامة الأدوات، ونظافة المكان والبيئة.

المهارات العلمية:

الملاحظة، الاستنتاج، التفسير، البحث في مصادر الخطأ.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوضّح للطلبة أهمية ضبط الحوض بوضع أفقي صحيح؛ حتى يكون ارتفاع الماء متساويًا في الحوض كله.
- أوضّح للطلبة أهمية تحديد كمية الماء في الحوض؛ حتى يكون ارتفاع الماء مناسبًا لانتشار الموجات.
- أبيّن للطلبة أهمية وضع المصباح في موقع مناسب؛ لكي يظهر خيال واضح على السقف أو الشاشة.

النتائج المتوقعة:

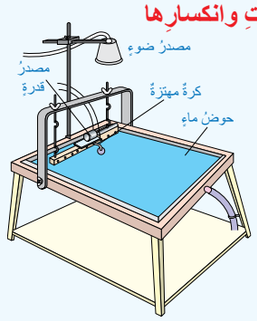
قد يلاحظ بعض الطلبة النتائج وفق ما هو متوقع، وقد لا يحدث ذلك بالنسبة إلى بعض المجموعات؛ بسبب أخطاء قد تنتج عن: ميل الحوض عن الأفق، أو زيادة سرعة المحرك الذي يولد الاهتزاز أو نقصها ، أو عدم ضبط المسطرة بحيث تنغمس جزئيًّا في الماء.

التحليل والاستنتاج:

1. تتولد الموجات الدائرية من اهتزاز مصدر نقطي، وتنتشر على شكل دوائر متحدة في المركز، وتتولد الموجات المستقيمة من اهتزاز قطعة مستقيمة مثل المسطرة وتنتشر على شكل خطوط متوازية.
2. عند مواجهة الموجات المستقيمة للحاجز الرأسي انعكست عنه محققة قانون الانعكاس (زاوية السقوط = زاوية الانعكاس).
3. عند وضع لوح زجاجي جوانبه موازية لجوانب الحوض ومرور الموجات المستقيمة فوقه، فإن طولها الموجي يقل لكنها لا تغير اتجاهها. وعند مرور الموجات فوق لوح الزجاج وهو في وضع غير مواز؛ فإن طولها الموجي يقل وتنحرف عن اتجاهها السابق. تسمى هذه الظاهرة انكسار الموجات.
4. الاستنتاج: يتغير الاتجاه عند الانعكاس والانكسار، ويتغير الطول الموجي والسرعة عند الانكسار.
5. التفسير: عند عبور موجات سطح الماء منطقة ضحلة، فإنها تنتقل بين وسطين مختلفين بالخصائص، فيحدث لها انكسار، ويتغير طولها الموجي فتتغير سرعتها لأن: السرعة = التردد × الطول الموجي.

التجربةُ 1

استقصاءُ خاصيتَي انعكاسِ الموجاتِ وانكسارِها



الموادُّ والأدواتُ: حوضُ الموجاتِ وملحقاتُه، شاشةُ عرضٍ، مصدرُ ضوءٍ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ وصولِ الماءِ إلى مصدرِ الكهرباءِ.

خطواتُ العملِ: بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أنفذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. أركبُ حوضَ الموجاتِ بوضعٍ أفقيٍّ، وأثبّتُ مصدرَ الإضاءةِ في مكانِهِ الصحيحِ للحصولِ على خيالٍ واضحٍ على السقفِ، بمساعدةِ معلمي/ معلمتي وأعضاءِ مجموعتي.
2. أضعُ كميةَ ماءٍ في الحوضِ حتى ارتفاعٍ مناسبٍ لا يقلُّ عنْ (3 cm) تقريبًا.
3. **أجربُ:** أركّبُ المحركَ الكهربائيَّ المولِّدَ للاهتزازاتِ، وأُشغِّلُهُ بحيثُ يُصدرُ موجاتٍ دائريةً، وأراقبُ أنا وأفرادُ مجموعتي انتشارَها في الحوضِ. ثمَّ أكررُ الخطوةَ لتوليدِ موجاتٍ مستقيمةٍ. وأدوِّنُ الملاحظاتِ في الجدولِ.
4. أثبّتُ حاجزًا رأسيًّا في منتصفِ الحوضِ بشكلٍ قطريٍّ، ثمَّ أشغلُ مولدَ الموجاتِ المستقيمةِ، وأراقبُ انعكاسَ الموجاتِ عنِ الحاجزِ. وأدوِّنُ الملاحظاتِ في الجدولِ.
5. **أجربُ:** أزيلُ الحاجزَ وأضعُ في منتصفِ الحوضِ لوحًا زجاجيًّا شفافًا لا يزيدُ سمكهُ على (2 cm) بحيثُ يبقى مغمورًا بالماءِ بشكلٍ كليٍّ، وحافتهُ موازيةٌ لحافةِ الحوضِ، وأراقبُ ما يحدثُ للموجاتِ المستقيمةِ، وأدونُ الملاحظاتِ.
6. أكررُ الخطوةَ (5)، لكنْ بعدَ تدويرِ اللوحِ الزجاجيِّ؛ بحيثُ تصبحُ حافتهُ غيرَ موازيةٍ لحافةِ الحوضِ. وأدونُ الملاحظاتِ.
7. أرسمُ الأنماطَ التي حصلتُ عليْها في الخطواتِ السابقةِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أصفُ** نمطَ كلٍّ منَ: الموجاتِ الدائريةِ والموجاتِ المستقيمةِ ، وأصفُ انتشارَها.
2. **أصفُ** ما حدثَ للموجاتِ المستقيمةِ عندَ مواجهتِها للحاجزِ الرأسيِّ. ماذا تُسمّى هذهِ الظاهرةُ؟
3. **أصفُ** ما حدثَ للموجاتِ المستقيمةِ عندَ مرورِها فوقَ اللوحِ الزجاجيِّ في الحالتيْنِ (الخطوةَ 5 والخطوةَ 6). ماذا تُسمّى هذهِ الظاهرةُ؟
4. **أستنتجُ:** ما الذي تغيرَ منْ صفاتِ الموجةِ (الطولُ الموجيُّ، أمِ التردُّدُ، أمِ السرعةُ، أمِ الاتجاهُ) في الحالاتِ السابقةِ؟
5. **أفسرُ** سببَ تغيرِ سرعةِ الموجاتِ على سطحِ الماءِ عندَ عبورِها منطقةً ضحلةً.

استراتيجية التقويم: الملاحظة. **أداة التقويم:** قائمة الرصد.

الرقم	معيار الأداء	نعم	لا
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ خطوات التجربة.		
2	قراءة تعليمات التجربة قراءة دقيقة، والتعاون مع الزملاء على تنفيذ الخطوات.		
3	تجهيز حوض الموجات بوضع أفقي صحيح.		
4	ضبط سرعة المحرك الكهربائي الصغير؛ للحصول على نمط موجات ثابت.		
5	استخدام الأدوات الملحقة بالحوض والمناسبة؛ لاستقصاء خاصية الانعكاس.		
6	استخدام الأدوات الملحقة بالحوض والمناسبة؛ لاستقصاء خاصية الانكسار.		
7	رصد الملاحظات حول خطوات التجربة بصورة منظمة.		
8	التعاون مع أفراد المجموعة وتنظيم العمل.		
9	التوصل إلى نتائج صحيحة، والبحث عن مصادر الخطأ إن وجد.		

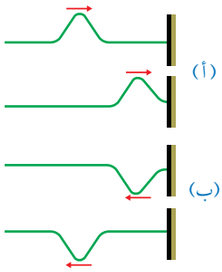
انعكاسُ الموجاتِ Reflection of Waves

ظاهرةُ انعكاسِ موجاتِ الماءِ على سطحِ بركةٍ منَ الظواهرِ الموجيَّةِ المألوفةِ في حياتِنا، وكذلكَ انعكاسُ موجاتِ الصوتِ والضوءِ. وقدْ لاحظتُ عندَ تنفيذِ النشاطِ السابقِ أنَّ الموجاتِ المنتشرةَ على سطحِ الماءِ تغيرَ اتجاهُها عندَ مواجهتِها حاجزًا في طريقِ انتشارِها، ولقدْ لاحظتُ أيضًا أنَّ الموجةَ المنعكسةَ حافظتْ على صفاتِها، عندَما لمْ تتغيرْ خصائصُ الوسطِ الذي تنتقلُ خلالَهُ. وكما هيَ الموجاتُ في الماءِ، فإنَّ أنواعَ الموجاتِ الأخرى مثلَ: موجاتِ النابضِ والحبلِ أوِ الموجاتِ الصوتيةِ، أوِ الضوئيةِ جميعِها تنعكسُ بطريقةٍ مشابهةٍ. **وانعكاسُ الموجةِ Wave Reflection** هوَ عمليةُ سقوطِ الموجةِ على جسمٍ أوْ حاجزٍ ثمَّ ارتدادِها عنهُ باتجاهٍ مختلفٍ.

عندَ إرسالِ نبضةٍ موجيةٍ واحدةٍ خلالَ حبلٍ بعدَ تثبيتِ طرفِهِ الثاني في الجدارِ أوْ في مقبضِ البابِ، وإحداثِ اهتزازةٍ واحدةٍ في طرفِهِ الحرِّ، فإنّني ألاحظُ أنَّ هذهِ النبضةَ ترتدُّ عنِ الجدارِ وتنتقلُ باتجاهٍ معاكسٍ منَ الجدارِ إلى الطرفِ الحرِّ للحبلِ، كما يبينُ الشكلُ (15).

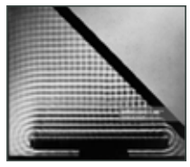
تنتقلُ النبضةُ باتجاهِ اليمينِ كما في المرحلةِ (أ)، وعندَ اقترابِها منْ نقطةِ التثبيتِ على الجدارِ، فإنَّ الحبلَ يؤثرُ في الجدارِ بقوةٍ نحوَ الأعلى، وحسبَ القانونِ الثالثِ في الحركةِ لنيوتن، فإنَّ الجدارَ يؤثرُ في الحبلِ بقوةِ ردِّ فعلٍ نحوَ الأسفلِ، ويُحدِثُ فيهِ نبضةً جديدةً مقلوبةً تنتقلُ عائدةً (راجعةً) نحوَ اليسارِ، كما في المرحلةِ (ب)؛ أيْ أنَّها تنعكسُ.

تنعكسُ موجاتُ سطحِ الماءِ الدائريةُ عنِ الحاجزِ على شكلِ أقواسٍ دائريةٍ يقعُ مركزُها الوهميُّ خلفَ الحاجزِ، كما يبينُ الشكلُ (16/ أ)، بينَما يبينُ الشكلُ (16/ ب) انعكاسَ موجاتٍ مستقيمةٍ، كالتي شاهدتُها في التجربةِ السابقةِ.



الشكلُ (15): انعكاسُ النبضةِ في حبلٍ.

(أ)


(ب)

الشكلُ (16): انعكاسُ موجاتِ سطحِ الماءِ الدائريةِ والمستقيمةِ.

إضاءة للمعلم/المعلمة

في حال كان طرف الحبل المثبت بالجدار حر الحركة للأعلى والأسفل، كأن يكون مثبتًا بحلقة فلزية يمر خلالها قضيب فلزي مثبت بشكل رأسي؛ سوف ترتد النبضة في الحبل دون أن تنقلب للأسفل.

نشاط سريع

- يمكن تجريب الشكل (15) في غرفة الصف؛ وذلك بربط حبل مناسب في مقبض الباب، ثم إحداث نبضة واحدة في طرفه الحر، ودعوة بعض الطلبة بشكل فردي لإعادة المحاولة، في حين يراقب باقي الطلبة مايحدث، ويرصدون مشاهداتهم، ثم أطلب منهم تقديم وصف لذلك.

المناقشة:

- أوضّح للطلبة المقصود بالانعكاس، وأطبق التعريف على موجات مختلفة، كأن تكون مستعرضة أو طولية، ثم أبيّن لهم أهمية ذلك في حياتنا، عن طريق السؤال الآتي:

– ما أهمية انعكاس الضوء في عملية الرؤية؟

انعكاس الضوء عن الأجسام يجعل الضوء يسقط على أعيننا؛ فنرى تلك الأجسام.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (15)، مبيّنًا لهم أنّه يتكون من أربع مراحل زمنية لنبضة تتحرك في حبل أفقي باتجاه اليمين، المرحلة الأولى تبين نبضة علوية تتحرك نحو اليمين، وفي المرحلة الثانية تقترب من الجدار، وتؤثر فيه بقوة نحو الأعلى (فعل)، في المرحلة الثالثة ترتد النبضة نحو اليسار، لكنها تنقلب للأسفل؛ تحت تأثير قوة رد الفعل التي يؤثر بها الجدار في الحبل، ثم تبتعد نحو اليسار في المرحلة الرابعة.

التعزيز:

- أبيّن للطلبة أن ظاهرة الانعكاس تحدث للموجات المستعرضة التي تنتقل على سطح الماء عند تصادمها مع حاجز يعترض مسارها، وأن أفضل نموذج لدراسة الظاهرة هو استخدام حوض الموجات. ثم أقدِّم لهم تعريفًا بالحوض والأدوات الملحقة به، واستخداماته المختلفة.

معلومة إضافية

في الحالة المثالية تكون الطاقة محفوظة فترتد النبضة، وتحافظ على مقدار سعتها كما هي قبل الارتداد، لكن ضياع الطاقة يجعل سعة النبضة أقل منه في البداية، وهذا ما يجعل الموجات تتلاشى عند حدوث انعكاسات متكررة في وسط معين.

◄ **المناقشة:**

- أوضّح للطلبة المقصود بانكسار الموجات، وأطبق التعريف على موجات مختلفة، كأن تكون مستعرضة أو طولية، ثم أبيّن لهم أهمية ذلك في حياتنا. مع التركيز على شرط حدوث الانكسار وهو: انتقال الموجات من وسط إلى آخر يختلف عنه في خصائصه.

◄ **استخدام الصور والأشكال:**

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الصورة في الشكل (17)، مبيّنًا لهم أنّ الشكل هو صورة للخيال الذي تحدثه موجات سطح الماء عند انكسارها. وأن الخطوط البيضاء تمثل القمم، والخطوط المعتمة تمثل القيعان بالنسبة إلى موجات الماء المستعرضة.
- أذكّر الطلبة بأن المسافة بين كل خطين مضيئين متتاليين تساوي الطول الموجي، ثم أستنتج من ذلك كيف يقل الطول الموجي عند الانكسار.

ملاحظة: عندما يكون السطح الفاصل بين الوسطين عموديًّا على اتجاه انتشار الموجات، يحدث الانكسار (تغير في السرعة والطول الموجي) مع محافظة الموجات على اتجاهها السابق.

◄ **التعزيز:**

- أوضّح للطلبة أن الاختلاف بين الوسطين ينتج عن اختلاف بعض الصفات التي تؤثر في سلوك الموجات خلال الوسط، فتتغير سرعة الموجات نتيجة التغير في الطول الموجي، لكن التردد لا يتغير؛ لأنه يعتمد على تردد المصدر. ومثال ذلك:
  - انتقال موجات الماء من منطقة عميقة إلى أخرى ضحلة ينتج عنه انكسار.
  - انتقال موجات الضوء من وسط شفاف إلى آخر يختلف عنه شفافية (مثل: الهواء والزجاج) ينتج عنه انكسار.
  - انتقال موجات الصوت من وسط صلب إلى وسط سائل (مثل: الصخور والماء) ينتج عنه انكسار.

كما يحدثُ انعكاسُ الموجاتِ المستعرضةِ على سطحِ الماءِ، أوْ في الحبلِ والنابضِ، فإنَّ جميعَ الموجاتِ المستعرضةِ الأخرى تنعكسُ بالطريقةِ نفسِها، ومثالُ ذلكَ موجاتُ الضوءِ وباقي الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ. ويحدثُ الشيْءُ نفسهُ بالنسبةِ إلى الموجاتِ الطوليةِ، فإنَّها تنعكسُ أيضًا عندَما تواجهُ حاجزًا يعترضُ طريقَ انتشارِها، ومثالُ ذلكَ انعكاسُ موجاتِ الصوتِ عندَ الحواجزِ المختلفةِ كالمباني والجبالِ.

انكسارُ الموجاتِ Refraction of Waves

ظاهرةُ انكسارِ الموجاتِ هيَ الظاهرةُ الشائعةُ الثانيةُ إضافةً إلى ظاهرةِ الانعكاسِ، ويُعرَّفُ **انكسارُ الموجةِ Wave Refraction** بأنَّهُ انحرافُ اتجاهِ انتشارِ الموجاتِ عندَ اجتيازِها الحدَّ الفاصلَ بينَ وسطيْنِ مختلفيْنِ في خصائصِهما. وقدْ لاحظتُ ذلكَ بوضوحٍ في النشاطِ السابقِ، حيثُ أدى وجودُ لوحِ زجاجٍ شفافٍ داخلَ الحوضِ إلى اختلافِ سمكِ الماءِ، وتكوَّنَ نتيجةَ ذلكَ وسطانِ مختلفانِ نتجَ عنهُما انكسارُ موجاتِ الماءِ؛ أيْ تغييرٌ في اتجاهِ انتشارِها. وينتجُ الانكسارُ عنِ اختلافِ الطولِ الموجيِّ معَ بقاءِ التردِدِ ثابتًا عندَ الحدِّ الفاصلِ بينَ وسطيْنِ مختلفيْنِ في الخصائصِ. وباستخدامِ العلاقةِ: ($v = f\lambda$) فإنَّ سرعةَ انتشارِ الموجاتِ تتغيرُ منْ وسطٍ إلى آخرَ نتيجةً لاختلافِ الطولِ الموجيِّ. ألاحظُ أنَّ الطولَ الموجيَّ في الشكلِ (17) هوَ المسافةُ بينَ كلِّ خطيْنِ مضيئيْنِ، أوْ بينَ كلِّ خطيْنِ مظلميْنِ، ويبينُ الشكلُ النتيجةَ التي حصلْنا عليْها في النشاطِ السابقِ، وهوَ نقصانُ الطولِ الموجيِّ الذي أدى إلى الانكسارِ.

الشكلُ (17): انكسارُ موجاتِ سطحِ الماءِ المستويةِ.

✓ **أتحقَّقُ:** ما سببُ حدوثِ انكسارٍ لموجاتِ الماءِ عندَ مرورِها فوقَ لوحٍ زجاجيٍّ موضوعٍ في قاعِ الحوضِ؟

تمرينٌ

بالرجوعِ إلى الشكلِ (17). إذا كان الترددُ (8 Hz)، وكانتِ المسافةُ بينَ كلِّ خطيْنِ مضيئيْنِ في الوسطِ الأولِ (5 cm)، وفي الوسطِ الثاني (3 cm). **فأحسبُ** سرعةَ الموجاتِ في كلٍّ منَ الوسطيْنِ.

تمرين

الحل:

$v_1 = f\lambda_1 = 8 \times 5 = 40$ cm/s $\qquad v_2 = f\lambda_2 = 8 \times 3 = 24$ cm/s

✓ **أتحقَّق:**

سبب الانكسار هو اختلاف عمق الماء، الذي يعد تغيرًا في صفات الوسط.

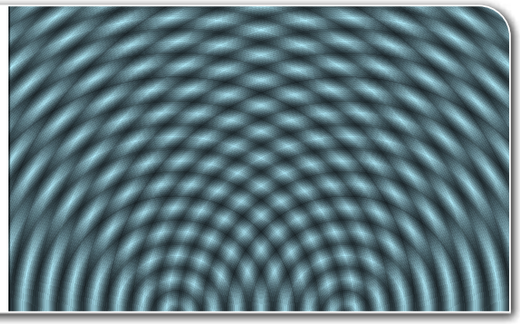
التداخلُ والحيودُ Interference and Diffraction

التداخلُ Interference

تحدثُ ظاهرةُ تداخلِ الموجاتِ عندَما تلتقي موجتانِ أوْ أكثرُ في لحظةٍ واحدةٍ عندَ نقطةٍ محددةٍ، فتُحدِثُ هذهِ الموجاتُ -مجتمعةً- إزاحةً محصلةً لجزيئاتِ الوسطِ الذي تنتقلُ خلالهُ. **فالتداخلُ Interference**: التقاءُ مسارَيْنِ منَ الحركةِ الموجيةِ بحيثُ ينتجُ عنِ التقاءِ القممِ والقيعانِ نمطٌ محددٌ.

وعندَما تلتقي موجتانِ متماثلتانِ (لهُما الترددُ نفسهُ والطولُ الموجيُّ نفسهُ) ومنِ النوعِ نفسهِ، فإنَّ عمليةَ التداخلِ تكونُ منتظمةً. ويبينُ الشكلُ (18) نمطَ تداخلٍ منتظمٍ يتكوَّنُ عندَ التقاءِ موجاتٍ ناتجةٍ عنْ مصدرَيْنِ متجاورَيْنِ ومتماثلَيْنِ على سطحِ الماءِ. وحتى تتلاشى الإزاحةُ تمامًا عندَ التقاءِ قمةِ موجةٍ مع قاعِ موجةٍ أخرى يجبُ أنْ تكونَ الموجتانِ متساويتَيْنِ في السعةِ. ومثالٌ على ذلكَ يحدثُ تداخلٌ هدّامٌ وتداخلٌ بنّاءٌ بينَ موجاتِ الصوتِ التي تصدرُ عنْ سماعتَيْنِ موصولتَيْنِ معَ مصدرٍ واحدٍ يولدُ الاهتزازاتِ.

لتكوينِ نمطِ تداخلٍ منتظمٍ عمليًّا، ولدراسةِ الحيودِ Diffraction وهوَ ظاهرةٌ أخرى متعلقةٌ بالحركةِ الموجيةِ، أنفِّذُ التجربةَ الآتيةَ:



الشكلُ (18): تداخلُ الموجاتِ منْ مصدرَيْنِ متماثلَيْنِ على سطحِ الماءِ.

◄ بناء المفهوم:

التداخل

- أوضّح للطلبة المقصود بتداخل الموجات، وما شروط حدوثه، وكيف يتكون نمط تداخل منتظم (يكرر نفسه)، أو تداخل غير منتظم.

◄ استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الصورة في الشكل (18)، مبيّنًا لهم أنّ الشكل يوضّح صورة لعملية تداخل منتظم لموجات سطح الماء، أو خيال لهذا التداخل كما يظهر على شاشة. وأؤكدّ لهم أنه كما يحدث التداخل لموجات الماء فهو يحدث أيضًا للموجات الميكانيكية والكهرمغناطيسية جميعها، ويمكن ملاحظة أثر ذلك في مشاهدات مختلفة.

◄ المناقشة:

- أوضّح للطلبة أن التداخل يحدث في أنواع الموجات المختلفة، لكن الطريقة الأكثر سهولة لملاحظته هي: استخدام حوض الموجات، وتحقيق شروط تداخل موجات سطح الماء الدائرية عندما تنتشر في الحوض.
- أخبر الطلبة أنه يمكنهم إجراء نشاط بسيط في البيت، مستخدمين حوض واسع للماء، وإحداث موجات فيه باستخدام مصدرين متماثلين؛ مثل عودين خشبيين، لمراقبة ظاهرة التداخل.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

❋ **التفكير: التخطيط.**

أوضّح للطلبة أنّ التخطيط المبني على أسس علمية وواقعية يعدّ من طرائق المعرفة العلمية، وأنّ أهميته تتمثّل في تنظيم الوقت، وزيادة كفاءة العمل للتوصل إلى معرفة معينة، أو الحصول على منتج بأقل جهد أو تكاليف. وأبيّن لهم أن العمل المخبري من الأمور التي تحتاج إلى: التخطيط الجيد، والإعداد، وتحضير الأدوات، ووضع الخطوات المناسبة، ثم تنفيذها؛ إذ يمكنهم تطبيق ذلك بالتخطيط لإجراء تجربة لمشاهدة ظاهرة التداخل.

التجربة 2

استقصاء خاصيتي تداخل الموجات وحيودها

الهدف: ملاحظة نمطي التداخل والحيود، واستنتاج شروط حدوثهما.

زمن النشاط: 35 دقيقة.

إرشادات السلامة:

- أحذّر الطلبة من خطر سقوط الأجسام والأدوات المختلفة على أقدامهم، ووصول الماء إلى الوصلات الكهربائية.
- أخبر الطلبة أنّ الالتزام بإرشادات السلامة يحفظ لهم حياتهم، ويحافظ على سلامة الأدوات، ونظافة المكان والبيئة.

المهارات العلمية:

الملاحظة، التفسير، الاستنتاج، الاستقصاء، التواصل.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوضِّح للطلبة أهمية ضبط الحوض بوضع أفقي صحيح؛ حتى يكون ارتفاع الماء متساويًا في الحوض كله.
- أوضّح للطلبة أهمية تحديد كمية الماء في الحوض؛ حتى يكون ارتفاع الماء مناسبًا لانتشار الموجات.
- أبيّن للطلبة أهمية وضع المصباح في موقع مناسب؛ لكي يظهر خيال واضح على السقف أو الشاشة.

النتائج المتوقعة:

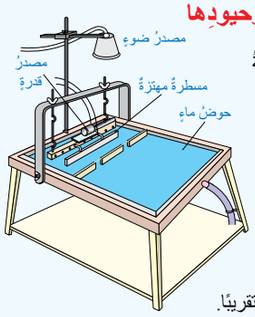
قد يلاحظ بعض الطلبة النتائج كما هو متوقع، فيشاهدون التداخل والحيود، وقد لا يحدث ذلك بالنسبة إلى بعض المجموعات بسبب أخطاء قد تنتج عن: ميل الحوض عن الأفق، زيادة أو نقص سرعة المحرك الذي يولد الاهتزاز، عدم ضبط المسطرة بحيث تنغمس جزئيًّا في الماء، المسافة بين الفتحتين في حالة التداخل، أو اتساع الفتحة في حالة الحيود.

التحليل والاستنتاج:

1. وجود الفتحتين في الحاجز للحصول على مصدرين متماثلين للموجات الدائرية، ويمكن إحداث ذلك بتثبيت مسمارين خاصين بالمسطرة المهتزة بحيث يلامسان سطح الماء.
2. تنفذ الموجات من فتحتي الحاجز على شكل نمطين متجاورين من الموجات الدائرية، فيحدث بينهما التداخل.
3. تنفذ الموجات من فتحة الحاجز على شكل موجات دائرية، فيحدث لها حيود وتلتف قليلًا حول حافة الحاجز.
4. يحدث الحيود عندما يكون اتساع الفتحة مقاربًا للطول الموجي، ولا يحدث حيود عندما يزيد اتساع الفتحة كثيرًا عن الطول الموجي، أو يقل كثيرًا عنه.

التجربةُ 2

استقصاءُ خاصيتَيْ تداخلِ الموجاتِ وحيودِها



الموادُّ والأدواتُ: حوضُ الموجاتِ وملحقاتُهُ (مصدرُ ضوءٍ ومجموعةُ حواجزَ).

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ منْ وصولِ الماءِ إلى مصدرِ الكهرباءِ.

خطواتُ العملِ: بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أنفذُ الخطواتِ الآتيةَ:

1. أركبُ حوضَ الموجاتِ بوضعٍ أفقيٍّ وأثبّتُ مصدرَ الإضاءةِ في مكانِهِ الصحيحِ بمساعدةِ معلّمي/ معلّمتي وأعضاءِ مجموعتي.
2. أضعُ كميةَ ماءٍ مناسبةً في الحوضِ حتى ارتفاعٍ لا يقلُّ عن (3 cm) تقريبًا.
3. أثبتُ المحركَ الكهربائيَّ المولدَ للاهتزازاتِ فوقَ المسطرةِ الخاصةِ وأشغّلُهُ بحيثُ يصدرُ موجاتٍ مستقيمةً، وأراقبُ حركةَ تقدمِ هذهِ الموجاتِ في الحوضِ.
4. أضعُ حاجزًا يحتوي على فتحتيْنِ على بُعدِ (15 cm) أمامَ المسطرةِ، كما في الشكلِ، وأراقبُ عبورَ الموجاتِ المستقيمةِ من كلتا الفتحتينِ، وأغيرُ منْ سرعةِ المحركِ للحصولِ على شكلٍ واضحٍ، ثمَّ أدوّنُ الملاحظاتِ على النمطِ المتكونِ بعدَ الفتحتيْنِ.
5. أعدلُ الحاجزَ في الخطوةِ السابقةِ بحيثُ يحتوي على فتحةٍ واحدةٍ ضيقةٍ، ثمَّ أدوّنُ الملاحظاتِ على النمطِ المتكونِ. ثمَّ أغيّرُ اتساعَ الفتحةِ وأراقبُ ما يحدثُ للموجاتِ مرةً أخرى.
6. أرسمُ الأنماطَ التي حصلتُ عليْها في الخطوتيْنِ (4,5) السابقتيْنِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أفسّرُ** أهميةَ وجودِ فتحتيْنِ في الحاجزِ في الخطوةِ (4). وما التغيرُ الذي حصلَ للموجاتِ بعدَ الحاجزِ؟
2. **أصفُ** ما حدثَ للموجاتِ المستقيمةِ بعدَ تجاوزِها الحاجزَ الذي يحتوي على فتحتيْنِ، وأذكرُ اسمَ هذهِ العمليةِ.
3. **أصفُ** ما حدثَ للموجاتِ المستقيمةِ بعدَ تجاوزِها الحاجزَ الذي يحتوي على فتحةٍ ضيقةٍ، وأذكرُ اسمَ هذهِ العمليةِ.
4. **أستنتجُ:** عندَما تتجاوزُ الموجاتُ المستقيمةُ حاجزًا فيهِ فتحةٌ، فإنَّها تنفذُ منهُ وتكملُ مسيرَها على هيئةِ موجاتٍ دائريةٍ، أيْ أنَّها تحيدُ عن اتجاهِها، وتلتفُّ حولَ الحاجزِ قليلًا. ما العلاقةُ بينَ حيودِ الموجاتِ واتساعِ الفتحةِ؟

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. **أداة التقويم:** سلّم تقدير رقمي.

الرقم	معيار الأداء	1	2	3
1	مراعاة تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ خطوات التجربة.			
2	قراءة تعليمات التجربة قراءة دقيقة، والتعاون مع الزملاء/ الزميلات على تنفيذ الخطوات.			
3	تجهيز حوض الموجات بوضع أفقي صحيح.			
4	ضبط سرعة المحرك الكهربائي الصغير؛ للحصول على نمط موجات ثابت.			
5	استخدام الأدوات الملحقة بالحوض والمناسبة؛ لاستقصاء خاصية التداخل.			
6	استخدام الأدوات الملحقة بالحوض والمناسبة؛ لاستقصاء خاصية الحيود.			
7	رصد الملاحظات حول خطوات التجربة بصورة منظمة.			
8	التعاون مع أفراد المجموعة وتنظيم العمل.			
9	التوصل إلى نتائج صحيحة، والبحث عن مصادر الخطأ إن وجد.			

بعدَ أنْ لاحظتُ نمطَ التداخلِ المنتظمَ في التجربةِ السابقةِ، ربَّما أتساءلُ كيفَ يحدثُ التداخلُ وما الذي يؤدي إلى ظهورِ هذا النمطِ المنتظمِ؟ تعودُ ظاهرةُ التداخلِ إلى إحدى الخصائصِ الموجيةِ التي تُعرَفُ **بمبدأِ تراكُبِ الموجاتِ** **Priciple of Superposition of Waves** وهوَ أنَّ الإزاحةَ الكليةَ التي تحدثُ لجزيئاتِ الوسطِ تساوي ناتجَ الجمعِ المتجهيِّ للإزاحاتِ الناتجةِ عنِ التقاءِ الموجاتِ عندَ النقطةِ نفسِها. كيفَ يحدثُ التراكبُ؟

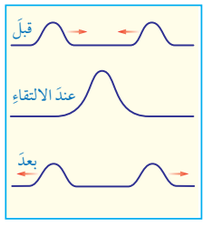
عندَ مرورِ موجةٍ مستعرضةٍ في نابضٍ باتجاهِ اليمينِ، ومرورِ موجةٍ مستعرضةٍ أخرى في النابضِ نفسِهِ باتجاهِ اليسارِ، فإنَّ الموجتيْنِ ستلتقيانِ في مكانٍ واحدٍ عندَ لحظةٍ زمنيةٍ معينةٍ، ويعملُ تأثيرُ الموجتيْنِ في دقائقِ النابضِ عندَ لحظةِ التقائِهما بشكلٍ مشتركٍ فيظهرُ النابضُ بصورةٍ مختلفةٍ عن أيٍّ منَ الموجتيْنِ، والنتيجةُ جمعُ التأثيرِ المشتركِ للموجتيْنِ معًا في جزيئاتِ الوسطِ الذي تنتقلُ خلالَهُ. يحدثُ التراكُبُ بينَ موجتيْنِ في حالِ انتقالِهما باتجاهيْنِ متعاكسيْنِ، أوْ بالاتجاهِ نفسِهِ عندَما تلحقُ إحداهُما بالأخرى، كما يحدثُ أيضًا بينَ موجتيْنِ أوْ أكثرَ عندَ التقائِها مهما كانَ اتجاهُ كلٍّ منْها. يوضحُ الشكلُ (19/ أ) مثالًا بسيطًا على تراكبِ الموجاتِ، حيثُ تلتقي موجاتٌ دائريةٌ على سطحِ الماءِ في حوضٍ.

ويبينُ الشكلُ (19/ ب) أيضًا قمتيْ موجتيْنِ تسيرانِ باتجاهيْنِ متعاكسيْنِ قبلَ التقائِهما، وعندَ حدوثِ التراكبِ ثمَّ بعدَ ابتعادِهما، لاحظْ أنَّهُ ينتجُ عنِ الأثرِ المشتركِ للقمتيْنِ لحظةَ تراكبِهما قمةٌ مضاعفةٌ، وينتجُ عنْ هذا التراكبِ تداخلٌ بنّاءٌ Constructive Interference.

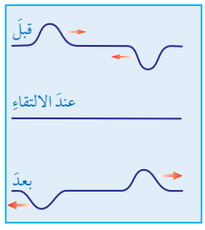
ويبينُ الشكلُ (19/ جـ) أنَّ تراكبَ قمةٍ معَ قاعٍ ينتجُ عنهُ انعدامٌ للإزاحةِ، وتختفي الموجتانِ في لحظةِ تراكبِهما، ويُسمّى هذا التراكبُ تداخلًا هدّامًا Destructive Interference.

ألاحظُ منَ الشكلِ السابقِ أنَّ كلاًّ منَ الموجتيْنِ المتراكبتيْنِ بعدَ التراكبِ تعودُ إلى شكلِها السابقِ الذي كانتْ عليْهِ قبلَ التراكبِ. ويُشترطُ لحدوثِ تراكبِ الموجاتِ أنْ تكونَ الموجتانِ منَ النوعِ نفسِهِ، فلا يمكنُ أنْ يحدثَ تراكبٌ بينَ موجتيْنِ إحداهُما طوليةٌ والأخرى مستعرضةٌ، فلا يحدثُ بينَ موجةٍ صوتيةٍ وأخرى كهرمغناطيسيةٍ.

(أ)



(ب)



(جـ)

الشكلُ (19): تراكُبُ الموجاتِ.

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن مبدأ تراكب الموجات Principle of Superposition of Waves، علمًا بأنّه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلّق بهذا.

أشارك الطلبة هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو أستعمل أيّة وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.

بناء المفهوم:

مبدأ تراكب الموجات

- أقدِّم للطلبة تعريف مبدأ تراكب الموجات، مع توضيح كيف يجري جمع الإزاحتين الناتجتين عن موجتين متراكبتين للحصول على إزاحة كلية. ثم أبيِّن لهم الحالات التي يحدث فيها التراكب.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجِّه الطلبة إلى الاطلاع على الصور في الشكل (19)، بفرعيه (ب، ج)؛ للتفريق بين التراكب الذي يولد تداخلًا بنّاءً والتراكب الذي يولد تداخلًا هدّامًا.
- للتأكد من تمكن الطلبة من جمع التي تُحدثها الموجات، واستنتاج التراكب، أطرح عليهم الأسئلة الآتية:

– ما نتيجة التقاء نبضتين؛ الأولى تُحدث إزاحة للأعلى (20 cm) والثانية تُحدث إزاحة للأعلى (45 cm)؟

الإزاحة الناتجة عن التراكب (65 cm) نحو الأعلى.

– ما نتيجة التقاء نبضتين؛ الأولى تُحدث إزاحة للأعلى (30 cm) والثانية تُحدث إزاحة للأسفل (40 cm)؟

الإزاحة الناتجة عن التراكب (10 cm) نحو الأسفل.

– ما نتيجة التقاء نبضتين؛ الأولى تُحدث إزاحة للأعلى (25 cm) والثانية تُحدث إزاحة للأعلى (25 cm)؟

تختفي النبضتان حيث تنعدم الإزاحة لحظيًّا ويحدث تراكب هدّام.

التعزيز:

- أدرِّب الطلبة على رسم نبضتين منفصلتين، ثم رسم إحداهما مع الأخرى على المستوى الديكارتي نفسه، ثم جمع الإزاحات الفرعية لهما؛ للحصول على التداخل.
- أؤكد للطلبة أن شرط حدوث التراكب هو أن تكون الموجتان المتراكبتان من النوع نفسه.

المناقشة:

- أناقش الطلبة في إمكانية حدوث التداخل للموجات الأخرى الطولية أو المستعرضة. أطرح مثالًا على تداخل موجات الصوت عند وضع سماعتين تفصلهما مسافة، وتوصيلهما بمصدر واحد مثل مذياع أو جهاز تسجيل، ثم أطرح مثالًا آخر على تداخل موجات الضوء عند مروره من شقين متجاورين تفصلهما مسافة صغيرة جدًّا، تتناسب مع طول موجات الضوء.

استخدام الصور والأشكال:

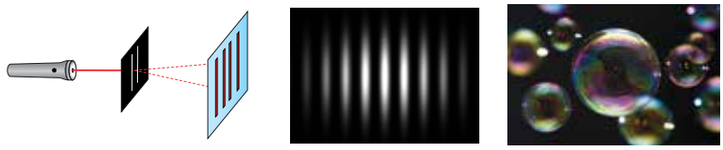
- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الصور في الشكل (20)، بفروعه الثلاثة، مبيّنًا لهم دلالات الشكل في كل فرع.

نشاط سريع

- يمكن استخدام مصباح ليزر أحمر وتنفيذ نشاط سريع يحدث فيه التداخل كما يظهر في الشكل (20).

أفكّر:
الأضواء الملونة التي تخرج من المنشور ناتجة عن ظاهرة انكسار الضوء في المنشور وخروجه بزوايا مختلفة؛ تبعًا للأطوال الموجية لكل لون. في حين أن الألوان المنعكسة عن غشاء فقاعة الصابون: ناتجة عن ظاهرة التداخل.

أتحقَّق:
يكون التداخل بنّاءً عندما تلتقي قمة موجة مع قمة موجة أخرى، أو يلتقي قاع موجة مع قاع آخر. أمّا التداخل الهدام فينتج عن التقاء قمة موجة مع قاع موجة أخرى.
شرط حدوث التراكب بين موجتين من النوع نفسه وتنتقلان في وسط واحد، هو التقاؤهما في موضع واحد.



الشكلُ (20): (أ): غشاءُ فقاعةِ صابونٍ. (ب): نمطُ تداخلِ موجاتِ ضوءِ الشمسِ. (جـ): تجربةُ تداخلِ موجاتِ ضوءِ الليزرِ.

تحدثُ ظاهرةُ التداخلِ في جميعِ أنواعِ الموجاتِ، فموجاتُ الصوتِ تتداخلُ وتنشأُ عنْ تداخلِها أنماطٌ تتألفُ منْ مناطقَ تزدادُ فيها شدةُ الصوتِ، ومناطقَ أخرى ينخفضُ فيها الصوتُ. كما يمكنُ رؤيةُ بعضِ الأنماطِ الناتجةِ عنْ تداخلِ موجاتِ الضوءِ على غشاءِ فقاعةِ صابونٍ مثلَما يبينُ الشكلُ (20/ أ). وهناكَ تجاربُ عمليةٌ تمكنُنا منْ رؤيةِ بعضِ أنماطِ التداخلِ لموجاتِ الضوءِ. يوضحُ الشكلُ (20/ ب) تداخلَ موجاتِ ضوءِ الشمسِ بعدَ عبورِهِ منْ شقيْنِ صغيريْنِ متجاورينِ، بينَما يُظهرُ الشكلُ (20/ جـ) رسمًا توضيحيًّا للتداخلِ الناتجِ عنْ ضوءِ ليزرَ أحمرَ عندَ مرورِهِ من شقيْنِ. ويكونُ نمطُ التداخلِ منتظمًا بحيثُ يكررُ نفسَهُ عندَما تكونُ الموجاتُ المتداخلةُ متساويةً في الطولِ الموجيِّ.

يحدثُ التداخلُ أيضًا بينَ الموجاتِ التي لا تتساوى في الترددِ والطولِ الموجيِّ، أوْ أنَّها صادرةٌ عنْ مصدريْنِ غيرِ متماثليْنِ، لكنَّ النمطَ الناتجَ عنْ ذلكَ لا يكونُ منتظمًا.

أفكّر: عندَ النظرِ إلى المنشورِ الزجاجيِّ وعندَ النظرِ إلى فقاعةِ الصابونِ، في الحالتيْنِ الاحظْ مركباتِ الطيفِ المرئيِّ الملونةَ، أوْ جزءًا منْها. ما الاختلافُ بينَ الحالتيْنِ؟

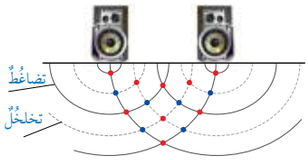
أتحقَّقُ:
- متى يكونُ التداخلُ بنّاءً؟ ومتى يكونُ هدّامًا؟
- ما الشرطُ اللازمُ توافرُهُ حتى يحدثَ تراكبٌ لموجتيْنِ تنتقلانِ في وسطٍ واحدٍ؟

إضاءة للمعلم/للمعلمة

عندما يحدث تداخل موجات الضوء المنعكس عن غشاء فقاعة الصابون، فإن السطح الداخلي لغشاء الفقاعة يمثل المصدر الأول والسطح الخارجي للغشاء يمثل المصدر الثاني للموجات، والمسافة بين السطحين (سمك غشاء الصابون) قريبة من الطول الموجي للضوء. وبالنسبة إلى ظهور الألوان على الغشاء؛ فإن سبب ذلك حدوث تداخل هدّام بين بعض الألوان فتختفي (تُطرح من الضوء الأبيض)، وتداخل بنّاء بين ألوان أخرى؛ فتظهر ونلاحظها.

المثالُ 7

وُضِعتْ سماعتانِ متصلتانِ معَ المصدرِ نفسِهِ، بحيثُ تفصلهُما مسافةُ (1 m) تقريبًا، فحدثَ تداخلٌ بينَ الموجاتِ الصادرةِ عنِ السماعتيْنِ معًا، كما يبينُ الشكلُ (21). أحددُ نقاطَ التداخلِ البنّاءِ والهدّامِ، وأبيِّنُ ما يحدثُ للصوتِ عندَ كلٍّ منْها.



الشكلُ (21): التداخلُ المنتظمُ بينَ موجاتِ الصوتِ المتماثلةِ.

المعطياتُ: الشكلُ.

المطلوبُ: تحديدُ نقاطِ التداخلِ البنّاءِ والهدّامِ، ووصفُ ما يحدثُ للصوتِ.

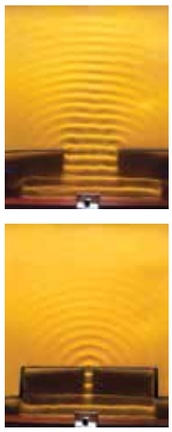
الحلُّ:

الخطوطُ المتصلةُ على الشكلِ تمثلُ مناطقَ تضاغطٍ، والخطوطُ المتقطعةُ تمثلُ مناطقَ تخلخلٍ. تبينُ النقاطُ الحمراءُ التداخلَ البنّاءَ، فبعضُها ناتجةٌ عنْ تقاطعِ خطيْنِ متصليْنِ (تضاغطٌ معَ تضاغطٍ)؛ فهيَ تمثلُ تضاغطًا مضاعفًا. وبعضُ النقاطِ الحمراءِ الأخرى ناتجةٌ عنْ تقاطعِ خطيْنِ متقطعيْنِ (تخلخلٌ معَ تخلخلٍ)؛ فهيَ تمثلُ تخلخلًا مضاعفًا. وتكونُ شدةُ الصوتِ عندَ النقاطِ الحمراءِ جميعِها أكبرَ ما يمكنُ. النقاطُ الزرقاءُ جميعُها تبينُ التداخلَ الهدّامَ، فهيَ ناتجةٌ عنْ تقاطعِ خطٍّ متصلٍ معَ خطٍّ متقطعٍ (تضاغطٌ معَ تخلخلٍ)؛ فهيَ تمثلُ انعدامًا للموجاتِ، أيِ اختفاءَ الصوتِ.

الحيودُ Diffraction

الحيودُ Diffraction هوَ ظاهرةُ انعطافِ الموجاتِ عنِ اتجاهِها عندَ نفاذِها خلالَ الفتحاتِ الضيقةِ، أوْ بالقربِ منْ حوافِّ الحواجزِ، وهيَ ظاهرةٌ تحدثُ لمختلفِ أنواعِ الموجاتِ، مثلَ: موجاتِ الماءِ والصوتِ والضوءِ، وقدْ لاحظتُ حيودَ الموجاتِ المنتشرةِ على سطحِ الماءِ في التجربةِ السابقةِ عندَ نفاذِها خلالَ فتحةٍ في حاجزٍ. ويكونُ الحيودُ واضحًا عندَما يكونُ اتساعُ الفتحةِ التي تمرُّ منْ خلالِها الموجاتُ مقاربًا لمقدارِ طولِها الموجيِّ.

يبينُ الشكلُ (22) نمطيْنِ مختلفيْنِ لحيودِ موجاتٍ مستقيمةٍ على سطحِ الماءِ عندَ نفاذِها منْ فتحتيْنِ مختلفتيْنِ في حاجزيْنِ، وسببُ الاختلافِ في نمطَيِ الحيودِ ناتجٌ عنْ الاختلافِ في اتساعِ الفتحةِ التي عبرتْ خلالَها الموجاتُ.


الشكلُ (22): حيودُ موجاتِ سطحِ الماءِ عندَ نفاذِها منْ فتحةٍ واسعةٍ وأخرى ضيقةٍ.

توظيف التكنولوجيا

أبحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن حيود الموجات Diffraction، علمًا بأنّه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلّق بهذا.

أشارك الطلبة هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو أستعمل أيّة وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.

مثال إضافي

في المثال (7) كان التداخل منتظمًا. ما الذي يجب تغييره حتى يصبح التداخل غير منتظم؟

الحل:

يصبح التداخل غير منتظم عند وجود اختلاف في الطول الموجي بين المصدرين، بحيث إن النمط الناتج عن التداخل لا يكرر نفسه بشكل مستمر. وعندما يكون المصدران غير متزامنين في إصدارهما للموجات، يحدث اختلاف في نمط التداخل.

بناء المفهوم:

الحيود

- أذكّر الطلبة بنتيجة التجربة السابقة، ثم أطلب إليهم مقارنة ما شاهدوه في التجربة بالصورتين في الشكل (22). بعد ذلك أوجّههم إلى استنتاج تعريف الحيود، مع التركيز على كلمة حيود (مصدر الفعل حاد) باللغة العربية.

نشاط سريع

- أطلب إلى الطلبة جميعًا وضع طرفي إصبعيهم السبابة والإبهام بشكل قريب جدًّا من بعضهما، قبل أن يتلامسا، والنظر من خلال هذه المسافة الضيقة إلى ضوء النافذة، ثم تقريب الإصبعين من بعضهما أكثر وأكثر، ثم أسألهم: ماذا تشاهدون؟

تظهر لديهم أهداب تداخل موجات الضوء.

- أبين لهم بأن ما شاهدوه هو تداخل لموجات الضوء، ناتج عن حيودها عند مرورها خلال الفتحة بين الإصبعين.

استخدام الصور والأشكال:

- أوجّه الطلبة إلى الاطلاع على الصورة في الشكل (23)؛ الذي يبين ما ينتج عن حيود موجات الضوء عند مرورها خلال ثقب إبرة خياطة، ثم أطلب إليهم طرح أمثلة مشابهة يتوقعون أنها تشكل مشاهدات لحيود موجات الضوء. **إجابات محتملة:** مشاهدة الثقوب الدقيقة في شبك فلزي، النظر خلال ستائر الغرفة الخفيفة، إغماض العين بصورة جزئية والنظر خلال أهدابها إلى النافذة.

بناء المفهوم:

الاستقطاب.

- أوضّح للطلبة أن الموجات الكهرمغناطيسية تتكون من مجالين متعامدين: أحدهما كهربائي، والثاني مغناطيسي، لكن مستوى كل مجال ليس نفسه في كل الموجات، لو تخيلنا أن شعاعًا ضوئيًّا يتكون من خمسة مسارات من الموجات، في الموجة الأولى يهتز المجال الكهربائي في المستوى الأفقي (على محور x)، ويهتز المجال المغناطيسي في المستوى الرأسي (على محور y)، وفي الموجة الثانية يهتز المجال الكهربائي؛ بحيث يصنع زاوية (20) مع محور (x)، ويهتز المجال المغناطيسي؛ بحيث يصنع زاوية (20) مع محور (y)، والموجة الثالثة تميل بزاوية أخرى، وهكذا... كما في الشكل (24)، ثم عبرت هذه الحزمة خلال مستقطِب (أداة استقطاب)، فإن موجة واحدة تنفذ خلاله، وباقي الموجات لا يسمح لها بالنفاذ. ويمكننا اختيار الموجة التي نرغب بمرورها عن طريق تمييل زاوية المستقطِب.
- وأبيّن للطلبة أن استقطاب الضوء يخفف من الوهج الناتج عن الانعكاسات الكثيرة عن سطح الماء، والأرصفة، والمباني وغيرها.

الشكلُ (23): حيودُ موجاتِ الضوءِ الأحمرِ عندَ مرورِها منْ ثقبِ إبرةِ خياطةٍ.

ألاحظُ أحيانًا تكوُّنَ أهدابِ تداخلٍ مضيئةٍ وأخرى مظلمةٍ عندَما أنظرُ إلى حاجزٍ يسقطُ عليهِ ضوءٌ صادرٌ عنْ فتحةٍ ضيقةٍ، وتكونُ هذهِ الأهدابُ ناتجةً عنْ حيودِ موجاتِ الضوءِ عندَ نفاذِها خلالَ هذهِ الفتحةِ أوْ بالقربِ منَ الحوافِّ الحادةِ للأجسامِ الصغيرةِ؛ فعندَ مرورِ الضوءِ خلالَ ثقبِ إبرةِ خياطةٍ مثلًا، أوْ بالقربِ منْ حافةِ جسمٍ دقيقٍ آخرَ، ثمَّ سقوطِهِ على حاجزٍ، فإنّني أرى بوضوحٍ أهدابَ التداخلِ المتكونةَ على الحاجزِ الناتجةَ عنْ حيودِ الضوءِ. والشكلُ (23) يبينُ حيودَ ضوءٍ أحمرَ عندَ مرورِهِ خلالَ ثقبِ إبرةِ خياطةٍ.

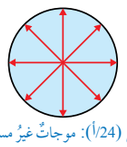
أُفكِّرُ: عندَما يُناديني زميلي منْ خلفِ سورٍ مرتفعٍ، فإنّي أسمعُ صوتَهُ، لكنّي لا أراهُ. لماذا؟

الاستقطابُ Polarization

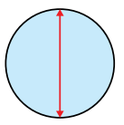
ترتبطُ خاصيةُ الاستقطابِ بالموجاتِ المستعرضةِ فقطْ، فهيَ تتعلقُ باتجاهِ اهتزازِ جزيئاتِ الوسطِ عندَما يكونُ متعامدًا معَ اتجاهِ انتشارِ الموجةِ. فالموجاتُ المستعرضةُ بجميعِ أنواعِها يمكنُ استقطابُها، في حينِ لا يمكنُ استقطابُ الموجاتِ الطوليةِ. ويعدُّ الاستقطابُ الذي ألاحظُهُ لموجاتِ الضوءِ المرئيِّ دليلًا على أنَّ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةَ جميعَها مستعرضةٌ. في الموجاتِ المستقطبةِ يكونُ اهتزازُ جزيئاتِ الوسطِ في بُعدٍ واحدٍ يتعامدُ معَ اتجاهِ انتشارِ الموجةِ، بينَما في الموجاتِ غيرِ المستقطبةِ تهتزُّ هذهِ الجزيئاتُ في أبعادٍ عدَّةٍ جميعُها متعامدةٌ معَ اتجاهِ انتشارِ الموجةِ.

لذلكَ يُعرَّفُ **الاستقطابُ Polarization** بأنَّهُ عمليةُ انتقاءِ موجةٍ مستعرضةٍ تُحدث اهتزازًا في جزيئاتِ الوسطِ في بُعدٍ واحدٍ فقطْ منْ بينِ حزمةِ موجاتٍ يكونُ الاهتزازُ فيها باتجاهاتٍ عدَّةٍ، جميعُها متعامدةٌ معَ اتجاهِ انتشارِ الموجاتِ.

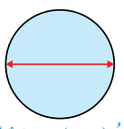
يبينُ الشكلُ (24/ أ) موجاتٍ غيرَ مستقطبةٍ تهتزُّ منْ خلالِها دقائقُ الوسطِ باتجاهاتٍ مختلفةٍ، إذْ تمثلُ الأسهمُ اتجاهاتِ الاهتزازِ، أما اتجاهُ انتشارِ الموجاتِ فيكونُ عموديًّا على سطحِ الورقةِ، داخلًا فيها أوْ خارجًا منْها. في حينِ يبينُ الشكلُ (24/ ب) موجاتٍ مستقطبةً استقطابًا رأسيًّا، ويبينُ الشكلُ (24/ جـ) موجاتٍ مستقطبةً استقطابًا أفقيًّا.



الشكلُ (24/أ): موجاتٌ غيرُ مستقطبةٍ.



الشكلُ (24/ب): استقطابٌ رأسيٌّ.



الشكلُ (24/جـ): استقطابٌ أفقيٌّ.

أُفكِّرُ:

وجود زميلي خلف السور أو الحائط المرتفع - يجعل ما ينعكس عنه من موجات ضوئية أو ما يصدره من موجات صوتية لا تنتقل إلى مكاني؛ لأنها تسير بخطوط مستقيمة، لكن كلا من الموجات الضوئية و الموجات الصوتية يحدث لها حيود عند مرورها قرب حافة السور، وحيث إن موجات الضوء قصيرة جدًّا فإن حيودها لا يذكر، أما حيود موجات الصوت فكبير؛ لأن موجات الصوت طويلة، فتصل إلى السامع.

(أ) موجاتٌ مستقطبةٌ أفقيًّا.

(ب) موجاتٌ مستقطبةٌ رأسيًّا.

الشكلُ (25): تحديدُ مستوى استقطابِ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ.

أعلمُ أنَّ الموجةَ الكهرمغناطيسيةَ تتكونُ منْ مركبتيْنِ متعامدتيْنِ إحداهُما ناتجةٌ عنِ اهتزازٍ في المجالِ الكهربائيِّ، والأخرى عنِ اهتزازٍ في المجالِ المغناطيسيِّ، ويتمُّ تحديدُ مستوى الاستقطابِ في الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ على أنَّهُ المستوى الذي يهتزُّ فيهِ المجالُ الكهربائيُّ فقطْ. يبينُ الشكلُ (25/أ) موجةً مستقطبةً أفقيًّا، ويبينُ الشكلُ (25/ب) موجةً مستقطبةً رأسيًّا.

كثيرٌ منْ مصادرِ الضوءِ، مثلَ بعضِ مصابيحِ الليزرِ والشاشاتِ الرقميةِ (LED) يكونُ الضوءُ الصادرُ عنْها مستقطبًا، في حينِ يكونُ ضوءُ المصباحِ العاديِّ وضوءُ الشمسِ غيرَ مستقطبٍ، وأيضًا تُستخدَمُ بعضُ النظاراتِ الشمسيةِ التي تعملُ على استقطابِ الضوءِ لتخفيفِ شدةِ الأضواءِ المنعكسةِ عنِ الطرقِ والمسطحاتِ المائيةِ.

الفيزياءُ والتكنولوجيا

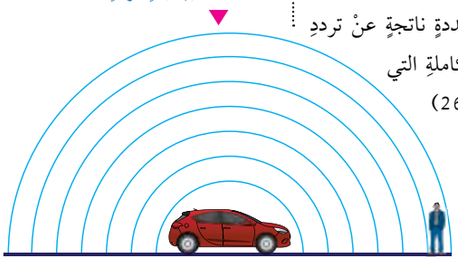
عندَ سقوطِ ضوءِ الشمسِ غيرِ المستقطبِ على سطحِ الماءِ أوِ الزجاجِ أوِ الطريقِ بزاويةٍ معينةٍ، فإنَّهُ ينعكسُ مستقطبًا باتجاهٍ واحدٍ يوازي السطحَ العاكسَ، كما في الشكلِ (25/أ).

عندَ استخدامِ نظارةٍ شمسيةٍ ذاتِ محورِ استقطابٍ رأسيٍّ، فإنَّها تمتصُّ نسبةً كبيرةً منَ الضوءِ المستقطبِ استقطابًا أفقيًّا وهوَ المنعكِسُ عنِ الأرضِ، لكنَّها تسمحُ للضوءِ غيرِ المستقطبِ بالوصولِ إلى العينِ؛ ما يقللُ منْ وهجِ الانعكاساتِ المزعجةِ.

✓ **أتحقَّقُ:** ما المقصودُ بعمليةِ استقطابِ الموجاتِ؟ ولماذا تُستقطَبُ موجاتُ الضوءِ، ولا تُستقطَبُ موجاتُ الصوتِ؟

تأثيرُ دوبلر Doppler Effect

عندَ سماعِكَ صوتَ منبهِ سيارةٍ متوقفةٍ عنِ الحركةِ، وأنتَ تقفُ بالقربِ منْها، فإنَّكَ تسمعهُ بدرجةِ صوتٍ محددةٍ ناتجةٍ عنْ ترددِ هذا الصوتِ، وهوَ عددُ الموجاتِ الصوتيةِ الكاملةِ التي يصدرُها المنبهُ في الثانيةِ الواحدةِ. يبينُ الشكلُ (26) الموجاتِ الصوتيةَ الصادرةَ عنْ منبهِ سيارةٍ في حالةِ وقوفٍ، وهيَ تصلُ إلى المستمعِ، إذْ تمثلُ الأقواسُ مناطقَ التضاغطِ المتتاليةَ في الهواءِ.



الشكلُ (26): موجاتُ صوتِ منبهِ سيارةٍ متوقفةٍ.

✓ **أتحقَّق:**

استقطاب الموجة هو اختيار موجة تهتز فيها دقائق الوسط في مستوى واحد من بين مجموعة من الموجات، تهتز فيها دقائق الوسط في اتجاهات كثيرة، متعامدة مع اتجاه انتشار الموجة.

والاستقطاب يحدث للموجات المستعرضة ولا يحدث للموجات الطولية.

الفيزياء والتكنولوجيا:

أستعرض للطلبة بعض التطبيقات التكنولوجية التي تعود إلى بعض فروع علم الفيزياء، مع التركيز على ما يخص الضوء والموجات الكهرمغناطيسية.

أقدِّم فكرة عن آلات التصوير، وكيفية الحصول على صور واضحة في النهار مع وجود الوهج والانعكاسات الكثيرة، وأبيّن أهمية استخدام المرشحات المستقطِبة بذلك.

ثم أتحدث عن أهمية النظارات الشمسية المستقطِبة في حماية العين من الوهج الناتج عن انعكاس الضوء.

◄ بناء المفهوم:

تأثير دوبلر

- أذكّر الطلبة بصوت منبه سيارة الإسعاف مثلاً عندما تتجاوز شخصًا يسير على الطريق، واسألهم:

– هل يوجد فرق في صوت منبهها في حالة اقترابها؟ وفي حالة ابتعادها؟ **إجابة محتملة:** صوت منبه السيارة وهي تقترب يكون حادًا، أما عند ابتعادها يصبح أقل حدّة.

– وهل صوت منبه السيارة الواقفة يختلف مقارنة بالحالتين السابقتين؟ **إجابة محتملة:** صوت السيارة الواقفة يختلف عن الحالتين السابقتين.

- أناقش الطلبة في إجاباتهم وأستنتج من ذلك تعريفًا لهذه الظاهرة، ثم أستعين بالشكل (26)؛ لتفسير ما يحدث.
- أبيّن لهم أن ظاهرة تأثير دوبلر تحدث لكل من الموجات المستعرضة والطولية، مهما كان نوع كل منها.

◄ التعزيز:

- أؤكد للطلبة أن تردد الموجات يعتمد على تردد مصدرها، ولا يتغير هذا التردد سواء أكان المصدر ساكنًا أم متحركًا، وكذلك سرعة الموجة لا تتغير. لكنّ هناك ترددًا ظاهريًّا تستقبله أذن السامع نتيجة اقتراب الموجات بعضها من بعض، أو ابتعادها، أي أن سبب حدوث ظاهرة دوبلر هو تغير ظاهري (غير حقيقي) في الطول الموجي؛ ناتج عن حركة المصدر أو حركة السامع أحدهما بالنسبة إلى الآخر.

أفكِّرُ:

عند حركة مصدر الموجات وبقاء المراقب ساكنًا، أو أثناء حركة المراقب وبقاء المصدر ساكنًا، أو أثناء حركة المراقب والمصدر: أحدهما بالنسبة إلى الآخر، فإن الموجة الأولى تصدر بطولها الموجي الحقيقي، والموجة الثانية كذلك، لكن الحركة تجعل الموجة الثانية تلحق بالأولى أو تتأخر عنها، ونتيجة ذلك تتقارب الموجات أمام المصدر المتحرك، وتتباعد خلفه، ويكون هذا سببًا في ظهور ما يسمى ترددًا ظاهريًّا.

أوجِّه الطلبة إلى عمل فلم قصير باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح الاستقطاب، بنوعيه الأفقي والرأسي، مدعمًا بالشروحات الصوتية المناسبة والصور التي توضح تطبيقات عملية، مثل النظارة، ثم تنظيم عرضها أمام الزملاء/ الزميلات في الصف.

استخدام الصور والأشكال:

- أطلب إلى الطلبة قراءة الشكل (27)، والتمييز بين الشكلين (أ، ب)؛ لملاحظة التغير في المسافة بين كل موجتين على جهتي المصدر المتحرك (السيارة)، وأبيِّن لهم أنه نتيجة هذه الظاهرة يميز المراقب الذي يقترب مصدر الصوت منه أن الصوت له درجة عالية؛ أي تردده كبير. والمراقب الذي يبتعد عنه مصدر الصوت يميز أن الصوت له درجة منخفضة؛ أي تردده قليل.

(20 m/s)،

(360 m/s)،

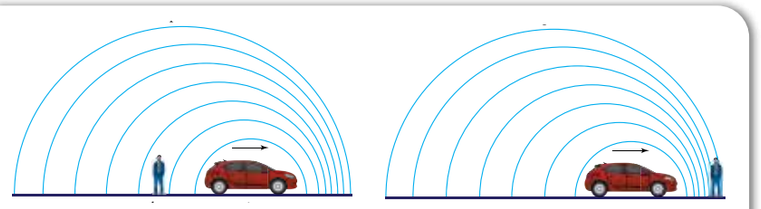
(320 m/s)،

لأطرحْ تساؤلًا: ما الذي سيحدثُ لوْ كانتِ السيارةُ تُصدرُ صوتَ المنبهِ وهيَ متحركةٌ بسرعةٍ نحوَ السامعِ؟ إنَّ منبهَ السيارةِ لمْ يتغيرْ وسيبقى يُصدرُ الصوتَ بالترددِ نفسهِ والطولِ الموجيِّ نفسهِ، وكذلك سرعةُ الصوتِ في الهواءِ لنْ تتغيرَ؛ لأنَّها تعتمدُ على خصائصِ الهواءِ. لكنْ بسببِ حركةِ السيارةِ فإنَّ موجاتِ الصوتِ في الجهةِ الأماميةِ سوفَ تتقاربُ منْ بعضِها، أيْ أنَّ الطولَ الموجيَّ للموجاتِ التي بينَ السيارةِ والسامعِ سوفَ يقصرُ، كما في الشكلِ (27/ أ). وستصلُ مزيدٌ منَ الموجاتِ إلى أذنِ السامعِ في الثانيةِ الواحدةِ، وهذا يدركهُ السامعُ على صورةِ زيادةٍ في درجةِ الصوتِ، أيْ أنَّ الترددَ الذي يصلُ إلى أذنِ السامعِ يكونُ أكبرَ منْ ترددِ مصدرِ الصوتِ (المنبهِ).

ويحدثُ عكسُ ذلك عندما تُصدرُ سيارةٌ صوتَ منبهٍ وهيَ تتحركُ مبتعدةً عنِ السامعِ، كما في الشكلِ (27/ ب)، حيثُ ستصلُ التضاغطاتُ إلى أذنِ السامعِ متباعدةً عنْ بعضِها، أيْ ستُحدثُ زيادةً في الطولِ الموجيِّ، فيصبحُ الترددُ المسموعُ أقلَّ منْ ترددِ المصدرِ، وهذا سوفَ يدركهُ السامعُ على صورةِ نقصانٍ في درجةِ صوتِ المنبهِ. تُعرَفُ هذهِ الظاهرةُ **بتأثيرِ دوبلر Doppler Effect**، وهوَ التغيُّرُ الظاهريُّ في ترددِ الموجةِ نتيجةَ وجودِ حركةٍ نسبيةٍ بينَ مصدرِ الصوتِ والسامعِ. وتأثيرُ دوبلر يحدثُ في الموجاتِ الأخرى؛ الميكانيكيةِ والكهرمغناطيسيةِ.

أفكِّرُ: في تأثيرِ دوبلر يحدثُ تغيُّرٌ ظاهريٌّ في ترددِ الموجةِ عندَ وصولِها إلى المراقبِ نتيجةَ حركةِ المصدرِ أوْ المراقبِ. كيفَ لهذا أنْ يحدثَ منْ دونِ أنْ يتغيرَ ترددُ المصدرِ؟

أعدُّ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (movie maker) يوضحُ الاستقطابَ، وأحرصُ على أنْ يشتملَ الفيلمُ على مفهومِ كلٍّ منَ: الاستقطابِ الأفقيِّ، والاستقطابِ الرأسيِّ، وعلى صورٍ متحركةٍ لأمثلةٍ توضيحيةٍ، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.



(ب) (أ)

الشكلُ (27): موجاتُ الصوتِ الصادرةُ عنْ منبهِ سيارةٍ متحركةٍ بسرعةٍ.

أخطاء شائعة

- قد يفسر بعض الطلبة ظاهرة دوبلر خطأً؛ أنّها ناتجة عن تغير سرعة الصوت في الهواء؛ فالسيارة التي تتحرك إلى الأمام بسرعة (20 m/s)، وتطلق منبهها، تصبح سرعة الصوت أمامها (360 m/s)، وسرعة الصوت خلفها (320 m/s)، ولذلك تتغير درجة الصوت. أخبر الطلبة بأنّ سرعة الصوت لا تتغير بتغير سرعة المصدر، وأنّ سبب ظاهرة دوبلر هو تغيّر التردد الظاهري للصوت والذي ينتج عن تقارب موجات الصوت أو تباعدها نتيجة حركة مصدرها.

تطبيقاتٌ على تأثيرِ دوبلر Doppler Effect Applications

- **الخفاشُ**: يعتمدُ الخفاشُ على الموجاتِ فوقَ الصوتيةِ في إيجادِ طريقِهِ أوْ تعقُّبِ فريستِهِ؛ فهوَ يرسلُ موجاتٍ فوقَ صوتيةٍ تصلُ إلى جسمِ الفريسةِ ثمَّ ترتدُّ عنْها، فيحددُ الخفاشُ موقعَ الفريسةِ، ثمَّ يحددُ سرعتَها منْ فرقِ الترددِ بينَ الموجتينِ المرسلةِ والمنعكسةِ، كما يوضحُ الشكلُ (28).

الشكلُ (28): خفاشٌ يطاردُ فريستَهُ.

- **الرادارُ**: على غرارِ الطريقةِ التي وهبَها اللّهُ تعالى للخفاشِ، ابتكرَ الإنسانُ تقنيةَ الرادارِ، الذي يرسلُ موجاتٍ كهرمغناطيسيةً قصيرةً (ميكرويةً) ثمَّ تنعكسُ عنْ جسمِ الهدفِ الذي قدْ يكونُ طائرةً في الجوِّ أوْ سيارةً على الطريقِ، وبمعرفةِ الفرقِ بينَ ترددِ الموجاتِ المرسلةِ، وترددِ الموجاتِ المرتدةِ عنِ الهدفِ يجري حسابُ سرعةِ الهدفِ المتحركِ.

- **التصويرُ فوقَ الصوتيِّ**: حيثُ تُستخدَمُ موجاتٌ فوقَ صوتيةٍ في تصويرِ أماكنَ يصعبُ الوصولُ إليْها مثلَ قيعانِ البحارِ، وكذلكَ في الطبِّ لقياسِ سرعةِ الدمِ في الأوعيةِ الدمويةِ داخلَ جسمِ الإنسانِ.

- **دراسة تطورِ الكونِ**: لاحظَ علماءُ الفلكِ أنَّ كثيرًا منَ المجراتِ يميلُ طيفُها الضوئيُّ القادمُ إلى الأرضِ نحوَ اللونِ الأحمرِ؛ ما يعني أنَّ ترددَ الضوءِ الذي يصلُ منْها إلى الأرضِ أقلُّ منْ الترددِ الذي ترسلهُ، ولنْ يحدثَ هذا إلا عندَما يكونُ مصدرُ الضوءِ متحركًا بسرعةٍ كبيرةٍ مبتعدًا عنِ الأرضِ، حسبَ تأثيرِ دوبلر. وبذلكَ؛ افترضَ العلماءُ أنَّ مجراتِ الكونِ ما زالتْ تتحركُ مبتعدةً عنْ بعضِها منذُ بدءِ الكونِ، وتُعرَفُ هذهِ الفرضيةُ بتمددِ الكونِ.

أعدُّ فيلمًا قصيرًا باستخدامِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (movie maker) يبيِّنُ تأثيرَ دوبلر، وأحرصُ على أنْ يشتملَ الفيلمُ على توضيحِ التغيرِ الذي يحدثُ لدرجةِ الصوتِ في حالِ كانَ مصدرُ الصوتِ يتحركُ ابتعادًا عنِ السامعِ أو اقترابًا منهُ، وكذلكَ في حالِ كانَ مصدرُ الصوتِ ساكنًا والمراقبُ (السامعُ) يتحركُ ابتعادًا أو اقترابًا منْ مصدرِ الصوتِ، ويشتملُ الفيلمُ على صورٍ متحركةٍ لأمثلةٍ توضيحيةٍ، ثمَّ أشاركهُ زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

إضاءة للمعلم/للمعلمة

في حال استخدام ظاهرة تأثير دوبلر في التصوير، لا بد من العلم أن موجات الأشعة المستخدمة المنعكسة عن الجسم المراد تصويره لا تعمل على تكوين صورة أو خيال للجسم، سواء كانت موجات فوق صوتية أم موجات راديو. لكن الذي يحدث هو أن ترسل هذه الموجات المنعكسة إلى جهاز حاسوب خاص، يعمل على تحويلها إلى بيانات؛ اعتمادًا على التغير في التردد، ثم تجري معالجة البيانات؛ لإنتاج الصورة المطلوبة لهذا الجسم.

المناقشة:

- أبحث في الإنترنت عن تطبيقات أخرى على ظاهرة تأثير دوبلر، وأقدِّمها للطلبة في أثناء عرض تلك الموجودة في كتاب الطالب، ثم أنظِّم نقاشًا بين الطلبة حول كل من هذه التطبيقات؛ بحيث تطرح أفكارًا حول فوائد كل تطبيق أو آثاره الجانبية إن وجدت.
- أكلِّف الطلبة بالبحث عن تطبيقات أخرى، وتنظيمها حسب المجالات المختلفة، مثل: الطب، أو الزراعة، أو حماية الغابات، وغير ذلك.

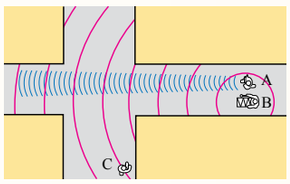
أوجِّه الطلبة إلى عمل فلم قصير باستخدام برنامج صانعِ الأفلام (movie maker) يوضح تأثير دوبلر، مدعمًا بالشروحات الصوتية المناسبة ومقاطع الفيديو المصحوبة بالصوت، التي توضح أثر التغير في التردد في الصوت المسموع، مثل سيارة الإسعاف حين اقترابها وابتعادها، ثم تنظيم عرضها امام الزملاء/ الزميلات في الصف.

معلومة إضافية

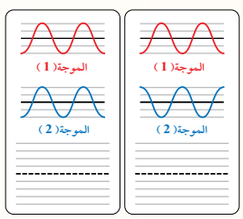
يستخدم الرادار في رصد الأحوال الجوية؛ حيث يرسل حزمة واسعة من موجات راديو بتردد محدد، فتسقط هذه الموجات على الغيوم والعواصف والأعاصير، ثم يرتد جزء منها فيلتقطه الرادار، وباستخدام حاسوب تجري مقارنة اختلاف التردد بين الموجات المرسلة والمنعكسة؛ لتحديد اتجاه حركة الغيوم والأعاصير وقياس سرعتها، ثم رسم خرائط خاصة بالنشرات الجوية.

مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أذكرُ خصائصَ الموجاتِ التي ترتبطُ بكثيرٍ منَ الظواهرِ الطبيعيةِ.
2. أوضحُ المقصودَ بكلٍّ منْ: تراكبِ الموجاتِ واستقطابِها.
3. **أقارنُ** بينَ عمليتَيْ انعكاسِ الموجاتِ المستعرضةِ التي تنتشرُ على سطحِ الماءِ، وانكسارِها.
4. أيٌّ منَ العملياتِ الآتيةِ تحدثُ في الموجاتِ المستعرضةِ ولا تحدثُ في الموجاتِ الطوليةِ: التداخلُ، الحيودُ، الاستقطابُ؟
5. **أفسّرُ:** بينَما كنتُ أقفُ في الموقعِ (C) بالقربِ منْ تقاطعِ شارعيْنِ، كما في الشكلِ المجاورِ، سمعتُ صوتَ فرقةٍ موسيقيةٍ، العازفُ (A) يعزفُ القِربةَ التي تُصدرُ صوتًا حادًّا طولهُ الموجيُّ قصيرٌ (اللونُ الأزرقُ)، والعازفُ (B) يقرعُ الطبلَ الذي يُصدرُ صوتًا غليظًا طولهُ الموجيُّ كبيرٌ (اللونُ الأحمرُ). أيَّ الصوتيْنِ أسمعُ؟ لماذا؟



6. أبينُ أهميةَ استخدامِ السائقِ للنظاراتِ الشمسيةِ التي تعملُ على استقطابِ الضوءِ بشكلٍ رأسيٍّ؛ خاصةً عندَما يقودُ سيارتَهُ في النهارِ، ويتعرضُ إلى وهجٍ كبيرٍ ناتجٍ عنِ انعكاسِ ضوءِ الشمسِ عنِ السطوحِ الأفقيةِ.
7. **تفكيرٌ ناقدٌ:** وضعَ العلماءُ نظرياتٍ عدّةً تصفُ تطورَ الكونِ، منْها نظريةُ الانفجارِ العظيمِ التي تفترضُ أنَّ المجراتِ ما زالتْ تتحركُ متباعدةً عنْ بعضِها بسرعةٍ كبيرةٍ. معتمدًا على معرفتي بمكوناتِ الطيفِ المرئيِّ وتردداتِها، ومعرفتي بتأثيرِ دوبلر في الحركةِ الموجيةِ. أصفُ ما يحدثُ للضوءِ القادمِ إلى الأرضِ منْ مجرةٍ تتحركُ مبتعدةً عنِ الأرضِ.
8. أكملُ الشكلَ المجاورَ برسمِ الموجةِ الناتجةِ عنْ تراكبِ الموجتيْنِ (1,2) في كلٍّ منَ الحالتيْنِ (أ، ب)، ثمَّ أكتبُ تحتَ كلِّ حالةٍ إنْ كانَ التراكبُ بنّاءً أوْ هدّامًا.

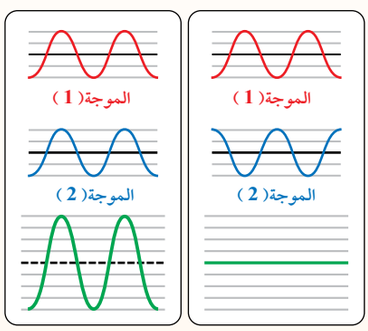


الحالةُ (أ) الحالةُ (ب)

3 التقويم

مراجعة الدرس

1. الانعكاس، الانكسار، التداخل، الحيود، الاستقطاب.
2. تراكب الموجات هو التقاء موجتين أو أكثر عند نقطة بحيث إن الإزاحة الكلية التي تحدث لجزيئات الوسط تساوي ناتج الجمع المتجهيّ للإزاحات الناتجة عن التقاء الموجات عند النقطة نفسها. أما استقطاب الموجات فهو عملية انتقاء موجة مستعرضة تحدث اهتزازًا في جزيئات الوسط في بعد واحد فقط، من بين حزمة موجات يكون الاهتزاز فيها باتجاهات عدّة، جميعها متعامدة مع اتجاه انتشار الموجات.
3. عند انعكاس الموجات المستعرضة التي تنتشر على سطح الماء فإنها تغير اتجاهها وتحافظ على طولها الموجي وترددها وسرعتها دون تغيير، بينما عند انكسارها فإنها تغير من اتجاهها وطولها الموجي وسرعتها، وتحافظ على ترددها ثابتًا.
4. الاستقطاب فقط.
5. أسمع صوت العازف (B) الذي يقرع الطبل أولًا؛ لأن الموجات الصادرة عنه طويلة، ويحدث لها حيود عن حواف المباني عند تقاطع الشارعين، فتغير اتجاهها وتصلني، بينما الموجات القصيرة لا تحيد بشكل كبير.
6. معظم الضوء المنعكس عن سطح الأرض والمسطحات المائية يكون مستقطبًا في الاتجاه الأفقي والجزء الأقل منه يكون غير مستقطب. النظارات الشمسية التي تستقطب الضوء رأسيًّا تسمح فقط للضوء المستقطب عموديًّا بالمرور من خلالها ليصل إلى أعيننا وبذلك نرى الأشياء؛ بينما تمنع وصول الضوء الساطع المستقطب افقيًّا إلى أعيننا فتحميها ونرى الأشياء بشكل مريح.
7. الضوء القادم إلينا من مجرة تتحرك مبتعدة عن الأرض، تكون موجاته متباعدة؛ فيزداد الطول الموجي له، لذلك نرى المجرة بألوان تميل إلى اللون الأحمر.
8. الشكل المجاور:



الحالةُ (أ) الحالةُ (ب)

الإثراء والتوسع

تطبيقاتُ تأثيرِ دوبلر في الطبِّ

الهدف:

- تعرُّف أهمية استخدام الموجات في الطب؛ للتقليل من الجراحة.
- استقصاء عملية قياس سرعة الدم في الأوعية الدموية.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجّه الطلبة إلى دراسة فقرة (التوسّع والإثراء)، ثم أطرح عليهم أسئلة تتطلّب إجاباتها معرفة بعض خصائص الموجات فوق الصوتية، واستخداماتها.
- أناقش الطلبة في العوامل التي تحدد سرعة تدفق الدم في كل من: الشرايين والأوردة.
- أوجّه الطلبة إلى دراسة الشكل، ثم أكلِّف بعضهم بتوضيح الآلية التي تقاس بها سرعة الدم في الأوعية؛ باستخدام تأثير دوبلر.
- أسأل الطلبة عن أهمية معرفة الطبيب بمعادلة برنولي في تحديد وجود مشكلة ما في الأوعية الدموية.

أبحث

- أوزّع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، وأطلب إليهم التعاون في تنفيذ المهمات المطلوبة.
- أكلفهم الطلبة بالبحث مصادر المعرفة الموثوقة، ومنها الإنترنت عن إجابات للأسئلة الواردة في الفقرة.

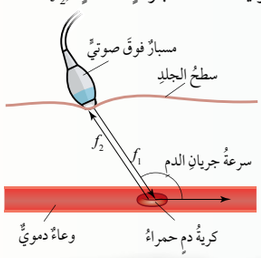
الإثراءُ والتوسعُ

تطبيقاتُ تأثيرِ دوبلر في الطبِّ
Applications of Doppler Effect in Medicine

يمتازُ الطبُّ الحديثُ عنِ الماضي بقلةِ اعتمادهِ على العملياتِ الجراحيةِ؛ فكثيرٌ منَ الحالاتِ المرضيةِ الصعبةِ أصبحتْ تعالَجُ باستخدامِ تقنياتٍ حديثةٍ، ويُعدُّ التصويرُ الصوتيُّ واحدًا منَ التقنياتِ غيرِ الجراحيةِ التي تُستخدَمُ في الطبِّ الحديثِ، وفيهِ تُستخدَمُ الموجاتُ فوقَ الصوتيةِ لتصويرِ ما في داخلِ الجسمِ. والموجاتُ فوقَ الصوتيةِ هيَ موجاتٌ صوتيةٌ يزيدُ ترددُها على الحدِّ الأعلى لحاسةِ السمعِ عندَ الإنسانِ (20 kHz)، ولَها قدرةٌ على اختراقِ أنسجةِ الجسمِ اللينةِ (الجلدِ والعضلاتِ والدهونِ).

منْ بينِ الاستخداماتِ الطبيةِ الكثيرةِ للموجاتِ فوقَ الصوتيةِ تقنيةُ قياسِ سرعةِ الدمِ، بهدفِ تتبعِ الدورةِ الدمويةِ داخلَ أنسجةِ الجسمِ المختلفةِ، للبحثِ عنِ الانسدادِ والتضيُّقِ في الأوعيةِ الدمويةِ. حيثُ يتدفَّقُ الدمُ في الأوردةِ بسرعةٍ متوسطةٍ ثابتةٍ تقريبًا، بينَما تتأثرُ سرعتهُ في الشرايينِ بضرباتِ القلبِ، وتكونُ هذهِ السرعاتُ بالنسبةِ إلى الإنسانِ السليمِ معلومةً لدى الأطباءِ، وعندَما يحدثُ تغيرٌ ملحوظٌ في سرعةِ الدمِ، فإنَّ هذا يعني وجودَ تضيُّقٍ أوِ انسدادٍ جزئيٍّ في الوريدِ أوِ الشريانِ.

يبينُ الشكلُ المجاورُ طريقةَ استخدامِ الموجاتِ فوقَ الصوتيةِ لقياسِ سرعةِ الدمِ، حيثُ يُستخدمُ مسبارٌ خاصٌّ لإرسالِ موجاتٍ فوقَ صوتيةٍ ترددُها معلومٌ (f_1)، ثمَّ يلتقطُ الموجةَ فوقَ الصوتيةَ المنعكسةَ بترددٍ مختلفٍ (f_2)، علمًا أنَّ هذهِ الموجةَ تنعكسُ عنْ كرياتِ الدمِ الحمراءِ داخلَ الوعاءِ الدمويِّ.



وسببُ تغيرِ التردد هوَ تأثيرُ دوبلر نتيجةَ الحركةِ النسبيةِ بينَ كريةِ الدمِ والمسبارِ. ويعملُ جهازُ حاسوبٍ خاصٍّ بحسابِ سرعةِ الدمِ بالاعتمادِ على معرفةِ الفرقِ وتحديدهِ بينَ ترددَيْ الموجتيْنِ، وسرعةِ الموجاتِ فوقَ الصوتيةِ داخلَ أنسجةِ الجسمِ اللينةِ التي تساوي (1500 m/s).ثمَّ يرى الطبيبُ إنْ كانتْ سرعةُ تدفقِ الدمِ في الوعاءِ الدمويِّ اعتياديةً أمْ لا.

أبحث في كتبِ الفيزياءِ، أوْ في شبكةِ الإنترنتِ عنْ إجاباتِ الأسئلةِ الآتيةِ:

- أيُّ الحيواناتِ تسمعُ موجاتٍ فوقَ صوتيةٍ؟ وأيُّها تسمعُ موجاتٍ تحتَ سمعيةٍ؟
- هلْ يمكنُ استخدامُ الموجاتِ فوقَ الصوتيةِ لقياسِ سرعةِ جريانِ الدمِ في الأوعيةِ الدمويةِ داخلَ الدماغِ؟ أعلّلُ إجابتي.
- عندَ استخدامِ المسبارِ فوقَ الصوتيِّ لقياسِ سرعةِ الدمِ في الأوعيةِ الدمويةِ، ولكَيْ تكونَ النتائجُ صحيحةً، فإنَّهُ يجبُ أنْ يبقى المسبارُ ملاصقًا لجلدِ الإنسانِ ولا يبتعدَ عنهُ. ما سببُ ذلكَ؟
- أحسبُ الطولَ الموجيَّ لموجاتٍ فوقَ صوتيةٍ ترددُها (24 MHz)، عندَما تنتقلُ في الهواءِ، ثمَّ أحسبُ طولَها الموجيَّ عندَما تنتقلُ داخلَ أنسجةِ الجسمِ اللينةِ.

الإجابات:

- بعض الحيوانات التي تتميز بسماع ترددات صوتية أعلى من تلك التي يسمعها الإنسان هي القط والكلب، وبعض الحيوانات التي تسمع ترددات أقل من الإنسان مثل الفيل والحمام والسلحفاة.
- إن ذلك ممكن، لكن النتائج لا تكون دقيقة؛ بسبب انخفاض شدة الموجات؛ لأن عظام الجمجمة تمتص جزءًا منها، إضافة إلى حدوث انعكاسات بين الأنسجة المختلفة.
- يجب أن يكون المسبار ملاصقًا للجلد؛ لأنه لو ابتعد لانتقلت الموجات خلال الهواء، واختلفت سرعتها؛ ما يعطي نتائج غير صحيحة.
- الطول الموجي في الهواء: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{24 \times 10^6} = 1.4 \times 10^{-5}$ m
- الطول الموجي داخل أنسجة الجسم: $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{24 \times 10^6} = 6.25 \times 10^{-5}$ m

- أطلب إلى كل مجموعة عرض نتائجها أمام المجموعات الأخرى.
- أنظِّم نقاشًا بين أفراد المجموعات؛ للتوصّل إلى آراء موحّدة عن الموضوع.

1. أضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

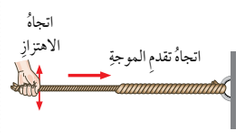
1. المقصودُ بالتخلخلِ في الحركةِ الموجيةِ، هوَ منطقةٌ:
   أ . منخفضةُ الضغطِ تنشأُ في الوسطِ عندَ مرورِ موجاتٍ مستعرضةٍ خلالَهُ.
   ب . مرتفعةُ الضغطِ تنشأُ في الوسطِ عندَ مرورِ موجاتٍ مستعرضةٍ خلالَهُ.
   جـ . منخفضةُ الضغطِ تنشأُ في الوسطِ عندَ مرورِ موجاتٍ طوليةٍ خلالَهُ.
   د . مرتفعةُ الضغطِ تنشأُ في الوسطِ عندَ مرورِ موجاتٍ طوليةٍ خلالَهُ.

2. حركةُ جزيءِ الهواءِ عندَ مرورِ الصوتِ خلالَهُ حركةٌ:
   أ . اهتزازيةٌ باتجاهٍ يتعامدُ معَ اتجاهِ انتشارِ الموجةِ.
   ب . دائريةٌ في مستوى اتجاهِ انتشارِ الموجةِ.
   جـ . انتقاليةٌ ينتقلُ فيها باتجاهِ انتشارِ الموجةِ.
   د . اهتزازيةٌ باتجاهٍ يوازي اتجاهَ انتشارِ الموجةِ.

3. متى تزدادُ سرعةُ الصوتِ في الهواءِ؟
   أ . بزيادةِ سعةِ الموجةِ الصوتيةِ.
   ب . بزيادةِ طاقةِ مصدرِ الصوتِ.
   جـ . بانخفاضِ درجةِ حرارةِ الهواءِ.
   د . بارتفاعِ درجةِ حرارةِ الهواءِ.

4. تنتقلُ موجتانِ مستعرضتانِ في حبلٍ وتلتقيانِ عندَ نقطةٍ في لحظةٍ ما، فإنَّ الظاهرةَ التي تحدثُ هيَ:
   أ . تراكبُ الموجتيْنِ معًا، وحصولُ إزاحةٍ واحدةٍ.
   ب . تلاشٍ للموجتين، وانعدامُ الإزاحةِ.
   جـ . انعكاسُ الموجةِ الأكبرِ سعةً عن الموجةِ الأصغرِ سعةً.
   د . انعكاسُ الموجةِ الأصغرِ سعةً عن الموجةِ الأكبرِ سعةً.

5. التردّدُ الظاهريُّ لصوتِ منبهِ سيارةِ إسعافٍ متحركةٍ بسرعةٍ إلى الأمامِ، يكونُ كما يأتي:
   أ . أمامَها أصغرَ منْ ترددِ المصدرِ، وخلفَها أكبرَ منْ ترددِ المصدرِ.
   ب . أمامَها أكبرَ منْ ترددِ المصدرِ، وخلفَها أصغرَ منْ ترددِ المصدرِ.
   جـ . مساويًا لترددِ المصدرِ أمامَ السيارةِ وخلفَها.
   د . أكبرَ منْ ترددِ المصدرِ أمامَ السيارةِ وخلفَها.



2. **تفكيرٌ ناقدٌ: عندَ توصيلِ حبليْنِ مختلفيْنِ في مساحةِ المقطعِ والمتانةِ، كما يبينُ الشكلُ المجاورُ، ثمَّ إرسالِ نبضةٍ في الحبلِ الرفيعِ. أبيِّنُ ما يحدثُ لها عندَما تصلُ إلى نقطةِ التقاءِ الحبليْنِ، مفسرًا إجابتي.**

1

1. جـ

2. د

3. د

4. أ

5. ب

2 يحدث لها انكسار مع المحافظة على الاتجاه، ويكون الانكسار على هيئة تغيّر في الطول الموجي والسرعة والسعة، مع المحافظة على ترددها ثابتًا. لأن الحبلين المختلفين يمثلان وسطين مختلفين في خصائصهما

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

❋ **التفكير: الشك المنهجي أو الهادف، وتفحص المقترحات.**

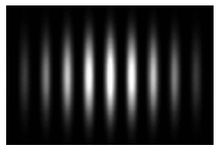
أوضّح للطلبة أنّ الشك المنهجي وتفحص المقترحات أحد المفاهيم العابرة التي تفيد الباحث في فحص المعلومة؛ لقبولها أو رفضها، فعند اطلاع الطلبة على إجابة السؤال الثاني، ربما يراودهم الشك في صحتها، وللتأكد من ذلك، يمكنهم إجراء نشاط عملي؛ بربط حبلين مختلفين مع بعضهما وإرسال نبضة تنتقل من الخفيف إلى الثقيل، ثم رصد النتيجة ومشاهدتها، وبذلك فهم يتبعون المنهج العلمي في التحقق التجريبي من الفرضية.

3. **أحسبُ: موجتانِ كهرمغناطيسيتانِ تنتقلانِ معًا في الهواءِ؛ الطولُ الموجيُّ للأولى ($\lambda_1 = 8.0 \times 10^{-4}$ m)، والطولُ الموجيُّ للثانيةِ ($\lambda_2 = 2.4 \times 10^{-2}$ m). أجيبُ عما يأتي:**

أ . أحسبُ ترددَ كلِّ موجةٍ، علمًا أنَّ سرعتَهُما في الهواءِ (3.0×10^8 m/s).

ب . ما الذي يحدثُ لكلٍّ منَ: الطولِ الموجيِّ والترددِ عندَ انتقالِ الموجتيْنِ في الماءِ؟ علمًا أنَّ سرعةَ الموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ في الماءِ أقلُّ منْها في الهواءِ.

جـ. أحددُ موقعَ كلٍّ منهُما في الطيفِ الكهرمغناطيسيِّ.



4. **وُضِعَ حاجزٌ معتمٌ فيهِ شقّانِ رفيعانِ أمامَ مصدرٍ ضوئيٍّ، ثمَّ وُضِعَتْ شاشةٌ بعدَ الحاجزِ، فظهرتْ على الشاشةِ خطوطٌ مضيئةٌ، كما في الشكلِ. أجيبُ عما يأتي:**

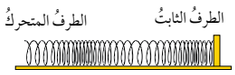
أ . ما اسمُ هذهِ الظاهرةِ؟

ب . ما الذي تمثلهُ الخطوطُ المضيئةُ؟

جـ . ما الذي تمثلهُ الخطوطُ المظلمةُ؟

5. **تتحركُ سيارةُ إسعافٍ بسرعةٍ نحوَ اليمينِ وهيَ تصدرُ صوتَ منبهٍ، متجهةً نحوَ فتاةٍ تقفُ في الموقعِ (A)، وتتجاوزُ عنْ شابٍّ يسيرُ في الموقعِ (B)، كما في الشكلِ.**

أصفُ درجةَ الصوتِ الذي يسمعهُ كلٌّ منَ الفتاةِ والشابِّ وسائقِ سيارةِ الإسعافِ. أفسرُ إجابتي، ذاكرًا الخصيصةَ الموجيةَ التي اعتمدتُ عليْها في إجابتي.



6. **أذكرُ استخدامًا تكنولوجيًّا واحدًا يعتمدُ على تأثيرِ دوبلر لكلٍّ منَ: الموجاتِ فوقَ الصوتيةِ والموجاتِ الكهرمغناطيسيةِ.**

7. **أحلّلُ: الشكلُ المجاورُ يمثلُ موجاتٍ طوليةً تنتقلُ في نابضٍ. أبينُ على الرسمِ كلًّا منْ: اتجاهِ انتشارِ الموجاتِ، اتجاهِ إزاحةِ حلقاتِ النابضِ، الطولِ الموجيِّ، اتجاهِ انتقالِ الطاقةِ.**

3 أ . التردد:

$$f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^8}{8 \times 10^{-4}} = 3.75 \times 10^{11}\ \text{Hz}$$

$$f_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{3 \times 10^8}{2.4 \times 10^{-2}} = 1.25 \times 10^{10}\ \text{Hz}$$

ب. عند انتقال الموجتين في الماء، فإن الطول الموجي لكل منهما يقل، في حين يبقى التردد ثابتًا.

جـ . الموجة الأولى تحت حمراء، والموجة الثانية ميكروية (ميكرويف).

4 أ . ظاهرة التداخل.

ب. الخطوط المضيئة تمثل تداخلًا بنّاءً ناتجًا عن التقاء قمة مع قمة، أو قاع مع قاع.

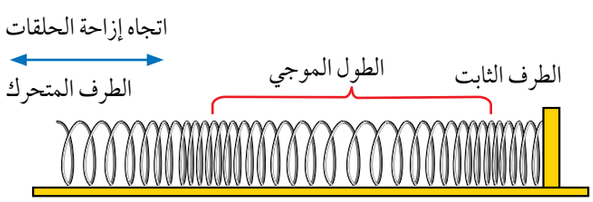
جـ. الخطوط المظلمة تمثل تداخلًا هدامًا ناتجًا عن التقاء قمة مع قاع.

5 تسمع الفتاة في الموقع (A) درجة صوت حادة ناتجة عن تردد ظاهري أكبر من تردد المصدر؛ بسبب تأثير دوبلر لمصدر صوت مقترب، ويسمع السائق درجة صوت المنبه الحقيقية؛ لأنه لا توجد حركة نسبية بين السائق والسيارة، ويسمع الشاب في الموقع (B) درجة صوت غليظة ناتجة عن تردد أقل من تردد المصدر؛ بسبب تأثير دوبلر لمصدر صوت مبتعد.

6 **الموجات فوق الصوتية**: تصوير الأعضاء الداخلية لجسم الإنسان.

الموجات الكهرمغناطيسية: تصوير محتويات الحقائب دون فتحها.

7 البيانات على الشكل:



اتجاه انتشار الموجة و اتجاه نقل الطاقة يكون أفقيًّا لجهة اليمين أو جهة اليسار.

ملحق إجابات

كتاب الأنشطة والتجارب العملية

القوة المركزية في الحركة الدائرية المنتظمة

الهدف:

- **استنتاج** العلاقة بين (Fc, v, r) في الحركة الدائرية المنتظمة.
- **استقصاء** العلاقة بين مقدار القوة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة ومقدار سرعته المماسية عند ثبات نصف قطر مساره الدائري.
- **استقصاء** العلاقة بين نصف قطر المسار الدائري ومقدار سرعته المماسية عند ثبات مقدار القوة المركزية المؤثرة في جسم يتحرك حركة دائرية منتظمة.
- **إصدار حكم** على صحّة العلاقة النظرية بين (Fc, v, r).

زمن التنفيذ: 35 دقيقة

إرشادات السلامة:

تدوير الكرة في مستوى أفقي فوق الرأس.

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

المهارات العلمية:

الملاحظة، القياس، المقارنة، الاستنتاج، تحليل البيانات وتفسيرها، التصميم، إصدار الأحكام.

الإجراءات والتوجيهات:

أطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية.

أنبّه الطلبة إلى وجود مشبك ورق أسفل الأنبوب البلاستيكيِّ، ليساعد على عدم تغير نصف قطر المسار الدائريِّ، وعدمِ تغيُّر مقدار القوة المركزية في أثناءِ الحركة الدائرية للكرة؛ عنْ طريق المحافظة على موقع المشبك أسفل الأنبوب دون أن يلامسه.

النتائج المتوقعة:

$m_{ball} = 20\ g = 0.02\ kg$ $\qquad$ $m_{hanger} = 10\ g = 0.01\ kg$

$r = 30\ cm = 0.30\ m$ $\qquad$ $n = 10$

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/s²)
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)

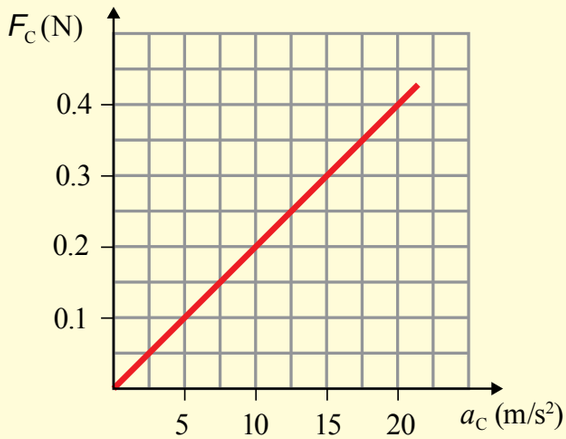
رقم المحاولة	مقدار القوة المركزية F_C (N)	الزمن الكلي t (s)	نصف القطر r (m)	سرعة الكرة المماسية v (m/s)	التسارع المركزي a_C (m/s²)
1	0.3	8.96	0.3	2.10	14.7
2	0.3	10.18	0.4	2.47	15.25
3	0.3	11.42	0.5	2.75	15.13

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 ثابتًا.

6 العلاقة طردية، حيث تقع النقاط على خط مستقيم تقريبًا، وأستنتج أن مقدار القوة المركزية المؤثرة في الكرة يتناسب طرديًّا مع مقدار تسارعها المركزي.

7 ميل المنحنى البياني يساوي مقدارًا ثابتًا، وبتحليل وحدات قياس الميل أجد أنها تساوي (kg)، وبمقارنتها بكتلة كرة المطاط أستنتج أن ميل منحنى (القوة المركزية – التسارع المركزي) يساوي كتلة كرة المطاط.

8 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 تقريبًا مع القيم التجريبية الموجودة فيهما. وإذا كان هنالك أي اختلافات فيعود سبب ذلك إلى وجود أخطاء في القياسات وعدم دقتها.

9 مصادر الخطأ المحتملة في التجربة: قياس زمن دوران الكرة، عدم تحريك الكرة في مسار دائري أفقي تمامًا، ملامسة مشبك الورق أسفل الأنبوب، خطأ في إجراء الحسابات، وخطأ ناتج عن التقريب. القوة المركزية المؤثرة في الكرة أقل قليلًا من وزن حامل الأثقال والأثقال التي عليه؛ لأن الخيط الممتد بين الكرة والطرف العلوي للأنبوب البلاستيكي لا يكون أفقيًّا تمامًا، ....

1 السؤال الأول

أ .

$$r = 6.85 \times 10^5 + 6.38 \times 10^6 = 7.065 \times 10^6 \text{ m}$$

$$F_{EM} = \frac{Gm_E m_M}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24} \times 1123}{(7.065 \times 10^6)^2}$$

$$= \frac{4.48 \times 10^{17}}{4.99 \times 10^{13}}$$

$$= 8.98 \times 10^3 \text{ N}$$

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.

$$F_C = \frac{mv^2}{r}$$

$$v^2 = \frac{rF_C}{m} = \frac{7.065 \times 10^6 \times 8.98 \times 10^3}{1123} = 5.65 \times 10^7$$

$$v = 7.52 \times 10^3 \text{ m/s}$$

2 السؤال الثاني

$$r_1 + r_2 = 3.84 \times 10^8$$

$$r_2 = 3.84 \times 10^8 - r_1$$

$$g_E = g_M$$

$$\frac{Gm_E}{r_1^2} = \frac{Gm_M}{r_2^2}$$

$$\frac{5.98 \times 10^{24}}{r_1^2} = \frac{7.35 \times 10^{22}}{(3.84 \times 10^8 - r_1)^2}$$

$$\frac{2.45 \times 10^{12}}{r_1} = \frac{2.71 \times 10^{11}}{(3.84 \times 10^8 - r_1)}$$

$$r_1 = 3.457 \times 10^8 \text{ m}$$

3 السؤال الثالث

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 – مثلًا – يحافظ جسم الراكب على 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 السؤال الرابع

أ. تكون في اتجاه الرمز (E)؛ حيث تؤثر القوة المركزية دائمًا 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 ناتجًا عن تغير اتجاه السرعة المماسية فقط، في حين يبقى مقدارها ثابتًا؛ فالتسارع كمية متجهة، ويكتسب الجسم تسارعًا عند تغير مقدار السرعة أو اتجاهها أو كليهما.

5 السؤال الخامس

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.

$$\sum F = F_{applied} - f_k = 160 - 0.42 \times 240 = 100.8 \text{ N}$$

$$a = \frac{\sum F}{m} = \frac{100.8}{24} = 4.2 \text{ m/s}^2$$

قياس كل من سرعة تدفق المائع عمليًّا ومعدل تدفقه

الهدف:

استخدام مقياس فنتوري لقياس سرعة المائع ومعدل تدفقه عمليًّا.

زمن التنفيذ: 35 دقيقة

إرشادات السلامةِ:

أحذّر الطلبة من سكب السوائل على الأرضية؛ حتى لا تصبح زلقة.

المهارات العلمية:

القياس، المقارنة، التجريب، التحليل، الاستنتاج.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوجِّه الطلبة إلى الاستعانة بدليل التجارب والأنشطة، أوضِّح للطلبة طريقة معايرة الورنية قبل استخدامها الورنية وطريقة استخدامها بطريقة صحيحة أثناء قياس قطر الأنابيب، وأنبِّه الطلبة إلى توخي الدقة في قياس فرق ارتفاع الماء في الماصتين، والتأكد من جريان الماء في الأنبوب بشكل انسيابي.

النتائج المتوقعة:

يمكن الحصول على نتائج متقاربة، ولكنها قد تختلف من مجموعة لأخرى؛ لأسباب عدة:

- تسرب الهواء إلى أنبوب الجريان؛ لذا يجب التأكد عدم وجود ثقوب في الأنبوب.
- عدم الدقة في أخذ القياسات.
- عدم معايرة الورنية.
- أخطاء في إجراء الحسابات.
- تدفق الماء بشكل غير منتظم من الصنبور.

التحليل والاستنتاج:

1. نقيس قطر كل من الأنبوبين d ونحسب نصف قطر كل منهما $r = \frac{d}{2}$، ولحساب مساحة مقطع كل من الأنبوبين (A_1، A_2)؛ نطبق العلاقة $A = \pi r^2$
2. بما أن مساحة مقطع الأنبوب الضيق (2) أقل منها في الأنبوب الواسع (1)، فإن سرعة الماء في الأنبوب (2) تكون أكبر حسب معادلة الاستمرارية، وعليه؛ فإن ضغط الماء فيه يكون أقل حسب معادلة برنولي وارتفاع الماء في الماصة المتصلة به يكون أقل منه في الماصة المتصلة بالأنبوب (1).
3. أجد فرق الضغط ΔP باستخدام العلاقة: $\Delta P = \rho_f gh$.
   أجد سرعة تدفق الماء v_1 باستخدام العلاقة: $v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2\,\Delta P}{\rho_f (A_1^2 - A_2^2)}}$.
4. أستخدم العلاقة: $\frac{V}{\Delta t} = A_1 v_1$؛ لإيجاد معدل تدفق الماء.
5. حسب مبدأ حفظ الكتلة فإن معدل تدفق الماء في الأنبوبين يكون متساويًا.

السؤال الأول:

أ. بما أن قوة الطفو أكبر من وزن البالون، فإن البالون يرتفع إلى أعلى بتسارع حتى يصبح مجموع مقاومة الهواء ووزن البالون مساويًا لقوة الطفو(القوة المحصلة تساوي صفرًا)؛ عندئذٍ يصل البالون إلى سرعته الحدّية.

ب. باستمرار ارتفاع البالون؛ فإن كثافة الهواء المحيطة به تقل، ومن ثَم تقل قوة الطفو؛ حتى تصبح السرعة الحدية للبالون صفرًا ووزن البالون مساويًا لقوة الطفو، عندئذٍ يتوقف البالون عن الارتفاع.

السؤال الثاني:

1) ب- يقتربان من بعضهما.

2) عند النفخ بين البالونين تزداد سرعة الهواء بينهما؛ فيقل ضغطه حسب معادلة برنولي، مما يجعل الضغط حول البالونين أكبر منه بينهما، ونتيجة لفرق الضغط هذا يندفع البالونان نحو بعضهما.

3) لأنه عند مرور القطار يندفع الهواء بجانب القطار بسرعة ، فيقل ضغطه حسب معادلة برنولي ليصبح ضغط الهواء بين الطفل والقطار أقل من ضغطه خلف الطفل، وفرق الضغط هذا يؤثر بقوة في الطفل تدفعه نحو القطار.

السؤال الثالث:

اعتقاد خديجة غير صحيح؛ لأنه عند الضغط على فوهة الخرطوم تقل مساحة مقطعه فتزداد سرعة تدفق المائع منه حسب معادلة الاستمرارية، لكن معدل تدفق الماء لا يتغير ويبقى ثابتًا، وبما أن حجم الماء ثابت في الحالتين؛ فإن الزمن يكون متساويًا.

تجربة إثرائية 1 : قياس سرعة الصوت في الهواء

الهدف:

- قياس سرعة الصوت عمليًّا؛ بالاعتماد على تحديد المدة الزمنية التي تفصل بين لحظتي وصول الصوت إلى جهازي استقبال.

زمن التنفيذ: 35 دقيقة

إرشادات السلامة: أحذّر الطلبة من الخطر عند توصيل الأجهزة الكهربائية بالمصدر الرئيس للكهرباء، وعند استخدام أسلاك التوصيل.

المهارات العلمية: الملاحظة، القياس، الاستنتاج، الحسابات، التواصل، البحث في مصادر الخطأ.

الإجراءات والتوجيهات:

- أوضِّح للطلبة الطريقة المتبعة في ضبط جهازي مولد الذبذبات، وراسم الموجات.
- أوضِّح للطلبة أهمية إبعاد كل من الميكرفونين عن الجدار والأجسام الأخرى؛ خوفًا من التقاط موجات منعكسة.
- أوضِّح للطلبة أهمية تكرار المحاولة 3 مرّات.
- أوضِّح للطلبة لماذا لا يمكن استخدام الساعة لقياس الزمن في هذه التجربة.

النتائج المتوقعة:

قد تختلف نتائج الطلبة للأسباب الآتية:

- عدم اختيار التدريج المناسب على جهاز راسم الموجات.
- عدم وضع السماعة والميكرفونين على استقامة واحدة.
- وجود حواجز تعكس الصوت وتؤثر في الميكرفونين كليهما.

التحليل والاستنتاج:

1. الميكرفون يحول الطاقة الصوتية إلى طاقة كهربائية. والسماعة تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية.
2. سوف يلتقط الصوت القادم من السماعة وصدى الصوت المنعكس عن الحائط، ويحدث تداخل بينهما.
3. الفاصل الزمني: $t = \frac{S}{v} = \frac{0.2}{340} = 5.88 \times 10^{-4}\ s$
4. من الصعب تصميم تجربة مماثلة لقياس سرعة الضوء في الهواء، لأنها كبيرة جدًّا وسوف يكون الزمن الفاصل بين القياسين صغيرًا جدًّا. لدرجة لا يمكن قياسه.
5. سيكون الاختلاف في نتائج المجموعات ناتجًا عن أخطاء في قياس الفترات الزمنية، أو تقدير المسافات.

تجربة إثرائية 2 : بناء محطة عائمة لتوليد الطاقة الكهربائية steam

الهدف:

- تصميم نموذج محطة عائمة تطفو فوق الماء، وتحوُّل طاقة موجات الماء إلى طاقة كهربائية.

زمن التنفيذ: 35 دقيقة

إرشادات السلامةِ: أحذِّر الطلبة من الأدوات الحادة عند تشكيل الأنابيب البلاستيكية، وقطع الأسلاك ولفّها على شكل ملف، وكذلك عند التعامل مع المواد اللاصقة.

المهارات العلمية: تحديد المشكلة والملاحظة، والرسم، والقياس، ووضع الفرضيات واختبارها، والتواصل.

الإجراءات والتوجيهات:

- أناقش الطلبة في أهمية توفير الموارد البديلة للطاقة، التي لا تسبب تلوثًا للبيئة، وأستعرض معهم بعض الأمثلة العالمية في استغلال الموارد النظيفة للطاقة.
- أبيِّن للطلبة العناصر الرئيسة لمحطات تحويل طاقة الرياح، وطاقة السدود، وطاقة الموجات إلى طاقة كهربائية.
- أساعد الطلبة في تكوين تصور لنموذج المحطة، ووضع التصاميم المناسبة له؛ مستعينين بالشكل الوارد في كتاب التجارب.
- أوضِّح للطلبة طريقة اختبار النماذج التي عملوا على بنائها، وكيفية إجراء التعديلات الضرورية بعد اختبارها.

النتائج المتوقعة:

- قد تتمكن بعض مجموعات الطلبة من الحصول على نتائج إيجابية يسري فيها تيار بسيط عند توليد موجات في الحوض، لكن مجموعات أخرى لن تنجح في الحصول على مثل تلك النتائج؛ بسبب عدم فاعلية الجزء المتحرك في النموذج، أو ضعف في حركة المغناطيس، أو عدم بناء الملف بشكل مناسب.
- أيضًا؛ فقد ينجح بعض الطلبة في بناء النموذج وتحويل الطاقة، لكنهم يستخدمون أميتر غير حساس، لا يُمكِّنهم من الكشف عن التيار الضعيف المتولد.

إجابات أسئلة الاختبارات الدولية في كتاب الأنشطة والتجارب العملية.

السؤال الأول:

د – موجات الضوء الأحمر أقصر طولًا من موجات (الراديو)؛ لذلك يكون حيودها قليلًا جدًّا، فلا تنحرف للأسفل.

السؤال الثاني:

أ – زادت شدة موجات الصوت، فازداد ضغط الهواء عند الفتحة.

قائمة المراجع

أولًا: المراجع العربية

1. زيد الهويدي ، **أساليب تدريس العلوم في المرحلة الأساسية**، ط 2 ، دار الكتاب الجامعي، العين، دولة الإمارات العربية المتحدة، 2010 م.
2. عايش زيتون ، **أساليب تدريس العلوم**، ط7، دار الشروق للنشر والتوزيع، عمان، 2013 م.
3. عايش زيتون ،**النظرية البنائية واستراتيجيات تدريس العلوم**، ط1، دار الشروق للنشر والتوزيع، عمان، 2019 م.
4. محمد محمود الحيلة، **طرائق التدريس واستراتيجياته**، ط 4، العين، دار الكتاب، الامارات، 2012 م.
5. مهيدات، عبد الحكيم، والمحاسنة، إبراهيم، **التقويم الواقعي**، ط1، دار جرير للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، 2010م.

ثانيًا: المراجع الأجنبية

1. Avijit Lahiri, **BASIC PHYSICS: PRINCIPLES AND CONCEPTS,** Avijit Lahiri, 2018 David Halliday, Robert Resnick , Jearl Walker, Fundamentals of Physics, Wiley; 11 edition 2018.
2. Douglas C. Giancoli, Physics: **Principles with Applications**, Addison Wesley, 6th edition, 2009.
3. Gurinder Chadha, **A Level Physics a for OCR**, A Level Physics a for OCR, 2015.
4. Hugh D. Young , Roger A. Freedman, **University Physics with Modern Physics**, Pearson; 14 edition (February 24, 2015)
5. Paul A. Tipler, Gene Mosca, **Physics for Scientists and Engineers**, W. H. Freeman; 6th edition, 2007.
6. Paul G. Hewitt, **Conceptual Physics**, Pearson; 14th edition, 2015.
7. R. Shankar, **Fundamentals of Physics I: Mechanics, Relativity, and Thermodynamics**, Yale University Press; Expanded Edition, 2019.
8. Raymond A. Serway , John W. Jewett, **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**, Cengage Learning; 009 edition, 2015.
9. Raymond A. Serway, Chris Vuille, **College Physics**, Cengage Learning; 11 edition, 2017.
10. Roger Muncaster, **A Level Physics**, Oxford University Press; 4th edition, 2014.
11. Steve Adams, **Advanced Physics**, Oxford University Press, USA; 2nd UK ed. Edition, 2013.
12. Tom Duncan, **Advanced Physics**, Hodder Murray; 5th edition, 2000.

تمَّ بحمد الله تعالى

مدرسة السلط الثانوية للبنين
100 عام من التعليم والتعلم

Collins