

# دليل المُعَلِّم الفيزياء

الصف العاشر

10

الفصل الدراسي الثاني

موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

خلدون سليمان المصاروه

أ.د. محمود إسماعيل الجاغوب

يحيى أحمد طواها

موسى محمود جرادات

شفاء طاهر عباس (منسقاً)

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

الناشر

المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

أو بوساطة البريد الإلكتروني: [scientific.division@moe.gov.jo](mailto:scientific.division@moe.gov.jo)

قرّرت وزارة التربية والتعليم تدرّيس هذا الدليل في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (2020/3)، تاريخ 2020/6/2 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (2020/43) تاريخ 2020/6/18 م بدءاً من العام الدراسي 2020 / 2021 م.

© Harper Collins 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 - 046 - 2

المملكة الأردنية الهاشمية  
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية  
(2020/8/2974)

373,19

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

الفيزياء: كتاب الطالب (الصف العاشر) / المركز الوطني لتطوير المناهج. - عمان: المركز، 2020

ج1(110) ص.

ر.إ.: 2020/8/2974

الواصفات: / الفيزياء / العلوم الطبيعية / التعليم الاعدادي / المناهج /

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر هذا المصنف 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 Licensing 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.

# قائمة المحتويات

## الموضوع

## الصفحة

الوحدة 4: تطبيقات على قوانين نيوتن ..... 5

الدرس 1: الوزن وقانون الجذب العام (الكوني) ..... 8

الدرس 2 : تطبيقات على القوى ..... 16

الدرس 3 : القوة المركزية ..... 40

مراجعة الوحدة ..... 49

الوحدة 5: الموائع ..... 55

الدرس 1: الموائع السكونية ..... 58

الدرس 2 : الموائع المتحركة ..... 72

مراجعة الوحدة ..... 89

الوحدة 3: الحركة الموجية ..... 93

الدرس 1: الموجات وصفاتها ..... 96

الدرس 2 : خصائص الحركة الموجية ..... 113

مراجعة الوحدة ..... 128

ملحق إجابات كتاب الأنشطة والتجارب العملية ..... 131

قائمة المراجع ..... 138

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

| تجربة استهلاكية: الكتلة والوزن.              |   |  |           |
|--|---|--|-----------|
| الدرس  | النتائج   | التجارب والأنشطة   | عدد الحصص |
| الأول:<br>الوزن وقانون الجذب العام (الكوني). | <ul style="list-style-type: none"> <li>يوضح الفرق بين الكتلة والوزن.</li> <li>يذكر نص قانون الجذب العام لنيوتن.</li> <li>يستنتج العلاقة بين قانون الجذب العام وقوة جذب الأرض للأجسام.</li> <li>يطبق بحل مسائل على الوزن وقانون الجذب العام لنيوتن.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>الكتلة والوزن.</li> </ul>   | 3         |
| الثاني:<br>تطبيقات على القوى.                | <ul style="list-style-type: none"> <li>يوضح مفهوم كل من: قوة الشد، والقوة العمودية، وقوة الاحتكاك.</li> <li>يحسب مقدار القوة العمودية في أوضاع مختلفة.</li> <li>يستقصي العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك بين جسمين.</li> <li>يفسر سبب نقصان قوة الاحتكاك عند بدء حركة جسم.</li> <li>يطور وسائل تقلل من الآثار السلبية لقوة الاحتكاك.</li> <li>يطبق بحل مسائل على قوة الشد، والقوة العمودية، وقوة الاحتكاك.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>قوة الشد.</li> <li>العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي.</li> </ul> | 6         |
| الثالث:<br>القوة المركزية.                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>يستنتج أن الحركة الدائرية لجسم تتطلب تأثير قوة فيه باستمرار نحو مركز المسار الدائري.</li> <li>يستقصي العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.</li> <li>يطبق بحل مسائل على القوة المركزية.</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.</li> </ul>   | 3         |

| النتائج السابقة  | الصف   | النتائج اللاحقة   | الصف       |
|--|--------|---|------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>يوضح أثر القوى المتزنة والقوى غير المتزنة في الأجسام (تتضمن القوى: الاحتكاك، والجاذبية، والمغناطيسية).</li> <li>يستقصي أثر القوة في الأجسام باستخدام قوانين نيوتن.</li> </ul> | السابع | <ul style="list-style-type: none"> <li>يحسب الشغل الذي تبذله قوة الجاذبية في تحريك جسم مسافة ما.</li> <li>يعبر عن شغل القوى المحافظة وعن شغل القوى غير المحافظة.</li> </ul> | الحادي عشر |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>يوضح المفاهيم المتعلقة بقوانين نيوتن.</li> <li>يوظف معرفته بقوانين نيوتن في حل مسائل حسابية، وتفسير مواقف حياتية وتطبيقات.</li> </ul>   | التاسع | <ul style="list-style-type: none"> <li>يصف القوة المغناطيسية التي يؤثر بها المجال المغناطيسي في الشحنة الكهربائية المتحركة فيه.</li> </ul>                                  | الثاني عشر |



## تطبيقات على قوانين نيوتن

### Applications of Newton's Laws

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

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

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

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

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

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

## تطبيقات على قوانين نيوتن

### Applications of Newton's Laws



#### أتأمل الصورة

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

7

#### أتأمل الصورة

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

## الفكرة العامة:

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

## مشروع الوحدة:

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

## الفكرة العامة:

لقوانين نيوتن تطبيقات كثيرة ومتنوعة في حياتنا وأنشطتنا اليومية.

### الدرس الأول: الوزن وقانون الجذب العام (الكوني)

#### Weight and the Law of Universal Gravitation

### الفكرة الرئيسية: توجد قوة تجاذب بين أي

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

### الدرس الثاني: تطبيقات على القوى

#### Applications of Forces

### الفكرة الرئيسية: تؤثر قوة الشد بواسطة الحبال

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

### الدرس الثالث: القوة المركزية

#### Centripetal Force

### الفكرة الرئيسية: تؤثر قوة مركزية في الأجسام التي

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



## تجربة استعلاية

الهدف:

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

زمن التنفيذ: 10 دقائق

إرشادات السلامة:

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

المهارات العلمية:

الملاحظة، المقارنة، الاستنتاج، تحليل البيانات وتفسيرها.

الإجراءات والتوجيهات:

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

النتائج المتوقعة:

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

التحليل والاستنتاج:

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

3 نعم، ألاحظ وجود نمط محدد؛ حيث أجد أن ناتج قسمة وزن الثقل على كتلته يعطي مقدراً ثابتاً تقريباً يساوي (9.8 m/s<sup>2</sup>)، وأستنتج أنه يمكن التوصل إلى علاقة رياضية للتحويل بين الكتلة ومقدار الوزن.

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

$$F_g = mg$$

حيث يمثل (F<sub>g</sub>) وزن الجسم بوحدة (N)، و (m) كتلته بوحدة (kg)، و (g) تسارع السقوط الحر بوحدة (m/s<sup>2</sup>).

## تجربة استعلاية

### الكتلة والوزن

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

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

خطوات العمل:

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

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

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

التحليل والاستنتاج:

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

9

استراتيجية التقويم: الملاحظة.

أداة التقويم: سلم تقدير.

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

### الكتلة والوزن Mass and Weight

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

#### الكتلة Mass

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

#### الوزن Weight

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

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

#### الفكرة الرئيسة:

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

#### نتائج التعلم:

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

#### المفاهيم والمصطلحات:

الكتلة Mass.

الوزن Weight.

قانون الجذب العام لنيوتن

Newton's Law of Universal Gravitation

### تقديم الدرس

#### الفكرة الرئيسة:

الوزن وقانون الجذب العام.

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

#### الربط بالمعرفة السابقة:

قوانين نيوتن في الحركة والقوة المحصلة.

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

### 2 التدریس

#### المناقشة:

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

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

#### نشاط سريري: الكتلة والوزن.

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

## ✓ أنَحَقِّقْ:

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

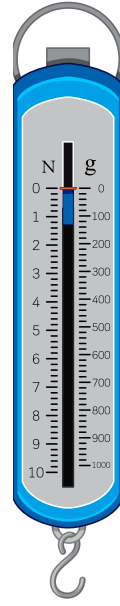
## أفكر:

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

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

## لنرى:

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



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

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

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

$$F_g = mg$$

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

✓ أنَحَقِّقْ: ما الفرق بين الكتلة والوزن؟

## المثال 1

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

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

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

الحل:

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

## لنرى:

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

## مثال إضافي

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

الحل:

كتلة الصندوق:

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

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

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



## بناء المفهوم.

قانون الجذب العام والقانون الثالث لنيوتن.

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

- ما نوع القوة بين القمر الصناعي والأرض؟

قوة تجاذب كتي.

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

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

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

## استخدام الصور والأشكال.

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

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

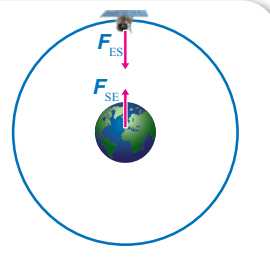
- ماذا يحدث لقوة التجاذب الكتي بين جسمين؛ عند مضاعفة كتلتيهما؛ مع بقاء المسافة بين مركزيهما ثابتة؟

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

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

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

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



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

## قانون الجذب العام لنيوتن

### Newton's Law of Universal Gravitation

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

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

توصل نيوتن إلى أن قوة التجاذب بين أي جسمين تتناسب:

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

$$F \propto m_1 m_2$$

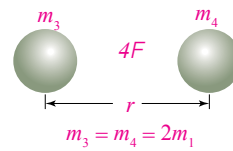
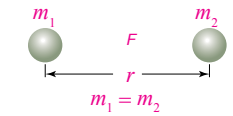
فمثلاً، عند مضاعفة كتلتي جسمين مرتين تتضاعف قوة التجاذب بينهما بمقدار أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية، أنظر الشكل (3).

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

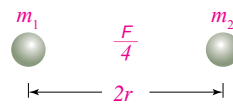
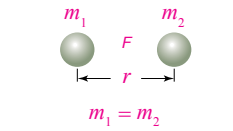
$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

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

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



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



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

12

## استخدام الصور والأشكال.

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

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

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما ربع قيمتها الابتدائية.

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

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما تسع قيمتها الابتدائية.

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

تصبح قوة التجاذب الكتي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

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

علاقة تربيع عكسي.



### إجابة سؤال الشكل ( 5 ) :

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

أتحقق: ✓

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

### طريقة أخرى للتدريس قانون الجذب العام (الكوني) لنيوتن.

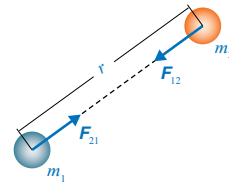
• لمساعدة الطلبة ذوي المستويات المختلفة على تحديد العلاقة بين قوة التجاذب الكتلي بين جسمين وكل من كتلتيهما والمسافة بين مركزيهما، استخدم استراتيجية التعلم التعاوني. وزع الطلبة إلى مجموعات غير متجانسة، ثم اكتب على السبورة قانون الجذب العام لنيوتن. ثم اطلب إليهم الإجابة عن الأسئلة الآتية كتابياً:

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

أتحقق: ✓ علام ينص قانون الجذب العام لنيوتن؟

### أبحث: القوى الأربع الأساسية:

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

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

13

### معلومة إضافية

#### القوى الأربع الأساسية.

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

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

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

## المثال 2

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

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

المطلوب:  $F_{MA} = ?$  ،  $F_{AM} = ?$

الحل:

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

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

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

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

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

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

### لتدرب

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

### لتدرب

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

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

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

قوة جذب الأرض لمريم تساوي  $6.25 \times 10^8$  ضعف قوة جذب عائشة لها.

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

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

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

قوة جذب الأرض لعائشة تساوي  $7.50 \times 10^8$  ضعف قوة جذب مريم لها.

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

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

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

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

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

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

## إهداء للمعلم

تجربة كافندش.

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

## ◀ استخدام الصور والأشكال.

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

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

- «ما مقدار قوة الجاذبية المؤثرة في كتلة مقدارها (1 kg) عند موقع فوق سطح الأرض ارتفاعه يساوي نصف قطر الأرض؟ علماً بأن تسارع السقوط الحر على سطح الأرض (10 m/s<sup>2</sup>) تقريباً. ملاحظة: لا يلزم تزويد الطلبة بمقدار نصف قطر الأرض. لاحظ أن الإجابة يتم تحديدها من خلال تطبيق قانون التربيع العكسي. (الإجابة: 2.5 N)

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

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

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

## ◀ المناقشة.

- استخدم استراتيجيات التفكير الناقد لاستنتاج معلومات من تغير مقدار تسارع السقوط الحر.
- وزع الطلبة إلى مجموعات، ثم اكتب على السبورة ما يلي: «يبلغ مقدار تسارع السقوط الحر على سطح الأرض عند خط الاستواء (9.780 m/s<sup>2</sup>)، وبلغ مقداره عند القطب الشمالي (9.832 m/s<sup>2</sup>)».
- اطلب إلى أفراد كل مجموعة مناقشة السؤال الآتي: ماذا يخبرهم هذا التغير في مقدار تسارع السقوط الحر عن شكل الأرض؟ لأن تسارع السقوط الحر يتناسب عكسياً مع مربع البعد عن مركز الأرض، فإن نصف قطر الأرض عند خط الاستواء يكون أكبر منه عند القطبين؛ أي أن شكل الأرض ليس كروي تماماً.
- ناقش مع الطلبة التغيرات في مقدار g على سطح الأرض وعلاقتها بتغير نصف قطر الأرض وتغير كثافة مكوناتها.

## تسارع الجاذبية الأرضية Gravitational Acceleration

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

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

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

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

حيث: r<sub>E</sub> نصف قطر الأرض، و m<sub>E</sub> كتلة الأرض. وبقسمة طرفي المعادلة على كتلة الجسم نحصل على المعادلة الآتية لحساب تسارع السقوط الحر على سطح الأرض أو قريباً منه:

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

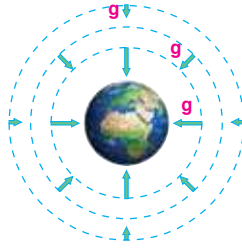
وبتعويض قيم كل من: ثابت الجذب العام، وكتلة الأرض (5.98 × 10<sup>24</sup> kg) تقريباً، ومتوسط نصف قطرها (6.38 × 10<sup>6</sup> m) تقريباً، نحصل على قيمة تسارع السقوط الحر بالقرب من سطح الأرض:

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

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



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



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

## نشاط سريع تسارع السقوط الحر.

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



## التعزيز:

### تسارع السقوط الحر.

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

## أفكر:

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

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج

### والمواد الدراسية

### \* التفكير: التحليل.

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

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

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

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

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

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

## المثال 3

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

أ. تسارع السقوط الحر على سطح القمر.

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

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

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

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

الحل:

أ. نستخدم معادلة حساب تسارع السقوط الحر الآتية:

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

ب. نستخدم معادلة حساب تسارع السقوط الحر الآتية:

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

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

## ✓ أنحقق:

يعتمد على كتلة الكوكب، ونصف قطره.

## مثال إضافي

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

الحل:

نستخدم معادلة حساب تسارع السقوط الحر الآتية:

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



## تمرين

$$F_g = mg$$

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

ب. الكتلة ثابتة لا تتغير من مكان إلى آخر.

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

$$F_{gM} = mg_M$$

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

## التقويم

3

## مراجعة الدرس

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

$$r = r_E + R$$

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

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

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

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

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

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

## تمرين

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

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

## الربط مع الفلك

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

## مراجعة الدرس

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

17

- 1 الوزن كمية متجهة يقاس بوحدة (N) بحسب النظام الدولي للوحدات، وهو غير ثابت، ويتغير بتغير تسارع السقوط الحر، وهو قوة مجال. وتعتمد قوة التجاذب الكتلي بين أي جسمين على كتليهما حيث تتناسب طردياً مع حاصل ضربهما، كما تعتمد على مربع المسافة بين مركزيهما وتتناسب عكسياً معها.
- ويعتمد تسارع الجاذبية الأرضية ( $g = \frac{Gm_E}{r^2}$ ) على ثابت الجذب العام (وهو ذو قيمة ثابتة) وكتلة الأرض (ومقدارها ثابت)، وبعد النقطة المراد حساب تسارع الجاذبية عندها عن مركز الأرض (تناسب عكسي مع مربع بعدها).

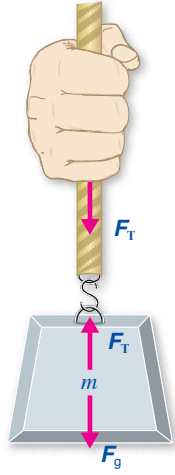
- 2 أ. تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما ربع قيمتها الابتدائية.  
ب. تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما ضعف قيمتها الابتدائية.  
ج. تصبح قوة التجاذب الكتلي بينهما أربعة أضعاف قيمتها الابتدائية.

قوة الشد Tension Force

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

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

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



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

الفكرة الرئيسة:

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

نتائج التعلم:

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

المفاهيم والمصطلحات:

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

تطبيقات على القوى  
Applications of Forces

1 تقديم الدرس

الفكرة الرئيسة:

قوى: الشد، والعمودية، والاحتكاك.

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

الربط بالمعرفة السابقة:

التسارع والقوى.

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

2 التدريس

استخدام الصور والأشكال.

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

- ما القوى المؤثرة في الثقل؟

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

- ما العلاقة بين قوى الشد في أجزاء الحبل المختلفة؟

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

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

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

بناء المفهوم.

قوة الشد.

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

## التجربة 1

### قوة الشد

#### الهدف:

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

#### إرشادات السلامة:

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

#### المهارات العلمية:

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

#### الإجراءات والتوجيهات:

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

#### النتائج المتوقعة:

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

#### البيانات والملاحظات: عينة بيانات

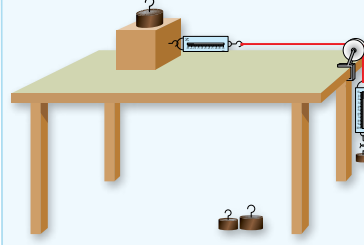
| رقم المحاولة | $m_{\text{hang}}$ (kg) | $m_{\text{hang}}$ g(N) | قراءة الميزان الأول (N) | قراءة الميزان الثاني (N) |
|--------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1            | 0.100                  | 0.98              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

#### التحليل والاستنتاج

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

## التجربة 1

### قوة الشد



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

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

#### خطوات العمل:

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

#### التحليل والاستنتاج:

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

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

#### المهام:

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

#### التقدير:

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

#### استراتيجية التقويم: الملاحظة.

#### أداة التقويم: سُلم تقدير

| اسم الطالب | التقدير |   |   |   |
|------------|---------|---|---|---|
|            | 1       | 2 | 3 | 4 |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |

استخدم استراتيجية التعلم التعاوني في تدريس الطلبة هذا الموضوع.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

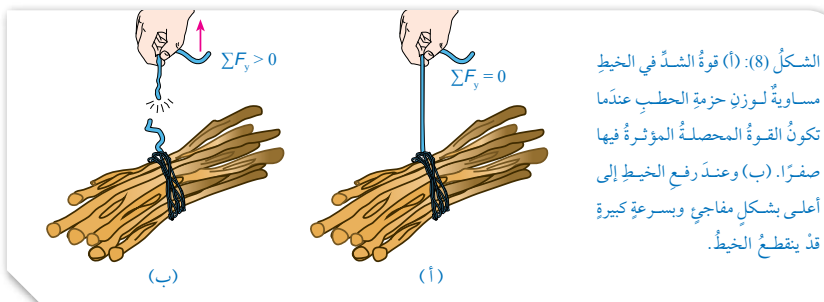
- لماذا انقطع الحيط عند رفع حزمة الحطب بشكل مفاجئ وبسرعة كبيرة؟

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

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

● اطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.

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



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

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

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

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

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



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

20

✓ **أنتحق:**

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

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* **التفكير: التحليل.**

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

### الفيزياء والحياة (الطب).

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



## نشاط سرية قوى الشد والقانون الأول لنيوتن.

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

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

– كم تتوقع أن تكون قراءة الميزان؟ برر إجابتك.

إجابات محتملة:

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

الإجابة الصحيحة:

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

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

## المثال 4

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



الشكل (10): دلو ماء مُعلّق بحبل.

أ. قوة الشد المؤثرة في الحبل.

ب. قوة الشد في الحبل إذا تحرك الدلو إلى أعلى بتسارع مقداره  $2 \text{ m/s}^2$ .

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

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

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

الحل:

نرسم مخطط الجسم الحر للدلو.

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

$$F_T - F_g = ma = 0$$

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

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

$$F_T - F_g = ma$$

$$F_T - F_g = ma$$

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

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

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

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

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

## لتدريّة

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

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

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

21

## لتدريّة

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

$$\sum F_y = ma$$

$$F_T - F_g = ma$$

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

$$= 150 + 15 \times 1.5$$

$$= 172.5 \text{ N}$$

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

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

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

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

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



## بناء المفهوم.

### القوة العمودية.

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

- ما المقصود بالقوة العمودية؟

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

- هل القوة العمودية تساوي وزن الجسم دائمًا؟

لا تكون القوة العمودية مساوية دائمًا لوزن الجسم.

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

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

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

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

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

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

## القوة العمودية Normal Force

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

$$\sum F_y = 0$$

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

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

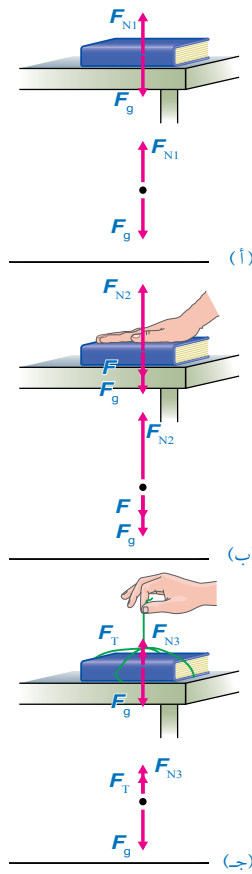
$$F_{N2} - (F + F_g) = ma = 0$$

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

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

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

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



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

## إجابة سؤال الشكل (11):

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

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

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

✓ **أنتحق:**

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

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج

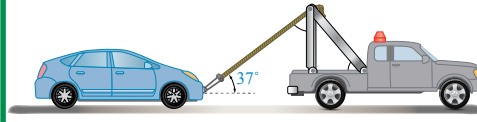
### والمواد الدراسية

#### \* التفكير: التحليل.

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

## المثال 5

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



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

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

المعطيات:

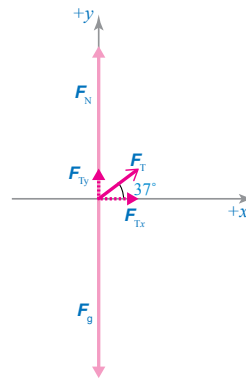
$$m = 900 \text{ kg}, \theta = 37^\circ, F_T = 2000 \text{ N}, 37^\circ, g = 10 \text{ m/s}^2, \sin 37^\circ = 0.6, \cos 37^\circ = 0.8$$

المطلوب:

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

الحل:

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



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

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

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

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

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

$$\sum F_y = 0$$

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

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

23

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

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

## مثال إضافي

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

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

الحل:

أ.

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

ب.

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

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

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

## أخطاء شائعة

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

## المناقشة

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

- ماذا يحدث للأجسام الموضوعة على المستويات المائلة الملساء؟
- تنزلق إلى أسفل هذه المستويات.
- لماذا؟

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

- ماذا لا يتحرك الجسم في الاتجاه العمودي على المستوى المائل؟

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

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

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

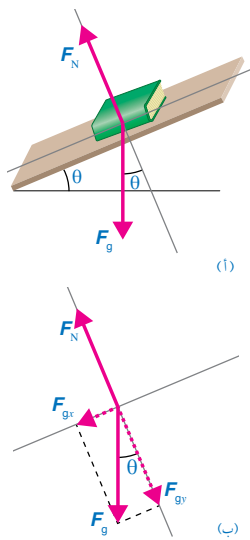
$$\begin{aligned} \sum F_x &= ma_x = F_{Tx} \\ ma_x &= 1600 \text{ N} \\ a_x &= \frac{1600}{900} = 1.78 \text{ m/s}^2 \\ a_x &= 1.78 \text{ m/s}^2, +x \end{aligned}$$

#### لشركه

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

#### المستوى المائل Inclined Plane

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



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

اعتبار الاتجاه الموجب إلى اليمين.  
أ. لإيجاد المركبة الأفقية لقوة الشد في الحبل نستخدم العلاقة الآتية:

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

لإيجاد المركبة العمودية لقوة الشد في الحبل نستخدم العلاقة الآتية:

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

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

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

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

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

#### التعزيز

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

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

الحل:

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

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

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

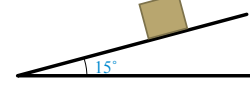
أ. نطبق القانون الثاني لنيوتن على يوسف في اتجاه المحور  $y$ ؛ لإيجاد القوة العمودية المؤثرة فيه، مع مراعاة أنه لا توجد حركة في اتجاه هذا المحور.

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

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

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

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



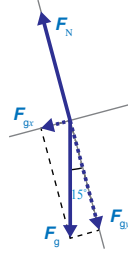
الشكل (14): صندوق على مستوى مائل أملس.

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

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

المطلوب:  $F_N = ?$ ،  $a = ?$

الحل:



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### المناقشة

• اطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

- ما المقصود بقوة الاحتكاك؟

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

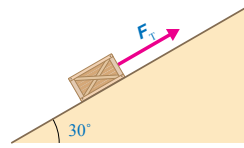
- متى تنشأ قوة الاحتكاك بين سطحيين؟

تنشأ هذه القوة بين سطحي الجسمين المتلامسين عند

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

أ. القوة العمودية المؤثرة في الصندوق.

ب. قوة الشد المؤثرة في الصندوق.



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

### قوة الاحتكاك Friction Force

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

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

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

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

تحريك أو محاولة تحريك بعضهما فوق بعض.

- ما سبب نشوء قوة الاحتكاك بين سطحي الجسمين المتلامسين؟

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

- ماذا يلزم لتحريك الصندوق؟

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



- ما الذي يوضحه الشكل (17/ج)؟

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

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

- وماذا تسمى قوة الاحتكاك السكوني عندئذ؟

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

✓ **أنتحق:**

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

◀ **المناقشة:**

• اطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

- ما المقصود بقوة الاحتكاك السكوني؟

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

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

طبيعة السطحين المتلامسين، والقوة العمودية المتبادلة بينهما.

- هل تعتمد قوة الاحتكاك السكوني على مساحة السطحين المتلامسين؟

لا تعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين.

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

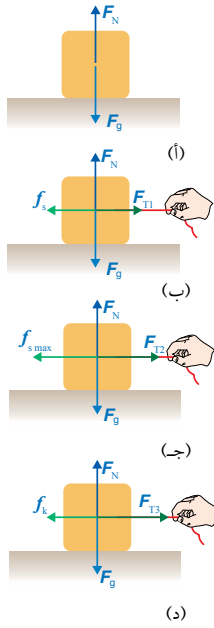
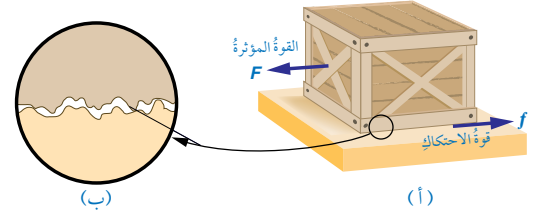
متغيرة، حيث تتراوح قيمتها بين الصفر، وقيمة عظمى عندما يكون الجسم على وشك الحركة.

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

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

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

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



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

27

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

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

**قوة الاحتكاك: السكوني، والحركي Static and Kinetic Frictional Forces**

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

**قوة الاحتكاك السكوني Static Frictional Force**

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

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

◀ **استخدام الصور والأشكال.**

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

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

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

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

قوة احتكاك سكوني؛ لأن الصندوق ساكن. ما مقدارها؟

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

لأن قوة الشد الأفقية ( $F_{T1}$ ) تؤثر في الصندوق جهة اليمين، وهو ساكن لا يتحرك؛ أي

أن القوة المحصلة المؤثرة فيه صفر، وبحسب القانون الأول لنيوتن، لا بد من وجود

قوة أفقية تؤثر في الصندوق، تكون معاكسة لاتجاه قوة الشد، وتساويها مقدارًا.

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

بزيادة مقدار قوة الشد يزداد مقدار قوة الاحتكاك السكوني ما دام الصندوق ساكنًا؛

حيث القوة المحصلة المؤثرة فيه تساوي صفرًا.

## استخدام الصور والأشكال.

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

يبين تأثير قوة الاحتكاك السكوني.

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

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

- ماذا تسمى أكبر قيمة لقوة الاحتكاك السكوني؟

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

- متى تكون قوة الاحتكاك السكوني عظمى؟

عندما يكون الجسم على وشك الحركة.

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

متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه.

- هل قوة الاحتكاك السكوني ثابتة؟

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

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

يبدأ الجسم الحركة.

- ما الذي يبينه الجزء الثاني من المنحنى؟

يبين تأثير قوة الاحتكاك الحركي.

- هل قوة الاحتكاك الحركي ثابتة أم متغيرة؟

قوة الاحتكاك الحركي ثابتة بخلاف قوة الاحتكاك السكوني.

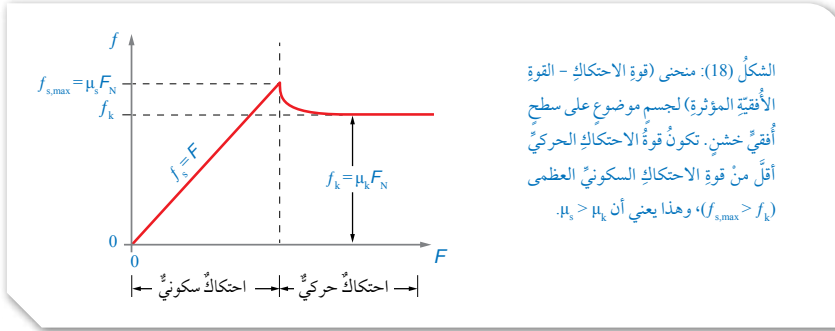
- أيها أكبر: قوة الاحتكاك السكوني العظمى أم قوة الاحتكاك الحركي؟

قوة الاحتكاك السكوني العظمى.

## إهداء للمعلم

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

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



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

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

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

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

## التجربة 2

### العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي

#### الهدف:

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

#### إرشادات السلامة:

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

#### الإجراءات والتوجيهات:

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

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

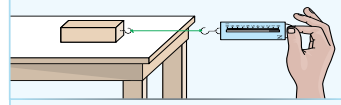
5. يعتمد مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى بين سطحين على عاملين، هما: مقدار القوة العمودية (يتناسب طرديًا معها عند ثبات طبيعة السطحين المتلامسين)، وطبيعة السطحين المتلامسين؛ حيث أنه بتغيير طبيعة السطحين المتلامسين يتغير مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى. كما لاحظت أن مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى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

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

## التجربة 2

### العوامل التي تعتمد عليها قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي

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



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

#### خطوات العمل:

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

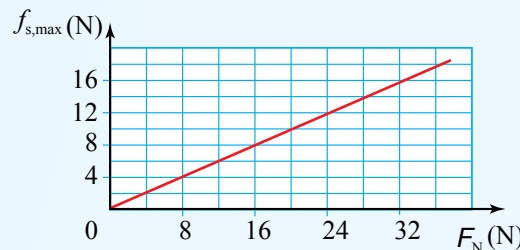
29

#### النتائج المتوقعة:

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

#### التحليل والاستنتاج:

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



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

## عينة بيانات:

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

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

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

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

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

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

## المهام:

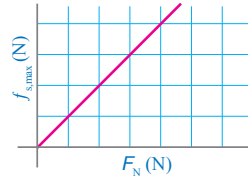
- 1) ينفذ خطوات التجربة بصورة صحيحة دقيقة.
- 2) يستنتج ما يحدث لمقدار قوة الاحتكاك السكوني عند تثبيت طبيعة السطحين المتلامسين وتغيير مقدار القوة العمودية.
- 3) يستنتج ما يحدث لمقدار قوة الاحتكاك السكوني عند تثبيت مقدار القوة العمودية وتغيير طبيعة السطحين المتلامسين.
- 4) يصمم استقصاء لدراسة العوامل التي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

## التحليل والاستنتاج:

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

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

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



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

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

$$f_s \leq \mu_s F_N$$

30

استراتيجية التقويم: الملاحظة. أداة التقويم: سلم تقدير.

| اسم الطالب | التقدير |   |   |   |
|------------|---------|---|---|---|
|            | 1       | 2 | 3 | 4 |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |
|            |         |   |   |   |

## التقدير:

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



## ◀ المناقشة.

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

## ◀ استخدام الصور والأشكال.

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

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

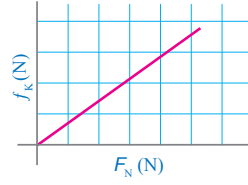
$$f_{s,max} = \mu_s F_N$$

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

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

## قوة الاحتكاك الحركي Kinetic Frictional Force

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



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

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

## ◀ استخدام الصور والأشكال.

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

✓ **أتتحقق:**

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



## بناء المفهوم.

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

## المناقشة

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

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

$$f_k = \mu_k F_N$$

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

الجدول (1): القيم التقريبية لبعض معاملات الاحتكاك

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

32

## أخطاء شائعة

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

خزانة كتلتها (40 kg) تستقر على أرضية أفقية خشنة. إذا سحبت الخزانة بقوة أفقية مقدارها (200 N)، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الخزانة والأرضية (0.4)، وتسارع السقوط الحر (10 m/s<sup>2</sup>)، فاحسب مقدار:

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

الحل:

أ. نحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي باستخدام العلاقة:

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

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

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

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

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

## المثال 7

وُضِعَ صندوقٌ كتلته (40 kg) على زلاجةٍ لسحبه على أرضية أفقية مغطاة بالثلج. إذا علمتُ أن قوة الشدِّ المؤثرة في الزلاجة أفقية تماماً، ومعامل الاحتكاك السكوني بين الزلاجة والثلج (0.15)، ومعامل الاحتكاك الحركي بينهما (0.10)، وتسارع السقوط الحر (10 m/s<sup>2</sup>)، وبإهمال كتلة الزلاجة، فأحسب مقدار:

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

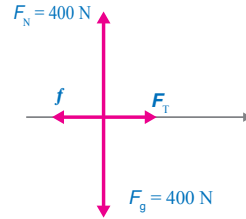
المعطيات:

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

المطلوب:

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

الحل:



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

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

ثم نحسب مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى، كما يأتي:

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

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

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

## معلومة إضافية

حساب معامل الاحتكاك السكوني.

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

حيث  $\theta$  هي زاوية ميلان المستوى المائل التي يكون عندها الجسم الموضوع عليه على وشك الانزلاق، و  $\mu_s$  معامل الاحتكاك السكوني بين مادتي الجسم والمستوى المائل.

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

أعد حل المثال 8، إذا أصبح مقدار الزاوية التي يصنعها الحبل بالنسبة للأفقي  $(53^\circ)$ .

**الحل:**

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

$$F_g = mg$$

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

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

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

$$= 120 \text{ N}$$

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

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

$$= 160 \text{ N}$$

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

$$F_{Tx} = ma$$

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

وبجعل  $(f_k)$  موضوع القانون:

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

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

$$= 120 - 65$$

$$= 55 \text{ N}$$

مقدار قوة الاحتكاك الحركي  $(55 \text{ N})$ ، وتؤثر في عكس اتجاه حركة الصندوق.

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

$$\sum F_y = 0$$

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

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

$$= 380 \text{ N}$$

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

$$f_k = \mu_k F_N$$

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

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

$$= 0.15$$

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

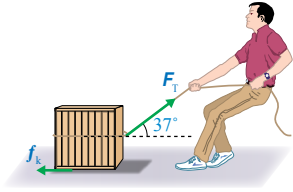
ج. لحساب مقدار تسارع الزلاجة، نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور  $(x)$ :

$$\sum F_x = ma$$

$$20 = 40 \times a$$

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

### المثال 8



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

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

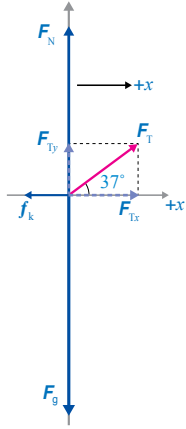
أ. قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في الصندوق.

ب. معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق والأرضية.

المعطيات:

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

المطلوب:



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

**الحل:**

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

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

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

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

### بناء المفهوم.

#### معامل الاحتكاك السكوني.

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

### المناقشة

- استخدم استراتيجية التفكير الناقد، واسأل الطلبة الأسئلة الآتية:

- أيهما أكبر معامل الاحتكاك السكوني أم الحركي؟

معامل الاحتكاك السكوني أكبر من معامل الاحتكاك الحركي.

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

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

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

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

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

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

$$\Sigma F_x = ma$$

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

وبجعل ( $f_k$ ) موضوع القانون:

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

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

$$= 95 \text{ N}$$

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

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

$$\Sigma F_y = 0$$

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

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

$$= 380 \text{ N}$$

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

$$f_k = \mu_k F_N$$

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

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

### معلومة إضافية

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



### المثال 9

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

الشكل (22): انزلاق رياضي على منحدر ثلجي.

أ. إذا كان المنحدر الثلجي أملس.

المعطيات:

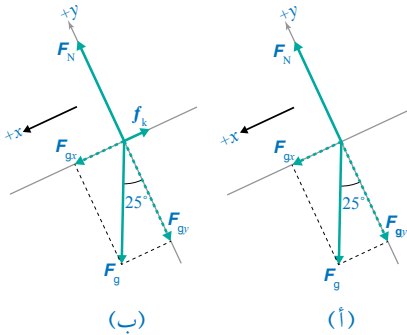
$$m = 50 \text{ kg}, \theta = 25^\circ, g = 10 \text{ m/s}^2, \sin 25^\circ = 0.42, \cos 25^\circ = 0.91, \mu_k = 0.10$$

المطلوب:

$$a = ?$$

الحل:

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



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

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

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

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

36

صفرًا ( $v_2 = 0$ ).

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

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

ثم نستخدم معادلة الحركة الثالثة:

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

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

$$F - f_k = ma$$

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

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

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

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

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

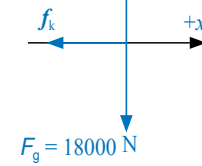
تقود سلمي سيارة كتلتها  $(1.8 \times 10^3 \text{ kg})$ ، بسرعة  $(90 \text{ km/h})$  شمالاً على طريق أفقي مستقيم في طقس ماطر. وعندما أقبلت على إشارة ضوئية، أضاءت باللون الأحمر، فضغطت سلمي على المكابح بقوة، مما أدى إلى انزلاق إطارات السيارة على سطح الطريق. إذا كان بعد مقدمة السيارة عن الإشارة لحظة الضغط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

أ. احسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي المؤثرة في السيارة.

ب. احسب مقدار تسارع السيارة.

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

$$F_N = 18000 \text{ N}$$



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:

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

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

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

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

$$\sum F_x = ma$$



## المناقشة.

### أسأل الطلبة:

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

يعطى تسارع الجسم في حالة المستوى المائل الأملس بالعلاقة الآتية:

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

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

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

يعطى تسارع الجسم في حالة المستوى المائل الخشن بالعلاقة الآتية:

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

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

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

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

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

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

ثم نستخدم معادلة الاحتكاك الحركي لحساب مقدار قوة الاحتكاك:

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

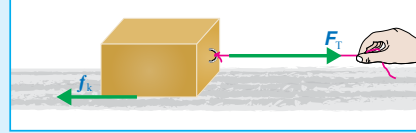
ينزل المتزلج الرياضي إلى أسفل المنحدر الثلجي، ولحساب مقدار تسارعه نطبق القانون الثاني لنيوتن عليه في اتجاه المحور x، مع اعتبار الاتجاه الموجب إلى أسفل المنحدر.

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

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

## لتدريه

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



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

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

37

## لتدريه

أ. نحسب مقدار قوة الاحتكاك الحركي باستخدام العلاقة:

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

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

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

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

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

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

$$\begin{aligned} \Sigma F_x &= ma \\ a &= \frac{\Sigma F_x}{m} \\ &= \frac{50}{50} \\ &= 1 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$



## التعزيز:

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

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

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

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

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



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

38

## أفكر: إجابات محتملة:

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

## أتحقق:

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

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج

### والمواد الدراسية

### \* التفكير: الأدلة والبراهين.

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

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

## ◀ المناقشة.

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

## إيجابيات قوى الاحتكاك وسلبياتها

### Advantages and Disadvantages of Friction Forces

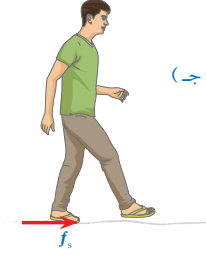
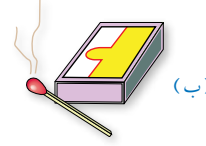
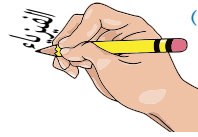
لقوى الاحتكاك تطبيقات وآثار كثيرة في حياتنا، بعضها مفيدٌ وضروري، وبعضها الآخر ضارٌّ ومزعجٌ لا بُدَّ من معالجته والتقليل منه.

#### إيجابيات قوى الاحتكاك Advantages of Friction Forces

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

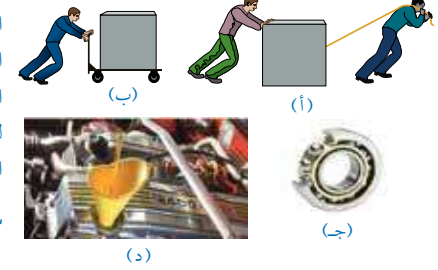
#### سلبيات قوى الاحتكاك Disadvantages of Friction Forces

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



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

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



## إجابة سؤال الشكل (25): ؟

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

## إجابة سؤال الشكل (26): ؟

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

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

### \* التفكير: التأمل والتساؤل.

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



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

**الإجابة:** لا تكون الإجابة بالمطلق؛ 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. فهناك حالات نحتاج فيها إلى وجود قوى احتكاك كبيرة (مثل مكابح السيارة)، وحالات نحتاج فيها إلى وجود قوى احتكاك صغيرة (مثل حركة أجزاء المحرك).



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

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

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

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



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

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

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

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

### أخطاء شائعة

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

✓ **أنحقق:**

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

## مراجعة الدرس

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

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

$$\sum F_y = 0$$

$$F_T - F_g = ma = 0$$

$$F_T = F_g$$

$$= mg$$

$$= 10 \times 10$$

$$= 100 \text{ N}$$

ب. قراءة الميزان تساوي قوة الشد في الخيط المتصل بالثقل، وبما أن

الثقل والميزان تحركا إلى أعلى بسرعة متجهة ثابتة، لذا تكون  
القوة المحصلة المؤثرة فيها صفراً، وبتطبيق القانون الثاني  
لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور y؛ لحساب مقدار قوة الشد.

$$F_T - F_g = ma = 0$$

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

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

$$F_T - F_g = ma$$

$$F_T = F_g + ma$$

$$= 100 + 10 \times 1$$

$$= 110 \text{ N}$$

د. نطبق القانون الثاني لنيوتن على الدلو في اتجاه المحور (-y)؛

لحساب مقدار قوة الشد (قراءة الميزان)، باعتبار القوى المؤثرة  
في اتجاه الحركة موجبة، والمؤثرة بعكس اتجاه الحركة سالبة.

$$F_g - F_T = ma$$

$$F_T = F_g - ma$$

$$= 100 - 10 \times 1$$

$$= 90 \text{ N}$$

4 أ. على السطح الأفقي:

$$F_N - F_g = ma = 0$$

$$F_N = F_g = mg$$

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

ب. على السطح المائل:

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

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

$$= (300)(0.94)$$

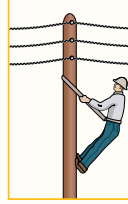
$$= 282 \text{ N}$$

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

## مراجعة الدرس

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

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



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



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

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

ج. إذا تحرك الثقل والميزان إلى أعلى بتسارع مقداره  $(1 \text{ m/s}^2)$ .

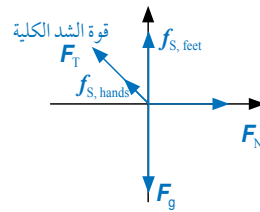
د. إذا تحرك الثقل والميزان إلى أسفل بتسارع مقداره  $(1 \text{ m/s}^2)$ .

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

ب. مستوى مائل يميل عن الأفق بزاوية  $(20^\circ)$ .

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

41



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

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

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

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

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

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



### القوة المركزية والحركة الدائرية المنتظمة Centripetal Force and Uniform Circular Motion

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

للإجابة عن ذلك؛ أنظر سيارات السباق الموضحة في الشكل (28) عند المنعطف. ألاحظ أن كل سيارة تتحرك في مسار منحنٍ عند المنعطف، وهو يمثل جزءاً من دائرة، وبحسب القانون الأول لنيوتن، تتحرك السيارات في مسار مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيها قوة محصلة، وبما أن مساراتها غير مستقيمة؛ فهي تتأثر بقوة محصلة. لندرس حركة إحدى هذه السيارات عند المنعطف، ونفترض أنها تتحرك بسرعة مماسية ثابتة مقداراً. إن اتجاه هذه السرعة يتغير بشكل مستمر، ويدل تغيرها على وجود تسارع، وبحسب القانون الثاني لنيوتن، فإن وجود التسارع يعني وجود قوة محصلة تؤثر فيها.

#### الفكرة الرئيسة:

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

#### نتائج التعلم:

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

#### المفاهيم والمصطلحات:

القوة المركزية Centripetal Force

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



42

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

وماذا يعني تسارعها؟

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

### إضاءة للمعلم

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

### القوة المركزية Centripetal Force

#### 1 تقديم الدرس

#### الفكرة الرئيسة:

القوة المحصلة والقوة المركزية.

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

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

#### الربط بالمعرفة السابقة:

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

#### 2 التدريس

#### استخدام الصور والأشكال:

- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (28)، ثم اسألهم: كيف تتحرك السيارات عند المنعطف؟ في مسار منحنٍ.

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 أيضاً إثبات أن السيارات عند المنعطف تتأثر بقوة محصلة؟

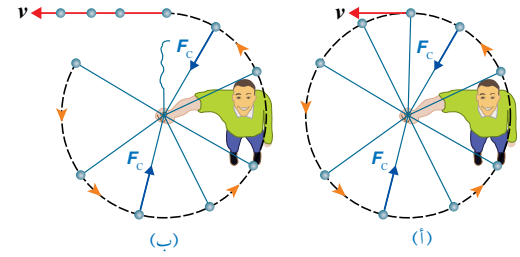
## نشاط سرية

### القوة المحصلة والقوة المركزية.

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

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

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



### القوة المركزية ومنشؤها Centripetal Force and Its Origin

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

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

### التعزيز:

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

### إضاءة للمعلم

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

### المناقشة:

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

- متى تؤثر القوة المركزية في جسم؟

عندما يتحرك في مسار منحني.

- هل القوة المركزية نوع جديد من القوى؟

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

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

- أعط أمثلة على ذلك لتوضيح الإجابة؟

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

## بناء المفهوم.

### القوة المركزية.

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

## استخدام الصور والأشكال.

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

- كيف تتحرك السيارة في الشكل؟

داخل منعطف في مسار منحني.

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

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

- ما منشأ هذه القوة المحصلة (القوة المركزية)؟

منشؤها قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة وسطح الطريق.

- في أي اتجاه تؤثر؟

نحو مركز الدائرة التي يعد المنعطف جزءاً منها.

- ما أهمية قوة الاحتكاك السكوني الجانبية هذه؟

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

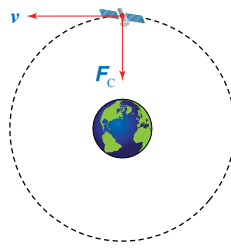
- ماذا تتوقع أن يحدث للسيارة عند هذا المنعطف إذا كان الطريق مغطى بزيت أو جليد؟

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

## ✓ أنصح:

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

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



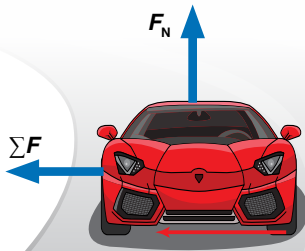
الشكل (30): القوة المركزية هي قوة التجاذب الكتلي بين الأرض والقمر الصناعي، وتؤثر عمودياً على اتجاه سرعة القمر.

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

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

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

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



44

## ⚠ أخطاء شائعة

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



## حساب القوة المركزية Calculating Centripetal Force

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

$$\Sigma F = ma$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## أمثلة: استخدم استراتيجية التعلم التعاوني في تدريس

الطلبة هذا الموضوع.

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

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

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

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

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

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

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

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

- كيف تفسر قوانين نيوتن هذا الشعور؟

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

• اطلب إلى كل مجموعة عرض إجاباتها أمام المجموعات الأخرى.

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



## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

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

### المناقشة.

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

### ✓ أنحقق:

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

أ. نصف قطر المسار الدائري.

ب. مربع مقدار السرعة المماسية.

## المناقشة

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

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

## مثال إضافي

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

## الحل:

أ . لإيجاد مقدار السرعة المماسية، نستخدم العلاقة الآتية:

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

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

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

ب . لإيجاد مقدار التسارع المركزي، نستخدم العلاقة الآتية:

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

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

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

ج . لإيجاد مقدار القوة المركزية، نستخدم العلاقة الآتية:

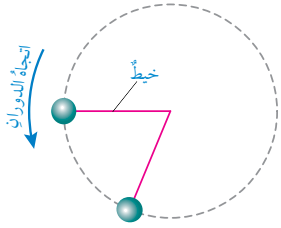
$$F_c = m a_c$$

$$= (0.05)(79.4)$$

$$= 4 \text{ N}$$

46

## المثال 10



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

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

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

المطلوب:

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

## الحل:

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

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

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

ب . لإيجاد مقدار التسارع المركزي نستخدم العلاقة الآتية:

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

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

ج . لإيجاد مقدار القوة المركزية نستخدم العلاقة الآتية:

$$F_c = m a_c$$

$$= (0.05)(158.8)$$

$$= 7.9 \text{ N}$$

د . قوة الشد في الخيط هي نفسها القوة المركزية:

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

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

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

## بناء المفهوم.

الحركة الدائرية المنتظمة.

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



## مثال إضافي

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

**الحل:**

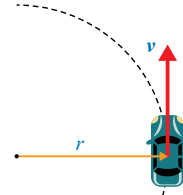
لإيجاد مقدار أكبر سرعة، يجب حساب مقدار قوة الاحتكاك السكوني العظمى الجديدة المؤثرة في السيارة، وهي تساوي القوة المركزية.

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

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

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

## المثال 11



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

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

أ. التسارع المركزي للسيارة.

ب. القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

ج. أكبر سرعة يمكن أن تتحرك بها السيارة دون أن تنزلق.

**المعطيات:**

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

**المطلوب:**

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

**الحل:**

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

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

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

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

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

47

## العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.

## طريقة أخرى للتدريس

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

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

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

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

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

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

$$= 158$$

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

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

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

نحسب مقدار القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

$$F_C = ma_C$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Sigma F_y = ma_y = 0$$

$$F_N - F_g = 0$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### تمرين

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

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

أ. القوة المركزية المؤثرة في السيارة.

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

#### أخطاء شائعة

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

## مراجعة الدرس

3 أ.

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

ب.

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

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

د.

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

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

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

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

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

4 أ.

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

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

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

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

ب.

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

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

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

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

## مراجعة الدرس

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

## 1 القوة المركزية هي القوة المحصلة التي

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

ب.

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

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

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

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

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

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

ج. قوة التجاذب الكتلتي بين الأرض والقمر.

د.

$$F_c = m a_c$$

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

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

## المنعطفات المائلة

الهدف:

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

### الإجراءات والتوجيهات:

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

اطرح على أفراد المجموعات الأسئلة الآتية:

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

قوة الاحتكاك السكوني الجانبية بين إطارات السيارة و سطح الطريق.

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

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

- لماذا تصميم طريق المنعطف بشكل مائل؟

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

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

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

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج



### والمواد الدراسية

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

## المنعطفات المائلة Banked turns

## الإثراء والتوسع

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

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

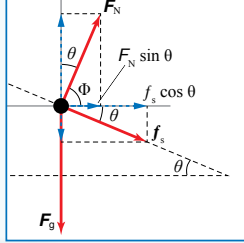
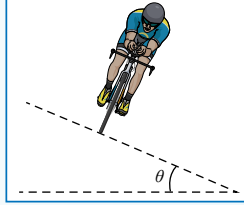
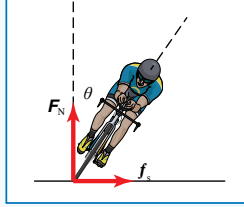
كذلك عندما تدخل دراجة هوائية منعطفًا، فإن راكبها يدير مقودها لبدء الاستدارة في المنعطف، فتوفر قوة الاحتكاك الجانبية القوة المركزية نحو مركز المسار الدائري الذي يُشكله المنعطف.

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

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

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

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



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

50

### نشاط تتضمن مزايا المنعطفات المائلة:

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

توصيات لتصميم منعطف خطر بشكل مائل:

توصيات محتملة:

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

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



ملاحظة: أينما يلزم اعتبر:  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $g_M = 1.6 \text{ m/s}^2$ ,  $m_E = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$

$r_E = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$ ,  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$  ما لم يُذكر غير ذلك.

1. أضغ دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

1. قوة ناتجة عن تلامس جسمين، وتكون دائماً عمودية على مستوى التلامس بينهما، إنها:

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

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

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

أ. A و B ب. B و C ج. A و C د. A و D

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

أ. A ب. B ج. C د. D

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

أ. A ب. B ج. C د. D

5. القوة التي تجذب الأرض بها الجسم تسمى:

أ. قوة الشد ب. قوة الاحتكاك ج. الوزن د. القوة العمودية

يتحرك قمر صناعي حول الأرض حركة دائرية منتظمة في مدار دائري، ويوضح الشكل المجاور القمر الصناعي عند أحد مواقعه في المدار. أستعين بالشكل للإجابة عن الأسئلة 6 - 9:

6. القوة المحصلة المؤثرة في القمر الصناعي هي:

أ. قوة عمودية، في اتجاه A ب. قوة مماسية، في اتجاه B

ج. قوة طرد مركزي، في اتجاه C د. قوة مركزية، في اتجاه D

7. إذا انعدمت القوة المؤثرة في القمر الصناعي، فإنه سيتحرك في اتجاه السهم:

أ. A ب. B ج. C د. D

8. منشأ القوة المحصلة المؤثرة في القمر الصناعي هو:

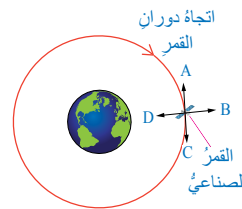
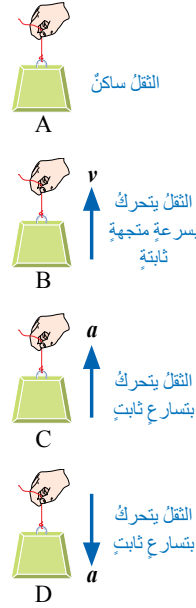
أ. قوة احتكاك ب. قوة عمودية

ج. قوة تجاذب كتلي د. قوة شد

9. إذا تضاعفت المسافة بين مركزي الأرض والقمر الصناعي مرتين، فإن قوة التجاذب الكتلي بينهما:

أ. تصبح ربع قيمتها الابتدائية ب. تتضاعف أربع مرات

ج. تصبح نصف قيمتها الابتدائية د. تتضاعف مرتين



51

1 - أ.

2 - أ.

3 - ج.

4 - د.

5 - ج.

6 - د.

7 - ج.

8 - ج.

9 - أ.

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* التفكير: التأمل والتساؤل.

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

10- ب .

11- ج .

12- أ .

13- أ .

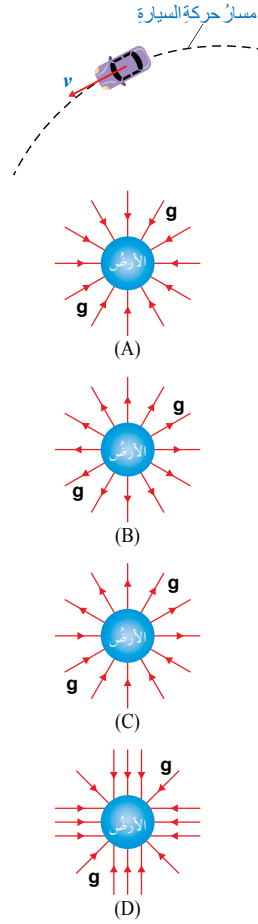
2 يؤثر التسارع المركزي في اتجاه القوة المركزية، ويكون نحو مركز المسار الدائري. التسارع المركزي ناتج عن تغير اتجاه السرعة المماسية، وليس تغير مقدارها، لذا يبقى مقدار السرعة المماسية ثابتاً في الحركة الدائرية المنتظمة.

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

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

ج . قوة الشد في الخيط.

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



52

10. مسبار (مجس) فضائي (space probe) على بُعد معين من الأرض. إذا كان وزن جسم موجود في المسبار (3.5 N)، وتسارع السقوط الحر في موقع المسبار (7 m/s<sup>2</sup>)، فإن كتلة هذا الجسم ووزنه على سطح الأرض على الترتيب:

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

11. يوضح الشكل المجاور منظرًا علويًا لسيارة تتحرك في مسار دائري أفقي بسرعة ثابتة مقدارًا. بناءً على ما سبق، فأَيُّ الجمل الآتية صحيحة؟

أ. القوة المحصلة المؤثرة في السيارة تساوي صفرًا؛ لأنها تتحرك بسرعة ثابتة.

ب. القوة المحصلة المؤثرة في السيارة لا تساوي صفرًا، وتؤثر فيها نحو خارج المسار.

ج. القوة المحصلة المؤثرة في السيارة لا تساوي صفرًا، وتؤثر فيها نحو مركز المسار.

د. القوة المحصلة المؤثرة في السيارة لا تساوي صفرًا، وتؤثر فيها في اتجاه حركتها.

12. أيُّ الأشكال الموضحة في الشكل المجاور يُمثل اتجاه تسارع الجاذبية الأرضية؟

أ. A ب. B ج. C د. D

13. تستقر سيارة كتلتها (1.5 × 10<sup>3</sup> kg) على طريق أفقي خشن. عند محاولة سائقها تشغيلها لم يعمل المحرك، فساعد شخص ودفع السيارة بقوة أفقية مقدارها (400 N)، ولم يستطع تحريكها. أيُّ القوى الآتية تساوي مقدار قوة دفع هذا الشخص:

أ. قوة الاحتكاك السكوني التي يؤثر بها سطح الطريق في قدمي الشخص.

ب. قوة الجاذبية المؤثرة في السيارة.

ج. القوة العمودية المؤثرة في السيارة.

د. قوة الاحتكاك الحركي التي يؤثر بها سطح الطريق في قدمي الشخص.

2. أفسّر: في أي اتجاه يؤثر التسارع المركزي؟ وهل يؤدي إلى تغير مقدار السرعة المماسية؟ أفسّر إجابتي.

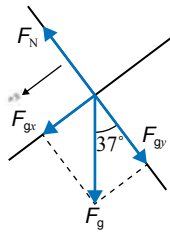
3. أعدد منشأ القوة التي تسبب الحركة الدائرية للأجسام الآتية:

أ. حركة الأرض في مدار حول الشمس.

ب. حركة الملابس في حوض التجفيف الأسطواني في غسالة (أي مُجففة الملابس).

ج. حركة كرة مربوطة في نهاية خيط في مسار دائري أفقي.

د. حركة الإلكترون حول النواة.



4. نرسم مخطط الجسم الحر للصندوق، مع اختيار المحور x في اتجاه يوازي المستوى المائل، والمحور y عمودي عليه، كما هو موضح، ثم نحلل وزنه إلى مركبتين متعامدتين:

$$F_{gx} = F_g \sin \theta$$

$$= mg \sin 37^\circ = 2 \times 10 \times 0.6 = 12 \text{ N}$$

$$F_{gy} = F_g \cos \theta$$

$$= mg \cos 37^\circ = 2 \times 10 \times 0.8 = 16 \text{ N}$$

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

$$\sum F_y = 0$$

$$F_N - F_{gy} = 0$$

$$F_N = F_{gy} = 16 \text{ N}$$

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

$$\sum F_x = ma$$

$$F_{gx} = ma$$

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

## مراجعة الوحدة

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

$$7 \text{ أ. } g_{\text{Jupiter}} = \frac{G m_{\text{Jupiter}}}{r_{\text{Jupiter}}^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(1.9 \times 10^{27})}{(7.15 \times 10^7)^2} = 24.8 \text{ m/s}^2$$

ب.

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

$$F_{Ty} = F_g$$

$$F_T \cos \theta = m g$$

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

$$F_C = F_{Tx}$$

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

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

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

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

9 أ.

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

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

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

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

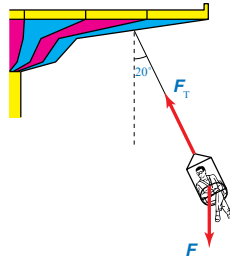
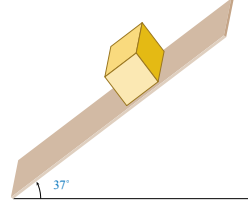
ب.

$$F_c = m a_c = (135)(9) = 1.22 \times 10^3 \text{ N}$$

ج.

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

## مراجعة الوحدة



4. **أحسب:** صندوق كتلته (2 kg)، ينزلق على مستوى مائل أملس، يميل على الأفقي بزاوية (37°)، كما هو موضح في الشكل المجاور. إذا علمت أن  $\sin 37^\circ = 0.6$ ،  $\cos 37^\circ = 0.8$ ، فأحسب:

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

5. **أحسب:** يدور قمر صناعي لتحديد المواقع (GPS) حول الأرض في مدار ارتفاعه (2.02 × 10<sup>7</sup> m) فوق سطحها. إذا علمت أن كتلته (1.6 × 10<sup>3</sup> kg)، فأحسب:

أ. قوة التجاذب الكتلي بين القمر الصناعي والأرض. ب. تسارع الجاذبية الأرضية في موقع القمر الصناعي.

6. **تفكير ناقد:** تروكسيارات السباق بإطارات مسطحة (slick)؛ للسباق على طرق جافة، بينما تروكسيارات بها أخاديد للسباق على طرق مبللة. أنظر الشكل المجاور.

أ. أفسر سبب استخدام كل نوع.

ب. بما أن الاحتكاك يعتمد على طبيعة السطحين المتلامسين، فما أهمية الأخاديد في إطارات السيارة؟

7. **أحسب:** إذا علمت أن كتلة المشتري (1.9 × 10<sup>27</sup> kg) تقريباً، ونصف قطره (7.15 × 10<sup>7</sup> m) تقريباً، فأحسب مقدار:

أ. تسارع السقوط الحر على سطح المشتري.

ب. وزن هدى على سطح المشتري، إذا علمت أن كتلتها (60 kg).

8. **أحل:** يجلس راكب على كرسي أفغانية معلق بسلسلة مهمة الكتلة متصلة بقرص دوار، كما هو موضح في الشكل المجاور. إذا علمت أن الأفغانية تتحرك حركة دائرية منتظمة، وكتلة الراكب والكرسي (95 kg)، ونصف قطر المسار الدائري الذي يتحرك به الراكب والكرسي (4.5 m)، وتصلح السلسلة زاوية (20°) بالنسبة إلى الرأس، فأحسب مقدار:

أ. قوة الشد في السلسلة.

ب. السرعة المماسية للراكب في الكرسي.

9. **قمر صناعي** كتلته (135 kg) يدور في مدار منخفض حول الأرض على ارتفاع (250 km) من سطحها. إذا كان الزمن الدوري له (90 min)، وبافتراض أن مساره دائري؛ فأجب عما يأتي:

أ. **أحسب** مقدار السرعة المماسية للقمر الصناعي في مداره.

ب. **أحسب** مقدار التسارع المركزي للقمر الصناعي.

ج. **أحسب** مقدار القوة المركزية المؤثرة فيه.

د. أصف منشأ القوة المركزية المؤثرة في القمر الصناعي.

5 أ.

$$F_g = \frac{G m_1 m_2}{r^2} = \frac{G m_1 m_2}{(r_E + R)^2} = \frac{(6.67 \times 10^{-11})(5.98 \times 10^{24})(1.6 \times 10^3)}{(6.38 \times 10^6 + 2.02 \times 10^7)^2} = 9.03 \times 10^2 \text{ N}$$

ب.

$$F_c = F_g$$

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

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

6 أ.

معامل الاحتكاك السكوني بين إطار السيارة وسطح الطريق الجاف أكبر من معامل الاحتكاك السكوني بين الإطار وسطح الطريق المبلل، بسبب وجود طبقة فاصلة من الماء بينهما، لذا تستخدم الإطارات المسطحة للسباق على الطرق الجافة؛ حيث يكون هنالك تلامس مباشر بين سطحي الإطار والطريق. أما الإطارات ذات الأخاديد فتستخدم للسباق على طرق مبللة؛ حيث تنساب المياه خلال الأخاديد، مما يؤدي إلى عدم فقدان التلامس بين الإطار وسطح الطريق، مما يحمي السيارة من الانزلاق خاصة عند المنعطفات.

## مراجعة الوحدة

10 أ.

10. **أحسب:** في إحدى الألعاب الرياضية يدور لاعب مطرقة كتلتها (7.26 kg) متصلة بإحدى نهايتي سلسلة طولها (1.21 m) في مسار دائري أفقي، كما هو موضح في الشكل المجاور. واللاعب الفائز هو الذي يرميها إلى أبعد مسافة ممكنة. فإذا دار لاعب حول نفسه وهو ممسك بالطرف الحر للسلسلة على بُعد (0.64 m) من محور دورانه، وأكمل دورة كاملة خلال (0.55 s)، وبافتراض أن اللاعب حرك السلسلة والمطرقة في مسار دائري أفقي في أثناء دورانه، فأحسب مقدار:



أ. السرعة المماسية للمطرقة.  
ب. القوة المركزية المؤثرة في المطرقة قبل إفلاتها.

11. **أحسب:** تتحرك سيارة كتلتها ( $9 \times 10^3$  kg) في مسار دائري نصف قطره (70 m) بسرعة ثابتة مقداراً، إذا كان معامل الاحتكاك السكوني بين إطارات السيارة وسطح الطريق (0.70)، والقوة المركزية المؤثرة فيها ( $2.5 \times 10^3$  N)، وسطح الطريق أفقي، فأحسب مقدار:

أ. التسارع المركزي للسيارة.  
ب. السرعة المماسية للسيارة.  
ج. أكبر سرعة يمكن أن تتحرك بها السيارة على هذا الطريق دون أن تنزلق.



12. **أحسب:** يبين الشكل المجاور لعبة الحصان الدوار (دوامة الخيل) (carousel)، في إحدى مدن الألعاب؛ حيث تتحرك حركة دائرية منتظمة حول محور دوران. فإذا ركب طفل كتلته (30 kg) أحد الأحصنة الموجودة على اللعبة، وكان يُعدّ عن محور الدوران (3 m)، والحصان يُتم دورة كاملة كل (20 s)، فأحسب مقدار كل من:

أ. السرعة المماسية للطفل.  
ب. القوة المركزية المؤثرة في الطفل.  
ج. السرعة المماسية للطفل عندما يجلس على حصان آخر يبعد عن محور الدوران (4 m).



13. **حلّقت** في أحد العروض الجوية إحدى طائرات سلاح الجو الملكي الأردني كتلتها ( $1.2 \times 10^4$  kg)، في مسار دائري أفقي نصف قطره (1 km)، بحيث أتمت الطائرة دورتين خلال (1 min). أجب عما يأتي:

أ. **أحسب** مقدار سرعتها المماسية.  
ب. **أحسب** مقدار تسارعها المركزي.  
ج. **أحسب** مقدار القوة المركزية المؤثرة في الطيار؛ إذا علمت أن كتلته (70 kg).  
د. **أفان** مقدار التسارع المركزي المؤثر في الطيار بتسارع السقوط الحر على سطح الأرض، ماذا أستنتج؟

54

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

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

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

ب.

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

11 أ.

$$v^2 = a_c r = (2.78)(70) = 194.6$$

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

ب.

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

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

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

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

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

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

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

12 أ.

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

ب.

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

ج.

13 أ.

أ. بداية نحسب الزمن الدوري، حيث عدد الدورات ( $n = 2$ )، والزمن الكلي ( $t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}$ ):

$$T = \frac{t}{n} = \frac{60}{2} = 30 \text{ s}$$

ثم نحسب السرعة المماسية، مع تحويل وحدة قياس نصف القطر إلى (m):

$$v = \frac{2\pi r}{T} = \frac{2(3.14)(1000)}{30} = 209.4 \text{ m/s}$$

ب.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(209.4)^2}{1000} = 43.9 \text{ m/s}^2$$

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

ج.

$$\frac{a_c}{g} = \frac{43.9}{10} = 4.4$$

د.

أي أن التسارع المؤثر في الطيار نتيجة حركته الدائرية يساوي (4.4) أضعاف تسارع السقوط الحر على سطح الأرض.



## الوحدة الخامسة: الموائع FLUIDS

| تجربة استهلاكية: خواص الموائع. |  |   |           |
|--------------------------------|--|---|-----------|
| الدرس                          | التتجات  | التجارب والأنشطة  | عدد الحصص |
| الأول:<br>الموائع الساكنة.     | <ul style="list-style-type: none"> <li>يوضح المفاهيم المتعلقة بالموائع الساكنة.</li> <li>يوظف التجارب العملية في التحقق من قاعدة أرخميدس .</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>قوة الطفو وقاعدة أرخميدس.</li> </ul> | 5         |
| الثاني:<br>الموائع المتحركة.   | <ul style="list-style-type: none"> <li>يوضح المفاهيم المتعلقة بالموائع المتحركة.</li> <li>يستقصي خصائص المائع المثالي والعوامل المؤثرة في حركته.</li> <li>يوظف التجارب العملية في التحقق من معادلة برنولي.</li> <li>يوظف معرفته بالمفاهيم والعلاقات الخاصة بحركة الموائع في حل مسائل حسابية، وتفسير مواقف حياتية متعلقة بها.</li> <li>يوظف التجارب العملية في تعرف خصائص الموائع المتحركة وتطبيقاتها.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>خصائص الموائع المتحركة.</li> </ul>   | 5         |

| الصف | النتائج اللاحقة | الصف   | النتائج السابقة   |
|------|-----------------|--------|---|
|      |                 | الثامن | <ul style="list-style-type: none"> <li>• يوضّح المفاهيم المتعلقة بميكانيكا الموائع.</li> </ul>  |
|      |                 | التاسع | <ul style="list-style-type: none"> <li>• يوضّح المفاهيم المتعلقة بميكانيكا الموائع.</li> <li>• يتعرف معادلة تصف الضغط الذي يؤثر به مائع في نقطة داخله.</li> <li>• يستقضي خصائص ضغط المائع عند نقطة داخله، والعوامل التي يعتمد عليها.</li> <li>• يتعرف أجهزة قياس الضغط والضغط الجوي.</li> </ul> |

## الموائع Fluids

### أتأمل الصورة

● وجه انتباه الطلبة إلى تأمل صورة السفينة التي تحمل على متنها السياح غالباً، ثم اطرح عليهم الأسئلة الآتية:

- هل سبق لك أن شاهدت أو ركبت سفينة ما؟ 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 غالباً من الفولاذ و مواد 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 جداً؟

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.



### أتأمل الصورة

قال الله تعالى: ﴿وَمِنْ آيَاتِهِ الْجَوَارِ الْمُنشَآتُ فِي الْبَحْرِ كَالْأَعْلَامِ﴾. (سورة الرحمن، الآية 24)  
تُعَدُّ السفنُ والبواخرُ من آياتِ الله تعالى الدالة على قدرته وسلطانه، وهي من وسائلِ النقلِ البحريةِ الرئيسةِ والمهمةِ؛ حيثُ تُستخدَمُ في عملياتِ نقلِ الركابِ والسياحِ وشحنِ البضائعِ والنفطِ بينَ الدولِ عبرَ البحارِ والمحيطاتِ، وتصلُ حمولتها إلى مئاتِ آلافِ الأطنانِ، ومع ذلكَ تطفو فوقَ سطحِ الماءِ ولا تغرقُ، فما الذي يجعلُ تلكَ السفنَ والبواخرَ تطفو على سطحِ الماءِ رغمَ أنها مصنوعةٌ من فلزِّ الحديدِ الذي لا يطفو على سطحِ الماءِ؟

55

● يَبْنِ 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.

● الفت 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.

● وضح 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.

● يَبْنِ للطلبة أن السفن حالياً أكثر أماناً من ذي قبل؛ فهي مجهزة بأنظمة الرادار والملاحة، فضلاً عن وجود نظام تحديد المواقع العالمي GPS لتعقب مكان السفن وتوافر شبكة الإنترنت. إضافة إلى الخطوط والتدريجات التي توضع على مقدمة السفينة وجوانبها Draft Mark التي تحدد العمق الآمن وحدود التحميل القصوى والتي ساهمت في الحد من حوادث الغرق الناتجة عن الحمولة الزائدة.

## الفكرة العامة:

• اكتب الفكرة العامة على اللوح، ثم وجّه الطلبة إلى استخراج المفاهيم التي تتناولها، ثم اطرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

- هل كثافة الغاز أو الهواء داخل المنطاد المحلق في سماء وادي رم جنوب الأردن في الصورة أكبر أم أقل من كثافة الهواء الجوي المحيط بالمنطاد؟

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 فرقاً في الضغط، ومن ثم تنشأ قوة رفع تدفع بالأجنحة والطائرة إلى أعلى.

## مشروع الوحدة:

### تصميم طائرة عمودية

تحقيقاً لمنحى STEAM ولتدريب الطلبة على تطبيق خطوات بناء المشروع العلمي بدءاً من التخطيط والتصميم وبناء النماذج العلمية المناسبة واختبار تلك النماذج؛ جاء هذا المشروع -تصميم طائرة عمودية (مروحية)- تطبيقاً لما تعلمه الطلبة عن معادلة برنولي وتطبيقاتها. وجّه الطلبة إلى إمكانية الاستفادة من المواقع الإلكترونية الموثوقة والأمنة في البحث عن مقاطع فيديو تعليمية وتصاميم مشابهة في هذا المجال؛ مثل التصميم المبين في الشكل، ثم أجرِ الخطوات الآتية:

• اتفق مع الطلبة على معايير تقويم المشروع.



## الفكرة العامة:

تختلف الموائع (السوائل والغازات) الساكنة عن الموائع المتحركة في خصائصها وسلوكها والمعادلات التي تصف حركتها، وكلاهما يلعب دوراً مهماً وحيوياً في حياتنا، إضافةً إلى تطبيقاتها العملية في مختلف المجالات والتخصصات.

### الدرس الأول: الموائع الساكنة Static Fluids

الفكرة الرئيسة: يؤثر المائع الساكن في الأجسام المغمورة فيه كلياً أو جزئياً بقوة دفع تُسمى قوة الطفو.

### الدرس الثاني: الموائع المتحركة Fluids in Motion

الفكرة الرئيسة: للموائع المتحركة خصائص وسلوكات وتطبيقات خاصة بها، يمكن تفسيرها عن طريق معادلة الاستمرارية ومعادلة برنولي.



56

- قسّم الطلبة إلى مجموعات، وكلف كل مجموعة بتصميم نموذج للطائرة العمودية.
- ناقش مع طلبة الصف التصميمات المقدمة من المجموعات؛ لاختيار التصميم المناسب بالاعتماد على المعايير التي اتُفق عليها.
- كلف المجموعات بتنفيذ التصميم المتفق عليه واختباره عملياً أمام الطلبة (قدرة الطائرة المصممة على الطيران، والقدرة على التحكم بها باستخدام جهاز التحكم (الريموت)، علماً بأنه يمكن شراء جهاز التحكم والشريحة الخاصة به من محلات الإلكترونيات.

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* القضايا ذات العلاقة بالعمل: إدارة المشاريع.

وجّه الطلبة إلى أهمية التخطيط للمشروع بشكل دقيق وعلمي، ودراسته، وجمع معلومات كافية عنه قبل البدء بتنفيذه، وعمل المخططات والتصاميم المناسبة، واختبارها.



## تجربة استعلاية

الهدف:

- استقصاء العلاقة بين كل من: متوسط كثافة الجسم وكثافة المائع وطفو الجسم في المائع عملياً.
- استقصاء العلاقة بين سرعة المائع وضغطه عملياً (معادلة برنولي).

زمن النشاط: 20 دقيقة.

**إرشادات السلامة:** الحذر في التعامل مع الأدوات الزجاجية والحادة.

المهارات العلمية: المقارنة، الملاحظة، التوقع، الاستنتاج، التفسير، الوصف، التنبؤ.

الإجراءات والتوجيهات:

- وجه الطلبة إلى الاستعانة بدليل الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، ونبه 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 ملاصقة 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 أو عدم 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؛ وبالتالي 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 رأسياً 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

## تجربة استعلاية



### خصائص الموائع

المواد والأدوات: كأسان شفافان، ماصة، مشرط، ورقنا رقائقي الألمنيوم متماثلان، ماء.

**إرشادات السلامة:** الحذر في التعامل مع الأدوات الزجاجية والحادة.

خطوات العمل: بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:

الجزء الأول:

1 **الاحظ:** أملأ الكأس الزجاجية بالماء، ثم أطوي إحدى رقائقي الألمنيوم عدة طيات؛ حتى تصبح على شكل مكعب أو كرة مصمتة وأضعها على سطح الماء وألاحظ ما يحدث لها.

2 **أصمم:** من رقاقة الألمنيوم الثانية شكلاً مجوفاً على شكل قارب بسيط مثلاً كما في الشكل، وأضعه على سطح الماء. أدون ملاحظاتي حول ما يحدث للقارب.

الجزء الثاني:

1 **أضيف:** كمية من الماء في الكأس، وأستخدم المشرط في قطع الماصة إلى نصفين؛ بحيث يبقى نصفها معلقين معاً، وأثنيها لتكون الزاوية بين نصفيها قائمة تقريباً. أضع النصف الأول من الماصة في الكأس بشكل رأسي، بحيث يغمر جزء منه في الماء، والنصف الثاني بشكل أفقي، كما في الشكل.

2 **الاحظ:** أنفخ في الطرف الأيسر للماصة الأفقية، وأدون ملاحظاتي حول حركة الماء داخل الماصة الرأسية، وعند فوهتها.

3 **أقارن:** أكرر الخطوة (2) ولكن بالنفخ بقوة أكبر لزيادة سرعة الهواء في الماصة الأفقية، وأدون ملاحظاتي حول الفرق بين نتائج الخطوات.

التحليل والاستنتاج:

- 1 **أحلل:** هل اختلف متوسط كثافة القارب عن كثافة رقاقة الألمنيوم التي صُنع منها القارب؟ أوضح ذلك.
- 2 **أفسر:** تفرق رقاقة الألمنيوم الأولى في الماء وتستقر في قعر الكأس، بينما تطفو الأخرى فوقه رغم أن وزن كل من الرقائقي نفسه، ما السبب؟
- 3 **أنتبه:** ماذا سيحدث للقارب إذا وضعنا بعض الأثقال الخفيفة فوقه؟
- 4 أحدد اتجاه حركة الماء في الماصة الرأسية عند النفخ في الماصة الأفقية.
- 5 هل حدث فرق بين ضغط الهواء فوق سطح الماء في الكأس، وضغطه في الماصة الرأسية بعد نفخ الهواء؟ أوضح ذلك.
- 6 أصف ما يحدث للماء في كل من الكأس والماصة الرأسية وعند فوهتها في الخطوات (2) و(3). وما علاقة ذلك بفرق ضغط الهواء؟

57

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 | معايير الأداء  | 4 | 3 | 2 | 1 |
|-------|--|---|---|---|---|
| 1     | يلتزم بتعليمات الأمان والسلامة العامة أثناء تنفيذ خطوات التجربة. |   |   |   |   |
| 2     | ينفذ خطوات التجربة بدقة.   |   |   |   |   |
| 3     | يصمم قارباً يطفو فوق سطح الماء.                                  |   |   |   |   |
| 4     | يصف نتائج التجربة التي توصل إليها.                               |   |   |   |   |
| 5     | يقارن النتائج التي توصل إليها بنتائج زملائه.                     |   |   |   |   |
| 6     | يحترم الرأي والرأي الآخر.  |   |   |   |   |

### الموائع Fluids

المادة في حالتها الطبيعية تكون على إحدى ثلاث حالات: (الصلبة أو السائلة، أو الغازية)، وتتميز المادة في الحالتين السائلة والغازية عنها في الحالة الصلبة بخاصيتي الجريان (الانسياب)، وتغيير شكلها إذا أثرت فيها قوى خارجية؛ لأن قوى التماسك بين جزيئاتها ضعيفة مقارنة بالحالة الصلبة. ويُطلق على المواد التي تتصف بخاصيتي القدرة على الجريان وتغيير الشكل الموائع Fluids.

إن دراسة الموائع (السوائل والغازات) لها أهمية كبيرة في حياتنا اليومية يمكن ملاحظتها بسهولة؛ فالهواء تحلق فيه الطائرات والمناطيد، والماء تطفو على سطحه السفن والبواخر، والدُم يجري في أوردتنا وشرابينا، إضافة إلى تطبيقات الموائع في مجموعة واسعة من التخصصات الهندسية والطبية والأرصاد الجوية، وتخصصي الفيزياء وعلم الأحياء. وتنقسم الموائع من حيث حالتها الحركية إلى قسمين هما: الموائع السكونية Static fluids والموائع المتحركة Fluids in motion.

عندما تشاهد باخرة تطفو على سطح الماء، كما في الشكل (1)، قد تتساءل: ما القوة التي يؤثر بها الماء في السفينة لتطفو على سطح البحر؟

### الفكرة الرئيسة:

يؤثر المائع الساكن في الأجسام المغمورة فيه كلياً أو جزئياً، بقوة دفع رأسياً إلى أعلى تُسمى قوة الطفو.

### نتائج التعلم:

- أوضح المفاهيم المتعلقة بالموائع الساكنة.
- أوظف التجارب العملية في التحقق من قاعدة أرخميدس.

### المفاهيم والمصطلحات:

الموائع Fluids  
ضغط المائع Fluid Pressure  
قوة الطفو Buoyant Force  
قاعدة أرخميدس  
Archimedes' Principle  
مقياس كثافة السوائل Hydrometer

✓ **أنحقق:** ما المقصود بالموائع؟

الشكل (1): باخرة تطفو على سطح الماء.

58

### تقديم الدرس

### الفكرة الرئيسة:

#### قوة الطفو

- وضح للطلبة أن الموائع السكونية فرع من فروع ميكانيكا الموائع (السوائل والغازات) التي تعنى بدراسة الموائع في حالة السكون؛ من حيث الضغط الذي يؤثر به المائع في الأجسام المغمورة فيه، وكذلك قوة دفع المائع في تلك الأجسام، التي تسمى قوة الطفو Buoyant Force.

### وجه الأسئلة الآتية للطلبة:

- 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 محصلة القوى العمودية المؤثرة فيها تساوي صفراً.

### الربط بالمعرفة السابقة:

#### قوة الطفو والضغط والكثافة

- ذكّر الطلبة بما تعلموه سابقاً 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.

✓ **أنحقق:**

الموائع: هي المواد التي تتصف بخاصيتي القدرة على الجريان وتغيير شكلها، وتشمل السوائل والغازات.

### أخطاء شائعة

يعتقد بعض الطلبة أن للمادة ثلاث حالات (صلبة، سائلة، غازية) فقط، وضح للطلبة أن هناك حالة رابعة للمادة وهي البلازما كما في الشمس والنجوم وهي ليست موجودة في الحالة الطبيعية للمادة، ولكنها تتج بفعّل الضغط والحرارة الشديدين اللذين تتعرض لهما.

## بناء المفهوم:

### (ضغط المائع)

- استخدم استراتيجيات الطاولة المستديرة؛ عن طريق تقسيم الطلبة إلى مجموعات، ووجه إلى الطلبة السؤال الآتي:
- ماذا يعني لك مفهوم الضغط؟ وما العوامل التي يعتمد عليها الضغط؟
- يقدم كل طالب في المجموعة فقرة تساهم في الإجابة عن السؤال، وبعد ذلك تنظم كل مجموعة إجاباتها، وتعرضها على المجموعات الأخرى؛ للتوصل في النهاية إلى مفهوم الضغط والعوامل التي يعتمد عليها.

### أفكر: لأن جميع النقاط على سطح المكعب الأفقي

تقع على العمق نفسه من سطح الماء ( $h$ )، وبناء عليه؛ فإن ضغط الماء عند تلك النقاط يكون متساوياً حسب العلاقة:

$$P = \rho_f gh$$

ولا يعتمد على المساحة.

### أخطاء شائعة

- عدم التمييز بين عمق السائل وعمق النقطة تحت سطح السائل، بين للطلبة الفرق بينهما.

### إنباء للمعلم

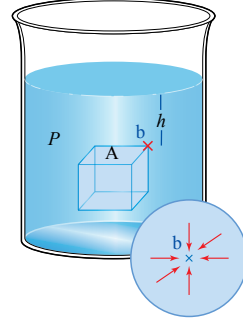
بغض النظر عن شكل الجسم المغمور في المائع الساكن سواء كان منتظماً أو غير منتظم، فإن القوى التي يؤثر بها المائع تكون باتجاه عمودي على أوجه ذلك الجسم.

### أتحقق:

نعم؛ فكلما ارتفعنا عن سطح الأرض يقل تسارع السقوط الحر ( $g$ ) ومن ثم يقل ضغط السائل

$$P = \rho_f gh$$

## ضغط المائع Fluid Pressure



الشكل (2): الضغط داخل المائع.

تعلمت في صفوف سابقة أن الضغط  $P$  (Pressure) قوة عمودية  $F$  تؤثر في وحدة المساحة  $A$  ووحدة قياسه في النظام الدولي SI هي باسكال  $\text{Pa} (\text{Pa} = \text{N/m}^2)$ ، وتعلمت أيضاً أن المائع يؤثر بضغط في جميع الاتجاهات على النقاط أو الأجسام داخله ويُعطى بالعلاقة:

$$P = \rho_f gh$$

حيث:  $h$  : ارتفاع عمود المائع فوق تلك النقطة.

$\rho_f$  : كثافة المائع.

$g$  : تسارع السقوط الحر.

أي أن ضغط المائع المتجانس (كثافته ثابتة) عند أية نقطة داخله يتناسب طردياً مع كل من عمق النقطة داخل المائع، وكثافة المائع وتسارع السقوط الحر. وحسب العلاقة أعلاه فإن جميع النقاط التي تقع على العمق نفسه تحت سطح المائع يكون الضغط عندها له القيمة نفسها وفي جميع الاتجاهات. فلو تخيلنا مكعباً وهمياً مغموراً في مائع متجانس كالماء مثلاً كما في الشكل (2)، فإن ضغط المائع  $P$  المؤثر إلى أسفل عند أية نقطة على سطح المكعب العلوي هو نفسه ضغط المائع عند النقطة  $b$  ( $P = \rho_f gh$ ).

### تمرين

أجدد ضغط الماء المؤثر في سمكة على عمق 20 m تحت سطح البحر (كثافة ماء البحر  $1024 \text{ kg m}^{-3}$ ،  $g = 10 \text{ m s}^{-2}$ ).

✓ **أتحقق:** هل يتغير ضغط سائل معين عند نقطة ما فيه بتغير ارتفاع موقع السائل عن سطح الأرض؟ أوضح إجابتي.

### مثال إضافي

غواص تحت سطح البحر يؤثر في جسمه ضغط مقداره  $5 \times 10^5 \text{ Pa}$ ، أحسب عمق الغواص عن سطح البحر علماً بأن كثافة ماء البحر  $1024 \text{ kg m}^{-3}$  وتسارع السقوط الحر  $10 \text{ m s}^{-2}$ .

### الحل:

$$P = \rho_f gh$$

$$5 \times 10^5 = 1024 \times 10 \times h \rightarrow h = 48.8 \text{ m}$$

### تمرين

### الحل:

$$P = \rho_f gh = 1024 \times 10 \times 20 = 2.048 \times 10^5 \text{ Pa}$$



## بناء المفهوم:

### قوة الطفو

• لترسيخ مفهوم قوة الطفو؛ اطلب إلى الطلبة طرح أمثلة من الحياة اليومية على أجسام تطفو فوق سطح السائل. ثم كلف أحد الطلبة برسم مخطط الجسم الحر لجسم ما من تلك الأجسام التي طرحت، وتوجيه أسئلة تتعلق بمحصلة القوى المؤثرة في ذلك الجسم، ثم التطرق إلى الأجسام المغمورة في الغازات كالهواء مثلاً، 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 1kg تقريباً بخيط كما في الشكل 3 / أ ومحاولة سحبه إلى أعلى من أسفل الحوض إلى سطح الماء، ومن ثم إلى الهواء خارج الماء. وجه الأسئلة الآتية إلى الطلبة:

- هل تغير مقدار قوة الشد في الخيط 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 الدفع من قبل

الماء أكبر بكثير من قوة دفع الهواء، والتي يمكن إهمالها

مقارنة مع وزن الجسم.

## معلومة إضافية

### كثافة الماء المالح والماء العذب

ماء البحر هو الماء الموجود في بحار العالم ومحيطاته، وتبلغ نسبة ملوحته تقريباً 3.5% أي 35 g/L والأملاح الذائبة فيه في الغالب أيونات الصوديوم والكلوريد. تبلغ كثافة ماء البحر  $1024 \text{ kg.m}^{-3}$  في المتوسط، وهي أعلى من كثافة الماء العذب (النقي)  $1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ؛ لأن الأملاح الذائبة تزيد من كتلة الماء دون أن تحدث تغييراً واضحاً 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 والبحيرات. أما البحر الميت الذي يمثل أخفض نقطة على سطح الكرة الأرضية؛ حيث ينخفض 437 m تحت

## قوة الطفو ( $F_B$ ) Buoyant Force

وزن الأجسام المغمورة في المائع يبدو أقل من وزنها في الهواء؛ فمن السهل مثلاً رفع حجر من داخل الماء إلى سطح الماء كما في الشكل (1/3)، وفجأة يبدو الجسم أثقل عند رفعه خارج سطح الماء، وتجذ صعوبة في رفعه. كذلك فإن السباحة في مياه البحر الميت المالحة جداً كما في الشكل (ب/3)، تكون أكثر سهولة من السباحة في مياه البرك أو حتى مياه البحار الأخرى الأقل ملوحة. وفي كلتا الحالتين تؤثر قوة جذب الأرض إلى أسفل في كل من الحجر وجسمك، بينما يؤثر الماء بقوة دفع إلى أعلى في تلك الأجسام. ما طبيعة هذه القوة؟ ومن أين تنشأ؟ وما العوامل التي تعتمد عليها؟

ضغط المائع لا يؤثر فقط في السطح العلوي للمكعب (على عمق  $h_1$ ) وإنما يؤثر في جميع جوانب المكعب بما فيها السطح السفلي للمكعب (على عمق  $h_2$ ) كما في الشكل (4)؛ على النحو الآتي:

$$P_1 = \rho_f g h_1 \quad \text{الضغط في السطح العلوي:}$$

$$P_2 = \rho_f g h_2 \quad \text{الضغط في السطح السفلي:}$$

و الفرق الضغط بين سطحي المكعب السفلي والعلوي  $\Delta P$ :

$$\Delta P = \rho_f g (h_2 - h_1) = \rho_f g \Delta h$$

وبما أن الضغط هو القوة التي يؤثر بها المائع في وحدة المساحة  $(P = \frac{F}{A})$ ، فإن:

القوة المؤثرة عمودياً في السطح العلوي للمكعب  $F_1$ :

$$F_1 = P_1 \times A = \rho_f g h_1 A, -y$$

القوة المؤثرة عمودياً في السطح السفلي للمكعب  $F_2$ :

$$F_2 = P_2 \times A = \rho_f g h_2 A, +y$$

وبالتالي؛ فإن محصلة القوى  $F$  التي يؤثر بها المائع (قوة دفع المائع)

في المكعب تساوي:

$$F = F_2 - F_1$$

$$= \rho_f g A (h_2 - h_1)$$

$$= \rho_f g A (\Delta h)$$

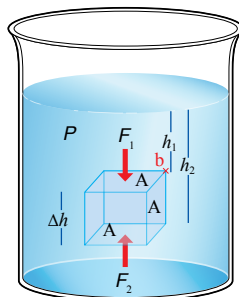
لكن حجم المكعب  $V$  يُعطى بالعلاقة:  $V = A (\Delta h)$



الشكل (1/3): سحب حجر مغمور في الماء.



الشكل (ب/3): السباحة في البحر الميت.



الشكل (4): القوى المؤثرة في مكعب داخل السائل.

مستوى سطح البحر، فتبلغ نسبة الملوحة فيه 340 g/L وهي نسبة كبيرة جداً تعادل عشرة أضعاف نسبة ملوحة البحار الأخرى، وكثافة مياهه تبلغ  $1240 \text{ kg.m}^{-3}$  مقارنة بكثافة مياه البحار الأخرى  $1024 \text{ kg.m}^{-3}$ ، وبسبب ذلك تطفو الأجسام على سطحه بسهولة.

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

### \* التفكير: الأدلة والبراهين.

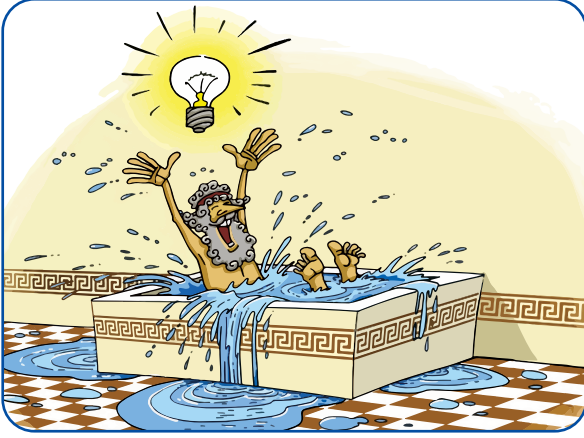
أخبر الطلبة أن استعمال الأدلة والبراهين من أشكال التفكير؛ فإقامة الدليل لها أهمية في تأكيد المعرفة، وكثير من العلاقات الفيزيائية تقوم على البرهان الرياضي كما في حالة قوة الطفو.

## استخدام الصور والأشكال:

• كلف الطلبة بعمل دوران بزواية معينة للمكعب في الشكل (4)، ورسم القوى التي يؤثر بها السائل في جوانب المكعب. ووضح للطلبة كيف أن محصلة القوى التي تؤثر في جوانب المكعب لا تتغير؛ عن طريق تحليل تلك القوى.



## قصة العالم أرخميدس وتاج الملك



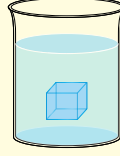
أرخميدس ( 212 - 287 قبل الميلاد) عالم رياضيات يوناني وفيزيائي ومهندس ومخترع وعالم فلك، ويعد أحد كبار العلماء في العصور القديمة، وهناك قول مشهور عن أرخميدس يقول فيه: «أعطني رافعة ومكاناً لأقف فيه وسأحرك العالم» مشيراً إلى قوة الرافعة.

● إن قصة اكتشاف قاعدة أرخميدس الشهيرة مثيرة جداً؛ ففي أحد الأيام أعطى الملك هيرون- ملك سيراكوز- تاجاً مصنوعاً من الذهب للعالم أرخميدس، وطلب منه 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 جداً؛ فعندما دخل حوض الاستحمام اكتشف أن مستوى الماء في الحوض ارتفع وأن جسمه أزاح كمية من الماء، فقفز من الحوض و خرج 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 إلى أن التاج الذهبي غير نقي. وعُرفت في ما بعد النتيجة التي توصل إليها بقاعدة أرخميدس واستناداً لذلك توصل أرخميدس إلى طريقة لمعرفة الكثافة النسبية للمواد.

● اخترع أرخميدس كثيراً من الأجهزة التي استخدمت باعتبارها آلات حربية فعالة بشكل خاص في الدفاع عن بلده سيراكوز؛ عندما هاجمها الرومان.

**أفكر:** أعلن: محصلة القوى التي يؤثر بها المائع في الجوانب العمودية للمكعب المغمور في المائع- كما في الشكل - تساوي صفراً؟

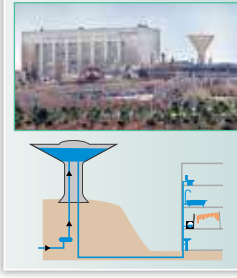


### الفيزياء والحياة

برج المياه هو خزان مائي يُبنى على ارتفاع عالٍ من أجل الاحتفاظ بموارد مائية، وتوليد الضغط على نظام توزيع المياه. يتغير الضغط كلما ارتفع خزان المياه؛ فلكل 10.2 cm من الارتفاع يتغير الضغط بمقدار 1 kPa تقريباً حسب العلاقة:

$$\Delta P = \rho g \Delta h$$

وهو ما يكفي لتوفير الضغط اللازم لمتطلبات نظام لتوزيع المياه على طوابق المبنى. ويُستخدم البرج في عددٍ من المدارس والجامعات والمستشفيات وغيرها؛ ويمثل الشكل أدناه صورة لبرج المياه في مدينة الحسين الطبية في العاصمة عمان.



61

أي أن قوة دفع المائع المؤثرة رأسياً إلى أعلى في المكعب تساوي:

$$F = \rho_f V g$$

حيث:

$\rho_f$ : كثافة المائع.

$V$ : حجم المكعب.

وتسمى محصلة القوى التي يؤثر بها المائع في الجسم المغمور

فيهِ كلياً أو جزئياً رأسياً إلى أعلى قوة الطفو (Buoyant force ( $F_B$ )).

نلاحظ أن قوة الطفو تم اشتقاقها نظرياً باستخدام قوانين نيوتن لحالة خاصة، وهي مكعب مغمور في الماء ولكنها تطبق على الأجسام بأشكالها المختلفة (منتظمة أو غير منتظمة) المغمورة في أي مائع، وتنشأ قوة الطفو بسبب فرق في الضغط بين أعلى الجسم المغمور في المائع وأسفله بغض النظر عن عمق المائع أو شكل الجسم.

✓ **أنحقق:** ما العوامل التي تعتمد عليها قوة الطفو؟

### قاعدة أرخميدس Archimedes' Principle

العالم اليوناني أرخميدس توصل إلى معادلة قوة الطفو السابقة نفسها ولكن عن طريق التجربة قبل ذلك بفترة طويلة، وعُرفت في ما بعد بقاعدة أرخميدس. ولدراسة العوامل التي تعتمد عليها قوة الطفو (قوة دفع المائع) عملياً، وللتحقق كذلك من قاعدة أرخميدس عملياً؛ أجري التجربة الآتية:

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* القضايا الإنسانية والسياسية والوطنية : المواطنة

وجّه الطلبة إلى أهمية المواطنة الصالحة القائمة على الانتماء للوطن، وكيف استثمار العالم أرخميدس علمه وفكره في تطوير أدوات وآلات حربية للدفاع عن وطنه ضد الغزو الروماني لبلاده.

**أفكر:** 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 صفراً، وعليه؛ فإن محصلة القوى التي يؤثر بها المائع في جميع الجوانب العمودية للمكعب المغمور في المائع تساوي صفراً.

✓ **أنحقق:**

العوامل التي تعتمد عليها قوة الطفو وهي:

1. كثافة المائع المزاح  $\rho_f$
2. حجم المائع المزاح  $V_f$
3. تسارع السقوط الحر  $g$

### الهدف:

- التحقق من قاعدة أرخميدس عملياً.
- إيجاد قوة الطفو عملياً.
- زمن النشاط: 35 دقيقة.

### إرشادات السلامة:

الحذر من سكب السوائل على الأرضية حتى لا تصبح زلقة،  
والحذر في التعامل مع الأدوات الزجاجية.

### المهارات العلمية:

القياس، استعمال المتغيرات، التجريب، التوقع، الملاحظة، الحسابات.

### الإجراءات والتوجيهات:

- وجّه الطلبة إلى الاستعانة بكتاب الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، ثم وضح لهم ما يأتي:
- ضرورة معايرة كل من الميزان النابضي والميزان الإلكتروني قبل استخدامها.
- الدقة في قياس الكتلة والوزن، والنظر بشكل عمودي إلى تدريج الميزان النابضي عند أخذ القياسات.

### النتائج المتوقعة:

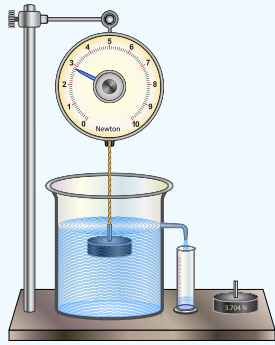
يتوقع من الطلبة الحصول على نتائج دقيقة، والتوصل إلى قاعدة أرخميدس. ربما تختلف النتائج من مجموعة إلى أخرى بالرغم من استخدامهم للأدوات نفسها. وسبب ذلك يعود ربما إلى عدم معايرة الموازين بشكل صحيح أو عدم الدقة في أخذ القياسات؛ لذا ينبه المعلم الطلبة إلى تلك الأخطاء لتلافيها.

### 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 ثابتاً.
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

## التجربة 1

### قوة الطفو وقاعدة أرخميدس



المواد والأدوات: قطعتان متماثلتان في الحجم إحداهما فلزية كالألمنيوم مثلاً، وأخرى خشبية، مخبر مدرج، ميزان إلكتروني، ميزان نابضي، دورق إزاحة، سائلان مختلفان في الكثافة (ماء، جليسرين).

إرشادات السلامة: الحذر من سكب السوائل على الأرضية؛ حتى لا تصبح زلقة، وفي التعامل مع الأدوات الزجاجية.

خطوات العمل: بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:

1. **أقيس** كلاً من كتلة المخبر المدرج فارغاً ( $m_1$ )، باستخدام الميزان الإلكتروني ووزن قطعة الألمنيوم في الهواء باستخدام الميزان النابضي  $F_g$ ، ثم أدوّن النتائج في الجدول.
2. أبدأ بملء دورق الإزاحة بالماء وأتوقف مباشرة قبل أن يبدأ الماء بالانسكاب من فتحة الدورق.
3. **الاحفظ:** أضغ المخبر المدرج تحت فتحة الدورق، ثم أنزل قطعة الألمنيوم المعلقة بالميزان ببطء في الماء حتى تنغمر كلياً، والاحظ انسكاب الماء في المخبر أثناء ذلك، كما في الشكل، وأقيس وزن القطعة في الماء ( $F_g'$ ) وأدوّن النتيجة في الجدول.
4. **أقيس** كتلة المخبر والماء المنسكب فيه (الماء المزاح) معاً ( $m_2$ ) باستخدام الميزان الإلكتروني، وأدوّن النتيجة في الجدول.
5. **أحسب** النقصان في وزن القطعة ( $F_g - F_g'$ ) ووزن الماء المزاح  $F_{gf} = (m_2 - m_1)g$ .
6. أكرّر الخطوات السابقة مستخدماً سائلاً آخر غير الماء مثل الجليسرين، وأدوّن النتائج في الجدول.
7. أكرّر الخطوات (1-6) مستخدماً القطعة الخشبية بدلاً من الألمنيوم، مع الانتباه إلى أن الخشب لا ينغمر كلياً، وأدوّن النتائج في الجدول.

### التحليل والاستنتاج:

1. **أقارن** بين النقصان في وزن القطعة وبين وزن السائل المزاح.
2. **أحلل:** عند تغيير كثافة السائل، ما التغيير الذي حدث لكل من: النقصان في وزن القطعة، ووزن السائل المزاح؟
3. أصف العلاقة بين قوة الطفو وكل من: النقصان في وزن القطعة، ووزن السائل المزاح.
4. أصف التغيير في وزن السائل المزاح عند استخدامي قطعة الخشب، ما العلاقة بين وزن السائل المزاح ووزن القطعة في الهواء؟
5. **أتوقع** ما يحدث لكل من حجم السائل المزاح ووزنه عند استخدامي قطعة ألمنيوم ذات حجم أكبر.

- المزاح مساوياً لوزن القطعة في الهواء؛ على أساس أن وزن القطعة في السائل يساوي صفراً.
5. بزيادة حجم قطعة الألمنيوم يزداد كل من: حجم السائل المزاح، ووزنه، وقوة الطفو.

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء. أداة التقويم: سلم التقدير العددي.

| الرقم | معايير الأداء  | 4 | 3 | 2 | 1 |
|-------|--|---|---|---|---|
| 1     | يراعي تعليمات الأمان والسلامة العامة أثناء تنفيذ خطوات التجربة.  |   |   |   |   |
| 2     | ينفذ خطوات التجربة بدقة.   |   |   |   |   |
| 3     | يعاير كلاً من الميزان الإلكتروني والميزان النابضي قبل استخدامها. |   |   |   |   |
| 4     | يقيس الكتل باستخدام الميزان الإلكتروني بشكل صحيح.                |   |   |   |   |
| 5     | يقيس الوزن باستخدام الميزان النابضي بشكل صحيح.                   |   |   |   |   |
| 6     | يحسب قوة الطفو بدقة عالية.                                       |   |   |   |   |
| 7     | يتعاون مع زملائه في المجموعة، وفي المجموعات الأخرى.              |   |   |   |   |

### توظيف التكنولوجيا

ابحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية جاهزة عن موضوع قاعدة أرخميدس، ويفضل الفيديوهات التفاعلية. شارك الطلبة هذه المواد التعليمية باستخدام الروابط الإلكترونية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو تطبيق التواصل الاجتماعي (WhatsApp)، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو استعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة لمشاركة الطلبة وذوهم.



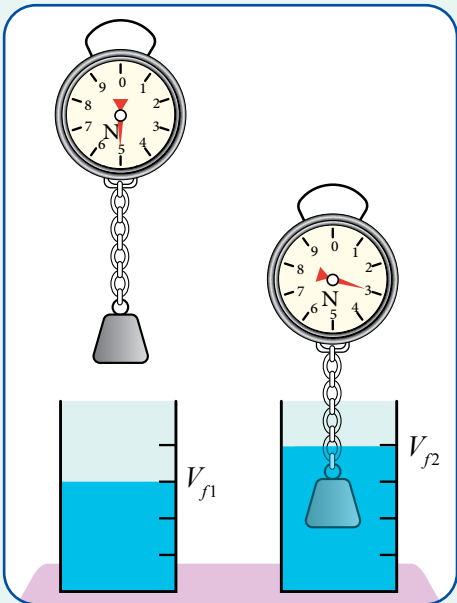
### قاعدة أرخميدس

### طريقة أخرى للتدريس

- في حال عدم توفر دورق إزاحة في مختبر المدرسة من أجل التحقق من قاعدة أرخميدس عملياً وإجراء تجارب مماثلة؛ يمكن استخدام مخبر مدرج وميزان نابضي؛ كما في الشكل على النحو الآتي:
- أضع كمية معينة من الماء في المخبر، وأقيس حجم الماء فيه  $V_{f1}$ .
- أعلق ثقلاً ما بميزان نابضي، وأقيس وزنه في الهواء  $F_g$ ، ثم أغمر الثقل في الماء، وأقيس وزنه  $F'_g$ .
- أقيس حجم الماء في المخبر  $V_{f2}$ .
- أطبق قاعدة أرخميدس:

$$F_B = F_g - F'_g = \rho_f (V_{f2} - V_{f1})g$$

للتأكد من صحة تلك القاعدة.



- ربما توصلت مما سبق إلى العوامل التي تعتمد عليها قوة الطفو وهي:
- كثافة المائع المزاح  $\rho_f$ : العلاقة طردية.
- حجم المائع المزاح  $V_f$ : العلاقة طردية.
- تسارع السقوط الحر  $g$ : العلاقة طردية.

صاغ العالم أرخميدس النتائج التجريبية التي توصل إليها على شكل قاعدة علمية سُميت قاعدة أرخميدس Archimedes' principle وتنص على ما يأتي:

«قوة الطفو المؤثرة في الجسم المغمور كلياً أو جزئياً في مائع تساوي وزن المائع المزاح». وبصورة أخرى: «الجسم المغمور كلياً أو جزئياً في مائع يخسر من وزنه بمقدار وزن المائع المزاح»، أنظر الشكل (5).

ويُعبّر عنها بالرموز على الصورة الآتية:

$$F_B = F_{gf} = m_f g = \rho_f V_f g$$

$$= F_g - F'_g$$

حيثُ

$F_{gf}$ : وزن المائع المزاح.

$F_g$ : وزن الجسم الحقيقي (النشأ عن جذب الأرض للجسم)،

ويساوي:  $F_g = m_o g = \rho_o V_o g$

$m_o$ : كتلة الجسم،  $\rho_o$ : كثافة الجسم،  $V_o$ : حجم الجسم.

$m_f$ : كتلة الماء المزاح.

$F'_g$ : وزن الجسم في المائع = محصلة قوتي الطفو والوزن

الحقيقي للجسم ( $F'_g = F_g - F_B$ )، ويسمى الوزن الظاهري

ويساوي قوة الشد في الحبل  $F'_g$  (كما في الشكل (5)).

الشكل (5).

تُطبق قاعدة أرخميدس على جميع الأجسام المغمورة بغض النظر عن شكل الجسم ونوع المائع.

✓ **أنحقّق:** أذكر نص قاعدة أرخميدس بالكلمات، وأعبر عنها بالرموز.

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

#### \* التفكير: التخطيط.

وضّح للطلبة أنّ 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، ويُنّ 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.

✓ **أنحقّق:**

نص قاعدة أرخميدس: «قوة الطفو المؤثرة في الجسم المغمور كلياً أو جزئياً في مائع تساوي وزن المائع المزاح»، ويُعبّر عنها بالرموز على النحو الآتي:

$$F_B = F_{gf} = m_f g = \rho_f V_f g$$

● نفترض أن لدينا حوض ماء وثلاث مكعبات (من رصاص، وخشب، وفلين) متماثلة في الحجم، وضعناها داخل الحوض كما في الشكل وتركت حرة الحركة. وجه 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 ويطفو 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.

- يدعي 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؟

ادعاء الفريق الأول صحيح؛ لأن حجم الماء المزاح يساوي حجم المكعب أثناء انغمار المكعب كلياً 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 محصلة القوى المؤثرة في كل منها فيطفو مكعبا الفلين والخشب؛ بينما يهبط مكعب الرصاص إلى أسفل؛ لأن وزنه أكبر من قوة الطفو.

#### المنافشة

##### قوة الطفو

● استخدم استراتيجية التعلم التعاوني بتقسيم الطلبة إلى مجموعات، ثم اطرح عليهم السؤال الآتي:

- علل كلاً مما يأتي:

أ. قوة الطفو المؤثرة من قبل المائع في الأجسام المتماثلة في الحجم والمغمورة كلياً في المائع تكون متساوية بغض النظر عن كتلتها.

ب. قوة الطفو لا تتغير بتغير عمق الجسم في المائع، أما ضغط المائع فيزداد بزيادة عمق الجسم.

● ثم اطلب إلى كل مجموعة الإجابة على ذلك السؤال؛ على أن يشارك كل طلبة المجموعة في النقاش.

#### المثال 1

غواصة Atlantis XII أسطوانية الشكل حجمها  $250 \text{ m}^3$  تقريباً. تحمل السباح إلى أعماق تصل إلى  $30 \text{ m}$ ؛ لمشاهدة الشعاب المرجانية في سواحل المكسيك. باعتبار كثافة مياه البحر  $1024 \text{ kg m}^{-3}$ ،

أحسب:

أ. ضغط الماء عند هذا العمق.

ب. قوة الطفو.

المعطيات:  $\rho_f = 1024 \text{ kg m}^{-3}$  ،  $h = 30 \text{ m}$  ،  $V_o = 250 \text{ m}^3$

المطلوب:  $F_B = ?$  ،  $P = ?$

الحل:

$$P = \rho_f gh = 1024 \times 10 \times 30 = 3.07 \times 10^5 \text{ Pa}$$

أ.

$$F_B = \rho_f V_f g \text{ ، } V_f = V_o$$

ب.

$$= 1024 \times 250 \times 10 = 2.56 \times 10^6 \text{ N}$$

من المفيد مقارنة القوى المؤثرة في الأجسام المغمورة كلياً في المائع مع تلك المؤثرة في الأجسام المغمورة جزئياً (الطافية على سطح المائع)، على النحو الآتي:

#### الأجسام المغمورة كلياً Fully Submerged Objects

عند وضع جسم ما في مائع؛ كثافته أكبر من كثافة المائع (مثل الحجر في الماء) فإنه يهبط ويستقر أسفل الماء، بينما يبقى جسم آخر كثافته مساوية لكثافة المائع (مثل الكرة) معلقاً فيه كما في الشكل (6). وفي هاتين الحالتين فإن:

$$V_o = V_f \text{ حجم الجسم يساوي حجم المائع المزاح}$$

$$\text{قاعدة أرخميدس:}$$

$$F_B = F_{gf} = F_g - F'_g \text{ جسم مستقر أسفل المائع:}$$

$$\text{جسم معلق في المائع: وزن الجسم في المائع (الوزن الظاهري)}$$

$$(F'_g = 0) \text{ يساوي صفراً}$$

$$F_B = F_{gf} = F_g - F'_g = F_g \text{ قوة الطفو:}$$



الشكل (6): حجر مغمور كلياً في الماء، بينما تبقى الكرة معلقة داخل الماء.

● وجه المجموعات إلى عرض آرائهم 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

سحب حجر يستقر أسفل بئر ماء بحبل رأسياً لأعلى، فإذا كانت قوة الشد في الحبل أثناء وجود الحجر في الماء  $100 \text{ N}$  وعند خروج الحجر من الماء أصبحت قوة الشد  $400 \text{ N}$ ، بافترض أن كثافة الماء  $1000 \text{ kg m}^{-3}$ ، أحسب:

أ. قوة الطفو.

ب. حجم الحجر.

الحل:

$$F_B = F_g - F'_g$$

$$F_B = 400 - 100 = 300 \text{ N}$$

$$F_B = \rho_f V_f g$$

$$300 = 1000 \times V_f \times 10 \Rightarrow V_f = 0.03 \text{ m}^3 = V_o$$



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 يعيش في أستراليا، وأخشاب من شجر يعيش في دول عدة مثل: أمريكا الجنوبية، والبرازيل، ونيجيريا.

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج

#### والمواد الدراسية

#### \* التفكير: التحليل.

وضّح للطلبة أن التحليل أحد المفاهيم العابرة، وأنه من خطوات التفكير، وأن أهميته تتمثل في استخراج المعلومة من نص، أو رسم بياني، أو شكل بعد تحليله كما في المثال 2.

#### لتدري

#### الحل:

أ. قوة الطفو:

$$F_B = F_g - F'_g = 3.5 \text{ N}$$

ب. وزن الكرة في الماء:

$$10 - F'_g = 3.5 \Rightarrow F'_g = 6.5 \text{ N}$$

ج. كثافة مادة الكرة:

$$F_B = \rho_f V_f g$$

$$3.5 = 1000 \times V_f \times 10$$

$$V_f = 3.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

بما أن الكرة مغمورة في الماء فإن:

$$V_f = V_o = 3.5 \times 10^{-4}$$

$$F_g = \rho_o V_o g$$

$$10 = \rho_o \times 3.5 \times 10^{-4} \times 10$$

$$\rho_o = 2857 \text{ kg m}^{-3}$$

#### المثال 2

قامت مارية بإجراء تجربة للتحقق من قاعدة أرخميدس، اعتمادًا على البيانات المبينة في الشكل (7) وباعتبار كثافة الماء  $1000 \text{ kg m}^{-3}$  أجد:

أ. قوة الطفو.

ب. قراءة الميزان بعد غمر الجسم في الماء.

ج. حجم الجسم.

المعطيات:

$$F_g = 9 \text{ N}, m_f = 0.3 \text{ kg}$$

المطلوب:

$$F_B = ? , F'_g = ? , V_o = ?$$

الحل:

أ. قوة الطفو:

$$F_B = m_f g = 0.3 \times 10 = 3 \text{ N}$$

ب. قراءة الميزان بعد غمر الجسم في الماء:

$$F_B = F_g - F'_g$$

$$3 = 9 - F'_g \rightarrow F'_g = 6 \text{ N}$$

$$F_B = \rho_f V_f g$$

$$3 = 1000 \times V_f \times 10$$

$$V_f = 3 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = V_o$$

ج. حجم الجسم  $V_o$ :



أصمّم باستخدام برنامج السكراش (Scratch) عرضًا يوضح حركة الأجسام المغمورة كليًا في المائع، ثمّ أشاركه معلمي وزملائي في الصفّ.

#### لتدري

كرة فلزية وزنها في الهواء  $10 \text{ N}$  غمرت في الماء فخرست من وزنها  $3.5 \text{ N}$ ، باعتبار كثافة الماء  $1000 \text{ kg m}^{-3}$  أجد:

أ. قوة الطفو.

ب. وزن الكرة في الماء.

ج. كثافة مادة الكرة.

#### مثال إضافي

قطعة ذهبية كتلتها  $193 \text{ g}$  مغمورة في سائل الكيروسين تتأثر بقوة طفو مقدارها  $0.08 \text{ N}$ ،

على أساس أن كثافة الكيروسين  $800 \text{ kg m}^{-3}$ ، أحسب:

أ. كثافة الذهب. ب. وزن القطعة في السائل.

الحل:

أ.

$$F_B = \rho_f V_f g$$

$$0.08 = 800 \times V_f \times 10 \Rightarrow V_f = 1 \times 10^{-5} \text{ m}^3 = V_o$$

$$\rho_o = \frac{m_o}{V_o} = \frac{0.193}{1 \times 10^{-5}} = 1930 \text{ kg m}^{-3}$$

$$F_B = F_g - F'_g , F_g = m_o g$$

$$0.08 = (0.193 \times 10) - F'_g \Rightarrow F'_g = 1.85 \text{ N}$$

ب.

- أحضر كرة قدم (غير منفوخة) ومنفاخًا وكلف أحد الطلبة بنفخ الكرة بحيث يتوقف عن النفخ عندما تصبح كروية الشكل، ضع الكرة في حوض من الماء ولاحظ حجم الجزء المغمور منها في الماء. أخرج الكرة من الماء وزد مقدار النفخ فيها إلى أقصى درجة آمنة، ثم ضعها في حوض الماء. وجه 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 أو المائع بشكل عام؛ لأن باستطاعتهم رفعها بسهولة داخل الماء. وضح للطلبة أن كتلة الجسم المغمور ( $m$ ) تبقى ثابتة ووزنها ( $F_g$ ) لا يتغير؛ وإنما قوة الطفو تدفع الجسم إلى أعلى؛ فيبدو أن وزن الجسم (الوزن الظاهري) قد قل.

- يعتقد بعض الطلبة أن قوة الطفو في البالون الموضوع في الهواء أو السائل تعتمد على كثافة الغاز الموجود داخل البالون، فوضح لهم أن كثافة الغاز داخل البالون تؤثر في وزن البالون ومن ثم القوة المحصلة فيه، ولا يؤثر في قوة الطفو التي تعتمد على كثافة الغاز أو السائل الموضوع فيه البالون وعلى حجم البالون.

### التعزيز: قاعدة أرخميدس للأجسام المغمورة جزئيًا

وضح 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  $\rho_o$  والمائع  $\rho_f$  الموضوع فيه؛ حسب العلاقة الآتية:

$$\frac{V_f}{V_o} = \frac{\rho_o}{\rho_f}$$

### الأجسام الطافية Floating Objects

عند وضع جسم ما في مائع كثافته أقل من كثافة المائع (مثل كرة القدم في الماء) كما في الشكل (8)، فإن جزءًا منها يطفو على سطح المائع، أي أن حجم السائل المزاح  $V_f$  يساوي حجم الجزء المغمور من الجسم وهو أقل من حجم الجسم. وفي هذه الحالة فإن:



الشكل (8): قوة الطفو المؤثرة في كرة قدم تطفو على سطح الماء.

وزن الجسم في المائع (الوزن الظاهري) يساوي صفرًا ( $F'_g = 0$ ).

قوة الطفو = وزن السائل المزاح = وزن الجسم الحقيقي

$$F_B = F_{gf} = F_g - F'_g = F_g$$

والجدول (1) يلخص حالات خاصة لقاعدة أرخميدس.

### الجدول (1): حالات قاعدة أرخميدس

| حالة الجسم                  | حجم السائل المزاح $V_f$                  | قوة الطفو $F_B$ | اتجاه محصلة القوى | الحالة            |
|-----------------------------|--|-----------------|-------------------|-------------------|
| ينغمر ويهبط في المائع       | $V_f = V_o$                              | $F_B < F_g$     | $-y$              | $\rho_o > \rho_f$ |
| يبقى معلقًا في المائع       | $V_f = V_o$                              | $F_B = F_g$     | $\Sigma F = 0$    | $\rho_o = \rho_f$ |
| يطفو جزء منه فوق سطح المائع | $V_f = V_o$ (حجم الجزء المغمور من الجسم) | $F_B = F_g$     | $\Sigma F = 0$    | $\rho_o < \rho_f$ |

### المثال 3

كرة مطاطية حجمها  $0.004 \text{ m}^3$  وكثافتها مادتها  $970 \text{ kg m}^{-3}$ ، وضعت في سائل كثافته  $1200 \text{ kg m}^{-3}$ . أحسب حجم الجزء المغمور من الكرة.

المعطيات:  $\rho_o = 970 \text{ kg m}^{-3}$ ،  $\rho_f = 1200 \text{ kg m}^{-3}$ ،  $V_o = 0.004 \text{ m}^3$

المطلوب: حجم الجزء المغمور من الكرة.

الحل:

بما أن كثافة الكرة أقل من كثافة السائل؛ فإن الكرة تنغمر جزئيًا في السائل.

نطبق العلاقة:

$$F_B = F_g$$

$$\rho_f V_f g = \rho_o V_o g \rightarrow \rho_f V_f = \rho_o V_o$$

$$1200 \times V_f = 970 \times 0.004 \rightarrow V_f = 0.0032 \text{ m}^3$$

$$\text{حجم السائل المزاح} = \text{حجم الجزء المغمور من الكرة} = 0.0032 \text{ m}^3$$

### مثال إضافي

مكعب كتلته  $0.5 \text{ kg}$  يطفو فوق سطح الماء، باعتبار كثافة الماء  $1000 \text{ kg m}^{-3}$  أحسب:

أ. قوة الطفو.

ب. حجم الماء المزاح.

الحل:

أ.

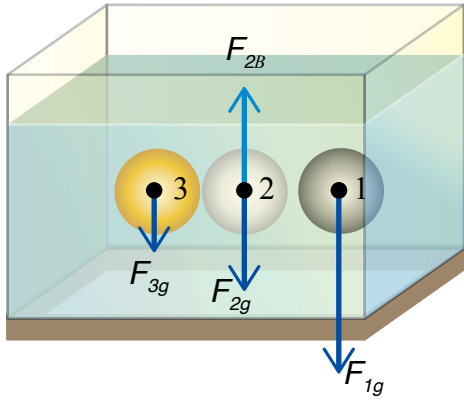
$$F_B = F_g = m_o g = 0.5 \times 10 = 5 \text{ N}$$

ب.

$$F_B = \rho_f V_f g$$

$$5 = 1000 \times V_f \times 10 \Rightarrow V_f = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

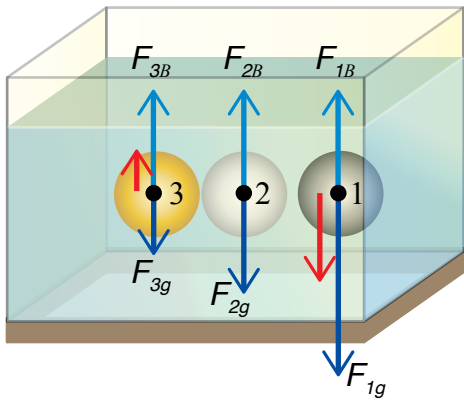
وضعت ثلاث كرات متماثلة في الحجم داخل حوض مملوء بالماء؛ كما في الشكل، فبناء على المعطيات الموجودة أجب عما يأتي:



1. أرسم مخطط الجسم الحر للكرتين (1)، و (3) لحظة إفلاتها.
2. أرتب القوى المحصلة المؤثرة في كل كرة تصاعدياً من حيث المقدار، محدداً اتجاهها لحظة إفلاتها.

**الحل:**

1. قوى الطفو المؤثرة في كل الكرات متساوية في المقدار والاتجاه، لأن حجم الكرات متساوٍ، وعليه فإن وزن السائل المزاح متساوٍ. والشكل الآتي يمثل مخطط الجسم الحر للكرات الثلاث:



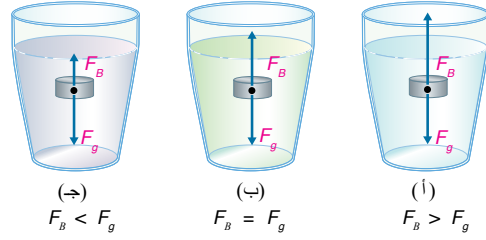
2. الترتيب التصاعدي: القوة المحصلة المؤثرة في الكرة 2 وتساوي صفراً (متزنة)، القوة المحصلة المؤثرة في الكرة 3 واتجاهها لأعلى، القوة المحصلة المؤثرة في الكرة 1 واتجاهها لأسفل. وقد مُثلت القوى المحصلة بأسهم حمراء، كما في الشكل.

#### المثال 4

وُضِعَتْ ثلاثة أجسام متماثلة تماماً داخل ثلاث كؤوس مملوءة بسوائل مختلفة، وترك حرة الحركة، ومُثلت قوتا الطفو ووزن الجسم بأسهم، كما في الشكل (9). أجب عما يأتي:

أ. أرتب السوائل في الكؤوس تنازلياً حسب كثافتها.

ب. أصف حركة الأجسام.



الشكل (9): القوى المؤثرة في أجسام مغمورة في الماء

المعطيات:

مخطط الجسم الحر لكل جسم.

المطلوب:

ترتيب السوائل تنازلياً حسب الكثافة، ووصف حركة كل جسم في السائل.

**الحل:**

أ. الترتيب التنازلي: كثافة السائل في الكأس (أ)، كثافة السائل في الكأس (ب)، كثافة السائل في الكأس (ج)، وذلك من خلال المقارنة بين قوى الطفو في الحالات الثلاث.

ب. محصلة القوى المؤثرة في الجسم (أ) إلى أعلى؛ لأن قوة الطفو أكبر من وزن الجسم ( $F_B > F_g$ ) وبالتالي؛ سيتحرك الجسم إلى أعلى بتسارع حتى يطفو جزء منه ليستقر على سطح الماء، أما الجسم (ب) فيبقى معلقاً في الماء؛ لأن ( $F_B = F_g$ )، بينما الجسم (ج) سيتحرك إلى أسفل بتسارع؛ لأن ( $F_B < F_g$ )، ليستقر في قاع الكأس.

#### التعزيز: قوة الطفو

تعتمد كثافة جسم الإنسان على عوامل عدة، منها: كتلة الدهون، وكتلة العضلات والعظام، لهذا وبالعكس ما يظن بعض الأشخاص الذين يعانون من السمنة - فإنهم يطفون 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؛ فتزداد قوة الطفو وتسهل عليهم السباحة.



الشكل (10): قارب ينقل عددًا من المهاجرين.

### المثال 5

قارب مطاطي كتلته 200 kg ومتوسط كثافته  $100 \text{ kg m}^{-3}$  ينقل عددًا من المهاجرين، كما في الشكل (10)، إذا علمت أن كثافة ماء البحر  $1024 \text{ kg m}^{-3}$  فأجد كتلة أكبر حمولة يمكن وضعها فوق سطح القارب؛ بحيث يبقى طافيًا (أفترض أن حافة القارب العلوية عند سطح الماء تمامًا).

المعطيات:  $m' = 200 \text{ kg}$  ،  $\rho_o = 100 \text{ kg m}^{-3}$  ،  $\rho_f = 1024 \text{ kg m}^{-3}$

المطلوب: كتلة الحمولة  $m = ?$

الحل:

حجم الجزء المغمور من القارب في هذه الحالة يساوي حجم القارب ( $V_o$ )، وبالتالي؛ فإن حجم السائل المزاح يساوي حجم القارب:

$$V_f = V_o = \frac{m'}{\rho_o} = \frac{200}{100} = 2 \text{ m}^3$$

$$F_B = F_g$$

نطبق العلاقة:

$$\rho_f V_f g = (m + m') g$$

$$1024 \times 2 = (m + 200) \rightarrow m = 1848 \text{ kg}$$

برأيك هل هذه الحمولة آمنة؟

### المثال 6

مُلئ بالون بغاز الهيليوم، وتُرك في الهواء، فإذا علمت أن كثافة الهواء  $1.29 \text{ kg m}^{-3}$ ، وقطر البالون 0.4 m فأجد قوة الطفو.

المعطيات:  $r = 0.2 \text{ m}$  ،  $\rho_{air} = 1.29 \text{ kg m}^{-3}$  ،  $g = 10 \text{ m/s}^2$

المطلوب:  $F_B = ?$

الحل:

$$V_o = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \times 3.14 \times (0.2)^3 = 0.033 \text{ m}^3$$

$$F_B = \rho_{air} V_o g = 1.29 \times 0.033 \times 10 = 0.43 \text{ N}$$

قوة الطفو:

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:

$$l = 0.05 \text{ m} , \quad \rho_o = 0.25 \rho_f$$

1. حجم السائل المزاح:

$$V_o = l^3 = (0.05)^3 = 1.25 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\frac{V_f}{V_o} = \frac{\rho_o}{\rho_f}$$

$$\frac{V_f}{1.25 \times 10^{-4}} = \frac{0.25 \rho_f}{\rho_f}$$

$$V_f = 3.125 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

2. حجم الجزء المغمور من المكعب يساوي حجم السائل المزاح:

$$= 3.125 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

### المناقشة:

قوة الطفو

• وجّه السؤال الآتي إلى الطلبة:

– لماذا تطفو جثة الغريق فوق سطح الماء؟

• ثم أدر نقاشًا مع الطلبة حول ما يحدث في الرئتين عند الغرق حيث تمتلئ بالماء، وبعد الموت تبدأ البكتيريا في الأمعاء والرئتين في تحليل الجسم الميت مصدرًا من ذلك غازات منها الميثان وكبريتيد الهيدروجين، وعندما تزداد نسبة هذه الغازات إلى درجة معينة تبدأ الجثة في الطفو؛ لأن كثافتها تصبح أقل من كثافة ماء البحر.

في المثال 6، إذا علمت أن كتلة بالون الهيليوم 4 kg، فأحسب حجم البالون اللازم لاتزان في الهواء.

الحل:

عند اتزان البالون فإن:

$$F_B = F_g$$

$$\rho_{air} V_o g = m_o g$$

$$1.29 \times V_o = 4 \Rightarrow V_o = \frac{4}{1.29} = 3.1 \text{ m}^3$$

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* القضايا ذات العلاقة بالعمل: الأمن والسلامة.

لفت انتباه الطلبة إلى أهمية المحافظة على اتباع قواعد الأمن والسلامة العامة في العمل؛ فهؤلاء المهاجرون يعرضون حياتهم للخطر، ولا يتبعون قواعد الأمن والسلامة؛ حيث حُلّ القارب وزنًا زائدًا عن الحد الأقصى لحمولته؛ الأمر الذي سيؤدي إلى غرقه.



### ◀ التعزيز: قوة الطفو

لتعزيز مفهوم قوة الطفو عند الطلبة؛ اطلب من كل طالب اختيار زميل له بحيث يكتب كل طالب لزميله مثلاً أو تطبيقاً على قاعدة أرخميدس في السوائل أو الغازات، ويطلب إليه كتابة تفسير علمي لذلك التطبيق، ثم يجري تبادل الأدوار بينهما. كلف بعض الطلبة بعرض مدوناتهم للمناقشة أمام الطلبة.

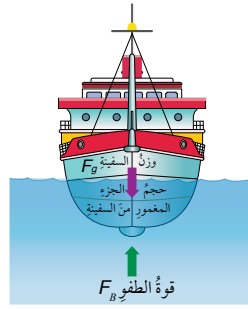
### ◀ استخدام الصور والأشكال:

● وجه الطلبة إلى تأمل الشكل (13)، ثم اطرَح عليهم الأسئلة الآتية:

- علل: يكون تدرّج المقياس عكسياً؛ بمعنى التدرّج الأقل من الأعلى، ويزداد كلما هبطنا إلى أسفل المقياس؟  
لأنه كلما ازدادت كثافة السائل في المخبر 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.

**أفكر:** 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.

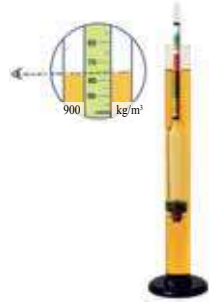


الشكل (11): سفينة تطفو على سطح البحر، والقوى المؤثرة فيها.



الشكل (12): غواصة في أعماق المياه.

**أفكر:** لماذا تطفو السفينة بشكل أكبر في المياه المالحة منها في المياه العذبة؟



الشكل (13): قياس كثافة البنزين باستخدام مقياس كثافة السوائل.

69

### تطبيقات قاعدة أرخميدس Applications of Archimedes' Principle

قاعدة أرخميدس لها تطبيقات كثيرة ومتنوعة، وفي ما يأتي بعض تلك التطبيقات في حياتنا اليومية:

#### السفينة Ship

كيف تطفو السفينة على سطح الماء وهي مصنوعة من الحديد في حين يغرق مسمار الحديد في الماء؟  
عندما تطفو السفينة على سطح البحر تكون قوة الطفو مساوية لوزنها؛ لذا تُصنع السفينة بحيث تحوي تجويفاً كبيراً يزيد من حجمها ويقلل من متوسط كثافتها؛ ليصبح أقل من كثافة الماء، وعند إنزال السفينة إلى الماء فإن حجم الماء المزاح - المساوي لحجم الجزء المغمور من السفينة - يزداد بالتدرّج فتزداد تبعاً لذلك قوة الطفو حسب قاعدة أرخميدس (قوة الطفو تساوي وزن الماء المزاح) إلى أن تصبح قوة الطفو مساوية لوزن السفينة كما في الشكل (11)، ويتوقف ازدياد حجم الجزء المغمور من السفينة لطفو على سطح الماء؛ حيث محصلة القوى المؤثرة عليها تساوي صفراً.

#### الغواصة Submarine

هي سفينة متخصصة يمكنها الغوص والتنقل تحت سطح الماء على أعماق مختلفة، وبإمكانها أن تطفو، أنظر الشكل (12). وتحوي الغواصة خزانات كبيرة يجري إدخال الماء إليها أو إخراجها منها، فيزداد متوسط كثافتها أو يقل لتصبح قوة الطفو إما أكبر من وزن الغواصة فتطفو وإما أقل فتغوص أو تظل مساوية لقوة الطفو فتبقى معلقة على عمق ثابت في الماء. وتستخدم الغواصة للأغراض العسكرية وللأغراض المدنية كذلك، مثل: الأبحاث العلمية والسياحة.

#### مقياس كثافة السوائل Hydrometer

أداة تُستخدم لقياس كثافة السائل؛ مثل: قياس كثافة الحليب، وكثافة محلول بطارية السيارة، وغيرها.  
يوضع الأنبوب في السائل المراد قياس كثافته فيطفو ليستقر عند تدرّج محدد يمثل كثافة السائل، أنظر الشكل (13)، وكلما زادت كثافة

### إجابة سؤال النص:

قراءة مقياس الكثافة  $875 \text{ kg/m}^3$ ، وتمثل تلك القراءة كثافة البنزين في المخبر.

#### توظيف التكنولوجيا

ابحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية جاهزة عن تطبيقات لقاعدة أرخميدس ويفضل الفيديوهات التفاعلية، أو عروض تقديمية.  
شارك الطلبة هذه المواد التعليمية باستخدام الروابط الإلكترونية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو تطبيق التواصل الاجتماعي WhatsApp، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو استعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة، بمشاركة الطلبة وذويهم.

مناطق الهواء الساخن غير فعالة لحمل أوزان كبيرة وهي مخصصة فقط لنزهات قصيرة، وأوزان أخف بالمقارنة مع حجمها الهائل؛ لأن حجم  $1 \text{ m}^3$  من الهواء الساخن لا يمكنه أن يحمل إلا ما بين  $400 \text{ g}$  و  $500 \text{ g}$ . ثم جاءت الفكرة باستعمال غازات أقل كثافة بكثير من الهواء مثل الهيدروجين الذي بمقدور حجم  $1 \text{ m}^3$  منه حمل كتلة تزيد عن  $1 \text{ kg}$ . ولذلك صُممت مناطق تملأ بغاز الهيدروجين، ولكن الهيدروجين سريع الاشتعال؛ فبعد حادثة احتراق منطاد هيندينيغ الشهيرة عام 1937 في نيوجرسي، تم الاستغناء عن الهيدروجين في المناطق 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 تقريباً. وبقيت مشكلة أن الهيليوم ليس متوفرًا مثل الهيدروجين. ولكن السؤال كيف يجري التحكم بهبوط منطاد الهيليوم وصعوده؟ تستخدم أكياس رملية في عملية الصعود؛ حيث يُنزل عدد من تلك الأكياس؛ فيقل وزن المنطاد ويرتفع إلى أعلى، وأثناء عملية الهبوط تُفَرَّغ كمية من غاز الهيليوم من صمام في أعلى المنطاد بواسطة حبل يتصل بالصمام. والشكل المجاور يظهر صورة رجل ألماني استطاع الطيران على ارتفاع  $7620 \text{ m}$  باستخدام 52 بالونًا مليئة بغاز الهيليوم مدة تزيد على نصف ساعة، وقد هبط باستخدام مظلة. حديثًا تطورت المناطق حيث أُدخلت وأضيفت إليها محركات كهربائية للتحكم في حركة تلك المناطق واتجاهها.



### إجابة سؤال النص:

يبقى البالون معلقًا في الهواء عندما تصبح قوة الطفو مساوية لوزن المنطاد؛ أي محصلتهما تساوي صفرًا.

السائل ازدادت قوة الطفو ليرتفع المقياس في السائل إلى أعلى بشكل أكبر. كم تبلغ كثافة البنزين في الشكل (13)؟ ويُفضّل استخدام المقياس الإلكتروني، كما في الشكل (14)؛ لأنه أكثر دقة وسهولة في الاستخدام.



الشكل (14): مقياس كثافة سوائل إلكتروني.

### المنطاد Balloon

تُستخدم المناطق في أغراض مختلفة مثل: السياحة والرياضة والرصد الجوي؛ حيث يتسارع المنطاد إلى أعلى، ويرتفع في الهواء عندما يكون وزنه أقل من قوة الطفو المؤثرة فيه من قبل الهواء المحيط به. وفي حال كانت قوة الطفو أقل من وزنه يتسارع إلى أسفل ويهبط. متى يبقى معلقًا في الهواء؟

تُصنّف المناطق حسب نوعية الغاز المُحمّل بها؛ فمثلًا: المنطاد الغازي الذي يكون مملوءًا بغاز أخف من الهواء الجوي، كغاز الهيليوم أو الهيدروجين؛ مثلما في الشكل (15). وهناك نوع آخر يُستخدم حاليًا بشكل كبير، وهو منطاد الهواء الساخن، أنظر الشكل (16)، حيث يجري التحكم بصعوده أو هبوطه من خلال تقليل درجة حرارة الهواء داخله، أو زيادتها.

وتوجد تطبيقات أخرى كثيرة تعتمد على قاعدة أرخميدس مثل: العوام الميكانيكية المستخدمة في خزانات المياه، وحرارة الأسماك صعودًا وهبوطًا في الماء من خلال الحويصلات الهوائية، والسباحة وغيرها.



الشكل (15): منطاد مملوء بالغاز.



الشكل (16): منطاد الهواء الساخن.

✓ **أتحقّق:** كيف يمكن التحكم بصعود كل مما يأتي وهبوطه:

1. منطاد الهواء الساخن.
2. الغواصة.

**أفكّر:** لماذا يرتفع البالون في الهواء بتسارع أكبر في الأجواء الباردة مقارنةً بتسارعه في الأجواء الحارة؟

**أفكّر:** 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.

✓ **أتحقّق:**

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 فتتهبط الغواصة للأسفل، والعكس يحدث أثناء عملية الصعود.

## مراجعة الدرس

1 يطفو الجسم عندما تكون كثافته أقل من كثافة الماء حيث قوة الطفو أكبر من وزن الجسم، بينما يبقى الجسم معلقاً 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 مجسم الزجاج = قوة الطفو المؤثرة في السيليكون = قوة الطفو المؤثرة في المطاط.  
ب. القوة المحصلة المؤثرة في مجسم الزجاج باتجاه الأسفل < القوة المحصلة المؤثرة في مجسم المطاط باتجاه الأعلى < القوة المحصلة المؤثرة في مجسم السيليكون التي تساوي صفراً.

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 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 معلقاً أو يهبط إلى أسفل؛ حسب مقدار المحصلة واتجاهها، وحالته الحركية السابقة.  
ج. عند زيادة حجم تجويف السفينة يزداد حجم السفينة، ويقل متوسط كثافتها؛ مما يسهل طفوها؛ حيث يزداد حجم الجزء الطافي منها.

## مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: لماذا تطفو بعض الأجسام فوق سطح الماء، وبعضها يبقى معلقاً، وبعض آخر ينغمر ليستقر في الأسفل؟

2. ثلاثة مجسمات متماثلة في الحجم (زجاج، مطاط، سيليكون) كثافة كل منها على الترتيب  $2.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ،  $9.7 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$ ،  $1.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  ووضعت داخل حوض جليسين كثافته  $1.3 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ . بناءً على ما سبق أجيب عما يأتي:

أ. أقرّر بين قوى الطفو المؤثرة في المجسمات الثلاثة لحظة إفلاتها.

ب. أقرّر بين القوى المحصلة المؤثرة في المجسمات الثلاثة لحظة إفلاتها.

3. السبب والنتيجة: ماذا يحدث في كل حالة مما يأتي:

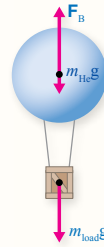
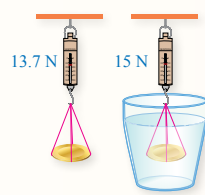
أ. تفريغ خزانات المياه من الغواصة.

ب. تقليل درجة حرارة الهواء داخل المنطاد.

ج. زيادة حجم التجويف في السفينة.

4. أحسب: قارب مطاطي يطفو نصف حجمه فوق سطح البحر، فإذا علمت أن كثافة مياه البحر  $1024 \text{ kg m}^{-3}$  فأجد متوسط كثافة القارب.

5. وجدت نور قطعة نقدية قديمة لوئها أصفر تشبه الذهب، أرادت التأكد من أن القطعة مصنوعة من الذهب؛ فعلقته القطعة بميزان نابضي حساس فكانت قراءة الميزان  $15.0 \text{ N}$  (في الهواء) كما في الشكل، وعند غمرها في الماء أصبحت قراءة الميزان  $13.7 \text{ N}$ ، أجيب عما يأتي:



أ. أرسم مخطط الجسم الحر للقطعة بعد غمرها في الماء.  
ب. أحسب قوة الطفو.

ج. أصدر حكماً: هل القطعة النقدية مصنوعة من الذهب؟

علماً بأن كثافة الذهب  $(19.3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3})$ ، وكثافة الماء  $(10^3 \text{ kg m}^{-3})$ .

6. أحسب: بالون مملوء بغاز الهيليوم، ما أقل حجم للبالون ليتمكن من رفع ثلاثة أشخاص مجموع كتلتهم يساوي  $180 \text{ kg}$ ، علماً بأن كتلة السلة التي تحملهم مع كتلة مادة البالون تساوي  $30 \text{ kg}$ ، وكثافة الهواء  $1.29 \text{ kg m}^{-3}$  وكثافة الهيليوم  $0.179 \text{ kg m}^{-3}$ ؟

$$180 + 30 = 210 \text{ kg}$$

6

$$F_B = F_g$$

$$\rho_f V_f g = (m_{He} + 210)g$$

$$V_f = V_o, \quad m_{He} = \rho_{He} V_o$$

$$\rho_f V_o = (\rho_{He} V_o + 210)$$

$$V_o = \frac{210}{\rho_f - \rho_o}$$

$$V_o = \frac{210}{1.29 - 0.179}$$

$$V_o = 189 \text{ m}^3$$

ب.

$$F_B = F_g - F'_g$$

$$F_B = 15 - 13.7 = 1.3 \text{ N}$$

ج.

$$F_B = \rho_f V_f g$$

$$1.3 = 1000 \times V_f \times 10$$

$$V_f = 1.3 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = V_o$$

$$F_g = \rho_o V_o g$$

$$15 = \rho_o \times 1.3 \times 10^{-4} \times 10$$

$$\rho_o = 11.54 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

بما أن كثافة القطعة اختلفت عن كثافة الذهب؛ فهذا يدل على أن القطعة ليست مصنوعة من الذهب.

$$F_B = F_g$$

4

$$\rho_f V_f g = \rho_o V_o g$$

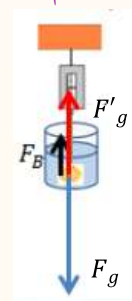
لكن

$$V_f = \frac{V_o}{2}$$

$$1024 \times \frac{V_o}{2} g = \rho_o \times V_o \times g$$

$$\rho_o = 512 \text{ kg/m}^3$$

5 أ. مخطط الجسم الحر:





الفكرة الرئيسية:

الموائع المتحركة

- وضح للطلبة أن الموائع في حالة الحركة تختلف في سلوكها وخصائصها والمعادلات التي تحكمها وتطبيقاتها العملية عن الموائع في حالة السكون.
- كذلك بين للطلبة أن الموائع المتحركة تختلف أيضاً في خصائصها وسلوكها من مائع إلى آخر، مثل طبيعة الجريان، واللزوجة، والعلاقة بينهما، وقابليتها للانضغاط.

وجه السؤال الآتي إلى الطلبة:

- أثناء مشاهدتك جريان المياه في القنوات والممرات المائية والجدول، هل هو انسيابي أم مضطرب؟ أم يتغير حسب المجرى؟

الربط بالمعرفة السابقة:

الكثافة

- ذكر الطلبة بمفهوم الكثافة وعلاقتها بكل من الحجم والكتلة، والعلاقة بين طفو الأجسام في السوائل وكثافة كل منهما بطرح أمثلة حياتية، وطفو البالون في الهواء. ذكر الطلبة كذلك بمفهوم اللزوجة، والتميز بين الحركة المنتظمة وغير المنتظمة، وذلك بتوجيه الأسئلة، وإعطاء أمثلة تطبيقية من الحياة اليومية وأمثلة رياضية على تلك المفاهيم والعلاقات.

نشاط سريع الجريان

- أشعل عود كبريت ثم أطفئه أمام الطلبة، اطلب إليهم ملاحظة جريان الدخان وهو يتصاعد إلى أعلى، ووجه السؤال الآتي إلى الطلبة: صف حركة الدخان المتصاعد من عود الكبريت. وبين للطلبة منطقة الجريان الانسيابي (المنتظم)، ومنطقة الجريان غير المنتظم.

خصائص الموائع المتحركة Properties of Fluids in Motion

تساءل ربّما عن كثير من المشاهدات والمواقف الحياتية والتطبيقات المتعلقة بحركة الموائع وسلوكها؛ فمثلاً إذا كان طول خرطوم المياه - أثناء ريّ نباتات حديقتك المنزلية - غير كافٍ لوصول المياه إلى مسافة أبعد لشمول مساحة أكبر؛ فإنك بسهولة تضغط بإصبعك لإغلاق جزء من فوهة الخرطوم، مثلما في الشكل (17).

سنتناول في هذا الدرس حركة الموائع وخصائصها ومعادلاتها، والتطبيقات المتعلقة بها إضافة إلى تفسير المشاهدات والمواقف الحياتية المختلفة. ومن أبرز خصائص الموائع المتحركة:

الجريان Flow

يمكن التمييز بين نوعين رئيسيين من جريان الموائع؛ هما: الجريان المنتظم، والجريان غير المنتظم.

الشكل (17): سلوك الماء المتدفق قبل الضغط على فوهة الخرطوم، وبعد.

الفكرة الرئيسة:

للموائع المتحركة خصائص وسلوكات وتطبيقات خاصة بها، يمكن تفسيرها عن طريق معادلة الاستمرارية وقاعدة برنولي.

نتائج التعلم:

- أوضح المفاهيم المتعلقة بالموائع المتحركة.
- استقصى خصائص المائع المثالي والعوامل المؤثرة في حركته.
- أوظف التجارب العملية في التحقق من مبدأ برنولي.
- أوظف معرفتي بالمفاهيم والعلاقات الخاصة بحركة الموائع في حل مسائل حسابية، وتفسير مواقف حياتية متعلقة بها.
- أوظف التجارب العملية في تعريف خصائص الموائع المتحركة وتطبيقاتها.

المفاهيم والمصطلحات:

- المائع المثالي Ideal Fluid
- الجريان المنتظم Regular (Steady) Flow
- غير لزج Nonviscous
- غير قابل للانضغاط Incompressible
- غير دوامي Irrotational
- معدل التدفق الحجمي Volume Flow Rate
- معادلة الاستمرارية Continuity Equation
- معادلة برنولي Bernoulli's Equation
- مقياس فنتوري Venturi Meter
- خط الجريان Flow Line

التعزيز: الجريان المنتظم وغير المنتظم

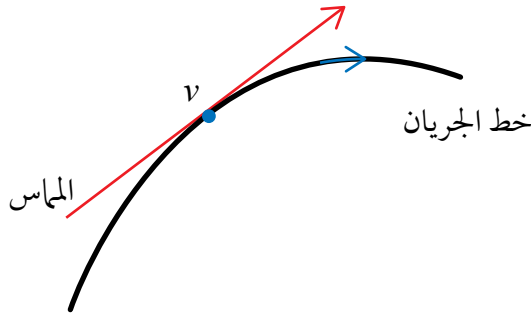
لتعزيز مفاهيم الجريان المنتظم والجريان غير المنتظم؛ بين للطلبة أن لهذين المفهومين أسماء أخرى باللغة العربية واللغة الإنجليزية: منتظم (Regular)، انسيابي (Steady)، طبقي (Laminar)، غير منتظم (Irregular)، مضطرب (Turbulent)، غير انسيابي (Nonsteady).



## ◀ بناء المفهوم:

### الجريان المنتظم

- وضح للطلبة أن انتقال كمية من المائع ضمن مجرى معين (أنبوب الجريان) يسمى جرياناً، وبين لهم جريان المائع يمكن أن يكون منتظماً (انسيابياً) أو غير منتظم (مضطرب)، 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:

### الجريان المنتظم وغير المنتظم

- ناقش الطلبة في أوجه الاختلاف بين الجريان المنتظم والجريان غير المنتظم، من حيث: سرعة جزيئات المائع واتجاهها، وكذلك خطوط الجريان. وضح 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 على انسيابيته.



الشكل (18): الجريان المنتظم والجريان غير المنتظم لجزيئات الدخان المنبعثة عند إطفاء الشمعة.

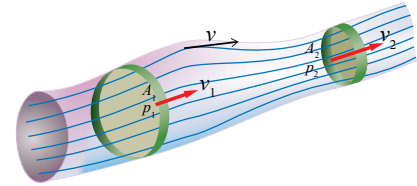


الشكل (20): أ. جريان الماء المنتظم وغير المنتظم. ب. خطوط جريان الماء المنتظم وغير المنتظم.

المائع الذي تكون سرعة جزيئاته عند نقطة معينة فيه ثابتة لا تتغير مع الزمن، ولكنها يمكن أن تتغير من نقطة إلى أخرى، يسمى جرياناً منتظماً **Regular (Steady) flow** أو انسيابياً. مثلما هو مبين في الجزء السفلي من الشكل (18) حيث تنساب جزيئات الدخان أو المائع في مسارات منتظمة تُمثل بخطوط، كل خط منها يسمى خط الجريان **Flow line** وهو خط يمثل مسار جزيئات المائع عند جريانها. ويمكننا تصوير جريان المائع في أنبوب يسمى أنبوب الجريان سواء كان حقيقياً مثل خرطوم الماء أو افتراضياً مثل التيار الهوائي أو المائي. وتُمثل خطوط جريان المائع المنتظم كما في الشكل (19)، حيث تمتاز تلك الخطوط بخصائص عدة، منها:

- كثافتها (عدد خطوط الجريان التي تمر عمودياً بوحدة المساحة  $(A)$ ) تزداد بزيادة سرعة المائع  $(v_2 > v_1)$ .
- المماس لآية نقطة على خط الجريان يحدد اتجاه سرعة جزيء المائع اللحظية  $(v)$  عند تلك النقطة.
- يبقى جريان المائع منتظماً ما لم تتجاوز سرعته قيمة معينة تسمى السرعة الحدية؛ فإن تجاوزها يتحول جريان المائع من جريان منتظم إلى جريان غير منتظم **Irregular flow**. وهو جريان تتغير سرعة المائع عند نقطة ما فيه مع الزمن، كما هو مبين في كل من الجزء العلوي من الشكل (18) وفي الشكل (20/أ)، أما خطوط الجريان المنتظم وغير المنتظم فتظهر في الشكل (20/ب)، حيث تغير جريان المائع عند وضع الكرة أمام مجراه ليتحول جريانه من جريان منتظم (أمام الكرة وعلى جانبيها) إلى جريان غير منتظم (خلف الكرة).

الشكل (19): خطوط الجريان المنتظم في أنبوب الجريان.



## ◀ استخدام الصور والأشكال:

- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (18) ثم اطرح 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.



(ب)



(أ)

الشكل (21): التيارات الدوامية في جزيئات: أ. الهواء. ب. الماء.

عندما تدور جميع جزيئات المائع حول مركز أو محور دوران إضافة إلى حركتها الانتقالية فإن جريان المائع يكون دوامياً، مثال ذلك حركة جزيئات الهواء التي ينتج عنها أعاصير مدمرة وحركة جزيئات الماء التي ينتج عنها دوامات بحرية خطيرة، كما في الشكل (21)، أما الجريان الذي لا تدور جزيئاته حول مركز دوران فيسمى الجريان غير الدوامي Irrotational flow.

#### القابلية للانضغاط Compressibility

المائع الذي تبقى كثافته ثابتة ولا تتغير تحت تأثير قوة يعد مائعاً غير قابل للانضغاط Incompressible fluid، أما المائع الذي تتغير كثافته، يعد مائعاً قابلاً للانضغاط Compressible fluid.

#### اللزوجة Viscosity

خلال جريان السائل تنساب طبقاته بالنسبة إلى بعضها كما في الشكل (22)، وتعد لزوجة السائل مقياساً لمقاومة طبقات المائع لهذه الحركة، فكلما زادت لزوجة المائع قلت قابليته للجريان؛ وبذلك



أعد فلماً قصيراً

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يبين خصائص المائع المثالي، وأحضر على أن يشتمل الفلم على مفهوم كل من: الجريان المنتظم، والجريان غير الدوامي، وانعدام اللزوجة، وعدم القابلية للانضغاط، وعلى صور متحركة لأمثلة توضيحية، ثم أشاركه معلمي وزملائي في الصف.



الشكل (22): طبقات المائع وخطوط جريانه.

74

#### استخدام الصور والأشكال:

وجه الطلبة إلى دراسة الشكل (22)، ثم وضح لهم أن سرعة تدفق طبقة المائع الملاصق للجدار الداخلي لأنبوب الجريان هي الأقل (تساوي صفراً تقريباً)، 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.

#### الإعصار Tornado: عاصفة هوائية عنيفة تتميز

بغيمة مخروطية دوارة. تتشكل 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 مئوية على عمق 50 متراً تحت سطح البحر - العامل الأول لحدوث الأعاصير، أما العامل الثاني فهي 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.

تسبب حركة العواصف المرافقة للأعاصير باتجاه السواحل في ارتفاع مستويات مياه المحيط وتندفع تلك المياه إلى اليابسة بفعل الرياح القوية وقد تسبب في غمر المناطق المنخفضة التي تقع على طول الساحل، وهدم المنازل، وتدمير المنشآت، وتعطيل أنشطة الحياة.

#### الدوامة Vortex: هي ماء يدور حول نفسه بسرعة

وقوة هائلتين، وقد يتحول في بعض الأحيان إلى تدفق لولبي، ويمكن أن تحدث الدوامة في الماء لعدة أسباب منها: التقاء المد السريع بالجزر؛ حيث تبدأ تيارات البحر بالتحرك بشكل دوار، ومنها أيضاً حركة الرياح. وتشكل الدوامات المائية خطورة على المصطافين في بعض الشواطئ وقد أودت بحياة كثير جداً منهم؛ لذا يجب توخي الحذر وعدم الاقتراب منها لأنها ستجرفك إلى أعماق المياه ولن تستطيع مقاومتها.

● لزوجة المائع: تعتمد لزوجة المائع على عدة عوامل، هي:

- درجة الحرارة.
- نوع المائع
- الحالة الفيزيائية للمائع.

### التعزيز: اللزوجة

● لتعزيز مفهوم اللزوجة عند الطلبة؛ وضح لهم أن لزوجة الدم هي المقياس المستخدم لحساب مدى مقاومة الدم المتدفق في الشرايين أو الشعيرات، أو الأوردة الدموية أثناء تأدية وظيفته الأساسية، وتعتمد اللزوجة على عاملين أساسيين: كمية البروتينات المتوفرة 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 أما 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.

✓ **أتحقق:**

- أ. غير قابل للانضغاط.
- ب. لزج.
- ج. غير دَوَّامي

تنخفض سرعته؛ فمثلاً لتحريك كمية من العسل بسرعة ما في أنبوب الجريان نحتاج إلى قوة أكبر من التي نحتاجها لتحريك الكمية نفسها من الماء، وبالسريفة نفسها. يجدر الذكر بأن تأثير اللزوجة في جريان السائل يقابله تأثير قوة الاحتكاك في انزلاق جسم على سطح خشن. فزيادة لزوجة الدم مثلاً قد تؤدي إلى زيادة مخاطر الإصابة بالجلطات الدموية عند الإنسان؛ حيث يصعب جريان الدم داخل الشرايين فيعطى المريض أدوية تقلل لزوجة الدم (وهي أدوية مميعة). لذا؛ يمكن تعريف المائع غير اللزج **Nonviscous fluid** بأنه المائع الذي لا يوجد قوى احتكاك بين طبقاته أثناء جريانه.

### المائع المثالي Ideal Fluid

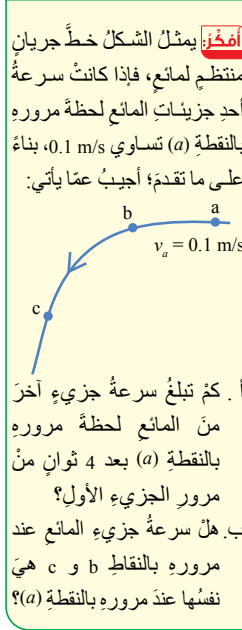
ولتسهيل دراسة حركة الموائع افترض العلماء مائعاً مثالياً **Ideal Fluid** يتصف بالخصائص الآتية:

- جريانه منتظم.
- غير قابل للانضغاط.
- غير لزج.
- غير دَوَّامي.

ولا يوجد في الواقع مائع مثالي يتصف بهذه الخصائص الأربع؛ وإنما هو نموذج افترضه العلماء يساعد ويسهل دراسة مائع لا يتصف بخاصية أو أكثر من خصائص المائع المثالي.

✓ **أتحقق:** ما الخاصية التي يمتلكها المائع المتحرك في الحالات الآتية:

- أ. كثافته ثابتة لا تتغير أثناء جريانه.
- ب. توجد قوى احتكاك (قوى مقاومة) بين طبقاته أثناء جريانه.
- ج. لا تدور جزيئاته حول مركز دوران أثناء جريانه.
- ولا يستقصاء بعض من خصائص الموائع؛ أجزى التجربة الآتية:



### أفكر:

- 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  $v_a = 0.1 \text{ m/s}$ .
- ب - سرعة جزيء المائع في الجريان المنتظم يمكن أن تتغير من نقطة إلى أخرى ولكنها عند النقطة نفسها لا تتغير؛ ومن ثم فإن سرعة الجزيء عند النقاط b و c ليست بالضرورة تساوي سرعته عند النقطة a؛ فمثلاً اتجاه السرعة عند النقطة a (اتجاه المماس) في الشكل يختلف عن اتجاه السرعة عند النقطة c.

### خصائص الموائع

**الهدف:** استقصاء خصائص الموائع المتحركة عملياً.  
**زمن النشاط:** 35 دقيقة.

**إرشادات السلامة:** الحذر من سكب السوائل على الأرضية؛ حتى لا تصبح زلقة، والحذر في التعامل مع الأدوات الزجاجية.

### المهارات العلمية:

الملاحظة، التوقع، التجريب، الاستنتاج، القياس، المقارنة.

### الإجراءات والتوجيهات:

• وجه الطلبة إلى الاستعانة بدليل الأنشطة والتجارب العملية عند إجراء التجربة، ونبه الطلبة إلى التعامل بحذر مع السوائل وخاصة الجليسرين؛ تجنباً لانسكابه على الأرض.

• نبه الطلبة عند سكب الماء في المحقن في الخطوة (5) إلى مراعاة عدم دخول فقاعات هواء إلى الخرطوم.

• إذا تعذر إجراء التجربة أو أجزاء منها من قبل كل مجموعة فيمكن إجراء عرض توضيحي أمام الطلبة بمشاركة عدد من الطلبة.

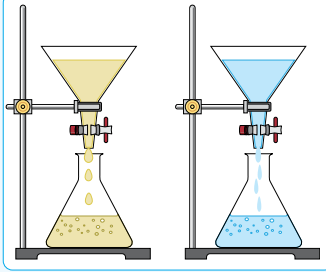
### النتائج المتوقعة:

في الخطوات من 1 إلى 3 يتوقع 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 منتظماً في الأنبوب وأمام الحجر، أما خلف الحجر فتكون حركة البذور مضطربة ودورانية (دوامية)، ويكون الجريان غير منتظم.
4. تدور العجلة نتيجة التيارات الدوامية خلف الحجر.

### خصائص الموائع المتحركة



**المواد والأدوات:** قمعان شفافان مع صنبور، محقنان طبيان، خرطوم شفاف طوله متر واحد تقريباً، ساعة إيقاف، ماء، جليسرين، كأسان فارغان، بذور جافة صغيرة الحجم، حجر.

**إرشادات السلامة:** الحذر من سكب السوائل على الأرضية؛ حتى لا تصبح زلقة، والحذر في التعامل مع الأدوات الزجاجية.

**خطوات العمل:** بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:

1. أحضر قمعين متماثلين، وأضع كلاً منهما على حامل كما في الشكل، وأغلق كلاً منهما باستخدام الصنبور أو السدادة، وأضع أسفل كل من القمعين كأساً فارغاً، ثم أسكب كمية من الماء في القمع الأول، وأسكب كمية أخرى من الجليسرين مماثلة لكمية الماء في الحجم في القمع الثاني (يمكن استخدام مخبر مدرج).
2. **أقيس:** أفتح صنبور كل من القمعين في اللحظة نفسها بالتزامن مع تشغيل ساعتي الإيقاف، وأدوّن الفترة الزمنية لإفراغ محتوى كل قمع.
3. **الاحظ:** أحضر قمعين، وأملأ نصف المحقن الأول بالماء باستخدام الضاغط، ونصف المحقن الثاني بالهواء، وأغلق كلاً منهما بسدادة أو بإصبعي، واضغط الماء والهواء في كل من المحقنين، وأدوّن ملاحظاتي حول تغير حجم كل من الهواء والماء.
4. أصل طرف الخرطوم بالقمع، وأرفع القمع إلى أعلى مسافة رأسية مقدارها (30 cm) تقريباً، وأترك باقي الخرطوم مستقيماً ما أمكن على طاولة المختبر؛ بحيث يصب طرفه الآخر في كأس فارغ.
5. **الاحظ:** أبدأ بسكب الماء في القمع ونثر بذور صغيرة الحجم فيه لتجري في الخرطوم، وأدوّن ملاحظاتي حول حركة الماء من خلال حركة البذور عبر الخرطوم، أضع حجراً أو كرة أمام مجرى الماء عند خروجه من الأنبوب، والاحظ حركة البذور أمام الحجر وخلفه. هل تلاحظ دوران البذور حول مركز دوران أو محور دوران؟

### التحليل والاستنتاج:

1. **استنتج** الخاصية التي توصلت إليها في الخطوة (2) وأقارنها بين حالتها في كل من المائع.
2. **استنتج** الخاصية التي توصلت إليها في الخطوة (3) وأقارن بين حالتها في كل من المائع.
3. **أقارن** بين حركة البذور أثناء مرورها في الخرطوم وأمام الحجر وخلفه. متى يكون الجريان غير منتظم؟ ومتى يكون منتظماً؟ ما الخصائص التي استنتجتها لجريان الماء في الخطوة (5)؟
4. **أنوقع** ما يحدث لعجلة قابلة للدوران إذا وضعت في مجرى الماء خلف الحجر.

استراتيجية التقييم: التقييم المعتمد على الأداء. أداة التقييم: قائمة الرصد.

| الرقم | معيّر الأداء  | نعم | لا |
|-------|---|-----|----|
| 1     | يراعي تعليمات الأمان والسلامة العامة أثناء تنفيذ خطوات التجربة. |     |    |
| 2     | يقيس زمن افراغ محتوى كل قمع بدقة؛ مستخدماً ساعة الإيقاف.        |     |    |
| 3     | يستنتج خواص المائع عن طريق التجربة.                             |     |    |
| 4     | يدون ملاحظاته بأمانة ودقة كما هي.                               |     |    |
| 5     | يتعاون مع معلمه وزملائه ويحترمهم.                               |     |    |
| 6     | يحافظ على نظافة المختبر.  |     |    |





الشكل (23): نقصان مساحة مقطع أنبوب جريان الماء أثناء سقوطه.

نلاحظ الكثير من المشاهدات في حياتنا اليومية؛ مثل حركة المياه المتدفقة من فوهة الخرطوم بعد الضغط عليه في الشكل (17) بداية الدرس، وتدفق الماء من مضخة رش المزروعات، ونقصان قطر أنبوب جريان الماء المتدفق من الصنبور أثناء سقوطه في الشكل (23)؛ حيث تزداد سرعة الماء أثناء سقوطه فتقل مساحة مقطع الأنبوب. فما العلاقة التي تربط بين مساحة مقطع أنبوب الجريان وسرعة مرور المياه فيه؟

لنفترض أن مائعاً مثاليًا يجري في أنبوب مفتوح الطرفين ومساحة مقطعه العرضي متغيرة كما في الشكل (24). وبما أن المائع المثالي غير قابل للانضغاط فإن كتلة المائع  $m_1$  التي تعبر مساحة مقطع معين  $A_1$  من الأنبوب بسرعة  $v_1$  تساوي كتلة المائع  $m_2$  التي تعبر مساحة مقطع آخر  $A_2$  من الأنبوب بسرعة  $v_2$  في الفترة الزمنية  $\Delta t$  نفسها، أي أن:

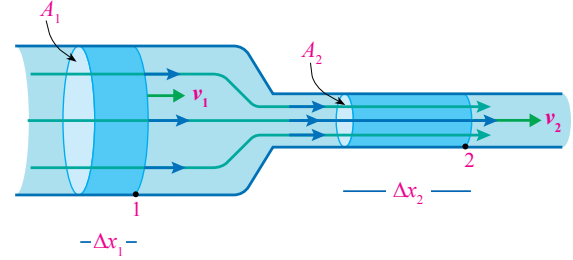
$$m_1 = m_2$$

وبما أن  $m = \rho_f V$  ،  $V = A \Delta x$  : المسافة التي يقطعها المائع في الفترة الزمنية  $\Delta t$  فإن:

$$\rho_1 A_1 \Delta x_1 = \rho_2 A_2 \Delta x_2$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

الشكل (24): جريان مائع مثالي في أنبوب جريان أفقي، مساحة مقطعه متغيرة.



- يمكن التمهيد لمعادلة الاستمرارية بإجراء نشاط بسيط داخل مختبر العلوم؛ باستخدام صنبور حوض المياه الموجود، وخرطوم طوله نصف متر تقريباً (ويمكن استخدام الصنبور نفسه بدل الخرطوم) وساعة إيقاف، وكأس فارغ.
- وضح للطلبة فكرة النشاط وخطواته التي تتمثل في ما يأتي:

- وصل الخرطوم بفوهة الصنبور، ثم فتح الصنبور ببطء بحيث يكون تدفق المياه منه إنسيابياً ما أمكن، مع ملاحظة سرعة تدفق الماء.
- املاً الكأس بالماء بالتزامن مع تشغيل ساعة الإيقاف؛ لقياس زمن ملء الكأس بالماء.
- الضغط على فوهة الخرطوم، وملاحظة سرعة تدفق الماء.

- وجه 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 قلت.

- املاً الكأس بالماء وأنت ضاغط على فوهة الخرطوم، بالتزامن مع تشغيل ساعة الإيقاف لقياس زمن ملء الكأس بالماء.

- وجه 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 قلت مساحة المقطع  $A$  زادت سرعة الماء  $v$  بحيث يبقى معدل التدفق الحجمي ( $Av$ ) ثابت.

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* بناء الشخصية: المشاركة.

أخبر الطلبة أن المشاركة إحدى مجالات بناء الشخصية، وضح لهم أهمية المشاركة في الأنشطة العملية والتجارب المخبرية، والتعاون مع زملاء.

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:**

نفرض أن مساحة مقطع الخرطوم  $A_1$  وسرعة انسياب الماء فيه  $v_1 = 3 \text{ m/s}$  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).

#### الفيزياء والطب



عند حدوث انسداد جزئي أو كلي لبعض الشرايين التي تغذي عضلة القلب؛ نتيجة تراكم المواد الدهنية على جدران الشرايين الداخلية مسببة تضيقاً في الشرايين، كما يبدو في الشكل: تزداد سرعة تدفق الدم في تلك الشرايين حسب معادلة الاستمرارية، فيلجأ الأطباء إلى إجراء عملية القسطرة لتوسعة تلك الشرايين باستخدام البالون وتركيب شبكات أحياناً، لذا يُنصح بتناول غذاء صحي وإجراء فحوصات مخبرية دورية للكوليسترول والدهون في الدم.



#### أفكر:

أ. زيادة سرعة الماء المتدفق من خرطوم المياه عند الضغط على فوهته.  
ب. نقصان اتساع مجرى الماء في الشكل (23) أثناء سقوطه نحو الأسفل.

وحيث إن كثافة المائع ثابتة ( $\rho_1 = \rho_2$ )؛ لأنه غير قابل للانضغاط، فإن:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

هذه المعادلة تُسمى معادلة الاستمرارية

ويُعبر عنها بالكلمات كما يأتي: «حاصل ضرب مساحة المقطع العرضي لأنبوب جريان المائع في سرعة المائع عند ذلك المقطع يساوي مقداراً ثابتاً ( $Av = \text{constant}$ )». ويمثل المقدار  $Av$  معدل التدفق الحجمي  $\frac{V}{\Delta t}$  Volume flow rate وهو حجم المائع الذي يعبر مساحة مقطع معين من الأنبوب في وحدة الزمن:

$$Av = \frac{V}{\Delta t}$$

ووحدة قياسه  $\text{m}^3/\text{s}$  في النظام الدولي للوحدات.

معادلة الاستمرارية تعبير رياضي عن مبدأ حفظ الكتلة، وتنطبق على أي مقطع من أنبوب الجريان، وليس شرطاً عند طرفيه. وتكمن أهمية معادلة الاستمرارية في أنها تصف حركة المائع عند مروره في أنبوب جريان تتغير مساحة مقطعه؛ فعندما ينتقل المائع من أنبوب واسع (مساحة مقطعه كبيرة) إلى أنبوب ضيق (مساحة مقطعه صغيرة) تزداد سرعة المائع لضمان مرور الحجم نفسه من المائع في الزمن نفسه. وتفسر معادلة الاستمرارية كثيراً من المشاهدات مثل تدفق مياه النهر بسرعة أكبر في الأماكن التي يضيق فيها مجرى النهر عن تلك التي يتسع فيها المجرى. والآن هل يمكن الإجابة على التساؤل الذي ورد بداية الدرس المتعلق بالضغط على فوهة خرطوم مياه الري؛ لو وصل المياه إلى مسافة أكبر؟

✓ **أنحقق:** ما العوامل التي يعتمد عليها معدل التدفق الحجمي في أنبوب الجريان؟

#### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* **التفكير: الأدلة والبراهين.**

أخبر الطلبة أن استعمال الأدلة والبراهين من أشكال 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

اطلب إلى الطلبة الاستعانة بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة، ومنها الإنترنت، للحصول على معلومات عن مرض تضيق الشرايين من حيث: أسبابه وعلاجه وطرق الوقاية منه، وعلاقته بالفيزياء من حيث سرعة تدفق الدم في الشرايين وضغط الدم، وإعداد تقرير بذلك. يمكنك كذلك تقديم طلب لاستضافة طبيب اختصاص في المدرسة لإعطاء محاضرة عن النوبات القلبية وتضيق الشرايين وإدارة حوار ومناقشة مع الطلبة.

✓ **أنحقق:**

يعتمد معدل التدفق الحجمي للمائع من أنبوب الجريان على:

1. سرعة تدفق المائع ( $v$ ).
2. مساحة المقطع العرضي للأنبوب ( $A$ ).

يضخ قلب الإنسان الدم إلى الشرايين التي تتفرع إلى شعيرات، فإذا علمت أن الدم يتدفق بسرعة  $5 \times 10^{-2} \text{ m/s}$  في شريان مساحة مقطعه  $6 \text{ mm}^2$ ، يتفرع إلى شعيرات متماثلة مساحة مقطع كل شعيرة منها  $0.3 \text{ mm}^2$  وسرعة تدفق الدم في كل منها  $2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$  أجد:

أ. معدل التدفق الحجمي للدم في الشريان.

ب. عدد الشعيرات التي تفرعت من الشريان.

المعطيات:  $A_1 = 6 \text{ mm}^2 = 6 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  ،  $v_1 = 5 \times 10^{-2} \text{ m/s}$

$A_2 = 0.3 \text{ mm}^2 = 3 \times 10^{-7} \text{ m}^2$  ،  $v_2 = 2 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

المطلوب:  $\frac{V}{\Delta t} = ?$  ، عدد الشعيرات  $N = ?$

الحل:

أ. معدل التدفق الحجمي:

$$\frac{V}{\Delta t} = A_1 v_1 = (6 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-2}) = 3 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

ب. عدد الشعيرات  $N$ :

سرعة تدفق الدم في كل شعيرة ( $v_2$ ) متساوية؛ لأن مساحة مقطع الشعيرات متساوية.

معدل التدفق في الشريان = مجموع معدل التدفق في الشعيرات.

$$A_1 v_1 = N(A_2 v_2)$$

$$3 \times 10^{-7} = N \times (3 \times 10^{-7})(2 \times 10^{-3})$$

$$3 \times 10^{-7} = N \times 6 \times 10^{-10}$$

$$N = 500$$

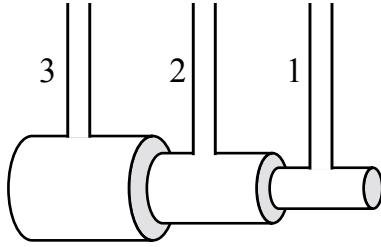
نلاحظ أن سرعة اندفاع الدم في الشعيرات الدموية صغيرة (قليلة) جدًا مقارنة مع سرعته في الشريان، الأمر الذي يتيح حدوث عمليات تبادل الغازات (الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون) مع الخلايا والأنسجة، إضافة إلى تزويدها بالمواد الغذائية، وهذه من حكيم الله عز وجل.

### المناقشة:

● استخدم استراتيجية التفكير الناقد في الحكم على صحة الرأي الآتي:

«ارتفاع المائع في الأنابيب الثلاثة (1، 2، 3) يكون متساويًا أثناء جريان المائع في الأنبوب الأفقي متغير المقطع، وبعد سكونه».

● قسّم الطلبة إلى مجموعتين؛ مؤيدة ومعارضة، وحدد زمن محدد 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

كم مترًا مكعبًا من الدم يضخها قلب شخص عمره 75 عامًا خلال حياته كلها؛ على أساس أن متوسط معدل التدفق الحجمي لدمه 5 L في الدقيقة؟

الحل:

$$\frac{V}{\Delta t} = 5 \frac{\text{L}}{\text{min}} = 5 \times \frac{10^{-3}}{60} = 8.3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

كمية الدم التي يضخها قلبه خلال 75 عامًا هي:

$$75 \text{ y} = 75 \times 365 \times 24 \times 60 \times 60 = 2.46 \times 10^9 \text{ s}$$

$$V_{\text{tot}} = 8.3 \times 10^{-5} \times 2.46 \times 10^9$$

$$V_{\text{tot}} = 204180 \text{ m}^3$$

على اعتبار أن متوسط كثافة الدم  $1000 \text{ kg/m}^3$  فإن قلب الإنسان يضخ ما يقارب 200000 ton من الدم خلال 75 عامًا.

المثال 7



الشكل (25): تدفق شلالات نياجارا.

يتدفق الماء في شلالات نياجارا كما في الشكل (25)، وعند لحظة معينة يتدفق بمعدل  $5525 \text{ m}^3/\text{s}$  من مجرى عرضه  $670 \text{ m}$  وعمق الماء فيه تقريباً  $2 \text{ m}$ . أحسب:

- أ. سرعة الماء المتدفق عند تلك اللحظة.  
ب. حجم الماء المتدفق في 5 دقائق.

المعطيات:  $h = 2 \text{ m}$  ،  $l = 670 \text{ m}$  ،  $\frac{V}{\Delta t} = 5525 \text{ m}^3/\text{s}$

المطلوب:  $v = ?$  ،  $V = ?$

الحل:

أ. مساحة المقطع العرضي لمجرى الماء كما في الشكل

$$A = l \times h = 2 \times 670 = 1340 \text{ m}^2$$

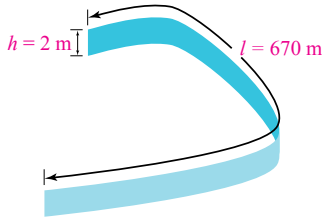
لإيجاد سرعة تدفق الماء نستخدم المعادلة الآتية:

$$Av = \frac{V}{\Delta t}$$

$$1340 \times v = 5525 \rightarrow v = \frac{5525}{1340} \approx 4 \text{ m/s}$$

ب. حجم الماء المتدفق في 5 دقائق:

$$\frac{V}{5 \times 60} = 5525 \rightarrow V = 1.657 \times 10^6 \text{ m}^3$$



لتمرين

أنبوب ماء نصف قطره  $0.02 \text{ m}$  يتدفق فيه الماء بمعدل  $1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  يضيق ليصبح نصف قطره  $0.01 \text{ m}$ ، أحسب:

- أ. سرعة تدفق الماء في الجزء الواسع من الأنبوب.  
ب. سرعة تدفق الماء في الجزء الضيق من الأنبوب.  
ج. حجم الماء المتدفق من الجزء الضيق في  $20 \text{ s}$ .

توظيف التكنولوجيا

ابحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن معادلة الاستمرارية وتطبيقاتها Applications of continuity equation، علمًا بأنه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلق بموضوع الدرس. شارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو تطبيق التواصل الاجتماعي WhatsApp، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو استعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة، بمشاركة الطلبة وذوهم.



يدخل الماء خرطوم حديقة مساحة مقطعه  $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  بسرعة  $3 \text{ m/s}$ ، فإذا وُصل نهاية الخرطوم الذي يخرج منه الماء بفوهة مساحة مقطعها  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  فأحسب:

أ. معدل التدفق الحجمي للماء أثناء خروجه من الفوهة.

ب. سرعة تدفق الماء أثناء خروجه من الفوهة.

الحل:

أ.

$$A_2 v_2 = A_1 v_1$$

$$A_2 v_2 = (8 \times 10^{-4})(3) = 2.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

ب.

$$A_2 v_2 = 2.4 \times 10^{-3}$$

$$2 \times 10^{-4} \times v_2 = 2.4 \times 10^{-3}$$

$$v_2 = \frac{2.4 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-4}} = 12 \text{ m/s}$$

لتمرين

$$r_2 = 0.01 \text{ m}$$

$$\frac{V}{\Delta t} = 1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$r_1 = 0.02 \text{ m}$$

$$A_1 v_1 = \frac{V}{\Delta t}$$

الحل:

أ.

$$\pi r_1^2 v_1 = \frac{V}{\Delta t}$$

$$3.14 \times 0.02^2 \times v_1 = 1.25 \times 10^{-3}$$

$$v_1 = \frac{1.25 \times 10^{-3}}{1.256 \times 10^{-3}} = 0.995 \text{ m/s}$$

ب.

$$A_2 v_2 = \frac{V}{\Delta t} \Rightarrow \pi r_2^2 v_2 = \frac{V}{\Delta t}$$

$$3.14 \times 0.01^2 \times v_2 = 1.25 \times 10^{-3}$$

$$v_2 = \frac{1.25 \times 10^{-3}}{3.14 \times 10^{-4}} = 3.980 \text{ m/s}$$

ج.

$$\frac{V}{\Delta t} = 1.25 \times 10^{-3}$$

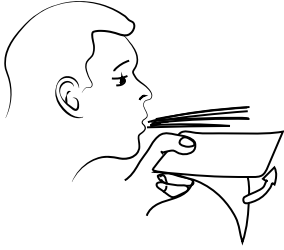
$$\frac{V}{20} = 1.25 \times 10^{-3}$$

$$V = 2.5 \times 10^{-2} \text{ m}^3$$

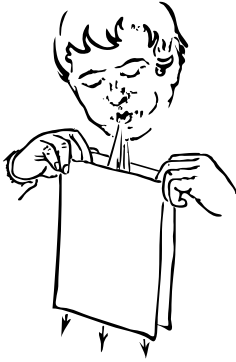


## نشاط سرية

- قص قطعتين من الورق أبعاد كل منهما (15 cm × 4 cm)، ثم كلف 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، اطلب إلى بقية الطلبة ملاحظة ما يحدث لها.



- إمساك قطعتي الورق بشكل رأسي وتقريبهما من بعضهما مسافة (5 cm) تقريباً، والنفخ بشكل رأسي بينهما، واطلب إلى بقية الطلبة ملاحظة ما يحدث لهما.



- استخدم هذا النشاط بصفته مقدمة لشرح معادلة برنولي، مع أمثلة من الحياة اليومية.

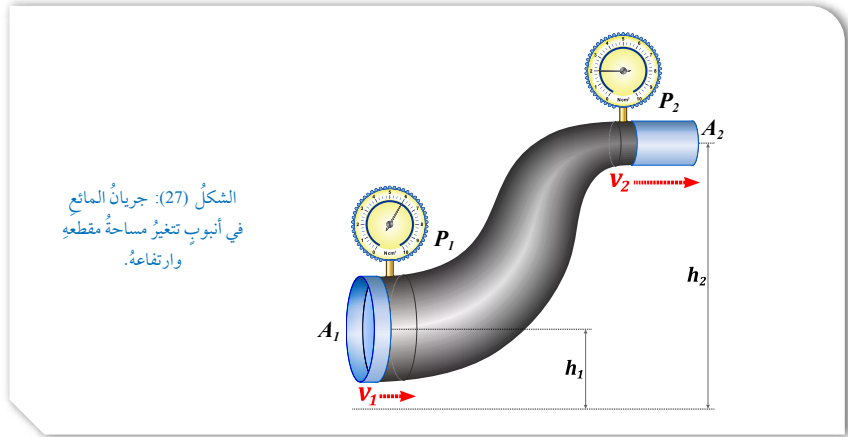
## معادلة برنولي Bernoulli's Equation



الشكل (26): ارتفاع كرة التنس في الهواء عند تسليط تيار هوائي فوق الكأس أفقياً.

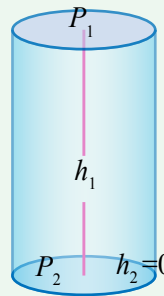
ربّما تستغرب وتساءل: كيف لطائرة مثل الإيرباص كتلتها تزيد عن 300 tons أن تطير في الهواء؟ وما الذي يجعل كرة التنس ترتفع إلى أعلى في الهواء داخل الكأس عند تسليط تيار هوائي أفقي (يؤدي إلى زيادة سرعة الهواء) فوق سطح الكأس، كما في الشكل (26)؟ العالم الفيزيائي السويسري دانيال برنولي (1700 - 1782) درس العلاقة بين ضغط المائع وسرعته وارتفاعه. نفترض أن مائعاً مثاليًا يجري عبر أنبوب يتغير كل من مساحة مقطعه العرضي وارتفاعه عن سطح الأرض، كما في الشكل (27)، فإن المعادلة التي تربط بين ضغط المائع وسرعته وارتفاعه اشتقها العالم برنولي، وهي تطبيق لمبدأ حفظ الطاقة على المائع المثالي، وسميت تلك المعادلة بمعادلة برنولي Bernoulli's equation وتنص على: «أن مجموع الضغط والطاقة الميكانيكية (أي طاقة الوضع + طاقة الحركة) لوحدة الحجم يساوي مقداراً ثابتاً» عند جميع النقاط على طول مجرى المائع المثالي. ويُعبر عنها رياضياً على النحو الآتي:

$$P + \frac{1}{2} \rho_f v^2 + \rho_f gh = \text{Constant}$$



81

## التعزيز: معادلة برنولي



وُضح للطلبة أن هناك حالة خاصة من معادلة برنولي؛ عندما يكون المائع ساكناً ( $v_1 = v_2 = 0$ )، حيث تؤول معادلة برنولي إلى:

$$P_1 + \rho_f gh_1 = P_2 + \rho_f gh_2$$

$$P_1 - P_2 = \rho_f g (h_2 - h_1)$$

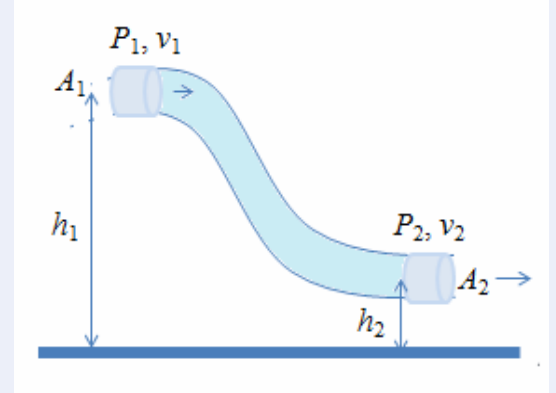
ولتبسيط المعادلة يمكننا اختيار  $h_2 = 0$  مرجعاً وعلى أساس أن ضغط السائل  $P_2 = 0$ ؛ تؤول معادلة برنولي إلى:

$$P_1 = \rho_f gh_2$$

وتمثل هذه المعادلة ضغط الموائع السكونية عند نقطة على عمق  $h_2$  تحت سطح المائع الذي درسته في الدرس الأول (الموائع السكونية).

\* يلاحظ أن المعادلة أعلاه حالة خاصة من معادلة برنولي للمائع الساكن.

• وضح للطلبة أن هناك 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:

$$P_1 + \rho_f g = P_2 + \rho_f g h_2$$

#### معلومة إضافية

##### خط المركبات السريعة

يبين الشكل مسقطاً رأسياً لسيارة تتجاوز شاحنة على الطريق السريع، حيث يتدفق الهواء الذي يمر بين المركبات في قناة أضيق فتزداد سرعته من  $v_1$  إلى  $v_2$ ؛ مما يتسبب في انخفاض ضغط الهواء بينهم  $P_1$  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 ينصح الأشخاص بعدم الوقوف بجانب خط سكة حديد أو قريباً من خط المركبات السريعة.

عند مقارنة موقعين: (1 و 2) على مجرى السائل نحصل على:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

حيث:

$P_1$ : ضغط المائع عند الموقع الأول.

$P_2$ : ضغط المائع عند الموقع الثاني.

$\rho_f$ : كثافة المائع.

$v_1$ : سرعة المائع في الموقع الأول.

$v_2$ : سرعة المائع في الموقع الثاني.

$h_1$ : ارتفاع مركز الأنبوب في الموقع الأول عن مستوى مرجعي (سطح الأرض مثلاً).

$h_2$ : ارتفاع مركز الأنبوب في الموقع الثاني عن المستوى المرجعي نفسه في الموقع الأول.

$g$ : تسارع السقوط الحر.

$(\frac{1}{2} \rho_f v^2)$ : طاقة الحركة لوحدة الحجم

$$\frac{\frac{1}{2} m v^2}{V} = \frac{1}{2} \rho_f v^2, \quad \frac{m}{V} = \rho_f$$

$(\rho_f g h)$ : طاقة الوضع لوحدة الحجم

$$\frac{m g h}{V} = \rho_f g h, \quad \frac{m}{V} = \rho_f$$

و على اعتبار المثال الآتي حالة خاصة؛ عندما يكون أنبوب الجريان أفقياً ( $h_1 = h_2$ )، كما في الشكل (28) فإن معادلة برنولي تؤول إلى:

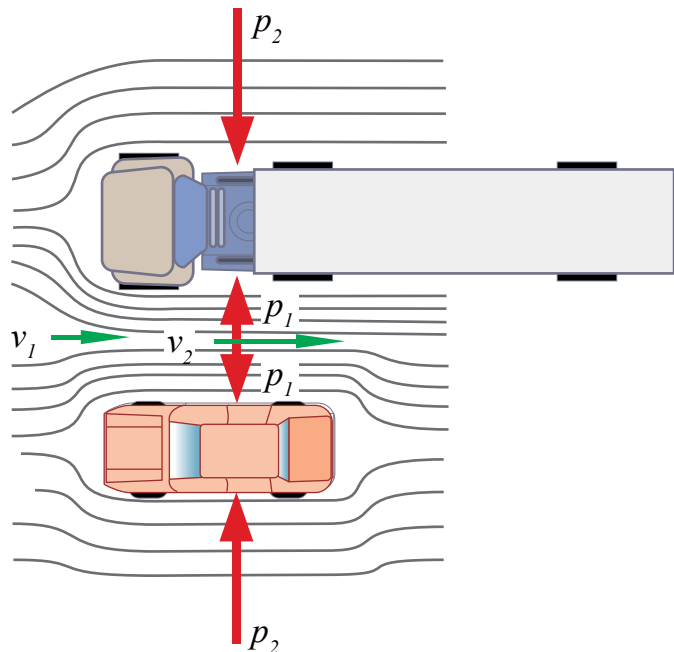
$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2$$



أعد فلماً قصيراً

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح معادلة برنولي، وأحرص على أن يشتمل الفيلم على حالات مختلفة لتطبيقات معادلة برنولي في الحياة اليومية، وعلى صور متحركة لأمثلة توضيحية، ثم أشاركه معلومي وزملائي في الصف.

الشكل (28): نقصان الضغط بزيادة سرعة المائع.



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 جداً، وكونه والثقب مفتوحين للهواء الجوي فيمكن اعتبار الضغط عند كل منهما يساوي الضغط الجوي ( $P_1 = P_2 = P_o$ )، كذلك بما أن قطر الثقب صغيراً جداً مقارنة مع قطر الخزان فإنه يمكننا اعتبار سرعة هبوط الماء في الخزان تساوي صفراً ( $v_2 = 0$ )، وبالتالي:

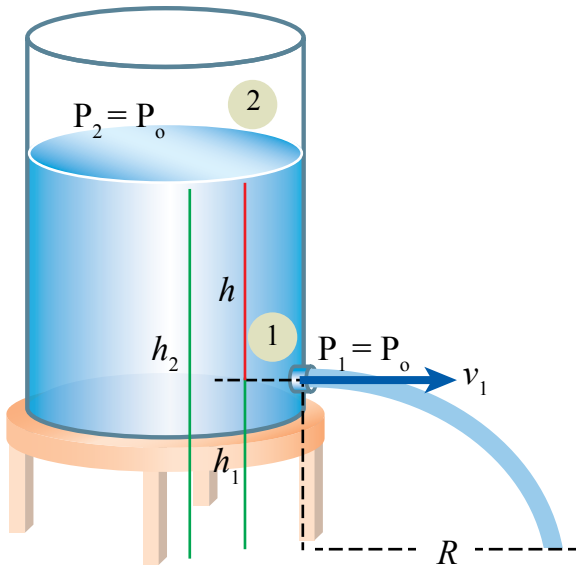
$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

$$P_o + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_o + \rho_f g h_2$$

$$\frac{1}{2} v_1^2 = g(h_2 - h_1), (h_2 - h_1) = h$$

$$v_1 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2g(10 - 3)} = 11.83 \text{ m/s}$$

\* تُسمى هذه المعادلة نظرية تورشيلي Torricelli's theorem، وهذه حالة خاصة أخرى من معادلة برنولي، وهي نفسها إحدى معادلات الحركة الخاصة بالسقوط الحر.



وبحسب معادلة الاستمرارية فإن سرعة المائع  $v_2$  في الأنبوب ذي القطر الأصغر تكون أكبر من سرعة المائع  $v_1$  في الأنبوب ذي القطر الأكبر، وبناءً على المعادلة السابقة يكون الضغط  $P_2$  أقل من الضغط  $P_1$  بمعنى: «يقل ضغط المائع كلما ازدادت سرعته» كما في الشكل (28)، وهذه حالة خاصة من معادلة برنولي، وحقيقة مهمة يمكن من خلالها تفسير كثير من المشاهدات والظواهر الحياتية. ما الدليل على أن ( $P_2 < P_1$ ) في الشكل (28)؟

✓ **أتتحقق:** أذكر نص معادلة برنولي عن المائع المثالي، وأعبّر عنها بصورة رياضية.

## المثال 8

يجري الماء في خرطوم أفقي بسرعة  $v_1 = 3 \text{ m/s}$ ، فإذا كان ضغط الماء في الخرطوم  $1.4 \times 10^5 \text{ Pa}$  وعند تقليل قطر الخرطوم هبط ضغط الماء ليصبح  $1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ، أحسب:  
أ. سرعة الماء عبر الجزء الضيق من الخرطوم.  
ب. نسبة مساحة مقطع الجزء الضيق إلى مساحة الجزء الواسع من الخرطوم.

المعطيات:  $P_1 = 1.4 \times 10^5 \text{ Pa}$  ،  $P_2 = 1.1 \times 10^5 \text{ Pa}$  ،  $\rho_f = 10^3 \text{ kg/m}^3$  ،  $v_1 = 3 \text{ m/s}$

المطلوب:  $v_2 = ?$  ،  $\frac{A_2}{A_1} = ?$

**الحل:**

أ. بما أن أنبوب الجريان أفقي فإن:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2$$

$$1.4 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times 3^2 = 1.1 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times v_2^2$$

$$v_2 = \sqrt{69} = 8.3 \text{ m/s}$$

ب. نطبق معادلة الاستمرارية:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{3}{8.3} = 0.36$$

## أفكر:

عند تسليط تيار هوائي باتجاه أفقي فوق الكأس تزداد سرعة الهواء فيقل ضغطه حسب معادلة برنولي، وبسبب فرق الضغط تندفع الكرة من منطقة الضغط العالي إلى منطقة الضغط المنخفض فترفع إلى أعلى.

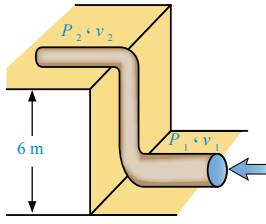
✓ **أتتحقق:**

نص معادلة برنولي:

مجموع الضغط والطاقة الميكانيكية (طاقة الوضع + طاقة الحركة) لوحدة الحجم يساوي مقداراً ثابتاً عند جميع النقاط على طول مجرى المائع المثالي.

ويعبر عنها رياضياً على النحو الآتي:  $P + \frac{1}{2} \rho_f v^2 + \rho_f g h = \text{Constant}$

المثال 9



يتم تشغيل نظام تدفئة مركزية لتسخين المياه في منزل مكون من طابقين باستخدام مضخة في الطابق الأرضي تضخ الماء بسرعة 0.5 m/s خلال أنبوب نصف قطره 2 cm تحت ضغط  $3 \times 10^5$  Pa إلى الطابق الثاني الذي يرتفع مسافة 6 m عن المضخة، كما في الشكل (29)؛ ليتدفق الماء من أنبوب نصف قطره 1.2 cm. أحسب:

أ . سرعة تدفق الماء في الأنبوب في الطابق الثاني.  
ب . ضغط الماء في الأنبوب في الطابق الثاني.

الشكل (29): ضخ المياه إلى الطابق الثاني.

المعطيات:  $v_1 = 0.5$  m/s ،  $P_1 = 3 \times 10^5$  Pa ،  $r_1 = 2$  cm ،  $r_2 = 1.2$  cm ،  $\rho_f = 10^3$  kg/m<sup>3</sup> ،  $h_1 = 0$  m ،  $h_2 = 6$  m

المطلوب:  $P_2 = ?$  ،  $v_2 = ?$

الحل:

أ . نستخدم معادلة الاستمرارية:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2} = \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} v_1 = \frac{(0.02)^2}{(0.012)^2} \times 0.5 = 1.39 \text{ m/s}$$

ب . نستخدم معادلة برنولي:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho_f (v_1^2 - v_2^2) + \rho_f g (h_1 - h_2)$$

$$P_2 = 3 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times (0.5^2 - 1.39^2) + 10^3 \times 10 \times (0 - 6) = 2.39 \times 10^5 \text{ Pa}$$

لتدرب

أنبوب تزويد نصف قطره 4 cm يرتفع عن سطح الأرض مسافة رأسية مقدارها 3 m ومعدل تدفق السائل فيه  $2 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s يتصل بأنبوب على سطح الأرض نصف قطره 1.5 cm وضغط السائل فيه  $3 \times 10^5$  Pa ، فإذا علمت أن كثافة السائل 2000 kg/m<sup>3</sup> ، فأحسب:

أ . سرعة السائل المتدفق من الأنبوب السفلي.  
ب . ضغط السائل في أنبوب التزويد العلوي.

يُراد تصميم منزل بحيث يتحمل رياح الأعاصير، فإذا علمت أن سرعة الرياح القصوى في تلك المنطقة  $88 \text{ m s}^{-1}$  ومساحة سطح المنزل  $450 \text{ m}^2$  وكثافة الهواء  $1.029 \text{ kg m}^{-3}$ ، فما مقدار أقل قوة يجب أن يتحملها دعائم السقف؛ بحيث لا يتطاير السقف في الهواء عند هبوب الرياح؟

الحل:

نطبق معادلة برنولي:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

لكن على أساس أن سرعة الرياح داخل المنزل تساوي صفر ( $v_1 = 0$ )، فإن  $(\frac{1}{2} \rho_f v_1^2 = 0)$  وعلى أساس أن ارتفاع أعلى السقف وأسفله تقريباً متساويان ( $h_1 = h_2$ )، فإن  $(\rho_f g h_1 = \rho_f g h_2)$ ، وعليه؛ تؤول معادلة برنولي إلى:

$$P_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho_f v_2^2 = \frac{1}{2} \times 1.029 \times 88^2 = 3984 \text{ Pa}$$

$$F = (P_1 - P_2)A = 3984 \times 450 = 1.79 \times 10^6 \text{ N}$$

لتدرب

ب.

$$A_1 = \pi r_1^2 = 3.14 \times (4 \times 10^{-2})^2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_1 v_1 = 2 \times 10^{-3}$$

$$5 \times 10^{-3} \times v_1 = 2 \times 10^{-3} \Rightarrow v_1 = 0.4 \text{ m/s}$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

$$(P_1 - 3 \times 10^5) = \frac{1}{2} \times 2000 \times (2.8^2 - 0.4^2) - 2000 \times 10 \times 3$$

$$P_1 = 2.47 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\rho_f = 2000 \text{ kg/m}^3 , P_2 = 3 \times 10^5 \text{ Pa} ,$$

$$r_2 = 1.5 \text{ cm} , r_1 = 4 \text{ cm} ,$$

$$A_1 v_1 = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} , h_1 = 3 \text{ m} , h_2 = 0$$

الحل:

أ.

$$A_2 = \pi r_2^2 = 3.14 \times (1.5 \times 10^{-2})^2 = 7.1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$2 \times 10^{-3} = 7.1 \times 10^{-4} \times v_2$$

$$v_2 = 2.8 \text{ m/s}$$



### طيران الطائرة

يجري التحكم في قدرة الطائرة على الطيران وبقائها في الجو عن طريق أربع قوى رئيسة؛ كما في الشكل، وهي:

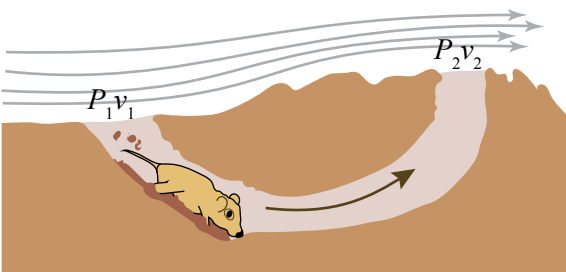


- قوة المقاومة: قوة مقاومة الهواء لحركة الطائرة.
- وزن الطائرة: قوة الجاذبية الأرضية باتجاه مركز الأرض.
- قوة الرفع: القوة التي يؤثر بها الهواء في جسم الطائرة إلى أعلى؛ نتيجة فرق الضغط بين أعلى الجناح وأسفله.
- قوة الدفع: القوة التي تدفع بالطائرة إلى الأمام باستخدام المحركات النفاثة.

### المناقشة

#### معادلة برنولي

- ربما تساءلت يوماً كيف يمكن للحيوانات العيش في أنفاق تحت الأرض نسبة الأكسجين فيها قليلة جداً؟
- تعمل تلك الحيوانات كالحُلد مثلاً أنفاقاً كما في الشكل.
- أدر نقاشاً مع الطلبة حول كل من سرعة الهواء وضغطه فوق الفتحتين، وسبب ارتفاع إحدى الفتحتين عن الأخرى.
- وضح لهم 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!



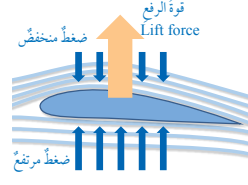
### تطبيقات على معادلة برنولي

#### Applications of Bernoulli's Equation

معادلة برنولي تُطبَّق في مواقف وأوضاع عديدة، وتفسّر كثيراً من الظواهر والمشاهدات الحياتية المختلفة؛ نتناول منها ما يأتي:

#### أجنحة الطائرة Airplane Wings

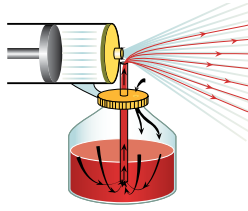
**قوة الرفع Lift force:** تُستخدم معادلة برنولي عند تصميم أجنحة الطائرات، عن طريق تصميم شكل الجناح الانسيابي ليكون سطح الجناح العلوي منحنياً (محدباً)، وسطحه السفلي شبه مستو؛ كما في الشكل (30) الذي يمثل مقطعاً عرضياً للجناح، وعندما يتحرك الجناح عبر الهواء ينساب الهواء فوق الجناح بسرعة أكبر من انسيابه تحت الجناح، وبالتالي، فإن ضغط الهواء فوق الجناح أقل من ضغطه أسفل الجناح حسب معادلة برنولي، وبذلك تتولد قوة الرفع  $Lift\ force$  ( $F_L$ )، وهي القوة المتولدة نتيجة فرق الضغط بين أسفل الجناح وأعلى، وهي التي تدفع بأجنحة الطائرة نحو الأعلى.



الشكل (30): صورة جناح الطائرة وخطوط الجريان حول مقطع عرضي له.  
سؤال: علام يدل نزاحم خطوط جريان الهواء فوق الجناح؟

#### المِرْذاذ Atomizer

يتكوّن المِرْذاذ من أنبوب أفقي واسع ينتهي بأنبوب ضيق يمرّ فوق أنبوب آخر رأسي؛ الجزء السفلي منه مغمور في السائل والجزء العلوي يتصل مع الأنبوب الأفقي الضيق، كما في الشكل (31). يعتمد عمل المِرْذاذ على اندفاع الهواء من الأنبوب الواسع إلى الأنبوب الضيق فتزداد سرعته حسب معادلة الاستمرارية، وينخفض ضغطه حسب معادلة برنولي أي أن ضغط الهواء عند فوهة الأنبوب الرأسي أقل من ضغط الهواء داخل الوعاء الزجاجي؛ ممّا يؤدي إلى اندفاع السائل إلى أعلى، ليختلط مع الهواء المندفع من الأنبوب الأفقي، ويتشتت على شكل رذاذ ناعم من القطرات. تعمل كثير من الأجهزة والأدوات بالطريقة الموضحة في الشكل ووفق استخداماتها؛ مثل: زجاجات العطور، ومرشات الطلاء، ومرشات المنظفات، وفي مازج السيارة (الكاربوريتر).



الشكل (31): المِرْذاذ.  
سؤال: ما فائدة الفتحة في أعلى القارورة؟



#### إجابة سؤال الشكل (30):

يدل نزاحم خطوط الجريان على أن سرعة جريان المائع كبيرة، وهذه من خواص خطوط الجريان: كثافتها (عدد خطوط الجريان التي تمر عمودياً 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 مساوياً للضغط الجوي، فيتولد فرق في ضغط الهواء بين أعلى الماصة الرأسية وأعلى السائل داخل القارورة يؤدي إلى اندفاع السائل إلى أعلى عبر الماصة.

## استخدام الصور والأشكال:

• وجه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (33)، ويُن لهم أن جهاز مقياس فنتوري -الذي تم اختراعه من قبل 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 ( $\Delta P$ ) بين المقطع الواسع (مساحة مقطعه  $A_1$ ) لمقياس فنتوري والمقطع الضيق (مساحة مقطعه  $A_2$ )، ومن ثم اطلب 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:

$$\frac{V}{\Delta t} = A_1 v_1$$

## إجابة سؤال الشكل (32):

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؛ وبالتالي يمكن معرفة فرق الضغط من خلال طرح مقدار الضغط في الأنبوب الضيق (الأوسط) من مقدار الضغط في الأنبوب الواسع.

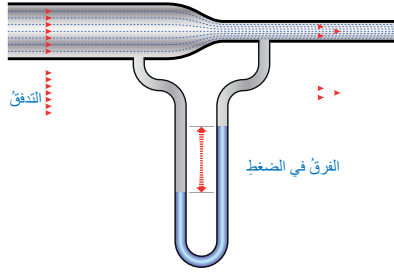
## مقياس فنتوري Venturi Meter

مقياس فنتوري Venturi meter جهاز يُستخدم لقياس سرعة ومعدل تدفق الموائع في الأنابيب بتطبيق معادلة برنولي؛ وهو أنبوب مفتوح الطرفين، مختنق (ضيق) في وسطه، وعند مرور المائع في الاختناق تزداد سرعته فيقل ضغطه، علل ذلك.

يتم قياس سرعة ومعدل تدفق المائع عن طريق قياس الفرق بين ضغط المائع في الأنبوب وضغطه في اختناق الأنبوب، كما هو مبين في الشكل (32). والصورة المبينة في الشكل (33) تُظهر الاستخدام العملي لمقياس فنتوري.

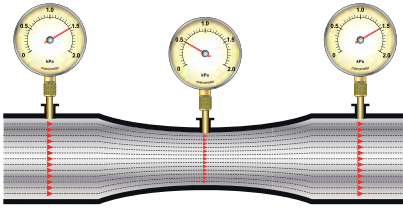


الشكل (33): مقياس فنتوري في إحدى محطات المياه.



الشكل (32): أشكال مختلفة لمقياس فنتوري.

سؤال: ما الفرق بين مقياسي فنتوري في الشكل؟



86

## توظيف التكنولوجيا

ابحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن معادلة برنولي Bernoulli's equation، علماً بأنه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلق بموضوع الدرس.

شارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو تطبيق التواصل الاجتماعي WhatsApp، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو استعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذوهم.

## 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 وأعلى، والتي تدفع بأجنحة الطائرة نحو الأعلى.  
معادلة الاستمرارية: حاصل ضرب مساحة المقطع العرضي لأنبوب جريان المائع في سرعة المائع عند ذلك المقطع يساوي مقداراً ثابتاً.  
خط الجريان: خط 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 وأعلى سطح المنزل، فيقل فرق الضغط بينهما لتتولد قوة رفع قليلة جداً مقارنة بتلك في حالة إغلاق النوافذ.

3 أ.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$0.2 \times v_1 = 0.05 \times 4 \Rightarrow v_1 = 1 \text{ m/s}$$

ب.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 + \rho_f g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2 + \rho_f g h_2$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho_f (v_1^2 - v_2^2) + \rho_f g (h_1 - h_2)$$

$$P_2 = 1.5 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 10^3 \times (1^2 - 4^2) + 10^3 \times 10 \times (0 - 6)$$

$$P_2 = 8.3 \times 10^4 \text{ Pa}$$

ج.

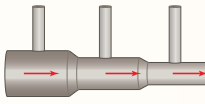
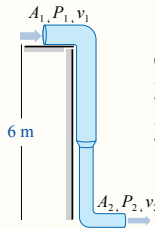
$$\frac{V}{\Delta t} = A_2 v_2$$

$$\frac{V}{120} = 0.05 \times 4 \Rightarrow v = 24 \text{ m}^3$$

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 ثم ارتفاع المائع في الأنبوب العمودي المتصل به يكون الأعلى، ويقل الارتفاع في الأنبوب الأوسط ليصبح أقل ارتفاعاً في الأنبوب الأيمن.

## مراجعة الدرس



87

1. الفكرة الرئيسة: أوضح المقصود بكل مما يأتي:

المائع المثالي، قوة الرفع، معادلة الاستمرارية، خط الجريان.

2. أحل مشكلات: تتطير الأسقف المعدنية للمنازل الجاهزة

عند هبوب رياح قوية، كما هو مبين في الشكل.

أ. ما التفسير العلمي لما يحدث؟

ب. ما النصيحة التي تقدمها لأصحاب تلك المنازل لحل تلك المشكلة؟

3. أستخدم المتغيرات: يتدفق الماء من ارتفاع 6 m عن سطح الأرض - باستخدام مضخة - عبر أنبوب متغير مساحة المقطع كما في الشكل، فإذا علمت أن مساحة

مقطع الطرف العلوي للأنبوب 0.2 m<sup>2</sup>، وضغط الماء 1.5 × 10<sup>5</sup> Pa ومساحة

مقطع الطرف السفلي للأنبوب 0.05 m<sup>2</sup> وسرعة الماء فيه 4 m/s فأجد:

أ. سرعة الماء في الطرف العلوي للأنبوب.

ب. ضغط الماء في الطرف السفلي للأنبوب.

ج. حجم الماء المتدفق من الطرف السفلي للأنبوب خلال دقيقتين.

4. أقرن: يمثل الشكل أنبوب جريان مساحة مقطعه غير

منتظمة. عند جريان المائع في الأنبوب أجيب عما يأتي:

أ. أوضح كيف تتغير سرعة المائع في الأنبوب.

ب. أقرن بين ارتفاع المائع في كل أنبوب من الأنابيب العمودية الثلاثة.

5. أحسب: يتفرع الشريان الأبهري البطني إلى فرعين رئيسيين يسمى

كل منهما الشريان الحرقفي كما في الشكل، إذا علمت أن قطر

الشريان الأبهري 2 cm وسرعة جريان الدم عبره 0.2 m/s وقطر

كل من الشريانيْن الحرقفيين 1 cm (باعتبارهما متماثلين).

فأحسب:

أ. معدل التدفق الحجمي للدم في كل من الشريانيْن الثلاثة.

ب. سرعة تدفق الدم في الشريان الحرقفي.

أ.

$$A_1 = \pi r_1^2 = 3.14 \times (2 \times 10^{-2})^2 = 1.26 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_2 = \pi r_2^2 = 3.14 \times (1 \times 10^{-2})^2 = 3.14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_1 v_1 = 1.26 \times 10^{-3} \times 0.2 = 2.52 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_1 v_1 = 2(A_2 v_2)$$

$$2.52 \times 10^{-4} = 2 \times (A_2 v_2) \Rightarrow A_2 v_2 = 1.26 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A_3 v_3 = A_2 v_2 = 1.26 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

ب.

$$A_2 v_2 = 1.26 \times 10^{-4}$$

$$3.14 \times 10^{-4} \times v_2 = 1.26 \times 10^{-4} \Rightarrow v_2 = 0.4 \text{ m/s}$$

## الغاطس

الهدف:

- بيان المقصود بالغايطس، خط التحميل.
- تعرف أهمية الغاطس واستخداماته.

### الإجراءات والتوجيهات:

- وجه الطلبة -ضمن مجموعات- إلى قراءة فقرة (الإثراء والتوسع)، ثم مناقشتها في ما بينهم.
- ا طرح 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 المحملة 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.

• ناقش العبارة الآتية: العمق الآمن في المياه المالحة أقل منه في المياه العذبة؛ كما هو مبين في الشكل (35)؟

تعتمد قوة طفو السفينة - حسب قاعدة أرخميدس - على كثافة المياه الذي تطفو فوقه السفينة؛ فكلما ازدادت كثافة المياه تزداد قوة الطفو، وبناءً عليه يقل عمق الجزء المغمور من السفينة في المياه المالحة عنها 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.

## الإثراء والتوسع

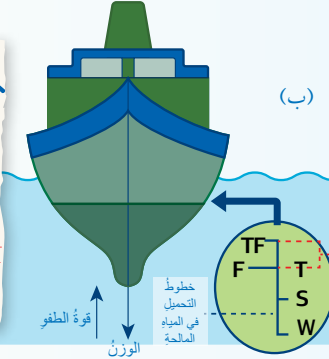
### الغاطس Draft Mark

الغاطس Draft mark هو تدريج رقمي يشير إلى المسافة الرأسية بين سطح الماء وأسفل هيكل السفينة كما في الشكل (أ)، ويحدد الغاطس عمق المياه التي يمكن للسفينة أو الزورق أن يبحر فيها بأمان. وقد يُستخدم الغاطس أيضًا لتحديد وزن الشحنة الموجودة على السفينة بحساب إجمالي الماء المزاح واستخدام قاعدة أرخميدس. أما خط التحميل Load line فهو علامة خاصة توضع على وسط السفينة تشير إلى الحمولة الآمنة للسفينة بما فيها وزن هيكل السفينة والبضائع المحملة والأشخاص الموجودين على متنها كما في الشكل (ب). ويجب على جميع السفن التي يبلغ طولها 24 m أو أكثر أن يكون لديها علامة خط تحميل، حيث تمّ التوصل إلى اتفاقية دولية للتطبيق العالمي لخطوط التحميل؛ من أجل الحد من مخاطر إبحار السفن؛ ذلك أن العديد من الحوادث البحرية حدثت بسبب الحمولة الزائدة للسفن.



(أ)

نظرًا لأن طفو السفينة وعمرها يعتمدان إلى حد كبير على نوع الماء وكثافته - حيث تتغير قوة الطفو تبعًا لذلك - فليس مقبولاً من الناحية العملية تحديد حدّ عام قياسي للسفينة في جميع الأوقات والأماكن. لهذا السبب؛ فإنّ خطّ التحميل مثلاً لسفينة تبحر في الشتاء في شمال المحيط الأطلسي يختلف عنه عندما تبحر السفينة في المناطق الاستوائية صيفاً، وكذلك الأمر بالنسبة إلى المياه المالحة والمياه العذبة.



(ب)

**إثراء:** مستعيناً بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة ومنها شبكة الإنترنت، أبحث عن أسباب غرق بعض السفن، مثل: التايتانك، وعلاقة ذلك بقوة الطفو والحمولة، ثم أكتب تقريراً عن ذلك، وأقرؤه أمام الطلبة في غرفة الصف يتبعه مناقشة مع معلمي وزملائي الطلبة.

- كلف الطلبة على شكل مجموعات بعمل قارب من ورق الألمنيوم السميك نوعاً ما، وتحديد تدريجات الغاطس عيه وخطوط التحميل المختلفة على ذلك القارب؛ بناءً على تجارب عملية يُجرّونها.



## مراجعة الوحدة

## مراجعة الوحدة

1. أضغ دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

1. وحدة قياس معدل التدفق الحجمي للمائع هي:

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

2. أي مما يأتي يُعد تطبيقاً أو مثالاً على قاعدة أرخميدس:

- أ. مقياس فنتوري. ب. مقياس كثافة السوائل. ج. المرذاذ. د. أجنحة الطائرة.

3. من خصائص المائع المثالي التي تميزه عن المائع الحقيقي أنه:

- أ. لزج. ب. انضغاطي. ج. غير دوامي. د. جريانه غير منتظم.

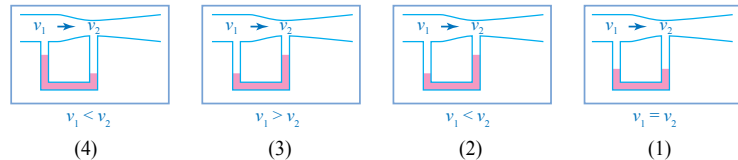
4. قوة الطفو لسبيكة وزنها في الهواء 600 N ووزنها في الماء 200 N تساوي:

- أ. 800 N ب. 600 N ج. 400 N د. 200 N

5. عند هبوب الرياح بشكل أفقي فوق فتحة مدخنة، كيف يتأثر الدخان الصاعد في المدخنة:

- أ. يرتفع الدخان بسرعة أكبر في المدخنة. ب. يرتفع الدخان بسرعة أقل في المدخنة. ج. يندفع الدخان إلى الأسفل في المدخنة. د. لا يتأثر الدخان الصاعد في المدخنة.

6. أي الأشكال الآتية يمثل ما يحدث للمائع عند جريانه في مقياس فنتوري:



- أ. الشكل (1). ب. الشكل (2). ج. الشكل (3). د. الشكل (4).

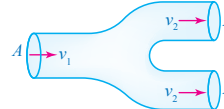
7. عند انتقال السفينة من الماء العذب إلى ماء البحر، فإن كلاً من قوة الطفو وحجم الجزء المغمور من السفينة بعد اتزانها في مياه البحر مقارنة بالمياه العذبة، على الترتيب:

- أ. تبقى القوة ثابتة، يقل الحجم. ب. تبقى القوة ثابتة، يزداد الحجم. ج. تزداد القوة، يبقى الحجم ثابتاً. د. تزداد القوة، يقل الحجم.

8. أي العبارات الآتية صحيحة بالنسبة إلى جسم يطفو على سطح السائل:

- أ. حجم السائل المزاح يساوي حجم الجسم. ب. وزن السائل المزاح يساوي وزن الجسم في السائل. ج. قوة الطفو أكبر من وزن السائل المزاح. د. حجم السائل المزاح يساوي حجم الجزء المغمور من الجسم.

9. أنبوب جريان مساحة مقطعه A وسرعة جريان المائع فيه  $v_1$  تفرع إلى أنبوبين مساحة مقطع كل منهما A كما في الشكل، في أي من الأنبوبين



سرعة المائع  $v_2$  تساوي:

- أ.  $4v_1$  ب.  $2v_1$  ج.  $v_1$  د.  $\frac{1}{2}v_1$

1 - ج.  $m^3/s$

2 - ب. مقياس كثافة السوائل.

3 - ج. غير دوامي.

4 - ج. 400 N

5 - أ. يرتفع الدخان بسرعة أكبر في المدخنة.

6 - ب. الشكل (2).

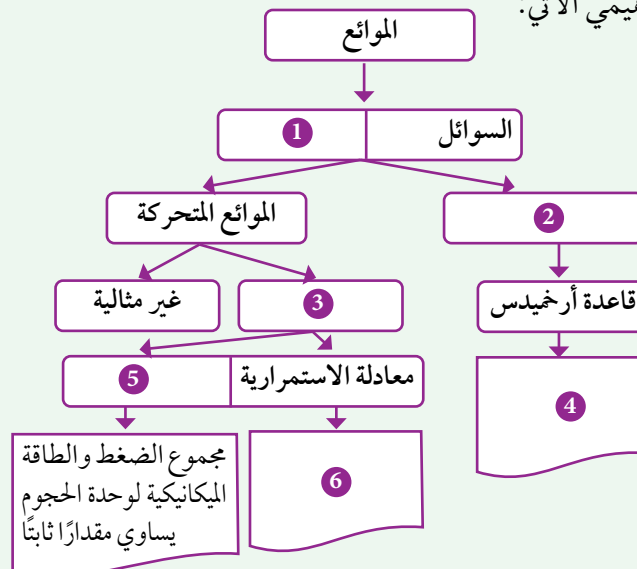
7 - أ. تبقى القوة ثابتة، يقل الحجم.

8 - د. حجم السائل المزاح يساوي حجم الجزء المغمور من الجسم.

9 - د.  $\frac{1}{2}v_1$

### التعزيز: المائع

أكمل المخطط المفاهيمي الآتي:



إجابات التعزيز:

(1) الغازات

(2) الموائع الساكنة

(3) مثالية

(4) قوة الطفو المؤثرة في الجسم المغمور كلياً أو جزئياً 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 مقداراً ثابتاً

## مراجعة الوحدة

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.

ج. 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 ضربها  $Av$  ثابتًا، وبما أن حجم الماء المتدفق بقي ثابتًا؛ فإن الزمن اللازم لملء الكأس يبقى ثابتًا (30 s).

4 الحل:

$$\begin{aligned} F_B &= F_g \\ \rho_f V_f g &= \rho_o V_o g, \quad V_f = \frac{V_o}{4} \\ \rho_f \frac{V_o}{4} g &= \rho_o V_o g \\ \rho_f &= 4 \rho_o = 4 \times 15 = 60 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

5 الحل:

أ. وزن السائل المزاح ( $F_{g_f}$ ):

$$F_{g_f} = m_f g = 2 \times 10 = 20 \text{ N}$$

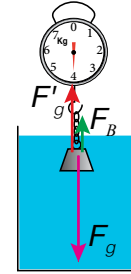
ب. قوة الطفو = وزن السائل المزاح

$$F_B = F_{g_f} = 20 \text{ N}$$

ج. وزن الجسم الحقيقي ( $F_g$ ):

$$\begin{aligned} F_B &= F_g - F'_{g_f} \\ F_g &= F_B + m' g = 20 + (4 \times 10) = 60 \text{ N} \end{aligned}$$

هـ. مخطط الجسم الحر:



## مراجعة الوحدة

2. أقرن بين قوة الطفو والوزن الحقيقي في كلٍّ من التطبيقات والحالات الآتية:

- أ. القارب وهو طافٍ على سطح البحر.  
ب. الغواصة أثناء هبوطها تحت الماء.  
ج. المنطاد أثناء صعوده للأعلى في الهواء.

3. أخلّ: الزمن اللازم لملء كأس ماء من خرطوم مياه 30 s، وعند الضغط على فوهة الخرطوم تضاعفت سرعة تدفق الماء من الخرطوم. كم من الوقت يلزم لملء الكأس نفسها؟

4. أحسب: وضعت كرة قدم متوسط كثافتها  $15 \text{ kg m}^{-3}$  على سطح سائل فأتزن عند انغماس ربع حجمها في السائل، أحسب كثافة السائل.

5. أخلّ: اعتمادًا على البيانات المبينة في الشكل وباعتبار كثافة الماء  $10^3 \text{ kg m}^{-3}$  أجيب عما يأتي:

- أ. أجد وزن السائل المزاح. ب. أحسب قوة الطفو.  
ج. أحسب وزن الجسم الحقيقي. د. أرسم مخطط الجسم الحر للجسم المعلق.

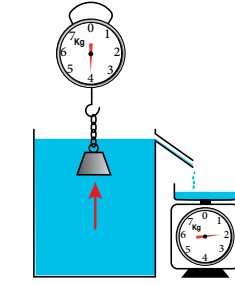
6. أفسر ما يأتي:

أ. قوة الطفو لجسم مغمور كليًا في سائل لا تتغير بتغير عمق الجسم تحت سطح السائل.

ب. عند وضع بالونين متماثلين حجمًا في الهواء؛ أحدهما مملوء بغاز الهيليوم والآخر بغاز الهيدروجين؛ فإن قوة الطفو في كلٍّ منهما متساوية.

7. يمثل الشكل المجاور خطوط جريان الهواء حول جناح الطائرة، اعتمادًا عليه أجيب عما يأتي:

- أ. في أية منطقة حول الجناح تتقارب خطوط الجريان؟  
ب. ما العلاقة بين تقارب خطوط الجريان، وكلٍّ من سرعة الهواء وضغطه؟  
ج. ما اسم المعادلة التي تفسر قوة الرفع في أجنحة الطائرة؟  
د. ما سبب تولد قوة الرفع في جناح الطائرة؟  
هـ. كيف يمكن زيادة قوة الرفع؟



8. أخلّ مشكلات: متزلج كتلته 50 kg يريد أن يستخدم لوحًا خشبيًا كثافته  $600 \text{ kg m}^{-3}$  وسماكته 10 cm كما في الشكل، إذا علمت أن كثافة ماء البحر  $1024 \text{ kg m}^{-3}$  فأجد أقل مساحة للوح الخشب تمكن المتزلج من استخدامه دون أن يغرق.

9. أحسب: أنبوب نفط أفقيّ سرعته جريان السائل فيه 20 m/s يضيق ليصبح قطره نصف قطر الأنبوب الرئيس، ويقل ضغط السائل فيه ليصبح  $2 \times 10^5 \text{ Pa}$ ، باعتبار كثافة السائل  $800 \text{ kg m}^{-3}$  أجد:

- أ. سرعة جريان النفط في الأنبوب الواسع.  
ب. ضغط النفط في الأنبوب الرئيس.

90

جـ. معادلة برنولي.

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.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_f v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_f v_2^2$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \times 800 \times 20^2 = 2 \times 10^5 + \frac{1}{2} \times 800 \times 80^2$$

$$P_1 = 2.6 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$m = (50 + \rho_o V_o)$$

$$F_B = F_g$$

$$\rho_f V_f g = (50 + \rho_o V_o) g, \quad V_f = V_o$$

$$\rho_f V_o - \rho_o V_o = 50$$

$$V_o = \frac{50}{\rho_f - \rho_o} = \frac{50}{1024 - 600} = 0.12 \text{ m}^3$$

$$V_o = Ah$$

$$0.12 = A \times 0.1 \Rightarrow A = 1.2 \text{ m}^2$$

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:

6 أ. لأن قوة الطفو تعتمد على فرق الضغط

$\Delta P = \rho_f g \Delta h$  الذي يعتمد على الفرق في ارتفاع السائل  $\Delta h$  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 متساوٍ أيضًا وبالتالي 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.

## الوحدة السادسة: الحركة الموجية Wave Motion

تجربة استهلاكية: الموجات تنقل الطاقة ولا تنقل المادة.

| الدرس                            | النتائج  | التجارب والأنشطة  | عدد الحصص |
|----------------------------------|--|---|-----------|
| الأول:<br>الموجات وصفاتها.       | <ul style="list-style-type: none"> <li>يوضح صفات الموجات والمفاهيم المتعلقة بكل منها.</li> <li>يوظف معرفته بالمفاهيم المتعلقة بالموجات وصفاتها في حل مسائل حسابية، وفي تفسير ظواهر ومشاهدات يومية.</li> <li>يمثل رسومات بيانية تتعلق بصفات الموجات، ويحللها.</li> <li>يوظف التجربة العملية في تعرف صفات الموجات.</li> <li>يتوصل إلى أن الصوت موجة طولية تعتمد صفاتها على الوسط الذي تنتشر فيه.</li> <li>يتوصل إلى أن موجات (الراديو) والضوء والأشعة السينية لها أطوال موجية مختلفة ضمن طيف الموجات الكهرومغناطيسية.</li> </ul> |   | 6         |
| الثاني:<br>خصائص الحركة الموجية. | <ul style="list-style-type: none"> <li>يصمم تجربة عملية ليصف عددًا من الظواهر الموجية مثل: تراكب موجتين باتجاهين متعاكسين، وانعكاس موجات سطح الماء عن حاجز.</li> <li>يستقضي عملياً شروط حدوث حيود موجات الماء.</li> <li>يطور نموذجاً ليحدد خصائص الموجات: التداخل، الحيود، الانكسار، الاستقطاب.</li> <li>ينفذ تجارب عملية ليوّضح ظاهرة تأثير دوبلر.</li> <li>يوظف تجارب عملية في معرفة خصائص الموجات: الانعكاس، الانكسار، الحيود، التداخل.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>تجربة (1): استقصاء خاصيتي انعكاس الموجات وانكسارها.</li> <li>تجربة (2): استقصاء خاصيتي تداخل الموجات وحيودها.</li> </ul> | 5         |

| النتائج السابقة   | الصف   | النتائج اللاحقة   | الصف       |
|---|--------|---|------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• يوظّف التجربة العملية في استقصاء صفات الخيال المتكون في العدسات.</li> <li>• يوضّح المفاهيم المتعلقة بظاهرة انكسار الضوء.</li> <li>• يطبّق قانون سنل في حل مسائل حسابية.</li> <li>• يوظّف معرفته بالمفاهيم والعلاقات الخاصة بانكسار الضوء في: حل مسائل وتفسير ظواهر ومشاهدات.</li> <li>• يستقصي التطبيقات العملية للعدسات.</li> </ul> | التاسع | <ul style="list-style-type: none"> <li>• يوضّح خصائص الموجات.</li> <li>• يوظّف معرفته بالمفاهيم المتعلقة بالموجات وخصائصها في: تفسير الظواهر والمشاهدات اليومية.</li> <li>• يوظّف التجربة العملية في تعريف خصائص الموجات.</li> <li>• يوضّح المقصود بالمفاهيم المرتبطة بالضوء.</li> <li>• يوظّف التجربة العملية في تعرف المفاهيم الخاصة بالضوء.</li> </ul> | الحادي عشر |



## الحركة الموجية Wave Motion

### أتأمل الصورة

- الفت انتباه الطلبة إلى صورة نموذج تركيز موجات البحار، ثم اطرح 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.

## الحركة الموجية Wave Motion



### أتأمل الصورة

يعمل العلماء في بناء نموذج متطور يمكنهم من حصاد الطاقة الهائلة التي تحملها موجات البحار، التي تشكل مصدر طاقة متجددة لا ينضب، إضافة إلى كونها طاقة نظيفة مقارنة ببعض موارد الطاقة الأخرى. وقد صمم العلماء جهازاً يكتف الموجات ويركزها في مكان ضيق، قبل أن تُحوَّل من طاقة حركية إلى طاقة كهربائية. ما نوع الطاقة التي تحملها موجات البحر، وعلى ماذا تعتمد؟

## الفكرة العامة:

- ضع على الطاولة مصباحاً كهربائياً يعمل على البطارية، وهاتفاً خلوياً وناصباً، ثم نفذ الخطوات الآتية:
- شغل المصباح الكهربائي، بحيث يسقط الضوء الصادر عنه على الحائط.
- شغل جرس الهاتف بحيث يسمع الطلبة صوته.
- حرّك النابض على سطح الطاولة حركة موجية مستعرضة.
- اطرح 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 أشكالاً أخرى للحركة الموجية.
- موجات سطح الماء، الموجات المنتشرة في حبل، موجات الزلازل، ...

## مشروع الوحدة:

### الزلازل والموجات الزلزالية

- وزع الطلبة إلى مجموعات، ثم نظم نقاشاً بينهم حول الزلازل: أسباب حدوثها، وكيفية انتقال تأثيرها المدمر، وما يترتب على ذلك من خسائر في الأرواح والممتلكات.
- اطرح الأسئلة الآتية على الطلبة، ثم كلف 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 الزلازل؟
- ما أنواع الموجات الزلزالية؟ وكيف ينتشر كل نوع في القشرة الأرضية؟ وما سرعة انتشاره؟

## الفكرة العامة:

دراسة الحركة الموجية وسلوك الموجات تساعدنا في فهم كثير من الظواهر والمواقف الحياتية المتعلقة بالصوت والضوء؛ فالصوت والضوء ينتقلان على شكل موجات تشبه موجات الماء، حيث يمكن وصفها بمعرفة طولها الموجي وترددها وسعتها وسرعة انتشارها.

### الدرس الأول: الموجات وصفاتها

#### Waves and their Characteristics

**الفكرة الرئيسة:** الموجات تنقل الطاقة ولا تنقل المادة، ندرك ذلك بحواسنا المختلفة؛ فنحن نشاهد موجات البحر وهي تنقل الطاقة الحركية لقارب يرسو على الشاطئ، بينما لا تنقل الماء نحو الشاطئ، وإن موجات الصوت والضوء تنقل الطاقة أيضاً.

### الدرس الثاني: خصائص الحركة الموجية

#### Properties of Wave Motion

**الفكرة الرئيسة:** للموجات المختلفة سلوكٌ محددٌ يظهر في تطبيقات حياتية كثيرة عند انتقالها خلال الوسط الواحد، أو بين وسطين مختلفين، مثل: الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب.

- كيف يتم رصد الزلازل؟ وكيف تقاس قوته؟
- ما الآثار الناتجة عن حدوث الزلازل؟
- كيف نحمي أنفسنا ونحمي الآخرين عند حدوث زلزال؟
- كلف إحدى المجموعات بإعداد مطوية تتضمن التقارير المختصرة التي قدمتها المجموعات الأخرى، ثم تصويره وتوزيع نسخ منه على طلبة المدرسة.
- اختر عدداً محدداً من الطلبة؛ لبناء نموذج لجهاز رصد الزلازل.

### القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

#### \* التفكير: التنبؤ.

وضّح للطلبة أنّ التنبؤ العلمي المبني على الملاحظة يعدّ من طرائق المعرفة العلمية، وأن أهميته تتمثل في اكتساب المعرفة في الحالات التي تصعب فيها الملاحظة، أو إجراء القياس العلمي.



## تجربة استعلائية

الهدف: توليد موجات مستعرضة عملياً لاستقصاء انتقال الطاقة الميكانيكية بواسطة الحركة الموجية، بالرغم من عدم انتقال دقائق الوسط باتجاه انتشار الموجات.

زمن النشاط: 20 دقيقة.

**إرشادات السلامة:** حذر الطلبة من خطر سقوط الأجسام والأدوات المختلفة على أقدامهم.

المهارات العلمية: الملاحظة، التفسير، الاستقصاء.

الإجراءات والتوجيهات:

- اطلب إلى الطلبة الاطلاع على الخلفية النظرية للتجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية، ثم وضح لهم ما يأتي:
- طريقة التعامل مع كل من النابضين، لتوليد موجات مستعرضة وموجات طولية.

النابض الرفيع يستخدم لتوليد موجات مستعرضة بعد شدة 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.

- وضح للطلبة أن مصدر الطاقة التي تنقلها موجات النابض هو اهتزاز اليد.

- اطلب إلى الطلبة زيادة سرعة تحريك طرف النابض، ثم وضح لهم أن ذلك يمثل زيادة طاقة المصدر.

- اطلب إلى الطلبة زيادة مدى تحريك طرف النابض، ثم وضح لهم أن ذلك يمثل زيادة سعة الموجة.

النتائج المتوقعة:

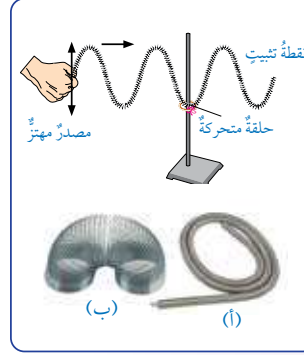
أخبر الطلبة أن النتائج قد تختلف بين مجموعاتهم بالرغم من استخدام نوابض متماثلة، وذلك بسبب الاختلاف في وضع النابض، ومقدار الشد فيه وسرعة التحريك لكل مجموعة.

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 اتجه حركة الحلقة رأسياً للأعلى والأسفل، واتجاه انتشار

## تجربة استعلائية

### الموجات تنقل الطاقة ولا تنقل المادة



المواد والأدوات: نابضان فلزيان طويلان أحدهما رفيع والآخر عريض، منصّب فلزي، حلقة فلزية، شريط قماشي ملون.

**إرشادات السلامة:** الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

**خطوات العمل:** بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:

- 1 أثبت المنصّب الفلزي كما في الشكل مع تثبيت قاعدته بأجسام ثقيلة، ووضع الحلقة الفلزية حول ساق المنصّب.
- 2 أربط النابض الرفيع (أ) من منتصفه مع الحلقة الفلزية باستخدام الشريط القماشي الملون.

**3 أجب:** أمسك طرف النابض بيدي وأطلب من زميلي أن يمسك الطرف الثاني ويثبت يده، وأحرك الطرف الذي بيدي للأعلى وللأسفل بشكل منتظم، وأراقب حركة الشريط الملون، ثم أدوّن ملاحظاتي في الجدول.

**4** أغير من سرعة حركة يدي للأعلى وللأسفل، وأراقب حركة الشريط الملون وأدوّن ملاحظاتي في الجدول.

**5 ألاحظ:** أجعل مدى حركة يدي للأعلى وللأسفل أكبر وأوسع من السابق، ثم ألاحظ حركة الحلقة الفلزية، وأدوّن ملاحظاتي.

**6 أجب:** أضع أفراد مجموعتي النابض العريض (ب) على الأرض، ثم أحرك يدي لتصنع أو تحدد تضاغطات وتخلخلات متتالية، بينما يثبت زميلي الطرف الآخر، ثم ألاحظ كيف ينتقل التخلخل خلال النابض.

التحليل والاستنتاج:

1. أصف شكل حركة النابض، محدداً مصدر الطاقة اللازمة لهذه الحركة.
2. أفسر سبب حركة الحلقة الفلزية، موضحاً كيف انتقلت الطاقة الحركية إليها.
3. أقرن بين اتجاه حركة الحلقة الفلزية واتجاه انتشار الموجة في الحبل.
4. أفرق بين حركة دقائق الوسط في كل من نوعي الموجات الطولية والمستعرضة.
5. أستنتج: ما الطرائق التي يمكن بها زيادة الطاقة المنقولة في المدة الزمنية نفسها خلال الحركة الموجية؟

93

الموجة أفقياً 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).

أداة التقويم: سلم تقدير رقمي.

استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء.

| الرقم | معايير الأداء  | 1 | 2 | 3 |
|-------|--|---|---|---|
| 1     | يراعي تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ خطوات التجربة.          |   |   |   |
| 2     | يقرأ تعليمات التجربة قراءة دقيقة، ويتعاون مع زملائه على تنفيذ الخطوات. |   |   |   |
| 3     | يشد النابض الرفيع بشكل أفقي ويثبت أحد طرفيه جيداً.                     |   |   |   |
| 4     | يضع النابض العريض على الأرض بشكل مستقيم، ويثبت أحد طرفيه جيداً.        |   |   |   |
| 5     | يولد موجات مستعرضة وموجات طولية بصورة واضحة.                           |   |   |   |
| 6     | يغير من مقدار الطاقة الحركية التي تنقلها الموجات.                      |   |   |   |
| 7     | يغير من سعة الموجة الطولية، وسعة الموجة المستعرضة بصورة صحيحة.         |   |   |   |

الموجات وصفاتها  
Waves and their Characteristics

تقديم الدرس

الفكرة الرئيسية:

- اسأل الطلبة عن الطرائق المختلفة لنقل الطاقة، واحصل منهم على إجابات، ثم ركّز على طريقة انتقال الطاقة خلال الحركة الموجية. اذكر لهم مثال موجات البحر التي تنقل الطاقة الحركية إلى القارب الذي يرسو على الشاطئ، فتحرّكه لكن الماء لا ينتقل مع الموجات. واذكر لهم انتقال الطاقة الصوتية والطاقة الضوئية عن طريق الموجات.

الربط بالمعرفة السابقة:

- اطلب إلى الطلبة مراجعة موضوع الضوء، وتذكّر ما درسوه في الصف التاسع، مثل: انكسار موجات الضوء في الأوساط المختلفة، كالعَدسات، وتكون الأحيلة فيها.

القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج

والمواد الدراسية

\* المهارات الحياتية: الحوار، الاتصال.

- 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.
- اطلب إلى الطلبة ذكر أمثلة على ظواهر يومية نستدل منها على وجود أنواع مختلفة من الموجات.
- ركّز على قضية نقل الموجات للطاقة، وعدم نقلها لدقائق الوسط.

The wave الموجة

تساعدنا دراسة الفيزياء في فهم الظواهر من حولنا. ومن بين التطبيقات اليومية والظواهر الطبيعية التي نشاهدها كثيرًا في حياتنا: الموجات والحركة الموجية. تنتشر الموجات على سطح الماء، كما في الشكل (1)، وتنتقل الموجات في حبل مشدود أو نابض، كما توجد أنواع أخرى من الموجات يمكننا الإحساس بها دون أن نراها مثل موجات الصوت، وموجات الضوء. نعرّف الموجة Wave في الفيزياء بأنها اضطراب أو اهتزاز ينتقل من مكان إلى آخر، وتعدّ الموجة وسيلة لنقل الطاقة، ومع أنّ الاضطراب يتسبّب في حدوث اهتزاز لدقائق الوسط الناقل للموجة، إلا أنّ هذه الدقائق لا تنتقل من موقع إلى آخر مثل الطاقة. وقد شاهدنا ذلك يحدث لأجزاء النابض في التجربة الاستهلاكية، حيث كانت تهتزّ للأعلى وللأسفل، لكنّها لم تنتقل باتجاه انتقال الطاقة في النابض. تتولد الموجات في الوسط نتيجة اهتزاز المصدر المولد للموجات، ثمّ ينتقل الاهتزاز من المصدر خلال الوسط الناقل.

الشكل (1): موجات الماء على سطح البحر.

الفكرة الرئيسة:

الموجات تنقل الطاقة ولا تنقل المادة، ونذكر ذلك بحواسنا المختلفة؛ فنحن نشاهد موجات البحر وهي تنقل الطاقة الحركية لقارب يرسو على الشاطئ، بينما لا تنقل الماء نحو الشاطئ. وإنّ موجات الصوت والضوء تنقل الطاقة أيضًا.

نتائج التعلم:

- أوضح صفات الموجات والمفاهيم المتعلقة بكلّ منها.
- أوظف معرفتي بالمفاهيم المتعلقة بالموجات وصفاتها في حلّ مسائل حسابية، وفي تفسير ظواهر ومشاهدات يومية.
- أمثل رسومات بيانية تتعلق بصفات الموجات، وأحلّها.
- أوظف التجربة العملية في تعريف صفات الموجات.
- أتوصل إلى أنّ الصوت موجة طولية تعتمد صفاتها على الوسط الذي تنتشر فيه.
- أتوصل إلى أنّ موجات (الراديو) والضوء والأشعة السينية لها أطوال موجية مختلفة ضمن طيف الموجات الكهرومغناطيسية.

المفاهيم والمصطلحات:

- موجة Wave
- موجة طولية Longitudinal Wave
- موجة مستعرضة Transverse Wave
- طول موجي Wave Length
- سعة الموجة Wave Amplitude
- تردد Frequency
- زمن دوري Period
- سرعة الموجة Speed of a Wave
- عتبة السمع Threshold of Hearing
- شدة الموجة Wave Intensity

التدريس

2

نشاط سريري

- استخدم بعض الحبال الصغيرة أو النوابض لتوليد موجات؛ حيث يثبت أحد الطلبة طرف الحبل، ويحرك طالب آخر الطرف الثاني. وناقش الطلبة في صفات الموجات المتولدة.
- بناء المفهوم: (موجة، موجة مستعرضة، موجة طولية) وضح للطلبة مفهوم الموجة، ثم أخبرهم بشروط توليد الموجات وكيفية انتقالها في الوسط. بيّن لهم أنّ 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.
- وضح للطلبة أنّ الموجات تقسم من حيث طريقة اهتزاز دقائق الوسط الذي تنتشر فيه إلى نوعين؛ هما الموجات المستعرضة والموجات الطولية، ثم وضح لهم المقصود بكل نوع.



## ◀ المناقشة:

● ناقش 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.

● ا طرح على الطلبة الأسئلة الآتية:

- ما المقصود بكل من: القمة، والقاع، والتضاغط، والتخلخل.

إجابات محتملة: تعريف كل مفهوم كما ورد في كتاب الطالب.

- اذكر مثالا على كل نوع من أنواع الموجات.

إجابات محتملة: المستعرضة (موجات الماء، موجات الحبل)، الطولية (موجات الصوت، موجات النابض).

## ◀ استخدام الصور والأشكال:

● وجه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (2) في الكتاب، مبيناً لهم أن 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) نابضاً عريضاً تنتقل فيه موجات طولية.

## ◀ التعزيز:

● اذكر أمثلة مختلفة، مثل:

تنتشر موجة مستعرضة في حبل أفقي باتجاه الشرق، في حين تهتز أجزاء الحبل للأعلى وللأسفل، وتنتشر موجة مستعرضة أخرى أفقيًا في نابض رفيع ملقى على الأرض باتجاه الشمال، وتهتز حلقات النابض أفقيًا باتجاهي الشرق والغرب. وتنتشر موجة طولية أفقيًا في نابض عريض ملقى على الأرض باتجاه الجنوب، وتهتز حلقات النابض باتجاهي الجنوب والشمال.

## أنواع الموجات Types of Waves

يُحدّد نوع الموجات بناءً على اتجاه اهتزاز دقائق الوسط؛ إذ تصنّف الموجات إلى نوعين رئيسيين هما: موجات مستعرضة وموجات طولية.

### الموجات المستعرضة Transverse Waves

تُسمّى الموجة التي يكون اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها متعامداً مع اتجاه انتشارها موجة مستعرضة Transverse wave، مثل موجات سطح الماء والموجات التي تنتقل في نابض أو حبل مشدود، كما لاحظت في التجربة الاستهلاكية. وتنتشر الموجات المستعرضة في الأوساط الصلبة والسائلة، بينما لا يمكنها الانتقال خلال الغازات. مع أن بعض الموجات المستعرضة مثل موجات الضوء يمكنها الانتقال في الفراغ.

يبين الشكل (أ/2) انتشار الموجات المستعرضة في حبل باتجاه أفقي مع امتداد الحبل، لاحظ اهتزاز أجزاء الحبل في اتجاه المحور العمودي على شكل قمم وقيعان متتالية.

### الموجات الطولية Longitudinal Waves

تُسمّى الموجة التي يكون فيها اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها باتجاه انتشار الموجة نفسها موجة طولية Longitudinal wave، ومثل ذلك موجات الصوت وبعض أنواع الموجات التي تنتقل في النابض على شكل تضاغط وتخلخل، كما لاحظت في النابض العريض في النشاط التمهيدي. وينتشر هذا النوع من الموجات في الأوساط جميعها؛ الصلبة والسائلة والغازية. يبين الشكل (ب/2) انتشار الموجات الطولية في نابض، لاحظ كيف ينتشر التضاغط والتخلخل على طول النابض، التضاغط منطقة تقارب فيها جزيئات الوسط، بينما تكون الجزيئات أكثر تباعدًا في منطقة التخلخل.

### صفات الموجة Characteristics of a Wave

للموجات جميعها - مهما اختلفت أنواعها - صفات مشتركة، نميز بها الحركة الموجية Wave motion، وهي الطريقة التي تنتشر بها

## 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 الأفراد والجهات المختلفة؛ سعيًا إلى بلوغ المعرفة العلمية، وتوثيق مصدرها.

## بناء المفهوم:

### سعة الموجة

- وضح للطلبة أن 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 بين لهم أن أقصى إزاحة تسمى السعة، وقد تكون أقصى إزاحة للأعلى أو للأسفل.
- بين 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:

- وجه 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:

- درّب الطلبة على كيفية إيجاد سعة الموجة الطولية، ثم ناقش ذلك معهم بطرح أمثلة حسابية، تبين فيها المسافة بين أقصى إزاحة، وموضع الاتزان. ثم ا طرح 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 هي (20 cm). فما مقدار طولها الموجي؟

(40 cm).

## أنحقق:

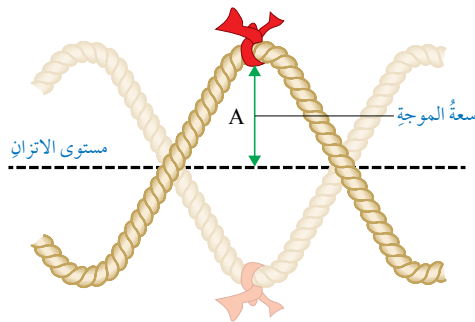
تحصل الموجة على الطاقة من مصدر الاهتزاز الذي يولد هذه الموجة، سواء كانت طولية أم مستعرضة، وتنقل الموجة هذه الطاقة خلال الوسط إلى مكان آخر.

الموجات في الأوساط المختلفة، وتختلف باختلاف أنواع الموجات سواء أكانت مستعرضة أم طولية. وهذه الصفات هي:

### سعة الموجة Wave Amplitude

لاحظنا في نوعي الموجات المستعرضة والطولية أن دقائق الوسط تتحرك باتجاهين متعاكسين على طرفي موقع اتزانها؛ أي أنها تهتز، وقد يبدو هذا الاهتزاز أكثر وضوحاً في الموجات المستعرضة؛ فعند انتقال موجة مستعرضة في حبل مشدود، نجد أن العلامة المثبتة على الحبل، كما يبينها الشكل (3) تُغيّر موقعها باستمرار بالنسبة إلى موقع اتزانها (موقع الاتزان هو نقطة على الحبل المشدود أفقياً بشكل مستقيم في حالة عدم انتقال أي موجة خلاله)، ويمثل هذا التغير في الموقع الإزاحة التي تحدث لدقائق الحبل عند تلك العلامة، وتتغير هذه الإزاحة باستمرار مع مرور الزمن. وتُعرف أقصى إزاحة تحدثها الموجة لدقائق الوسط الناقل بالنسبة إلى موقع اتزانها بأنها سعة الموجة Wave amplitude، ويرمز إليها على الشكل بالرمز (A). كما تُعرف شدة الموجة Wave intensity بأنها نسبة الطاقة التي تنقلها الموجة إلى وحدة المساحة التي يتعامد معها اتجاه انتشار الموجة. وسعة الموجة تزداد بزيادة طاقة المصدر، وتقل بزيادة البعد عنه. لذلك فإن سعة الموجة تتناسب طردياً مع شدتها.

✓ **أنحقق:** من أين تحصل الموجات على طاقتها؟



96

## أخطاء شائعة

- قد يعتقد بعض الطلبة أن سعة الموجة تساوي المسافة بين موقعي أقصى إزاحة للأعلى وأقصى إزاحة للأسفل، وهذا غير صحيح، إذ إن هذه المسافة تساوي مثلي السعة.

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

### \* التفكير: التحليل.

وضح للطلبة أن التحليل هو أحد المفاهيم العابرة، وأنه من خطوات التفكير، وأن أهميته تتمثل في استخراج المعلومة من نص، أو تجربة عملية، أو صورة بعد تحليلها.

## بناء المفهوم:

### طول الموجة، التردد

- وضح للطلبة أن طول الموجة تعني المسافة بين أي نقطتين متتاليتين ومتماثلتين في موقعهما على مسار الموجة؛ فقد تكونان قممتين أو قاعين أو غيرهما. وينطبق ذلك على نوعي الموجات المستعرضة والطولية.
- وضح للطلبة أن التردد يتعلق بالمصدر أولاً ثم بالموجات؛ فعدد اهتزازات المصدر في الثانية الواحدة يحدد تردد الموجات الصادرة عنه. ومثل 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:

- وجه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (2)؛ لتحديد كل من الطول الموجي وسعة الموجة على الشكل، ثم كلّفهم برسم أشكال مماثلة، بعد أن تحدد لهم طول الموجة وسعتها، وعدد الموجات لكل شكل.

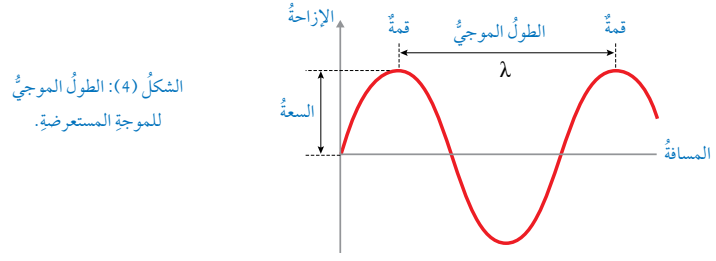
## التعزيز:

- وضح للطلبة العلاقة بين التردد والزمن الدوري؛ مبيناً لهم دلالة الرموز المستخدمة في هذه العلاقة.

## أنحقق:

في الموجات المستعرضة يكون اهتزاز دقائق الوسط عمودياً على اتجاه انتشار الموجة، بينما يكون موازياً لاتجاه انتشارها في الموجات الطولية.

97



الشكل (4): الطول الموجي للموجة المستعرضة.

## طول الموجة Wave Length

توصف الموجات أيضاً باستخدام مفهوم الطول الموجي Wave length، وهو المسافة بين قمتين متتاليتين، كما في الشكل (4)، أو هو المسافة بين قاعين متتاليتين، ويُرمز إليه بالحرف اليوناني  $(\lambda - \text{لامدا})$ . وبصورة عامة فإن المسافة بين أي نقطتين متناظرتين ومتتاليتين على الموجة تساوي الطول الموجي.

## التردد Frequency

تتوالى الموجات عند استمرار انتقالها خلال الوسط بشكل متماثل، ويطلق على تكرار الموجات المتماثلة التردد Frequency، وهو عدد الموجات الكاملة (n) التي تعبر نقطة ثابتة في الوسط خلال ثانية واحدة. ويُرمز إليه بالحرف اللاتيني (f)، أما وحدة قياس التردد فهي هيرتز (Hz)، وتكافئ  $(s^{-1})$ ، ويُستخدم أيضاً مفهوم الزمن الدوري Period للتعبير عن المدة الزمنية اللازمة لعبور موجة كاملة واحدة نقطة ثابتة في الوسط. ويُرمز إلى الزمن الدوري بالرمز (T)، ووحدة قياسه هي (s). ويرتبط التردد بالزمن الدوري للموجة بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$T = \frac{1}{f}$$

✓ **أنحقق:** كيف يمكنني التمييز بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية؟

## توظيف التكنولوجيا

ابحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن صفات الموجة Characteristics of Wave، علماً بأنه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلق بموضوع الدرس.

شارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو تطبيق التواصل الاجتماعي WhatsApp، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو استعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذوهم.

المثال 1

يهتز جسم وهو يلامس سطح الماء فيصدر عنه (12) موجة مستعرضة في مدة زمنية مقدارها (3 s)، وتنتشر على سطح الماء. أحسب كلاً من: الزمن الدوري والتردد.

المعطيات: (n = 12)، (t = 3 s)

المطلوب: (f = ?)، (T = ?)

الحل:

$$T = \frac{t}{n} = \frac{3}{12} = 0.25 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.25} = 4 \text{ s}^{-1}$$

تصدر الموجات عن مصدر مهتز، وترددها يساوي تردد هذا المصدر، فالتردد لا يعتمد على نوع الوسط، أي أنه عند انتقال موجة ترددها (5 Hz) بين وسطين مختلفين، فإن ترددها لا يتغير، ويبقى (5 Hz).

سرعة الموجة Speed of a Wave

تُحسب سرعة الموجة بقسمة المسافة (S) التي تقطعها على الزمن الكلي (t) اللازم لقطع تلك المسافة، وتُعطى سرعة الموجة بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$v = \frac{S}{t}$$

وتتناسب سرعة الموجة (v) طردياً مع ترددها (f)، لأنه بزيادة سرعة انتقال الموجة يزداد عدد الموجات الكاملة التي تعبر نقطة معينة في الثانية الواحدة؛ أي يزداد التردد، ويمثل ذلك التناسب كما يأتي:

$$F \propto v$$

وعند مقارنة موجتين تنتقلان في وسطٍ بالسرعة نفسها، حيث تمتلك إحداهما طولاً موجياً أكبر من الأخرى، نجد أن الموجة ذات الطول الموجي الأكبر تنتقل بتردد أقل، في حين تنتقل الموجة التي هي أقصر بتردد أكبر؛ أي أن الطول الموجي يتناسب عكسياً مع التردد. ويمثل ذلك رياضياً كما يأتي:

$$F \propto \frac{1}{\lambda}$$

يهتز جسم في الهواء، فتصدر عنه (240) موجة طولية في مدة زمنية مقدارها (6 s)، وتنتشر في الهواء.

أحسب كلاً من: الزمن الدوري، والتردد

المعطيات: (n = 240)، (t = 6 s)

المطلوب: (f = ?)، (T = ?)

الحل:

$$T = \frac{t}{n} = \frac{6}{240} = 0.025 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.025} = 40 \text{ s}^{-1}$$

بناء المفهوم:

سرعة الموجة

وضّح للطلبة أن مفهوم السرعة لا يتغير؛ فهو يعني المسافة المقطوعة في وحدة الزمن، إلا أن هناك علاقة بين كل من السرعة والتردد والطول الموجي.

نشاط سرية

قدّم النشاط للطلبة، بتوضيح أن الخطوة تقابل موجة، وعدد الخطوات في الثانية يساوي التردد، ثم كلف أحد الطلبة بالسير داخل غرفة الصف بسرعة ثابتة مقداراً واتجهاً وخطوات متماثلة؛ بحيث يقيس طالب آخر زمن الحركة. اكتب عدد الخطوات، والمدة الزمنية، وطول الخطوة على السبورة، وكلف طالباً بإيجاد التردد والسرعة.

التعزيز:

يمكن تعزيز مفهوم سرعة الموجة بتكرار النشاط السريع السابق، على أن يسير طالبان معاً وهما متلازمان، على أن يختلف طول خطوة أحدهما عن الآخر، ثم قارن بين الطول الموجي، والتردد، والسرعة لكل منهما.



## مثال إضافي

إذا كان تردد الموجات التي تنتقل في نابض أفقي 9 Hz، وكانت المسافة بين تضاعطين متتاليين 0.2 m، أجد سرعة انتقال الموجات في النابض.

المعطيات: ( $\lambda = 0.2 \text{ m}$ )، ( $f = 9 \text{ Hz}$ )

المطلوب: ( $v = ?$ )

الحل:

$$v = f\lambda = 9 \times 0.2 = 1.8 \text{ m/s}$$

## تمرين

الحل:

يحسب تردد الموجة بمعرفة سرعتها وطولها الموجي؛ باستخدام العلاقة الآتية:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{12}{1.5} = 8 \text{ s}^{-1}$$

## التعزيز:

وجه الطلبة إلى الاطلاع على الجدول (1) في الكتاب، وتحديد البيانات الخاصة بسرعة الصوت، ثم اسألهم عن سبب اختلاف سرعة الصوت من وسط إلى آخر. ثم اطلب إلى مجموعة أخرى من الطلبة بحث الاختلاف في سرعة الضوء، وسبب هذا الاختلاف. ثم بيّن لهم أن سرعة الموجة تعتمد على أمرين هما: نوع الموجة، ونوع الوسط وصفاته. ثم ذكرهم بأن سرعة الضوء في الفراغ هي أكبر سرعة يمكن أن تنتقل فيها الطاقة.

مما سبق نتوصل إلى علاقة رياضية تربط فيها سرعة الموجة بكل من ترددها وطولها الموجي، وتنص على أن: سرعة الموجة تساوي حاصل ضرب التردد في الطول الموجي، وهي:

$$v = f\lambda$$

## المثال 2

يمسك صبي بطرف حبل مشدود ويحركه للأعلى والأسفل بتردد مقداره 5 Hz، إذا كان طول الموجة الواحدة يساوي 0.4 m، فأجد سرعة انتقال الموجات في الحبل:

المعطيات: ( $\lambda = 0.4 \text{ m}$ )، ( $f = 5 \text{ Hz}$ )

المطلوب: ( $v = ?$ )

الحل:

$$v = f\lambda = 5 \times 0.4 = 2 \text{ m/s}$$

## نقريّة

تنتقل موجة مستعرضة على سطح الماء بسرعة (12 m/s)، إذا علمت أن طولها يساوي 1.5 m، فأجد ترددها.

تختلف سرعات الموجات باختلاف أنواعها، فمثلاً، تختلف سرعة موجات الماء عن سرعة موجات الصوت. والجدول (1) يبيّن بعض الأمثلة على تغير سرعة الموجة باختلاف نوعها.

الجدول (1): تغير سرعة الموجات باختلاف كل من نوع الموجات ووسط انتقالها.

| نوع الموجات والوسط الذي تنتقل خلاله                           | السرعة (m/s)       |
|---|--------------------|
| موجات الصوت في الهواء عند مستوى سطح البحر ودرجة حرارة (20°C). | 343                |
| موجات الصوت في ماء البحر عند عمق (4 m) ودرجة حرارة (20°C).    | 1500               |
| موجات الصوت في الصخور.  | 4750               |
| موجات الضوء في الألياف البصرية الزجاجية.                      | $2.00 \times 10^8$ |
| موجات الضوء في الهواء أو الفراغ (c).                          | $3.00 \times 10^8$ |

## معلومة إضافية

### الثوابت الكونية.

تعد سرعة الضوء في الفراغ أحد الثوابت الكونية، وضح للطلبة أن المقصود بالثوابت الكونية هو مجموعة من الثوابت الفيزيائية التي لا تتغير، وتعتمد عليها بعض الخصائص، ومنها: النفاذية المغناطيسية للفراغ، والسماحية الكهربائية للفراغ، وثابت الجذب الكتلي، وثابت بلانك، مع تأكيد عدم شمول هذه المعلومة في تقويم الطلبة.

## ◀ المناقشة:

- الفت انتباه الطلبة إلى أن 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 فإن سرعة الموجة الواحدة تتغير. ا طرح السؤال: لماذا تتغير سرعة الموجة عند انتقالها بين وسطين مختلفين، مع أن ترددها لا يتغير؟

إن 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

- وضح للطلبة أن الأشكال البيانية تعد إحدى طرق التواصل، وهي تعرض البيانات بطريقة أفضل من عرض الجداول والأرقام؛ لأنها تساعد المتعلم على ربط المتغيرات، وتكوين تصور أكثر وضوحًا للعلاقات بينها. ثم ذكّرهم بالتمثيل البياني للحركة في الفصل الدراسي الأول.
- اذكر للطلبة أنه توجد طريقتان لتمثيل الموجات بيانيًا، الأولى بالنسبة إلى البعد عن مصدر الموجات، والثانية بالنسبة إلى الزمن.

## ◀ استخدام الصور والأشكال:

- وجه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (5) في الكتاب؛ لفهم العلاقة بين الإزاحة والمسافة، حيث مثّلت المسافة على محور (x) بتدرّج منتظم بوحدة (m)، ومثّلت الإزاحة من موقع الاتزان على المحور (y) بتدرّج منتظم ووحدة (m) أيضًا.
- بيّن 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 فإن المسافة تكون أفقية، والإزاحة عمودية عليها.

ألاحظ من الجدول السابق أيضًا أن سرعة الموجة الواحدة تختلف من وسط إلى آخر، وألاحظ اختلاف سرعة انتقال موجات الصوت في الهواء عن سرعة انتقالها في ماء البحر، وحيث إن تردد هذه الموجات يساوي تردد مصدرها ولا يتغير عند انتقالها من وسط إلى آخر، فإن التغير في سرعتها ينتج عن تغير طولها الموجي. ونعُد سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ إحدى الثوابت الكونية، ويُرمز إليها بالرمز (c).

✓ **أنحقّق:** توصف الموجة بترددتها وسرعتها وطولها الموجي. أي من هذه الكميات تتغير عند انتقال الموجة من وسط إلى آخر مختلف في خصائصه؟

أستخدم برنامج الجداول الإلكترونية (Microsoft Excel) لتمثيل البيانات في الجدول (1) بمخطط بياني (عمود ثلاثي الأبعاد)، ثم أشاركه معلمي وزملائي في الصف.

### تمثيل الموجات بيانيًا Graphical Representations of Waves

عند معرفتك للمزيد عن الموجات وانتشارها، ستجد أنه من المفيد تمثيل الحركة الموجية بيانيًا؛ سواء أكانت موجات مستعرضة أم موجات طولية، ويمكنك ذلك بطريقتين، في الأولى يتم رسم المنحنى البياني؛ اعتمادًا على المسافة التي تقطعها الموجة، وفي الطريقة الثانية يكون التمثيل بالنسبة إلى الزمن، ولا بد من التفريق بين الطريقتين.

### منحنى الإزاحة - المسافة Displacement - Distance Graph

عند رمي حجر في بركة ماء، تتولد موجات مستعرضة تنتشر على سطح الماء على شكل دوائر مركزها نقطة سقوط الحجر. لو قمّت بالتقاط صورة ثابتة لمشهد تلك الموجات عند لحظة زمنية محددة، فإن المشهد يبدو كالمنحنى المبين في الشكل (5)، الذي يمثل العلاقة بين إزاحة جزيئات الماء للأعلى أو الأسفل والبعد عن موقع سقوط الحجر، حيث يمثل البعد عن المركز على محور (x) ووحدة قياسه (m)، والإزاحة بالنسبة إلى مستوى اتزان سطح الماء على محور (y) ووحدة قياسها (m).

## ✓ **أنحقّق:**

عند انتقال الموجة من وسط إلى آخر مختلف في خصائصه، فإن التردد يبقى ثابتًا، أما السرعة والطول الموجي فيتغيران.

### استخدام الصور والأشكال:

- وجه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (6) في الكتاب؛ لفهم العلاقة بين الإزاحة والزمن، حيث مثل الزمن على محور (x) بتدريج منتظم بوحدة (s)، ومثلت الإزاحة على المحور (y) بتدريج منتظم ووحدة (m).
- بين 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.

### المنافشة:

- بين 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 بيانياً.
- بين 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.
- بين للطلبة استخراج البيانات من الشكلين، مراعيًا اختلاف تدريج المحور (x) في كل منهما. واطرح عليهم الأسئلة الآتية:

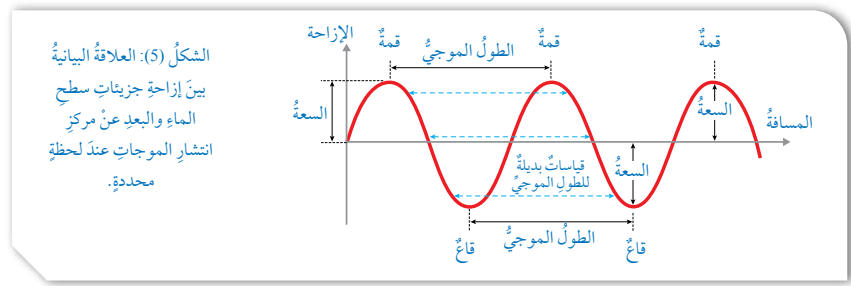
- ما الذي تمثله المسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين في الشكل (5)؟

(الطول الموجي)

- ما الذي تمثله المسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين في الشكل (6)؟

(الزمن الدوري)

101

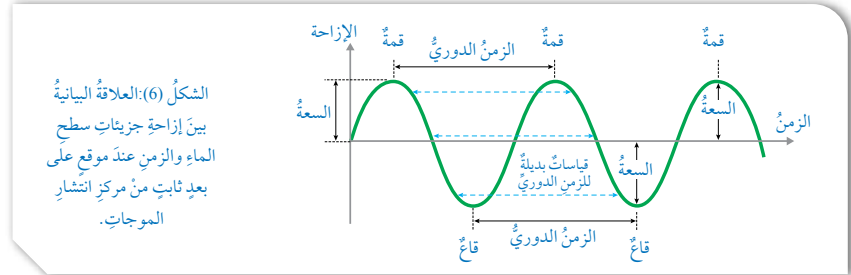


يفيد المنحنى في معرفة كل من: الطول الموجي وهو المسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين، أو قاعين متتاليتين، والسعة - وهي أكبر إزاحة رأسية لجزيئات الماء بالنسبة إلى مستوى اتزانها - وكذلك معرفة مواقع القمم والقيعان المتتالية على سطح الماء عند لحظة زمنية محددة.

### منحنى الإزاحة - الزمن Displacement - Time Graph

بالرجوع إلى مشهد الموجات الناتجة عن رمي الحجر في بركة الماء، وتحديد نقطة معينة على سطح الماء على بُعد ثابت من مركز انتشار الموجات، ثم وضع قطعة فلين عند هذه النقطة ومراقبتها، نجد أن قطعة الفلين تتحرك للأعلى وللأسفل بشكل منتظم مع مرور الزمن، وعند تمثيل العلاقة بين إزاحة قطعة الفلين والزمن نحصل على المنحنى المبين في الشكل (6).

✓ **أنتحقق:** أوضح المقصود بسعة الموجة لموجات طولية تنتقل أفقياً في نابض.



✓ **أنتحقق:**

عند انتقال الموجات الطولية أفقياً في نابض عريض ممدود على أرض أفقية، فإن اهتزاز حلقات النابض يكون أفقياً وباتجاه مواز لاتجاه انتقال الموجة، فتكون السعة مساوية لأقصى إزاحة تحدثها الحلقات من موقع اتزانها، ومقدارها يساوي نصف المسافة بين تضاعطين متتاليتين، أو تخلخلين متتاليتين، أي أن السعة تساوي نصف الطول الموجي.

## التعزيز:

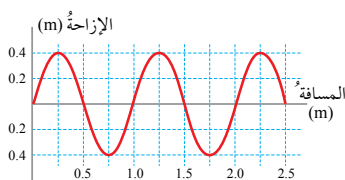
يمكن تعزيز مفهوم الرسوم البيانية لدى الطلبة بالمقارنة بين الرسمين؛ من حيث البيانات التي يحصل عليها من كل رسم.

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، أكد للطلبة أنه في الشكل الأول تقاس الإزاحة في مواقع مختلفة ويكون الزمن ثابتاً، في حين أنه في الشكل الثاني تقاس الإزاحة في لحظات زمنية مختلفة في موقع واحد.

## المثال 3



الشكل (7): العلاقة بين إزاحة أجزاء الحبل والبعد عن المصدر.

تنتشر موجات مستعرضة في حبل ممدود بشكل أفقي، وفي لحظة زمنية محددة رُسِمَت العلاقة بين إزاحة أجزاء الحبل وبُعد كل جزء عن مصدر الاهتزاز، فكانت كما في الشكل (7). معتمداً على الرسم، أجد كلاً من: الطول الموجي، السعة، عدد الموجات الكاملة.

المعطيات: الشكل المجاور.

المطلوب: الطول الموجي، السعة، عدد الموجات الكاملة.

### الحل:

$$\lambda = 1.25 - 0.25 = 1.0 \text{ m} \quad \text{الطول الموجي:}$$

$$A = 0.4 \text{ m} \quad \text{السعة:}$$

$$n = 2 \quad \text{عدد الموجات الكاملة:}$$

## مثال إضافي

غير تدرّج محور المسافة في المثال (3) بحيث يصبح (0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1)؛ وتدرّج محور الإزاحة؛ بحيث يصبح (5, 10)، ثم حل المثال مرة أخرى.

### الحل:

$$\lambda = 0.5 - 0.1 = 0.4 \text{ m} \quad \text{الطول الموجي:}$$

$$A = 10 \text{ m} \quad \text{السعة:}$$

$$n = 2 \quad \text{عدد الموجات الكاملة:}$$

## موجات مستعرضة

## طريقة أخرى للتدريس

- طبق إستراتيجية التعلم التعاوني؛ ورّع الطلبة إلى مجموعات، ثم وزع عليهم حبالاً مناسبة، وجهاز هاتف للتصوير.
- كلّف اثنين من كل مجموعة بعمل الموجات، على أن يمسك أحدهما بالطرف الأول للحبل ويثبتته جيداً، ويمسك الآخر بالطرف الثاني للحبل، ويحدث اهتزازات متتالية للأعلى والأسفل.
- عند الحصول على نمط منتظم لمسار الموجات في الحبل، يلتقط أحد أفراد المجموعة صورة ثابتة للحبل بواسطة جهاز الهاتف. ثم كلّف المجموعة بإعادة المحاولة للحصول على صور واضحة.
- اعرض الصور على الطلبة باستخدام جهاز العرض، أو بتمرير الهاتف على مجموعات الطلبة. اطلب إليهم مقارنة الصورة بالرسم البياني للمثال.



#### المثال 4

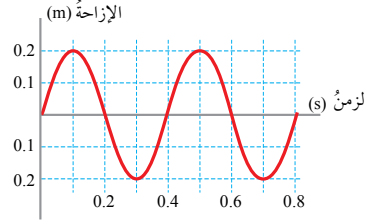
تنتشر موجات مستعرضة على سطح الماء، وتحدث اهتزازاً في قطعة فليين على بُعد (x) من مصدر الموجات، مُثِّلَت العلاقة بين الإزاحة الرأسية لقطعة الفليين والزمن بيانياً، فكانت كما في الشكل (8). معتمداً على الرسم، أجد كلاً من:

الزمن الدوري، التردد، السعة.

المعطيات: الشكل المجاور.

المطلوب: الزمن الدوري، التردد، السعة.

الحل:



الشكل (8): العلاقة بين إزاحة قطعة الفليين والزمن.

$$T = 0.5 - 0.1 = 0.4 \text{ s} \quad \text{الزمن الدوري:}$$

$$A = 0.2 \text{ m} \quad \text{السعة:}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.4} = 2.5 \text{ s}^{-1} \quad \text{التردد:}$$

#### موجات الصوت Sound Waves

ينتج الصوت عن اهتزاز مصدر الصوت، وينتقل الاهتزاز إلى دقائق الوسط المحيط، فينتشر في الاتجاهات جميعها على شكل موجات طولية. عند اهتزاز وتر مشدود في الهواء، فإنه يتحرك باتجاهين متعاكسين فيؤثر في جزيئات الهواء المحيطة به مُحدثاً فيها مجموعة من التضاغطات (ضغط الهواء المرتفع) والتخلخلات (ضغط الهواء المنخفض) المتتالية التي تنتشر في الهواء ناقلة الصوت من الوتر إلى أذن السامع. وتختلف الأصوات بعضها عن بعض في الطول الموجي والتردد والسعة، ونتيجة لذلك يمكننا تمييز الأصوات المختلفة.

#### جهازة الصوت Loudness

يُعبر عن علو الصوت أو انخفاضه بجهازة الصوت Loudness وهو مقياس لاستجابة الأذن للصوت، ويمكن التعبير عن هذه الصفة بمستوى شدة الصوت Sound intensity level الذي يُقاس بوحدة ديسيبل (dB). وتعتمد جهازة الصوت على سعة موجاته، وعلى شدته عند ثبوت التردد.

#### بناء المفهوم:

#### موجات الصوت

ذكر الطلبة بأن الصوت يصدر عن جسم مهتز، وينتشر على شكل موجات تحمل الطاقة الصوتية، ويبين لهم صفات موجات الصوت من حيث: طريقة الاهتزاز، وأن مميزات الموجة الصوتية تحدد صفات الصوت الذي نسمعه.

#### المنافشة:

اطلب إلى الطلبة مراجعة موضوع الصوت، وتذكر 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.

بين للطلبة أن موجات الصوت موجات طولية تنتشر في الأوساط المختلفة على شكل تضاغط وتخلخل، وأن ما درسوه عن مميزات الموجات وصفاتها ينطبق على موجات الصوت. ثم ناقش الطلبة في خبراتهم اليومية في ما يتعلق بتوليد الصوت وانتقاله والإحساس به. واطرح 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.

#### مثال إضافي

غير تدرج محور الزمن في المثال (4)؛ بحيث يصبح (1, 2, 3, 4)، وتدرج محور الإزاحة؛ بحيث يصبح (0.3, 0.6)، ثم حل المثال مرة أخرى.

الحل:

الزمن الدوري:

$$T = 2.5 - 0.5 = 2 \text{ s}$$

السعة:

$$A = 0.6 \text{ m}$$

التردد:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.5 \text{ s}^{-1}$$

## بناء المفهوم:

### جهاز الصوت

استعرض مع الطلبة الآية الكريمة الآتية:

﴿يَتَأْتِيهِمُ الَّذِينَ آمَنُوا لَا تَرْفَعُوا أَصْوَاتَكُمْ فَوْقَ صَوْتِ النَّبِيِّ وَلَا تَجْهَرُوا لَهُ بِالْقَوْلِ كَجَهْرِ بَعْضِكُمْ لِبَعْضٍ أَن تَحْبَطَ أَعْمَالُكُمْ وَأَنتُمْ لَا تَشْعُرُونَ﴾ الآية (2) من سورة الحجرات.

وَصَحَّ للطلبة معنى الجهر بأنه عكس السر، وجهاز الصوت تصف مقدار ضخامته، ويطلق أحياناً على مكبر الصوت (المجهر).

يَبَيِّنُ أن صفة جهاز الصوت مقياس لإحساس الأذن بشدة الصوت.

## المناقشة:

وَجَّهَ الطلبة إلى الاطلاع على الجدول (2) في الكتاب، ومقارنة قيم سرعة الصوت في الهواء بسرعة الضوء في الهواء، للتأكد من أن سرعة الموجات المختلفة في الوسط الواحد تعتمد على نوعها. ثم اطلب إليهم مقارنة سرعة الصوت في الهواء بسرعة الصوت في الماء أو الصخور، للتأكد من تغير سرعة الموجة الواحدة؛ عندما يتغير نوع الوسط الذي تنتقل فيه، أو تتغير خصائص هذا الوسط.

## التعزيز:

وَصَحَّ للطلبة ما يأتي:

- الطاقة التي تنقلها موجات الصوت تعتمد على طاقة مصدر الصوت، وتقل شدتها كلما ابتعدت عنه.
- تسمى جهاز الصوت مستوى شدة الصوت، وهو مقياس لإحساس الأذن بعلو الصوت.
- هناك مجال معين لحدود سمع الإنسان السليم، وتوجد عادات غير صحيحة تتعلق بمستوى شدة الصوت، والتعرض لها يسبب أضراراً قد تكون بالغة لحاسة السمع. مثل: تعرض سائقي الآليات الثقيلة، والذين يعملون في صيانة الطائرات للأصوات العالية دون وضع واقيات للأذن.

الجدول (2): مقارنة بين شدة الصوت ومستوى شدة الصوت لبعض الأصوات المألوفة.

| مصدر الصوت                    | شدة الصوت (Watt/m <sup>2</sup> ) | مستوى شدة الصوت (dB) |
|-------------------------------|----------------------------------|----------------------|
| عتبة السمع عند تردد (1000 Hz) | $1 \times 10^{-12}$              | 0                    |
| خفيف أوراق الشجر              | $1 \times 10^{-11}$              | 10                   |
| المحادثة العادية              | $1 \times 10^{-6}$               | 60                   |
| شاحنة كبيرة                   | 1                                | 120                  |
| طائرة نفاثة                   | $1 \times 10^2$                  | 140                  |

بعض الآلات كالمشمار أو الطائرة يكون مستوى شدة صوتها عالياً، لأن موجاته تحمل الكثير من الطاقة، وتكون سعتها كبيرة، في حين يكون لخفيف أوراق الشجر أو الهمس في الحديث مستوى شدة صوت منخفض، لأن موجاته تحمل القليل من الطاقة، وسعتها صغيرة، ويعود الاختلاف في مستوى الشدة إلى طاقة المصدر.

يقع مستوى شدة الصوت المسموع لدى الإنسان ضمن المجال (0 - 180 dB)، ويمثل المستوى (0 dB) عتبة السمع Threshold of hearing لدى الإنسان، وهي أدنى مستوى شدة للصوت يمكن للإنسان سماعه. وتعد الأصوات التي يزيد مستوى شدتها على (120 dB) ضارة بالأذن. وللتمييز بين شدة الصوت ومستوى شدته، أنظر الجدول (2) الذي يتضمن بعض الأمثلة على بعض الأصوات المألوفة التي نسمعها كثيراً.

✓ **أنحقق:** أوضح المقصود بعتبة السمع لدى الإنسان السليم.

### درجة الصوت Pitch of Sound

يُسمى إحساسنا بتردد الصوت درجة الصوت Pitch of Sound، فنحن نميز بين الأصوات الحادة والأصوات الغليظة عندما نصغي لبعض الآلات الموسيقية، كالتي في الشكل (9)، فالآلات الموسيقية صغيرة الحجم مثل الناي يصدر عنها موجات صوتية قصيرة وعالية التردد، فيكون صوتها حاداً (درجته عالية)، بينما يصدر عن الآلات الموسيقية كبيرة الحجم مثل البوق موجات صوتية طويلة ومنخفضة التردد، فيكون صوتها غليظاً (درجته منخفضة).



الشكل (9): تختلف الآلات الموسيقية الهوائية في درجة الصوت.

## إدانة للمعلم

تناسب شدة الصوت عند نقطة عكسياً 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.

✓ **أنحقق:**

عتبة السمع عند الإنسان السليم هي أدنى مستوى شدة للصوت يمكن للإنسان سماعه.

## بناء المفهوم:

### درجة الصوت، سرعة الصوت

- يبين للطلبة أن درجة الصوت هي مقياس آخر لإحساس الأذن بالصوت؛ للتمييز بين الصوت الرفيع والصوت الغليظ.
- يبين لهم أيضًا أن الصوت الرفيع يكون تردده عاليًا، والطول الموجي لموجاته قصيرًا. في حين يكون للصوت الغليظ تردد منخفض، وطول موجي كبير.
- وضح 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.
- كلف الطلبة بالرجوع إلى الجدول (2)؛ للاطلاع على القيم المختلفة لسرعة الصوت في الأوساط المختلفة.
- وضح للطلبة مجال الترددات التي يسمعها الإنسان، ثم ابحث عن مجال السمع عند بعض الحيوانات، وأخبر الطلبة بذلك. ثم يبين لهم سبب اختلاف سرعة الصوت في الأوساط المختلفة.

### الربط مع الحياة:

يمكن تسجيل أصوات بعض الطلبة، ثم يسمع كل منهم التسجيل، وييدي رأيه بذلك.

**افكر:** يمكن للإنسان العادي أن يتحدث بصوت يقع تردده بين (3 kHz - 85 Hz)، فما أهمية سماعه لترددات أخرى تزيد على التردد الذي يتحدث به؟

### الربط مع الحياة:

معظمنا يكون سعيدًا بسماع صوته الذي يألّفه، لكن عندما يستمع أحدنا لتسجيل صوته عبر أجهزة التسجيل المختلفة، ربما يشعر بالحرَج. إذ إن كلاً منا اعتاد على سماع صوته عندما تنتقل موجاته الصوتية خلال عظام الجمجمة إلى الأذنين (وليس خلال الهواء كما هو الحال عند سماع صوته المسجل)؛ حيث تصبح سرعته أكبر منها في الهواء، ويختلف الطول الموجي نتيجة لذلك. كيف يسمع الآخرون صوتي؟ أسمعونه كما أسمع أنا عندما أتحدث؟ أم كما أسمع من جهاز التسجيل؟

**افكر:** تفتح بعض البالونات بغاز الهيليوم كي ترتفع في الهواء. عندما يستنشق شخص غاز الهيليوم من البالون ثم يتحدث، نلاحظ أن صوته يصبح مختلفًا إلى درجة كبيرة. ما الذي يحدثه غاز الهيليوم في صوت الشخص؟

يمكننا سماع مجال واسع من الترددات الصوتية عن طريق حاسة السمع لدينا، فالترددات التي نحس بها أذن الإنسان سليم السمع تقع في المتوسط ضمن المجال (20 Hz - 20 kHz). ومع تقدم العمر يفقد الإنسان قدرته على سماع الترددات العالية التي تزيد على (14 kHz).

### سرعة الصوت Speed of Sound

نستمتع في كثير من المناسبات الوطنية مثل يوم الاستقلال، وفي الأفراح والمناسبات الخاصة بمشاهدة عروض الألعاب النارية، وكثيرًا ما يلفت انتباهنا سماع الصوت متأخرًا بمدة زمنية عن رؤيتنا الوميض، ويُعد هذا دليلًا ملموسًا على سرعة الصوت، وهي تساوي في الهواء (340 m/s) تقريبًا، وتقل كثيرًا عن سرعة الضوء، ومقدارها ( $3 \times 10^8$  m/s). تتأثر سرعة موجات الصوت بطبيعة الوسط الناقل، فهي كبيرة في الوسط غير القابل للانضغاط، وتقل في الأوساط القابلة للانضغاط. لذلك نجد أن سرعة الصوت في الصخور والماء أكبر منها في الهواء، كما لاحظنا في الجدول (1)، وذلك لأن الصخور والماء وسطان غير قابلين للانضغاط، بينما يمكن بسهولة ضغط الهواء. تتأثر سرعة الصوت بكثافة الوسط الذي ينتقل فيه. عند انتشار الصوت في الهواء، على سبيل المثال، فإن سرعته تزداد كلما قلت كثافة الهواء، وحيث إن كثافة الهواء تقل بارتفاع درجة الحرارة، نجد أن سرعة الصوت في الهواء تزداد بارتفاع درجة حرارته. وينتقل الصوت في الغازات قليلة الكثافة مثل غاز الهيليوم بسرعة أكبر من سرعته في الهواء.

### المثال 5

تنتقل موجات الصوت في الهواء بسرعة 340 m/s، إذا علمت أن ترددها يساوي 425 Hz، فما طولها الموجي؟

المعطيات: ( $f = 425$  Hz)، ( $v = 340$  m/s)

المطلوب:  $\lambda = ?$

الحل:

$$v = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{425} = 0.8 \text{ m}$$

### افكر:

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: ( $f = 600$  Hz)، ( $v = 1500$  m/s)

المطلوب:  $\lambda = ?$

الحل:

$$v = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{600} = 2.5 \text{ m}$$

### افكر:

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 بهيليوم يزيد من الطول الموجي لموجات الصوت، فتخفت الترددات المنخفضة، وتبقى الترددات العالية، فيصبح صوته مثل صوت الشخصية الكرتونية البطة Donald Duck.

### إضاءة للمعلم

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:

### الموجات الكهرمغناطيسية

• وضح للطلبة أن الطيف الكهرمغناطيسي يتكون من مجموعة من الترددات المختلفة، وأن جزءاً صغيراً منه تراه عين الإنسان. وقدم لهم فكرة بسيطة عن الطبيعة المزدوجة للإشعاع، دون الدخول في مفاهيم وعلاقات تفوق مستواهم.

## ◀ المناقشة:

• ناقش الطلبة فيما سبق من أنواع الموجات، وبين لهم أن الموجات التي تنقل الطاقة الميكانيكية تحتاج إلى وسط مادي للانتشار؛ لذلك فهي تسمى موجات ميكانيكية، في حين تنقل الموجات الكهرمغناطيسية الطاقين الكهربائية والمغناطيسية خلال الأوساط المادية، وخلال الفراغ أيضاً.

## ◀ استخدام الصور والأشكال:

• قدم الشكل (10) للطلبة على أنه رسم ثلاثي الأبعاد، فعند رسم الشكل على السبورة، فإنه إذا كان المجال الكهربائي يهتز رأسياً وينطبق على محور (y)، والمجال المغناطيسي يهتز أفقياً، وينطبق على محور (x)؛ فإن اتجاه انتشار الموجة يكون إلى الأمام (داخلاً في السبورة)، أو إلى الخلف (خارجاً منها).

## معلومة إضافية

مصادر بعض الموجات الكهرمغناطيسية.

قدم للطلبة فكرة عن مصادر بعض الموجات الكهرمغناطيسية؛ حيث تصدر موجات الراديو عن الحركة التذبذبية للشحنات في دائرة كهربائية، ويصدر الضوء المرئي وغيره 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.

## الموجات الميكانيكية والموجات الكهرمغناطيسية

### Mechanical Waves and Electromagnetic Waves

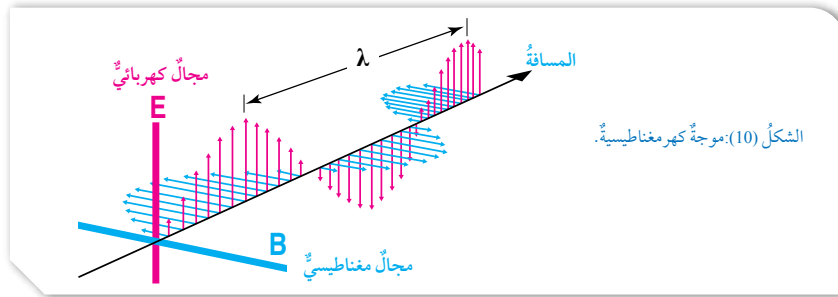
قُسمت الموجات عند بداية الدرس من حيث اتجاه الاهتزاز الذي تحدثه عند انتشارها إلى نوعين: موجات مستعرضة، وموجات طولية، إلا أنه يوجد تقسيم آخر للموجات من حيث طبيعة الأوساط التي تنتشر فيها، وتأثيرها في هذه الأوساط؛ فهي تُقسم إلى نوعين:

### الموجات الميكانيكية Mechanical Waves

تحتاج كل من موجات الماء والصوت والناض وبعض الموجات الأخرى إلى وسط تنتشر خلاله؛ إذ إنها تسبب اهتزازاً ميكانيكياً في جزيئات هذا الوسط، فهي تنقل الطاقة الميكانيكية خلال الوسط. لذلك فهي تُسمى موجات ميكانيكية. ونلاحظ أن هذه الموجات يمكن أن تكون مستعرضة أو طولية.

### الموجات الكهرمغناطيسية Electromagnetic Waves

للإشعاع الكهرمغناطيسي طبيعتان: جسيمية وموجية؛ فهو ينتقل على شكل موجات مستعرضة تُسمى موجات كهرمغناطيسية Electromagnetic waves. لا تحتاج وسطاً مادياً لتحدث اهتزازاً في جزيئاته؛ لأنها تتكون، كما يبين الشكل (10) من مجالين متعامدين: أحدهما كهربائي (E)، والآخر مغناطيسي (B)، يتذبذب كل منهما بشكل عمودي على الآخر، وكلاهما عمودي على اتجاه انتشار الموجة الكهرمغناطيسية. وبذلك فإن الطاقة التي تنقلها الموجات الكهرمغناطيسية طاقة كهربائية وطاقة مغناطيسية.



106

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* التفكير: إنتاج المعرفة.

أخبر الطلبة أن إنتاج المعرفة مرحلة متقدمة من مراحل التفكير، وأنه يساعدهم على استكمال البنية المعرفية لديهم؛ إذ سيكتسبون معرفة جديدة عند البحث في مصادر الموجات الكهرمغناطيسية المختلفة في أطوالها الموجية.



## ◀ استخدام الصور والأشكال:

● وجه الطلبة لقراءة الشكل (11)، موضحاً لهم تدرج الطول الموجي، واتجاه تزايد، وتدرج التردد والطاقة واتجاه تزايدهما.

● اكتب مكونات الطيف على السبورة، وناقش الطلبة في صفات كل منها واستخداماته.

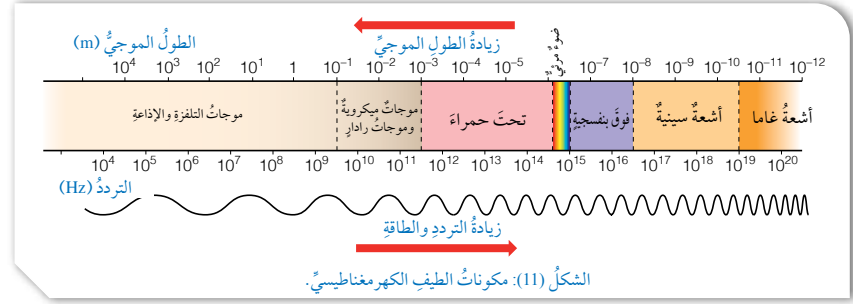
● بين للطلبة أن جميع هذه المكونات تنتقل في الفراغ بسرعة الضوء، وأن سرعتها تتغير؛ بتغير نوع الوسط وخصائصه.

● قدّم للطلبة بعض الأمثلة الرقمية على مكونات الطيف الكهرمغناطيسي، تتضمن أطوالاً موجية وترددات مختلفة.

## معلومة إضافية

موجات مكونات الطيف الكهرمغناطيسي.

قدّم للطلبة فكرة عن موجات مكونات الطيف الكهرمغناطيسي: بأنها ليست محددة الطول الموجي، فالأشعة تحت الحمراء مثلاً تحتوي مجالاً واسعاً من الترددات أو الأطوال الموجية، تبدأ من الطول الموجي  $(1 \times 10^{-3} \text{ m})$ ، وتنتهي بالطول الموجي  $(1 \times 10^{-6} \text{ m})$ ، وكذلك باقي مكونات الطيف. وتبعاً لاختلاف التردد؛ فإن طاقة كل موجة تختلف عن غيرها.



تحصل موجات الإشعاع الكهرمغناطيسي على طاقتها من مصدرها الذي يتكون من جسيمات مشحونة (مثل الإلكترونات) تهتز بتردد محدد ( $f$ ) حول مركز اتزانها، ويكون لكل موجة كهرمغناطيسية تردد ( $f$ ) مساو لتردد مصدرها وطول موجي ( $\lambda$ ) خاص بها. تنتقل موجات الإشعاع الكهرمغناطيسي جميعها في الفراغ بسرعة ثابتة، هي سرعة الضوء ( $c = 299,792,458 \text{ m/s}$ )، وقيمتها التقريبية في الفراغ هي  $(3 \times 10^8 \text{ m/s})$ . ولا تختلف كثيراً سرعتها في الهواء عنها في الفراغ، إلا أن هذه السرعة تقل كثيراً عند انتقال الموجات الكهرمغناطيسية المختلفة في الأوساط المادية الأخرى مثل الزجاج أو الماء. ويرتبط الطول الموجي للإشعاع الكهرمغناطيسي مع تردده وفق العلاقة السابقة، التي استعملت في حالة الموجات الميكانيكية، مع استبدال سرعة الضوء في الفراغ ( $c$ ) بسرعة الموجة ( $v$ )، بحيث تصبح العلاقة:

$$c = f\lambda$$

تشكل موجات الإشعاع الكهرمغناطيسي ما يُعرف بالطيف الكهرمغناطيسي، وهو مجال واسع من الأطوال الموجية المختلفة لهذه الموجات، التي تختلف في خصائصها. ويبين الشكل (11) المكونات الرئيسة للطيف الكهرمغناطيسي. لاحظ أن مكونات الطيف الكهرمغناطيسي مرتبة تصاعدياً من اليمين إلى اليسار حسب أطوالها الموجية، وهي: موجات أشعة غاما، موجات الأشعة السينية، موجات الأشعة فوق البنفسجية، موجات الضوء المرئي، موجات الأشعة تحت الحمراء، الموجات الميكروية،

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

\* التفكير: الشك المنهجي أو الهادف، وتفحص المقترحات.

أخبر الطلبة أن الشك المنهجي أو الهادف أحد المفاهيم العابرة التي تفيد الباحث في تحييص المعلومة؛ لقبول الصحيح ورفض ما سوى ذلك، وأنه يتعين عليهم تقديم المقترحات وتفحصها للتوصل 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.

✓ **أنتحق:**

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 أيضاً، أكبرها طولاً موجياً: الرادار.

◀ **بناء المفهوم:**

الضوء المرئي.

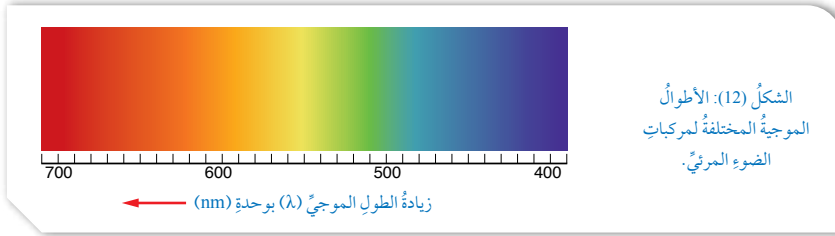
• وضح للطلبة المقصود بالضوء المرئي، وأهمية هذا الجزء من الطيف الكهرمغناطيسي بالنسبة إلى الحياة على كوكب الأرض.

◀ **المناقشة:**

• ناقش الطلبة في خبراتهم في الطيف المرئي، واسألهم عن الألوان السبعة فيه. ثم بين لهم أن عدد الألوان في الطيف المرئي كبير جداً، 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 اطرع عليهم السؤال الآتي:

- ما أهمية الضوء بالنسبة إلى الحيوانات والنباتات؟

يمكن للحيوانات الرؤية بفضل الضوء، ويمكن للنباتات صنع غذائها عن طريق التركيب الضوئي.



ثم أكبرها طولاً موجياً موجات التلفزة والموجات الإذاعية، وهي في الوقت نفسه مرتبة من اليسار إلى اليمين تصاعدياً حسب ترددها وطاقتها، حيث تعد أشعة غاما أعلاها طاقة وتردداً.

✓ **أنتحق:** أي الموجات الآتية تحمل طاقة أكبر من غيرها؟ أيها أكبرها تردداً؟ أيها أكبرها طولاً موجياً؟  
(موجات الأشعة تحت الحمراء، موجات الرادار، موجات الأشعة فوق البنفسجية).

يشكل الضوء المرئي جزءاً صغيراً من الطيف الكهرمغناطيسي، وهذا الجزء هو ما نراه عين الإنسان، وتنحصر الأطوال الموجية للضوء المرئي بين (400 nm - 700 nm)، ويمكن تمييز سبعة ألوان منها، ويبين الشكل (12) الأطوال الموجية لهذه الألوان، إذ تعد الضوء البنفسجي أكبرها تردداً وطاقةً وأصغرها طولاً موجياً، في حين أن الضوء الأحمر أكبرها طولاً موجياً وأصغرها تردداً وطاقةً.

ألاحظ من الشكل أن أصغر طول موجي نراه عين الإنسان: حوالي (400 nm) للضوء البنفسجي، وأكبر طول موجي نراه: حوالي (700 nm) للضوء الأحمر. وباستخدام البادئات الملحق في وحدات النظام الدولي، فإن:  $(700 \text{ nm} = 700 \times 10^{-9} \text{ m} = 7 \times 10^{-7} \text{ m})$ .

✓ **أنتحق:** أستخرج من الشكلين السابقين:

- اسم الموجات التي لها تردد مقداره  $(1 \times 10^{13} \text{ Hz})$ .
- اسم الموجات التي لها طول موجي مقداره  $(1 \times 10^{-9} \text{ m})$ .
- لون الضوء المرئي الذي له طول موجي مقداره (560 nm).

108

## إهداء للمعلم

يسمى الطيف الضوئي المبين بالشكل (12) في كتاب الطالب طيفاً متصلاً؛ 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 أطيف أخرى تعرف بالطيف الخطي؛ لأنها تتخللها بعض الخطوط المعتمة.

✓ **أنتحق:**

- بعض موجات الأشعة تحت الحمراء ترددها يساوي:  $1 \times 10^{13} \text{ Hz}$
- بعض موجات الأشعة السينية لها طول موجي يساوي:  $1 \times 10^{-9} \text{ m}$
- موجات الضوء المرئي ذات اللون الأصفر لها طول موجي يساوي: 560 nm

## مثال إضافي

اسأل 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

## المناقشة:

● ناقش الطلبة في الاختلاف في التردد والطول الموجي لجميع مكونات الطيف الكهرمغناطيسي، وكذلك الاختلاف في مقدار الطاقة التي تنقلها هذه الموجات، ونتيجة لذلك؛ ستختلف قدرتها على الاختراق والنفوذ خلال الأوساط المختلفة.

● بعد تقديم التطبيقات الواردة في كتاب الطالب، وهي جميعها متعلقة بالأشعة السينية، يمكنك 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.

### توظيف التكنولوجيا

ابحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن استخدامات الطيف الكهرمغناطيسي، علماً بأنه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلق بموضوع الدرس. شارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو تطبيق التواصل الاجتماعي WhatsApp، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو استعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.

## المثال 6

يسير الضوء المرئي بجميع مركباته في الفراغ بسرعة  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$  مع أن لكل لون من ألوان الضوء تردداً مختلفاً، إذا علمت أن تردد الضوء الأصفر 530 THz فما طول موجة الضوء الأصفر في الهواء؟

المعطيات:  $(c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$ ،  $(f = 5.3 \times 10^{14} \text{ Hz})$

المطلوب:  $\lambda = ?$

الحل:

$$c = f\lambda$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{5.3 \times 10^{14}} = 5.7 \times 10^{-7} \text{ m}$$

### تطبيقات الموجات الكهرمغناطيسية

#### Applications of Electromagnetic Waves

تختلف استخدامات الموجات الكهرمغناطيسية في التطبيقات التكنولوجية والحياتية باختلاف خصائص كل منها، من مثل: التردد والطول الموجي والطاقة التي تحملها كل موجة، وقدرتها على الاختراق، وخصائص الوسط الذي تسير فيه، ومن بين هذه الاستخدامات استخدام الأشعة السينية في مجالات مختلفة، من مثل: الطب والصناعة والمجالات العسكرية والأمنية.

تستخدم الأشعة السينية في تصوير العظام والأعضاء الداخلية للجسم؛ فهي تحمل طاقة كبيرة تساعد على اختراق طبقات الجسم. ألاحظ الشكل (13). تستخدم الأشعة السينية أيضاً في مجالات صناعية للكشف عن عيوب الصناعات ونقاط الضعف في الهياكل الفلزية. وفي المجالات الأمنية، مثل فحص حقائب المسافرين في المطارات، أو على شكل بوابات يدخل خلالها المسافرين للكشف عن الأجسام والمواد التي قد يخفيها بعضهم. ألاحظ الشكل (14).



الشكل (13): تصوير الأسنان باستخدام الأشعة السينية.



الشكل (14): فحص الحقائب في المطارات.

**أبحث:** مستعيناً بمصادر المعرفة الموثوقة والمتاحة ومنها شبكة الإنترنت أبحث عن استخدام الموجات الأخرى من موجات الطيف الكهرمغناطيسي، ثم تتبادل مجموعات الطلبة ما توصلت إليه من استخدامات في ما بينها.

109

## مثال إضافي

سرعة الضوء في الفراغ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ، 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:

$$c = f\lambda$$

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{6.5 \times 10^{-7}} = 4.6 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج



### والمواد الدراسية

\* التفكير: الأدلة والبراهين.

أخبر الطلبة أن 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.

## مراجعة الدرس

## 1 الموجات المستعرضة يكون فيها اهتزاز دقائق الوسط

عمودياً على اتجاه انتشارها، مثال: موجات الحبل. والموجات الطولية يكون فيها اهتزاز دقائق الوسط موازياً لاتجاه انتشارها، مثال: موجات الصوت.

## 2 الطول الموجي: المسافة بين قمتين متتاليتين، أو بين قاعين متتاليتين.

السعة: تعرّف 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:

| طبيعة الوسط    | موجات ميكانيكية | موجات كهرومغناطيسية     |
|----------------|-----------------|-------------------------|
| طبيعة الوسط    | الأوساط المادية | الأوساط المادية والفراغ |
| نوع الطاقة     | ميكانيكية       | كهربية ومغناطيسية       |
| طبيعة الاهتزاز | مستعرضة وطولية  | مستعرضة فقط             |

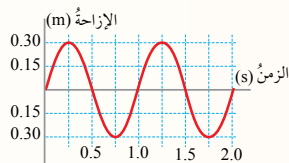
## 4 أ. مستعرضة ، ب. طولية ، ج. مستعرضة ، د. طولية ، هـ. طولية.

## مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسة: أصفُ كلاً من نوعي الموجات: المستعرضة والطولية، وأذكرُ مثلاً على كل نوع.
- أوضح المقصود بكل من: الطول الموجي، السعة، التردد، الزمن الدوري.
- أقارن بين الموجات: الميكانيكية والكهرومغناطيسية من حيث: طبيعة الوسط الناقل، ونوع الطاقة المنقولة، وطريقة الاهتزاز.
- تتابع سارة برنامجاً تلفزيونياً للهواة على قناة فضائية، وتستمع إلى صديقها سالي وهي تعزف قيثارتها في بث مباشر. أحدد نوع الموجات إن كانت مستعرضة أو طولية في الفقرات الآتية:
  - اهتزاز أوتار قيثارة سالي.
  - موجات الصوت المنبعثة من القيثارة إلى جهاز الميكروفون.
  - موجات الراديو للقناة التلفزيونية المنبعثة من القمر الصناعي.
  - موجات الصوت المنبعثة خلال الهواء من سماعة التلفاز إلى أذني سارة.
  - موجات الصوت التي تنتقل خلال جدار غرفة سارة إلى الغرفة المجاورة.
- أقارن: بين الموجات الكهرومغناطيسية المبيّنة في الجدول الآتي:

| الموجات       | الطول الموجي | التردد | السرعة في الفراغ | مرئية / غير مرئية |
|---------------|--------------|--------|------------------|-------------------|
| الميكروية     |              |        |                  |                   |
| الضوء الأزرق  |              |        |                  |                   |
| فوق البنفسجية |              |        |                  |                   |

- أحسب: موجتان كهرومغناطيسيتان؛ الطول الموجي للأولى ( $\lambda_1 = 3.0 \times 10^{-5} \text{ m}$ )، والطول الموجي للثانية ( $\lambda_2 = 1.5 \times 10^{-9} \text{ m}$ )، تنتقلان معاً في الهواء. أجد ما يأتي:
  - سرعة انتقال كل موجة في الهواء.
  - تردد كل موجة.
  - أحدد موقع كل منهما في الطيف الكهرومغناطيسي.



- أحلل: الشكل التالي يمثل إزاحة جزيئات الوسط بالنسبة إلى الزمن عند انتقال موجة طولية فيه. أستخرج من الشكل كلاً من: الزمن الدوري، والسعة، ثم أحسب التردد.

| الموجات      | الطول الموجي  | التردد   | السرعة في الفراغ            | مرئية / غير مرئية |
|--------------|---|--|-----------------------------|-------------------|
| الميكروية    | $1 \times 10^{-3} \text{ to } 1 \times 10^{-1} \text{ m}$ | $3 \times 10^{11} \text{ to } 3 \times 10^9 \text{ Hz}$      | $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ | غير مرئية         |
| الضوء الأزرق | $4 \times 10^{-7} \text{ to } 5 \times 10^{-7} \text{ m}$ | $7.5 \times 10^{14} \text{ to } 6 \times 10^{14} \text{ Hz}$ | $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ | مرئية             |
| فوق بنفسجية  | $1 \times 10^{-8} \text{ to } 3 \times 10^{-7} \text{ m}$ | $3 \times 10^{16} \text{ to } 1 \times 10^{15} \text{ Hz}$   | $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ | غير مرئية         |

- أ. سرعة كلتا الموجتين في الفراغ تساوي (تقريباً)  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

ب. تردد الأولى:  $f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^8}{3 \times 10^{-5}} = 1 \times 10^{13} \text{ Hz}$

تردد الثانية:  $f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3 \times 10^8}{1.5 \times 10^{-9}} = 2 \times 10^{17} \text{ Hz}$

ج. الموجة الأولى تقع ضمن موجات الأشعة تحت الحمراء، والموجة الثانية تقع ضمن موجات الأشعة السينية.

- الزمن الدوري يساوي ثانية واحدة (1 s)، والسعة تساوي (0.3 m)، والتردد (f):

$$f = \frac{1}{T} = 1 \text{ Hz}$$



#### الفكرة الرئيسية:

- تحدث للطلبة عن بعض المشاهدات اليومية المتعلقة بالموجات، كأن تلفت انتباههم إلى انعكاس الضوء عن زجاج النافذة، أو عن الجدران والأرضية، وكذلك صدى الصوت. ثم أجر أمامهم النشاط البسيط الآتي: املاً كأساً زجاجياً شفافاً بالماء إلى نصفه، ثم ضع فيه قلماً، وناقش الطلبة في خبراتهم حول هذه المشاهدة.

#### الربط بالمعرفة السابقة:

- اطرح الأسئلة الآتية ثم ناقش الإجابات مع الطلبة:  
- ما سبب رؤية القلم مكسوراً؟  
انكسار موجات الضوء وهي خارجة من الماء إلى الهواء عبر جدار الكأس.  
- من 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، ...

#### بناء المفهوم:

الانعكاس، الانكسار.

- وضح للطلبة المقصود بكل من: الانعكاس والانكسار، وطبق التعريف على موجات مختلفة، كأن تكون مستعرضة أو طولية، ثم بين لهم أهمية ذلك في حياتنا.

#### أنحقق:

تنعكس موجات الصوت (وهي ميكانيكية) عن السطوح الصلبة، وتحافظ على صفاتها بعد الانعكاس، ومثال ذلك حدوث ظاهرة الصدى. تنعكس موجات الضوء (وهي كهرومغناطيسية) عن السطوح الملساء المصقولة كالمرآة انعكاساً منتظماً، وتحافظ على صفاتها بعد الانعكاس.

#### الفكرة الرئيسية:

للموجات المختلفة سلوكٌ محددٌ يظهر في تطبيقات حياتية كثيرة عند انتقالها خلال الوسط الواحد، أو بين وسطين مختلفين، مثل: الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود والاستقطاب.

#### تأثيرات التعلم:

- أصمم تجربة عملية لأصف عددًا من الظواهر الموجية مثل: تراكب موجتين باتجاهين متعاكسين، وانعكاس موجات سطح الماء عن حاجز.
- أستقصي عملياً شروط حدوث حيود موجات الماء.
- أطور نموذجاً ليحدد خصائص الموجات: التداخل، الحيود، الانكسار، الاستقطاب.
- أنفذ تجارب عملية لتوضيح ظاهرة تأثير دوبلر.
- أوظف تجارب عملية في معرفة خصائص الموجات: الانعكاس، الانكسار، الحيود، التداخل.

#### المفاهيم والمصطلحات:

- انعكاس Reflection
- انكسار Refraction
- حوض موجات Ripple Tank
- تراكب الموجات Superposition of Waves
- تداخل Interference
- حيود Diffraction
- استقطاب Polarization
- تأثير دوبلر Doppler Effect

#### انعكاس الموجات وانكسارها

##### Reflection and Refraction of Waves

تظهر خاصيتا انعكاس الموجات وانكسارها بوضوح في كثير من الظواهر الصوتية والضوئية. إن صدى الصوت الذي نسمعه بفارق زمني عن الصوت الأصلي ناتج عن ظاهرة انعكاس موجات الصوت عن جدار أو جبل أو أي حاجز آخر. وصورنا التي نراها في المرآة وزجاج النافذة والمسطحات المائية ناتجة عن ظاهرة انعكاس موجات الضوء عن السطوح الملساء العاكسة. كما أن الموجات التلفزيونية التي ترسلها الأقمار الصناعية تنعكس عن أطباق مقعرة وتتجمع في جهاز صغير يلتقط تلك الموجات، التي تحول في النهاية إلى صور نشاهدها على شاشة التلفاز. كيف تحدث كل من ظاهرتي انعكاس الموجات وانكسارها؟

سوف نتوصل باستخدام حوض الموجات في التجربة الآتية إلى خاصيتي انعكاس موجات الماء وانكسارها، وإلى شروط حدوث كل منهما. وحوض الموجات جهاز يتكون في أبسط أشكاله من حوض زجاجي أو بلاستيكي شفاف، توضع فيه كمية من الماء بارتفاع مناسب، ويثبت مصدر صوتي تحت الحوض، فيظهر خيال كبير للحركة الموجية المتكونة في الحوض على السقف، ويمكن استخدام مرآة تساعد في تكوين الخيال على شاشة مثبتة بشكل رأسي. ويزود الحوض بملحقات متعددة لتوليد أشكال مختلفة من الموجات؛ بهدف دراسة خصائص موجات سطح الماء.

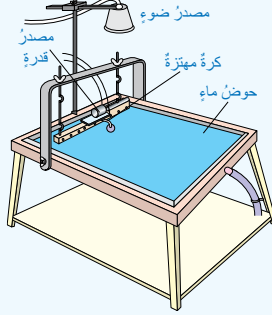
✓ **أنحقق:** أوضح عملية انعكاس موجات الصوت وموجات الضوء بذكر مثال على كل حالة.

#### قياس زاويتي السقوط والانعكاس.

#### طريقة أخرى للتدريس

- طبق إستراتيجيتي التعلم التعاوني وأكواب إشارة المرور في تنفيذ نشاط عملي.
- وزع الطلبة إلى مجموعات ثم وزع على كل مجموعة ثلاثة أكواب: أحمر، وأخضر، وأصفر.
- وزع على المجموعات مرآة مستوية، ومصباحاً صغيراً، وورقة عمل تتضمن خطوات قياس زاويتي السقوط والانعكاس.
- اطلب إلى أفراد المجموعات تنفيذ التجربة وتكوين انعكاس لضوء المصباح؛ بحيث تظهر بقعة الضوء على ورقة بيضاء مجاورة للمصباح.
- وضح لأفراد المجموعات أن الأكواب تستعمل بوصفها إشارة للمعلم على النحو الآتي: اللون الأحمر يشير إلى حاجة الطلبة العاجلة إلى المساعدة، واللون الأصفر يشير إلى حاجتهم البسيطة إلى المساعدة، أما الأخضر فيشير إلى عدم حاجتهم إلى المساعدة.
- اطلب إلى أفراد كل مجموعة مقارنة نتائج مجموعتهم بنتائج المجموعات الأخرى.

### استقصاء خاصيتي انعكاس الموجات وانكسارها



المواد والأدوات: حوض الموجات وملحقاته، شاشة عرض، مصدر ضوء.

إرشادات السلامة: الحذر من وصول الماء إلى مصدر الكهرباء.

خطوات العمل: بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:

- 1 أركب حوض الموجات بوضع أفقي، وأثبت مصدر الإضاءة في مكانه الصحيح للحصول على خيال واضح على السقف، بمساعدة المعلم وأعضاء مجموعتي.
- 2 أضع كمية ماء في الحوض حتى ارتفاع مناسب لا يقل عن (3 cm) تقريباً.
- 3 **أجرب:** أركب المحرك الكهربائي المولد للاهتزازات، وأشغله بحيث يُصدر موجات دائرية، وأراقب أنا وأفراد مجموعتي انتشارها في الحوض. ثم أكرر الخطوة لتوليد موجات مستقيمة. وأدون الملاحظات في الجدول.
- 4 أثبت حاجزاً رأسياً في منتصف الحوض بشكل قطري، ثم أشغل مولد الموجات المستقيمة، وأراقب انعكاس الموجات عن الحاجز. وأدون الملاحظات في الجدول.
- 5 **أجرب:** أزيل الحاجز وأضع في منتصف الحوض لوحاً زجاجياً شفافاً لا يزيد سمكه عن (2 cm) بحيث يبقى مغموراً بالماء بشكل كلي، وحافته موازية لحافة الحوض، وأراقب ما يحدث للموجات المستقيمة، وأدون الملاحظات.
- 6 أكرر الخطوة (5)، لكن بعد تدوير اللوح الزجاجي؛ بحيث تصبح حافته غير موازية لحافة الحوض. وأدون الملاحظات.
- 7 أرسّم الأنماط التي حصلت عليها في الخطوات السابقة.

### التحليل والاستنتاج:

1. أصف نمط كل من: الموجات الدائرية والموجات المستقيمة، وأصف انتشارها.
2. أصف ما حدث للموجات المستقيمة عند مواجهتها للحاجز الرأسي. ماذا تُسمى هذه الظاهرة؟
3. أصف ما حدث للموجات المستقيمة عند مرورها فوق اللوح الزجاجي في الحالتين (الخطوة 5 والخطوة 6). ماذا تُسمى هذه الظاهرة؟
4. **استنتج:** ما الذي تغير من صفات الموجة (الطول الموجي، أم التردد، أم السرعة، أم الاتجاه) في الحالات السابقة؟
5. **افسر:** سبب تغير سرعة الموجات على سطح الماء عند عبورها منطقة ضحلة.

### استقصاء خاصيتي انعكاس الموجات وانكسارها

**الهدف:** تكوين موجات دائرية ومستقيمة؛ لاستقصاء خاصيتي الانعكاس والانكسار في الحركة الموجية.  
زمن النشاط: 35 دقيقة.

### إرشادات السلامة:

- حذر الطلبة من خطر سقوط الأجسام والأدوات المختلفة على أقدامهم، ووصول الماء على الوصلات الكهربائية.
- أخبر الطلبة أن الالتزام بإرشادات السلامة يحفظ لهم حياتهم، ويحافظ على سلامة الأدوات، ونظافة المكان والبيئة.

### المهارات العلمية:

الملاحظة، الاستنتاج، التفسير، البحث في مصادر الخطأ.

### الإجراءات والتوجيهات:

- وضح للطلبة أهمية ضبط الحوض بوضع أفقي صحيح؛ حتى يكون ارتفاع الماء متساوياً في الحوض كله.
- وضح للطلبة أهمية تحديد كمية الماء في الحوض؛ حتى يكون ارتفاع الماء مناسباً لانتشار الموجات.
- بين 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 جزئياً في الماء.

### التحليل والاستنتاج:

1. تتولد الموجات الدائرية من اهتزاز مصدر نقطي، وتنتشر على شكل دوائر متحدة في المركز.
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.

### أداة التقييم: قائمة الرصد.

### استراتيجية التقييم: الملاحظة.

| الرقم | معايير الأداء  | نعم | لا |
|-------|--|-----|----|
| 1     | يراعي تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ خطوات التجربة.          |     |    |
| 2     | يقرأ تعليمات التجربة قراءة دقيقة، ويتعاون مع زملائه على تنفيذ الخطوات. |     |    |
| 3     | يضع حوض الموجات بوضع أفقي صحيح.  |     |    |
| 4     | يضبط سرعة المحرك الكهربائي الصغير؛ حتى يحصل على نمط موجات ثابت.        |     |    |
| 5     | يستخدم الأدوات الملحقة بالحوض والمناسبة؛ لاستقصاء خاصية الانعكاس.      |     |    |
| 6     | يستخدم الأدوات الملحقة بالحوض والمناسبة؛ لاستقصاء خاصية الانكسار.      |     |    |
| 7     | يرصد ملاحظاته حول خطوات التجربة بصورة منظمة.                           |     |    |
| 8     | يتعاون مع أفراد مجموعته، وينظم العمل.                                  |     |    |
| 9     | يتوصل إلى نتائج صحيحة، ويبحث عن مصادر الخطأ إن وجد.                    |     |    |

### ◀ المناقشة:

- وضح للطلبة المقصود بالانعكاس، وطبق التعريف على موجات مختلفة، كأن تكون مستعرضة أو طولية، ثم بين 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:

- وجه الطلبة إلى الاطلاع على الشكل (15)، مبيناً لهم أنه 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:

- بين 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 قدم لهم تعريفاً بالحوض والأدوات الملحق به، واستخداماته المختلفة.

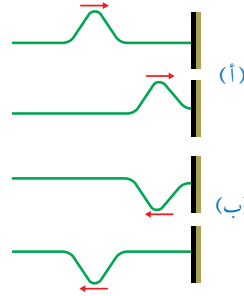
### معلومة إضافية

#### طاقة الموجة.

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.

### انعكاس الموجات Reflection of Waves

ظاهرة انعكاس موجات الماء على سطح بركة من الظواهر الموجية المألوفة في حياتنا، وكذلك انعكاس موجات الصوت والضوء. وقد لاحظنا عند تنفيذ النشاط السابق أن الموجات المنتشرة على سطح الماء تغير اتجاهها عند مواجهتها حاجزاً في طريق انتشارها، ولقد لاحظنا أيضاً أن الموجة المنعكسة حافظت على صفاتها، عندما لم تتغير خصائص الوسط الذي تنتقل خلاله. وكما هي الموجات في الماء، فإن أنواع الموجات الأخرى مثل: موجات النابض والحبل أو الموجات الصوتية، أو الضوئية جميعها تنعكس بطريقة مشابهة. وانعكاس الموجة Wave reflection هو عملية سقوط الموجة على جسم أو حاجز ثم ارتدادها عنه باتجاه مختلف.

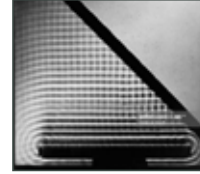


الشكل (15): انعكاس النبضة في حبل.

عند إرسال نبضة موجية واحدة خلال حبل بعد تثبيت طرفه الثاني في الجدار أو في مقبض الباب، وإحداث اهتزازة واحدة في طرفه الحر، فإننا نلاحظ أن هذه النبضة ترتد عن الجدار وتنتقل باتجاه معاكس من الجدار إلى الطرف الحر للحبل، كما يبين الشكل (15). تنتقل النبضة باتجاه اليمين كما في المرحلة (أ)، وعند اقترابها من نقطة التثبيت على الجدار، فإن الحبل يؤثر في الجدار بقوة نحو الأعلى، وحسب القانون الثالث في الحركة لنيوتن، فإن الجدار يؤثر في الحبل بقوة رد فعل نحو الأسفل، ويحدث فيه نبضة جديدة مقلوبة تنتقل عائدة (راجعة) نحو اليسار، كما في المرحلة (ب)؛ أي أنها تنعكس.

تنعكس موجات سطح الماء الدائرية عن الحاجز على شكل أقواس دائرية يقع مركزها الوهمي خلف الحاجز، كما يبين الشكل (16/أ)، بينما يبين الشكل (16/ب) انعكاس موجات مستقيمة، كالتي شاهدناها في التجربة السابقة.

الشكل (16): انعكاس موجات سطح الماء الدائرية والمستقيمة.



(ب)



(أ)

113

### إضاءة للمعلم

في حال كان طرف الحبل المثبت بالجدار حر الحركة للأعلى والأسفل، كأن يكون مثبتاً بحلقة فلزية يمر خلالها قضيب فلزي مثبت بشكل رأسي؛ سوف ترتد النبضة في الحبل دون أن تنقلب للأسفل.

### نشاط سرية

- يمكن تجريب الشكل (15) في غرفة الصف وذلك بربط حبل مناسب في مقبض الباب، ثم إحداث نبضة واحدة في طرفه الحر، وملاحظة ما يحدث.

## ◀ المناقشة:

- وضح للطلبة المقصود بانكسار الموجات، وطبق التعريف على موجات مختلفة، كأن تكون مستعرضة أو طولية، ثم بين 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:

- وجه الطلبة إلى الاطلاع على الصور في الشكل (17)، مبيناً لهم أن 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.
- ذكر الطلبة بأن المسافة بين كل خطين مضيين متتاليين تساوي الطول الموجي، ثم استنتج من ذلك كيف يقل الطول الموجي عند الانكسار.
- ملاحظة: عندما يكون السطح الفاصل بين الوسطين عمودياً على اتجاه انتشار الموجات، يحدث الانكسار (تغير في السرعة والطول الموجي) مع محافظة الموجات على اتجاهها السابق.



الشكل (17): انكسار موجات سطح الماء المستوية.

## انكسار الموجات Refraction of Waves

ظاهرة انكسار الموجات هي الظاهرة الشائعة الثانية إضافة إلى ظاهرة الانعكاس، ويُعرف انكسار الموجة Wave refraction بأنه انحراف اتجاه انتشار الموجات عند اجتيازها الحد الفاصل بين وسطين مختلفين في خصائصهما. وقد لاحظنا ذلك بوضوح في النشاط السابق، حيث أدى وجود لوح زجاج شفاف داخل الحوض إلى اختلاف سمك الماء، وتكوّن نتيجة ذلك سطوح مختلفان نتج عنهما انكسار موجات الماء؛ أي تغيير في اتجاه انتشارها. وينتج الانكسار عن اختلاف الطول الموجي مع بقاء التردد ثابتاً عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين في الخصائص. وباستخدام العلاقة:  $(v = f \lambda)$  فإن سرعة انتشار الموجات تتغير من وسط إلى آخر نتيجة لاختلاف الطول الموجي. ألاحظ أن الطول الموجي في الشكل (17) هو المسافة بين كل خطين مضيين، أو بين كل خطين مظلمين، ويبين الشكل النتيجة التي حصلنا عليها في النشاط السابق، وهو نقصان الطول الموجي الذي أدى إلى الانكسار.

✓ **أتحقّق:** ما سبب حدوث انكسار لموجات الماء عند مرورها فوق لوح زجاجي موضوع في قاع الحوض؟

## نذكره

بالرجوع إلى الشكل (17). إذا كان التردد (8 Hz)، وكانت المسافة بين كل خطين مضيين في الوسط الأول (5 cm)، وفي الوسط الثاني (3 cm). فأحسب سرعة الموجات في كل من الوسطين.

114

## نذكره

### الحل:

$$v_1 = f\lambda_1 = 8 \times 5 = 40 \text{ cm/s} \quad v_2 = f\lambda_2 = 8 \times 3 = 24 \text{ cm/s}$$

✓ **أتحقّق:**

سبب الانكسار هو اختلاف عمق الماء، الذي يعد تغيراً في صفات الوسط.

## ◀ التعزيز:

- وضح 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.



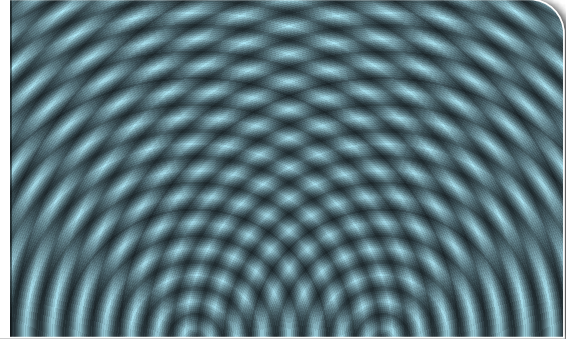
## التداخل Interference

تحدث ظاهرة تداخل الموجات عندما تلتقي موجتان أو أكثر في لحظة واحدة عند نقطة محددة، فتحدث هذه الموجات -مجتمعة- إزاحة محصلة لجزيئات الوسط الذي تنتقل خلاله. فالتداخل Interference: التقاء مسارين من الحركة الموجية بحيث ينتج عن التقاء القمم والقيعان نمطاً محدداً.

وعندما تلتقي موجتان متماثلتان (لهما التردد نفسه والطول الموجي نفسه) ومن النوع نفسه، فإن عملية التداخل تكون منتظمة. ويبين الشكل (18) نمط تداخل منتظم يتكون عند التقاء موجات ناتجة عن مصدرين متجاورين ومتماثلين على سطح الماء. وحتى تتلاشى الإزاحة تمامًا عند التقاء قمة موجة مع قاع موجة أخرى يجب أن تكون الموجتان متساويتين في السعة. ومثال على ذلك يحدث تداخل هدام وتداخل بناء بين موجات الصوت التي تصدر عن سماعتين موصولتين مع مصدر واحد يولد الاهتزازات.

لتكوين نمط تداخل منتظم عملياً، ولدراسة الحيود Diffraction وهو ظاهرة أخرى متعلقة بالحركة الموجية، أنفذ التجربة الآتية:

الشكل (18): تداخل الموجات من مصدرين متماثلين على سطح الماء.



## بناء المفهوم:

## التداخل

- وضح للطلبة المقصود بتداخل الموجات، وما شروط حدوثه، وكيف يتكون نمط تداخل منتظم (يكبر نفسه)، أو تداخل غير منتظم.

## استخدام الصور والأشكال:

- وجه الطلبة إلى الاطلاع على الصور في الشكل (18)، مبيناً لهم أن الشكل يوضح صورة لعملية تداخل منتظم لموجات سطح الماء، أو خيال لهذا التداخل كما يظهر على شاشة. وكما يحدث التداخل لموجات الماء فهو يحدث أيضاً للموجات الميكانيكية والكهرمغناطيسية جميعها، ويمكن ملاحظة أثر ذلك في مشاهدات مختلفة.

## المناقشة:

- وضح 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.

## القضايا المشتركة ومفاهيمها العابرة للمناهج والمواد الدراسية

## \* التفكير: التخطيط.

وضح للطلبة أن التخطيط المبني على أسس علمية وواقعية يعدّ من طرائق المعرفة العلمية، وأن أهميته تتمثل في تنظيم الوقت، وزيادة كفاءة العمل للتوصل إلى معرفة معينة، أو الحصول على منتج بأقل جهد أو تكاليف. وبيّن لهم أن العمل المخبري من الأمور التي تحتاج إلى: التخطيط الجيد، والإعداد، وتحضير الأدوات، ووضع الخطوات المناسبة، ثم تنفيذها؛ للوصول إلى نتائج مقبولة يمكن تعميمها بطرائق التواصل المختلفة؛ لتحقيق الفائدة منها.

### استقصاء خاصيتي تداخل الموجات وحيودها

**الهدف:** ملاحظة نمطي التداخل والحيود، واستنتاج شروط حدوثها.

**زمن النشاط:** 35 دقيقة.

### إرشادات السلامة:

- حذر الطلبة من خطر سقوط الأجسام والأدوات المختلفة على أقدامهم، ووصول الماء على الوصلات الكهربائية.
- أخبر الطلبة أن الالتزام بإرشادات السلامة يحفظ لهم حياتهم، ويحافظ على سلامة الأدوات، ونظافة المكان والبيئة.

### المهارات العلمية:

الملاحظة، التفسير، الاستنتاج، الاستقصاء، التواصل.

### الإجراءات والتوجيهات:

- وضح للطلبة أهمية ضبط الحوض بوضع أفقي صحيح؛ حتى يكون ارتفاع الماء متساوياً في الحوض كله.
- وضح للطلبة أهمية تحديد كمية الماء في الحوض؛ حتى يكون ارتفاع الماء مناسباً لانتشار الموجات.
- بين للطلبة أهمية وضع المصباح في موقع مناسب؛ لكي يظهر خيال واضح على السقف أو الشاشة.

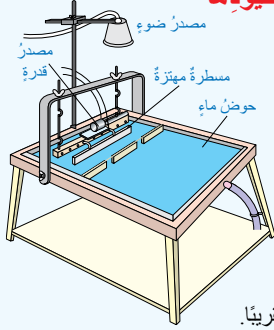
### النتائج المتوقعة:

قد يلاحظ بعض الطلبة النتائج كما هو متوقع، فيشاهدون التداخل والحيود، وقد لا يحدث ذلك بالنسبة لبعض المجموعات بسبب أخطاء قد تنتج عن: ميل الحوض عن الأفق، زيادة أو نقص سرعة المحرك الذي يولد الاهتزاز، عدم ضبط المسطرة بحيث تنغمس جزئياً في الماء، المسافة بين الفتحتين في حالة التداخل، أو اتساع الفتحة في حالة الحيود.

### التحليل والاستنتاج:

1. وجود الفتحتين في الحاجز للحصول على مصدرين متمثلين للموجات الدائرية، ويمكن إحداث ذلك بثبيت مسمارين خاصين بالمسطرة المهترزة 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 قليلاً حول حافة الحاجز.
4. يحدث الحيود عندما يكون اتساع الفتحة مقارباً للطول الموجي، ولا يحدث حيود عندما يزيد اتساع الفتحة كثيراً عن الطول الموجي، أو يقل كثيراً عنه.

### استقصاء خاصيتي تداخل الموجات وحيودها



**المواد والأدوات:** حوض الموجات وملحقاته (مصدر ضوء ومجموعة حواجز).

**إرشادات السلامة:** الحذر من وصول الماء إلى مصدر الكهرباء.

**خطوات العمل:** بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:

1 أركب حوض الموجات بوضع أفقي وأثبت مصدر الإضاءة في مكانه الصحيح بمساعدة معلمي وأعضاء مجموعتي.

2 أضغ كمية ماء مناسبة في الحوض حتى ارتفاع لا يقل عن (3 cm) تقريباً.

3 أثبت المحرك الكهربائي المولد للاهتزازات فوق المسطرة الخاصة وأشغله بحيث يصدر موجات مستقيمة، وأراقب حركة تقدم هذه الموجات في الحوض.

4 أضغ حاجزاً يحتوي على فتحتين على بُعد (15 cm) أمام المسطرة، كما في الشكل، وأراقب عبور الموجات المستقيمة من كلتا الفتحتين، وأغير من سرعة المحرك للحصول على شكل واضح، ثم أدون الملاحظات على النمط المتكون بعد الفتحتين.

5 أعدل الحاجز في الخطوة السابقة بحيث يحتوي على فتحة واحدة ضيقة، ثم أدون الملاحظات على النمط المتكون. ثم أغير اتساع الفتحة وأراقب ما يحدث للموجات مرة أخرى.

6 أرسم الأنماط التي حصلت عليها في الخطوتين (5,4) السابقتين.

### التحليل والاستنتاج:

1. أفسر أهمية وجود فتحتين في الحاجز في الخطوة (4). وما التغير الذي حصل للموجات بعد الحاجز؟
2. أصف ما حدث للموجات المستقيمة بعد تجاوزها الحاجز الذي يحتوي على فتحتين، وأذكر اسم هذه العملية.
3. أصف ما حدث للموجات المستقيمة بعد تجاوزها الحاجز الذي يحتوي على فتحة ضيقة، وأذكر اسم هذه العملية.
4. **استنتج:** عندما تتجاوز الموجات المستقيمة حاجزاً فيه فتحة، فإنها تنفذ منه وتكمل مسيرها على هيئة موجات دائرية، أي أنها تحيد عن اتجاهها، وتلتف حول الحاجز قليلاً. ما العلاقة بين حيود الموجات واتساع الفتحة؟

### استراتيجية التقويم: التقويم المعتمد على الأداء.

### أداة التقويم: سلم تقدير رقمي.

| الرقم | معايير الأداء  | 1 | 2 | 3 |
|-------|--|---|---|---|
| 1     | يراعي تعليمات الأمان والسلامة العامة عند تنفيذ خطوات التجربة.          |   |   |   |
| 2     | يقرأ تعليمات التجربة قراءة دقيقة، ويتعاون مع زملائه على تنفيذ الخطوات. |   |   |   |
| 3     | يضع حوض الموجات بوضع أفقي صحيح.  |   |   |   |
| 4     | يضبط سرعة المحرك الكهربائي الصغير؛ حتى يحصل على نمط موجات ثابت.        |   |   |   |
| 5     | يستخدم الأدوات الملحقة بالحوض والمناسبة؛ لاستقصاء خاصية التداخل.       |   |   |   |
| 6     | يستخدم الأدوات الملحقة بالحوض والمناسبة؛ لاستقصاء خاصية الحيود.        |   |   |   |
| 7     | يرصد ملاحظاته حول خطوات التجربة بصورة منظمة.                           |   |   |   |
| 8     | يتعاون مع أفراد مجموعته، وينظم العمل.                                  |   |   |   |
| 9     | يتوصل إلى نتائج صحيحة، ويبحث عن مصادر الخطأ إن وجد.                    |   |   |   |

### بناء المفهوم:

#### مبدأ تراكب الموجات

- قدم للطلبة تعريف مبدأ تراكب الموجات، مع توضيح كيف يجري جمع الإزاحتين الناتجتين عن موجتين متراكبتين للحصول على إزاحة كلية. ثم بين لهم الحالات التي يحدث فيها التراكب.

### استخدام الصور والأشكال:

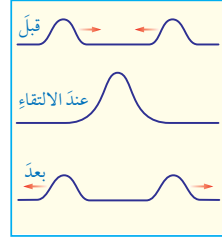
- وجه الطلبة إلى الاطلاع على الصور في الشكل (19)، بفرعيه (ب، ج)؛ للتفريق بين التراكب الذي يولد تداخلاً بناءً والتراكب الذي يولد تداخلاً هداماً.

### التعزيز:

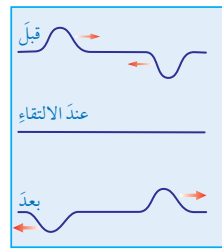
- درب الطلبة على رسم نبضتين منفصلتين، ثم رسم إحداهما مع الأخرى على المستوى الديكارتي نفسه، ثم جمع الإزاحات الفرعية لهما؛ للحصول على التداخل.
- أكد للطلبة أن شرط حدوث التراكب هو أن تكون الموجتان المتراكبتان من النوع نفسه.



(أ)



(ب)



(ج)

الشكل (19): تراكب الموجات.

بعد أن لاحظت نمط التداخل المنتظم في التجربة السابقة، ربما تسأل كيف يحدث التداخل وما الذي يؤدي إلى ظهور هذا النمط المنتظم؟ تعود ظاهرة التداخل إلى إحدى الخصائص الموجية التي تُعرف بمبدأ تراكب الموجات **Principle of Superposition of Waves** وهو أن الإزاحة الكلية التي تحدث لجزيئات الوسط تساوي ناتج الجمع المتجهي للإزاحات الناتجة عن التقاء الموجات عند النقطة نفسها. كيف يحدث التراكب؟

عند مرور موجة مستعرضة في نابض باتجاه اليمين، ومرور موجة مستعرضة أخرى في النابض نفسه باتجاه اليسار، فإن الموجتين ستلتقيان في مكان واحد عند لحظة زمنية معينة، ويعمل تأثير الموجتين في دقائق النابض عند لحظة التقائهما بشكل مشترك فيظهر النابض بصورة مختلفة عن أي من الموجتين، والنتيجة جمع التأثير المشترك للموجتين معاً في جزيئات الوسط الذي تنتقل خلاله. يحدث التراكب بين موجتين في حال انتقالهما باتجاهين متعاكسين، أو بالاتجاه نفسه عندما تلتحق إحداهما بالأخرى، كما يحدث أيضاً بين موجتين أو أكثر عند التقائهما مهما كان اتجاه كل منهما. يوضح الشكل (19/أ) مثلاً بسيطاً على تراكب الموجات، حيث تلتقي موجات دائرية على سطح الماء في حوض.

ويبين الشكل (19/ب) أيضاً قمتي موجتين تسيران باتجاهين متعاكسين قبل التقائهما، وعند حدوث التراكب ثم بعد ابتعادهما، لاحظ أنه ينتج عن الأثر المشترك للقيمتين لحظة تراكبهما قمة مضاعفة، وينتج عن هذا التراكب تداخل بناءً **Constructive interference**.

ويبين الشكل (19/ج) أن تراكب قمة مع قاع ينتج عنه انعدام للإزاحة، وتخفي الموجتان في لحظة تراكبهما، ويسمى هذا التراكب تداخلاً هداماً **Destructive interference**.

نلاحظ من الشكل السابق أن كلا من الموجتين المتراكبتين بعد التراكب تعود إلى شكلها السابق الذي كانت عليه قبل التراكب. ويشرط لحدوث تراكب الموجات أن تكون الموجتان من النوع نفسه، فلا يمكن أن يحدث تراكب بين موجتين إحداهما طولية والأخرى مستعرضة، فلا يحدث بين موجة صوتية وأخرى كهرومغناطيسية.

### توظيف التكنولوجيا

ابحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن مبدأ تراكب الموجات **Principle of Superposition of Waves**، علماً بأنه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلق بهذا.

شارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو تطبيق التواصل الاجتماعي WhatsApp، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو استعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذويهم.



## المناقشة:

ناقش الطلبة في إمكانية حدوث التداخل للموجات الأخرى الطولية أو المستعرضة. اطرح مثلاً على تداخل موجات الصوت عند وضع سماعتين تفصلهما مسافة، وتوصيلهما بمصدر واحد مثل مذياع أو جهاز تسجيل، ثم اضرب أو اطرح مثلاً آخر على تداخل موجات الضوء عند مروره من شقين متجاورين تفصلهما مسافة صغيرة جداً، تناسب مع طول موجات الضوء.

## استخدام الصور والأشكال:

وجه الطلبة إلى الاطلاع على الصور في الشكل (20)، بفروعه الثلاثة، مبيّناً لهم دلالات الشكل في كل فرع.

## نشاط سريع

يمكن استخدام مصباح ليزر أحمر وتنفيذ نشاط سريع نبين فيه التداخل كما يظهر في الشكل (20).

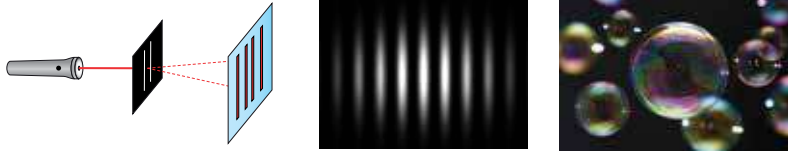
## أفكر:

الأضواء الملونة التي تخرج من المنشور ناتجة عن ظاهرة انكسار الضوء في المنشور وخروجه بزوايا مختلفة؛ تبعاً للأطوال الموجية لكل لون. في حين أن الألوان المنعكسة عن غشاء فقاعة الصابون: ناتجة عن ظاهرة التداخل.

## أنحقق:

يكون التداخل بناءً عندما تلتقي قمة موجة مع قمة موجة أخرى، أو يلتقي قاع موجة مع قاع آخر. أما 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.



الشكل (20): (أ) غشاء فقاعة صابون. (ب) نمط تداخل موجات ضوء الشمس. (ج) تجربة تداخل موجات ضوء الليزر.

تحدث ظاهرة التداخل في جميع أنواع الموجات، فموجات الصوت تداخل وتنتشأ عن تداخلها أنماط تتألف من مناطق تزداد فيها شدة الصوت، ومناطق أخرى ينخفض فيها الصوت. كما يمكن رؤية بعض الأنماط الناتجة عن تداخل موجات الضوء على غشاء فقاعة صابون مثلاً يبين الشكل (20/أ). وهناك تجارب عملية يمكننا من رؤية بعض أنماط التداخل لموجات الضوء. يوضح الشكل (20/ب) تداخل موجات ضوء الشمس بعد عبوره من شقين صغيرين متجاورين، بينما يظهر الشكل (20/ج) رسماً توضيحياً للتداخل الناتج عن ضوء ليزر أحمر عند مروره من شقين. ويكون نمط التداخل منتظماً بحيث يكرر نفسه عندما تكون الموجات المتداخلة متساوية في الطول الموجي.

يحدث التداخل أيضاً بين الموجات التي لا تتساوى في التردد والطول الموجي، أو أنها صادرة عن مصدرين غير متمائلين، لكن النمط الناتج عن ذلك لا يكون منتظماً.

## أنحقق:

- متى يكون التداخل بناءً؟ ومتى يكون هداماً؟
- ما الشرط اللازم توافره حتى يحدث تراكب لموجتين تنتقلان في وسط واحد؟

## إضاءة للمعلم

عندما يحدث تداخل موجات الضوء 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 هدام بين بعض الألوان، وتداخل بناءً بين ألوان أخرى.



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 مترابطين في إصدارهما للموجات، يحدث اختلاف في نمط التداخل.

### بناء المفهوم:

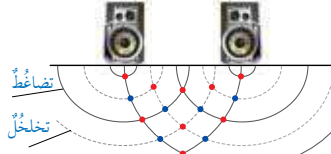
(الحيود)

ذكر الطلبة بنتيجة التجربة السابقة، ثم اطلب إليهم مقارنة ما شاهدوه في التجربة بالصورتين في الشكل (22). بعد ذلك وجههم إلى استنتاج تعريف الحيود، مع التركيز على كلمة حيود (مصدر الفعل حاد) باللغة العربية.

### نشاط سريع

اطلب إلى الطلبة جميعًا وضع طرفي إصبعهم السبابة والإبهام بشكل قريب جدًا من بعضهما، قبل أن يتلامسا، والنظر من خلال هذه المسافة الضيقة إلى ضوء النافذة، ثم تقرب الإصبعين من بعضهما أكثر وأكثر، حتى تظهر لديهم أهداب تداخل موجات الضوء. ثم بين لهم بأن ما شاهدوه هو تداخل لموجات الضوء، ناتج عن حيودها عند مرورها خلال الفتحة بين الإصبعين.

### المثال 7



الشكل (21): التداخل المنتظم بين موجات الصوت المتماثلة.

وُضِعَت سَمَاعَتَانِ متصلتان مع المصدر نفسه، بحيثُ تفصلُهُما مسافة (1 m) تقريبًا، فحدثَ تداخلٌ بينَ الموجاتِ الصادرةِ عنِ السَمَاعَتَيْنِ معًا، كما يبيِّنُ الشكلُ (21). أُلْحِذُ نَقَاطُ التداخلِ البناءِ والهدامِ، وأُبيِّنُ ما يحدثُ للصوتِ عندَ كُلِّ منهما.

المعطيات: الشكل.

المطلوب: تحديدُ نقاطِ التداخلِ البناءِ والهدامِ، ووصفُ ما يحدثُ للصوتِ.

**الحل:**

الخطوطُ المتصلةُ على الشكلِ تمثلُ مناطقَ تضاعفٍ، والخطوطُ المتقطعةُ تمثلُ مناطقَ تداخلٍ. تبيِّنُ النقاطُ الحمراءُ التداخلَ البناءَ، فبعضُها ناتجةٌ عن تقاطعِ خطينِ متصلينِ (تضاعفٌ مع تضاعفٍ)؛ فهي تمثلُ تضاعفًا مضاعفًا. وبعضُ النقاطِ الحمراءُ الأخرى ناتجةٌ عن تقاطعِ خطينِ متقطعينِ (تداخلٌ مع تداخلٍ)؛ فهي تمثلُ تداخلًا مضاعفًا. وتكونُ شدةُ الصوتِ عندَ النقاطِ الحمراءِ جميعها أكبرَ ما يمكنُ. النقاطُ الزرقاءُ جميعها تبيِّنُ التداخلَ الهدامَ، فهي ناتجةٌ عن تقاطعِ خطٍّ متصلٍ مع خطٍّ متقطعٍ (تضاعفٌ مع تداخلٍ)؛ فهي تمثلُ انعدامًا للموجاتِ، أي اختفاءَ الصوتِ.



الشكل (22): حيود موجات سطح الماء عند نفاذها من فتحة واسعة وأخرى ضيقة.

### الحيود Diffraction

الحيود هو ظاهرة انحراف الموجات عن اتجاهها عند نفاذها خلال الفتحات الضيقة، أو بالقرب من حواف الحواجز، وهي ظاهرة تحدث لمختلف أنواع الموجات، مثل: موجات الماء والصوت والضوء، وقد لاحظتُ حيود الموجات المنتشرة على سطح الماء في التجربة السابقة عند نفاذها خلال فتحة في حاجز. ويكون الحيود واضحًا عندما يكون اتساع الفتحة التي تمر من خلالها الموجات مقاربًا لمقدار طولها الموجي.

يبيِّنُ الشكلُ (22) نمطينِ مختلفينِ لحيود موجاتٍ مستقيمةٍ على سطح الماء عند نفاذها من فتحتين مختلفتين في حاجزين، وسبب الاختلاف في نمطَي الحيود ناتج عن الاختلاف في اتساع الفتحة التي عبرت خلالها الموجات.

### توظيف التكنولوجيا

ابحث في المواقع الإلكترونية الموثوقة عن مقاطع فيديو تعليمية، أو عروض تقديمية جاهزة عن حيود الموجات Diffraction، علمًا بأنه يمكنك إعداد عروض تقديمية تتعلق بهذا.

شارك الطلبة في هذه المواد التعليمية عن طريق الصفحة الإلكترونية للمدرسة، أو تطبيق التواصل الاجتماعي WhatsApp، أو إنشاء مجموعة على تطبيق Microsoft teams، أو استعمل أية وسيلة تكنولوجية مناسبة بمشاركة الطلبة وذوهم.

## استخدام الصور والأشكال:

- وجه الطلبة إلى الاطلاع على الصور في الشكل (23)؛ الذي يبين ما ينتج عن حيود موجات الضوء عند مرورها خلال ثقب إبرة خياطة، ثم اطلب إليهم طرح أمثلة مشابهة يتوقعون أنها تشكل مشاهدات لحيود موجات الضوء.



الشكل (23): حيود موجات الضوء الأحمر عند مرورها من ثقب إبرة خياطة.

## بناء المفهوم: الاستقطاب.

- وضح للطلبة أن الموجات الكهرومغناطيسية تتكون من مجالين متعامدين: أحدهما كهربائي، والثاني مغناطيسي، لكن مستوى كل مجال ليس نفسه في كل الموجات، لو تخيلنا أن شعاعاً ضوئياً يتكون من خمس 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 مستقطب (أداة استقطاب)، فإن موجة واحدة تنفذ خلاله، وباقي الموجات لا يسمح لها بالنفوذ. ويمكننا اختيار الموجة التي نرغب بمرورها عن طريق تميل زاوية المستقطب.

- ويين للطلبة أن استقطاب الضوء يخفف من الوهج الناتج عن الانعكاسات الكثيرة عن سطح الماء، والأرصفة، والمباني وغيرها.

نلاحظ أحياناً تكون أهداب تداخل مضئية وأخرى مظلمة عندما ننظر إلى حاجز يسقط عليه ضوء صاعد عن فتحة ضيقة، وتكون هذه الأهداب ناتجة عن حيود موجات الضوء عند نفاذها خلال هذه الفتحة أو بالقرب من الحواف الحادة للأجسام الصغيرة؛ فعند مرور الضوء خلال ثقب إبرة خياطة مثلاً، أو بالقرب من حافة جسم دقيق آخر، ثم سقوطه على حاجز، فإننا نرى بوضوح أهداب التداخل المتكونة على الحاجز الناتجة عن حيود الضوء. والشكل (23) يبين حيود ضوء أحمر عند مروره خلال ثقب إبرة خياطة.

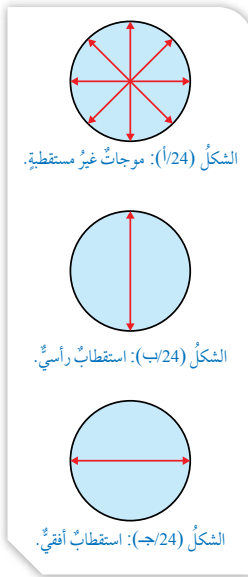
### الاستقطاب Polarization

ترتبط خاصية الاستقطاب بالموجات المستعرضة فقط، فهي تتعلق باتجاه اهتزاز جزيئات الوسط عندما يكون متعامداً مع اتجاه انتشار الموجة. فالموجات المستعرضة بجميع أنواعها يمكن استقطابها، في حين لا يمكن استقطاب الموجات الطولية. ويعد الاستقطاب الذي نلاحظه لموجات الضوء المرئي دليلاً على أن الموجات الكهرومغناطيسية جميعها مستعرضة. في الموجات المستقطبة يكون اهتزاز جزيئات الوسط في بُعد واحد يتعامد مع اتجاه انتشار الموجة، بينما في الموجات غير المستقطبة تهتز هذه الجزيئات في أبعاد عدة جميعها متعامدة مع اتجاه انتشار الموجة.

لذلك يُعرف الاستقطاب Polarization بأنه عملية انتقاء موجة مستعرضة تحدث اهتزازاً في جزيئات الوسط في بُعد واحد فقط من بين حزمة موجات يكون الاهتزاز فيها باتجاهات عدة، جميعها متعامدة مع اتجاه انتشار الموجات.

يبين الشكل (24/أ) موجات غير مستقطبة تهتز من خلالها دقائق الوسط باتجاهات مختلفة، إذ تمثل الأسهم اتجاهات الاهتزاز، أما اتجاه انتشار الموجات فيكون عمودياً على سطح الورقة، داخلها أو خارجاً منها. في حين يبين الشكل (24/ب) موجات مستقطبة استقطاباً رأسياً، ويبين الشكل (24/ج) موجات مستقطبة استقطاباً أفقياً.

**أفكر:** عندما يُناديني زميلي من خلف سور مرتفع، فأني أسمع صوته، لكنني لا أراه. لماذا؟



120

### أفكر:

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 والموجات الصوتية يحدث لها حيود عند مرورها قرب حافة السور، وحيث إن موجات الضوء قصيرة جداً فإن حيودها لا يذكر، أما حيود موجات الصوت فكبير؛ لأن موجات الصوت طويلة، فتصل إلى السامع.

## الفيزياء والتكنولوجيا:

استعرض للطلبة بعض التطبيقات التكنولوجية التي تعود إلى بعض فروع علم الفيزياء، مع التركيز على ما يخص الضوء والموجات الكهرمغناطيسية.

قدم فكرة عن آلات التصوير، وكيفية الحصول على صور واضحة في النهار مع وجود الوهج والانعكاسات الكثيرة، وبين أهمية استخدام المرشحات المستقطبة بذلك.

ثم تحدث عن أهمية النظارات الشمسية المستقطبة في حماية العين من الوهج الناتج عن انعكاس الضوء.

## بناء المفهوم:

### تأثير دوبلر

ذكر الطلبة بصوت منبه سيارة الإسعاف مثلاً عندما تتجاوز شخصاً يسير على الطريق، وأسألهم:

- هل يوجد فرق في صوت منبهها في حالة اقترابها؟ وفي حالة ابتعادها؟

- وهل صوت منبه السيارة الواقعة يختلف مقارنة بالحالتين السابقتين؟

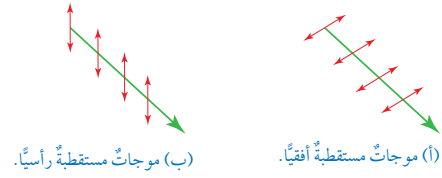
ناقش الطلبة في إجاباتهم واستنتج من ذلك تعريفاً لهذه الظاهرة، ثم استعن بالشكل (26)؛ لتفسير ما يحدث.

بين لهم أن ظاهرة تأثير دوبلر تحدث لكل من الموجات المستعرضة والطولية، مهما كان نوع كل منها.

## التعزيز:

أكد للطلبة أن تردد الموجات يعتمد على تردد مصدرها، ولا يتغير هذا التردد سواء أكان المصدر ساكناً أم متحركاً، وكذلك سرعة الموجة لا تتغير. لكن هناك تردداً ظاهرياً 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.

الشكل (25): تحديد مستوى استقطاب الموجات الكهرمغناطيسية.



## الفيزياء والتكنولوجيا

عند سقوط ضوء الشمس غير المستقطب على سطح الماء أو الزجاج أو الطريق بزوايا معينة، فإنه ينعكس مستقطباً باتجاه واحد يوازي السطح العاكس، كما في الشكل (25/أ).

عند استخدام نظارة شمسية ذات محور استقطاب رأسي، فإنها تمتص نسبة كبيرة من الضوء المستقطب استقطاباً أفقياً وهو المنعكس عن الأرض، لكنها تسمح للضوء غير المستقطب بالوصول إلى العين؛ مما يقلل من وهج الانعكاسات المزعجة.

نعلم أن الموجة الكهرمغناطيسية تتكون من مركبتين متعامدتين إحداهما ناتجة عن اهتزاز في المجال الكهربائي، والأخرى عن اهتزاز في المجال المغناطيسي، ويتم تحديد مستوى الاستقطاب في الموجات الكهرمغناطيسية على أنه المستوى الذي يهتز فيه المجال الكهربائي فقط. يبين الشكل (25/أ) موجة مستقطبة أفقياً، ويبين الشكل (25/ب) موجة مستقطبة رأسيًا.

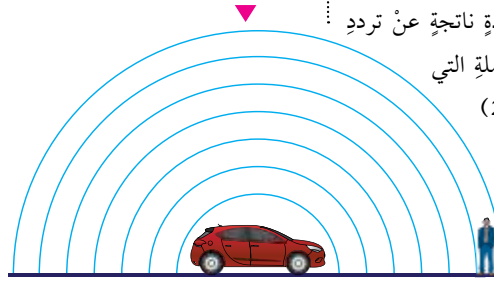
كثير من مصادر الضوء، مثل بعض مصابيح الليزر والشاشات الرقمية (LED) يكون الضوء الصادر عنها مستقطباً، في حين يكون ضوء المصباح العادي وضوء الشمس غير مستقطب، وأيضاً تستخدم بعض النظارات الشمسية التي تعمل على استقطاب الضوء لتخفيف شدة الأضواء المنعكسة عن الطرق والمسطحات المائية.

✓ **أتحقق:** ما المقصود بعملية استقطاب الموجات؟ ولماذا تستقطب موجات الضوء، ولا تستقطب موجات الصوت؟

## تأثير دوبلر Doppler Effect

عند سماعك صوت منبه سيارة متوقفة عن الحركة، وأنت تقف بالقرب منها، فإنك تسمعه بدرجة صوت محددة ناتجة عن تردد هذا الصوت، وهو عدد الموجات الصوتية الكاملة التي يصدرها المنبه في الثانية الواحدة. يبين الشكل (26) الموجات الصوتية الصادرة عن منبه سيارة في حالة وقوف، وهي تصل إلى المستمع، إذ تمثل الأقواس مناطق التضغوط المتتالية في الهواء.

الشكل (26): موجات صوت منبه سيارة متوقفة.



121

## ✓ أتحقق:

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.

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، وتتباعده خلفه، ويكون هذا سببًا في ظهور ما يسمى ترددًا ظاهريًا.

### استخدام الصور والأشكال:

اطلب إلى الطلبة قراءة الشكل (27)، والتمييز بين الشكلين (أ، ب)؛ لملاحظة التغير في المسافة بين كل موجتين على جهتي المصدر المتحرك (السيارة)، ويين 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.

**أفكر:** في تأثير دوبلر يحدث تغير ظاهري في تردد الموجة عند وصولها إلى المراقب نتيجة حركة المصدر أو المراقب. كيف لهذا أن يحدث دون أن يتغير تردد المصدر؟



أعدّ فلماً قصيرًا

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يوضح الاستقطاب، وأحرص على أن يشتمل الفيلم على مفهوم كل من: الاستقطاب الأفقي، والاستقطاب الرأسي، وعلى صور متحركة لأمثلة توضيحية، ثم أشاركه معلمي وزملائي في الصف.

لنتساءل: ما الذي سيحدث لو كانت السيارة تُصدر صوت المنبه وهي متحركة بسرعة نحو السامع؟ إن منبه السيارة لم يتغير وسيبقى يُصدر الصوت بالتردد نفسه والطول الموجي نفسه، وكذلك سرعة الصوت في الهواء لن تتغير؛ لأنها تعتمد على خصائص الهواء. لكن بسبب حركة السيارة فإن موجات الصوت في الجهة الأمامية سوف تتقارب من بعضها، أي أن الطول الموجي للموجات التي بين السيارة والسامع سوف يقصر، كما في الشكل (27/أ). وستصل مزيد من الموجات إلى أذن السامع في الثانية الواحدة، وهذا يدركه السامع على صورة زيادة في درجة الصوت، أي أن التردد الذي يصل إلى أذن السامع يكون أكبر من تردد مصدر الصوت (المنبه).

ويحدث عكس ذلك عندما تُصدر سيارة صوت منبه وهي تتحرك مبتعدة عن السامع، كما في الشكل (27/ب)، حيث ستصل التضامات إلى أذن السامع متباعدة عن بعضها، أي ستحدث زيادة في الطول الموجي، فيصبح التردد المسموع أقل من تردد المصدر، وهذا سوف يدركه السامع على صورة نقصان في درجة صوت المنبه. تُعرف هذه الظاهرة بتأثير دوبلر Doppler effect، وهو التغير الظاهري في تردد الموجة نتيجة وجود حركة نسبية بين مصدر الصوت والسامع. وتأثير دوبلر يحدث في الموجات الأخرى؛ الميكانيكية والكهرمغناطيسية.



الشكل (27): موجات الصوت الصادرة عن منبه سيارة متحركة بسرعة.



## ◀ المناقشة:

- ابحث في الإنترنت عن تطبيقات أخرى على ظاهرة تأثير دوبلر، وقدمها للطلبة في أثناء عرض تلك الموجودة في كتاب الطالب، ثم نظم نقاشاً بين الطلبة حول كل من هذه التطبيقات؛ بحيث تطرح أفكاراً حول فوائد كل تطبيق أو آثاره الجانبية إن وجدت.
- كلف الطلبة بالبحث عن تطبيقات أخرى، وتنظيمها حسب المجالات المختلفة، مثل: الطب، أو الزراعة، أو حماية الغابات، وغير ذلك.



الشكل (28): خفاش يطارِدُ فريسةً.



أعدُّ فلمًا قصيرًا

باستخدام برنامج صانع الأفلام (movie maker) يبيِّن تأثير دوبلر، وأحرص على أن يشتمل الفلم على توضيح التغير الذي يحدث لدرجة الصوت في حال كان مصدر الصوت يتحرك ابتعاداً عن السامع أو اقتراباً منه، وكذلك في حال كان مصدر الصوت ساكناً والمراقب (السامع) يتحرك ابتعاداً أو اقتراباً من مصدر الصوت، ويشتمل الفلم على صور متحركة لأمثلة توضيحية، ثم أشاركه معلمي وزملائي في الصف.

## معلومة إضافية

### رصد الأحوال الجوية

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 الأشعة المرسله والمنعكسة؛ لتحديد اتجاه حركة الغيوم والأعاصير وقياس سرعتها، ثم رسم صور خاصة بالنشرات الجوية.

## تطبيقات على تأثير دوبلر Doppler Effect Applications

- الخفاش: يعتمد الخفاش على الموجات فوق الصوتية في إيجاد طريقه أو تعقب فريسته؛ فهو يرسل موجات فوق صوتية تصل إلى جسم الفريسة ثم ترتد عنها، فيحدد الخفاش موقع الفريسة، ثم يحدد سرعتها من فرق التردد بين الموجتين المرسله والمنعكسة، كما يوضح الشكل (28).
- الرادار: على غرار الطريقة التي وهبها الله تعالى للخفاش، ابتكر الإنسان تقنية الرادار، الذي يرسل موجات كهرومغناطيسية قصيرة (ميكروية) ثم تنعكس عن جسم الهدف الذي قد يكون طائرة في الجو أو سيارة على الطريق، وبمعرفة الفرق بين تردد الموجات المرسله، وتردد الموجات المرتدة عن الهدف يجري حساب سرعة الهدف المتحرك.
- التصوير فوق الصوتي: حيث تُستخدم موجات فوق صوتية في تصوير أماكن يصعب الوصول إليها مثل قيعان البحار، وكذلك في الطب لقياس سرعة الدم في الأوعية الدموية داخل جسم الإنسان.
- دراسة تطور الكون: لاحظ علماء الفلك أن كثيراً من المجرات يميل طيفها الضوئي القادم إلى الأرض نحو اللون الأحمر؛ ما يعني أن تردد الضوء الذي يصل منها إلى الأرض أقل من التردد الذي ترسله، ولن يحدث هذا إلا عندما يكون مصدر الضوء متحركاً بسرعة كبيرة مبتعداً عن الأرض، حسب تأثير دوبلر. وبذلك؛ افترض العلماء أن مجرات الكون ما زالت تتحرك مبتعدة عن بعضها منذ بدء الكون، وتعرف هذه الفرضية بتمدد الكون.

## إضاءة للمعلم

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؛ اعتماداً على التغير في التردد، ثم تجري معالجة البيانات؛ لإنتاج الصورة المطلوبة لهذا الجسم.

## 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 المتجهي للإزاحات الناتجة عن التقاء الموجات عند النقطة نفسها. أما استقطاب الموجات فهو عملية انتقاء موجة مستعرضة تحدث اهتزازاً في جزيئات الوسط في بعد واحد فقط، من بين حزمة موجات يكون الاهتزاز فيها باتجاهات عدة، 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 ثابتاً.

4 الاستقطاب فقط.

5 أسمع صوت العازف (B) الذي يقرع الطبل أولاً؛ لأن الموجات الصادرة عنه طويلة، ويحدث لها حيود عن حواف المباني عند تقاطع الشارعين، فتغير اتجاهها وتصلني، بينما الموجات القصيرة لا تحيد بشكل كبير.

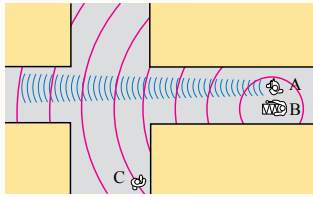
6 معظم الضوء المنعكس عن سطح الأرض والمسطحات المائية يكون مستقطباً في الاتجاه الأفقي والجزء الأقل منه يكون غير مستقطب. النظارات الشمسية التي تستقطب الضوء رأسياً تسمح فقط للضوء المستقطب عمودياً بالمرور من خلالها ليصل إلى أعيننا وبذلك نرى الأشياء؛ بينما تمنع وصول الضوء الساطع المستقطب أفقياً إلى أعيننا 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:

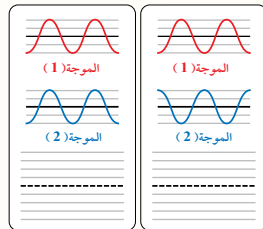
## مراجعة الدرس

1. الفكرة الرئيسية: أذكر خصائص الموجات التي ترتبط بكثير من الظواهر الطبيعية.
2. أوضح المقصود بكل من: تراكب الموجات واستقطابها.
3. أقرن: بين عمليتي انعكاس الموجات المستعرضة التي تنتشر على سطح الماء، وانكسارها.
4. أي من العمليات الآتية تحدث في الموجات المستعرضة ولا تحدث في الموجات الطولية: التداخل، الحيود، الاستقطاب؟
5. أفسر: بينما كنت أفق في الموقع (C) بالقرب من تقاطع شارعين، كما في الشكل المجاور، سمعت صوت فرقة موسيقية، العازف (A) يعزف القربة التي تصدر صوتاً حاداً طول الموجي قصير (اللون الأزرق)، والعازف (B) يقرع الطبل الذي يصدر صوتاً غليظاً طول الموجي كبير (اللون الأحمر). أي الصوتين أسمع؟ ولماذا؟



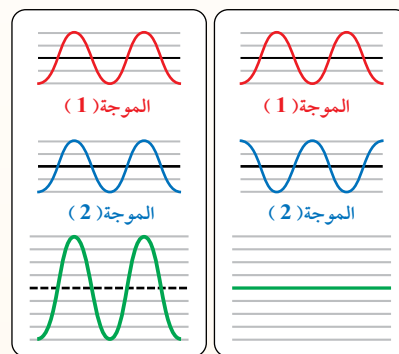
6. أبين أهمية استخدام الساعات للنظارات الشمسية التي تعمل على استقطاب الضوء بشكل رأسي؛ خاصة عندما يقود سيارته في النهار، ويتعرض إلى وهج كبير ناتج عن انعكاس ضوء الشمس عن السطوح الأفقية.

7. تفكير ناقذ: وضع العلماء نظريات عدة تصف تطور الكون، منها نظرية الانفجار العظيم التي تفترض أن المجرات ما زالت تتحرك متباعدة عن بعضها بسرعة كبيرة. معتمداً على معرفتي بمكونات الطيف المرئي وتردداتها، ومعرفتي بتأثير دوبلر في الحركة الموجية. أصف ما يحدث للضوء القادم إلى الأرض من مجرة تتحرك مبتعدة عن الأرض.



الحالة (أ) الحالة (ب)

8. أكمل الشكل المجاور برسم الموجة الناتجة عن تراكب الموجتين (1,2) في كل من الحالتين (أ، ب)، ثم أكتب تحت كل حالة إن كان التراكب بناءً أو هداماً.



الحالة (أ) الحالة (ب)

# الإثراء والتوسع

## تطبيقات تأثير دوبلر في الطب

### الهدف:

- تعرّف أهمية استخدام الموجات في الطب؛ للتقليل من الجراحة.
- استقصاء عملية قياس سرعة الدم في الأوعية الدموية.

### الإرشادات والإجراءات:

- وجه الطلبة إلى دراسة فقرة (التوسع والإثراء)، ثم اطرح عليهم أسئلة تتطلب إجاباتها معرفة بعض خصائص الموجات فوق الصوتية، واستخداماتها.
- ناقش الطلبة في العوامل التي تحدد سرعة تدفق الدم في كل من: الشرايين والأوردة.
- وجه الطلبة إلى دراسة الشكل، ثم كلف بعضهم بتوضيح الآلية التي تقاس بها سرعة الدم في الأوعية؛ باستخدام تأثير دوبلر.
- اسأل الطلبة عن أهمية معرفة الطبيب بمعادلة برنولي في تحديد وجود مشكلة ما في الأوعية الدموية.
- ملحوظة: تتفاوت قدرات الطلبة في هذا الموضوع؛ لذا فهم غير مطالبين به، بأي شكل من أشكال التقويم.

### مهمة للطلاب:

- وزّع الطلبة إلى مجموعات، ثم اطلب إليهم البحث في شبكة الإنترنت عن إجابات الأسئلة.

## الإثراء والتوسع

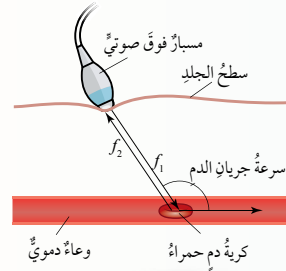
## تطبيقات تأثير دوبلر في الطب

يمتاز الطب الحديث عن الماضي بقلّة اعتماده على العمليات الجراحية؛ فكثير من الحالات المرضية الصعبة أصبحت تعالج باستخدام تقنيات حديثة، ويُعد التصوير الصوتي واحداً من التقنيات غير الجراحية التي تُستخدم في الطب الحديث، وفيه تُستخدم الموجات فوق الصوتية لتصوير ما في داخل الجسم. والموجات فوق الصوتية هي موجات صوتية يزيد ترددها على الحد الأعلى لحاسة السمع عند الإنسان (20 kHz)، ولها قدرة على اختراق أنسجة الجسم اللينة (الجلد والعضلات والدهون).

من بين الاستخدامات الطبية الكثيرة للموجات فوق الصوتية تقنية قياس سرعة الدم، بهدف تتبع الدورة الدموية داخل أنسجة الجسم المختلفة، للبحث عن الانسداد والتضييق في الأوعية الدموية. حيث يتدفق الدم في الأوردة بسرعة متوسطة ثابتة تقريباً، بينما تتأثر سرعته في الشرايين بضربات القلب، وتكون هذه السرعات بالنسبة إلى الإنسان السليم معلومة لدى الأطباء، وعندما يحدث تغيير ملحوظ في سرعة الدم، فإن هذا يعني وجود تضييق أو انسداد جزئي في الوريد أو الشريان.

يُبين الشكل المجاور طريقة استخدام الموجات فوق الصوتية لقياس سرعة الدم، حيث يُستخدم مسبار خاص لإرسال موجات فوق صوتية ترددها معلوم ( $f_1$ )، ثم يلتقط الموجة فوق الصوتية المنعكسة بتردد مختلف ( $f_2$ )، علماً أن هذه الموجة تنعكس عن كريات الدم الحمراء داخل الوعاء الدموي.

وسبب تغير التردد هو تأثير دوبلر نتيجة الحركة النسبية بين كرية الدم والمسبار. ويعمل جهاز حاسوب خاص بحساب سرعة الدم بالاعتماد على معرفة الفرق وتحديد بين ترددي الموجتين، وسرعة الموجات فوق الصوتية داخل أنسجة الجسم اللينة التي تساوي (1500 m/s). ثم يرى الطبيب إن كانت سرعة تدفق الدم في الوعاء الدموي اعتيادية أم لا.



بحث في كتب الفيزياء، أو في شبكة الإنترنت عن إجابات الأسئلة الآتية:

- أي الحيوانات تسمع موجات فوق صوتية؟ وأيها تسمع موجات تحت سمعية؟
- هل يمكن استخدام الموجات فوق الصوتية لقياس سرعة جريان الدم في الأوعية الدموية داخل الدماغ؟ علّل إجابتك.
- عند استخدام المسبار فوق الصوتي لقياس سرعة الدم في الأوعية الدموية، ولكي تكون النتائج صحيحة، فإنه يجب أن يبقى المسبار ملاصقاً لجلد الإنسان ولا يبتعد عنه. ما سبب ذلك؟
- احسب الطول الموجي لموجات فوق صوتية ترددها (24 MHz)، عندما تنتقل في الهواء، ثم احسب طولها الموجي عندما تنتقل داخل أنسجة الجسم اللينة.

125

### الإجابات:

- بعض الحيوانات التي تتميز بسمع 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 جزءاً منها، إضافة إلى حدوث انعكاسات بين الأنسجة المختلفة.
- يجب أن يكون المسبار ملاصقاً للجلد؛ لأنه لو ابتعد لانتقلت الموجات خلال الهواء، واختلفت سرعتها؛ ما يعطي نتائج غير صحيحة.
- الطول الموجي في الهواء:  $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340}{24 \times 10^6} = 1.4 \times 10^{-5} \text{ m}$
- الطول الموجي داخل أنسجة الجسم:  $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{24 \times 10^6} = 6.25 \times 10^{-5} \text{ m}$
- اطلب إلى كل مجموعة عرض نتائجها أمام المجموعات الأخرى.
- نظم نقاشاً بين أفراد المجموعات؛ للتوصل إلى آراء موحدة عن الموضوع.

1. ج

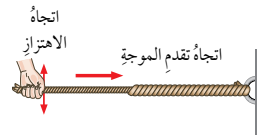
2. د

3. د

4. أ

5. ب

2 يحدث لها انكسار مع المحافظة على الاتجاه، ويكون الانكسار على هيئة تغير في الطول الموجي والسرعة والسعة، مع المحافظة على ترددها ثابتاً. لأن الحبلين المختلفين يمثلان وسطين مختلفين في خصائصهما



1. أضغ دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

1. المقصود بالتخلخل في الحركة الموجية، هو منطقة:
  - أ . منخفضة الضغط تنشأ في الوسط عند مرور موجات مستعرضة خلاله.
  - ب . مرتفعة الضغط تنشأ في الوسط عند مرور موجات مستعرضة خلاله.
  - ج . منخفضة الضغط تنشأ في الوسط عند مرور موجات طولية خلاله.
  - د . مرتفعة الضغط تنشأ في الوسط عند مرور موجات طولية خلاله.
2. حركة جزيء الهواء عند مرور الصوت خلاله حركة:
  - أ . اهتزازية باتجاه يتعامد مع اتجاه انتشار الموجة.
  - ب . دائرية في مستوى اتجاه انتشار الموجة.
  - ج . انتقالية ينتقل فيها باتجاه انتشار الموجة.
  - د . اهتزازية باتجاه يوازي اتجاه انتشار الموجة.
3. متى تزداد سرعة الصوت في الهواء؟
  - أ . بزيادة سعة الموجة الصوتية.
  - ب . بزيادة طاقة مصدر الصوت.
  - ج . بانخفاض درجة حرارة الهواء.
  - د . بارتفاع درجة حرارة الهواء.
4. تنتقل موجتان مستعرضتان في حبل وتلتقيان عند نقطة في لحظة ما، فإن الظاهرة التي تحدث هي:
  - أ . تراكب الموجتين معاً، وحصول إزاحة واحدة.
  - ب . تلاش للموجتين، وانعدام الإزاحة.
  - ج . انعكاس الموجة الأكبر سعة عن الموجة الأصغر سعة.
  - د . انعكاس الموجة الأصغر سعة عن الموجة الأكبر سعة.
5. التردد الظاهري لصوت منبه سيارة إسعاف متحركة بسرعة إلى الأمام، يكون كما يأتي:
  - أ . أمامها أصغر من تردد المصدر، وخلفها أكبر من تردد المصدر.
  - ب . أمامها أكبر من تردد المصدر، وخلفها أصغر من تردد المصدر.
  - ج . مساوياً لتردد المصدر أمام السيارة وخلفها.
  - د . أكبر من تردد المصدر أمام السيارة وخلفها.

2. تفكير ناقذ: عند توصيل حبلين مختلفين في مساحة المقطع والمتانة، كما يبين الشكل المجاور، ثم إرسال نبضة في الحبل الرفيع. أبيض ما يحدث لها عندما تصل إلى نقطة التقاء الحبلين، مفسراً إجابتك.



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 ثابتاً.
- ج. الموجة الأولى تحت حمراء، والموجة الثانية ميكروية (ميكرويف).

4 أ. ظاهرة التداخل.

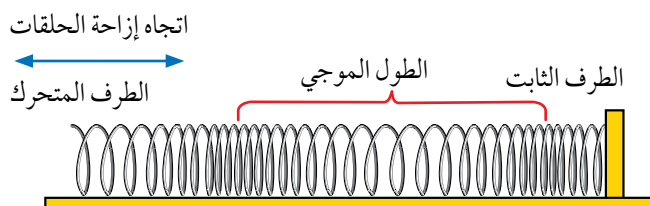
- ب. الخطوط المضيئة تمثل تداخلاً بناءً ناتجاً عن التقاء قمة مع قمة، أو قاع مع قاع.
- ج. الخطوط المظلمة تمثل تداخلاً هداماً ناتجاً عن التقاء قمة مع قاع.

- 5 أ. تسمع الفتاة في الموقع (A) درجة صوت حادة ناتجة عن تردد ظاهري أكبر من تردد المصدر؛ بسبب تأثير دوبلر لمصدر صوت مقرب، 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 أ. الموجات فوق الصوتية: تصوير الأعضاء الداخلية لجسم الإنسان.

- ب. الموجات الكهرومغناطيسية: تصوير محتويات الحقائب دون فتحها.

7 أ. البيانات على الشكل:



اتجاه انتشار الموجة و اتجاه نقل الطاقة يكون أفقياً لجهة اليمين أو جهة اليسار.

3. أ. أحسب: موجتان كهرومغناطيسيتان تنتقلان معاً في الهواء؛ الطول الموجي للأولى ( $\lambda_1 = 8.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ )، والطول الموجي للثانية ( $\lambda_2 = 2.4 \times 10^{-2} \text{ m}$ ). أجب عما يأتي:

- أ. أحسب تردد كل موجة، علماً أن سرعتهما في الهواء ( $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ ).
- ب. ما الذي يحدث لكل من: الطول الموجي والتردد عند انتقال الموجتين في الماء؟ علماً أن سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الماء أقل منها في الهواء.
- ج. أحدد موقع كل منهما في الطيف الكهرومغناطيسي.

4. وُضع حاجز معتم فيه شقان رفيعان أمام مصدر ضوئي، ثم وُضعت شاشة بعد الحاجز، فظهرت على الشاشة خطوط مضيئة، كما في الشكل. أجب عما يأتي:

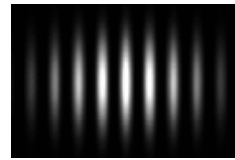
- أ. ما اسم هذه الظاهرة؟
- ب. ما الذي تمثله الخطوط المضيئة؟
- ج. ما الذي تمثله الخطوط المظلمة؟

5. تتحرك سيارة إسعاف بسرعة نحو اليمين وهي تصدر صوت منبه، متجهة نحو فتاة تقف في الموقع (A)، وتتجاوز عن شاب يسير في الموقع (B)، كما في الشكل.

أصف درجة الصوت الذي يسمعه كل من الفتاة والشاب وسائق سيارة الإسعاف. أفسر إجابتي، ذكراً الخصيصة الموجية التي اعتمدت عليها في إجابتي.

6. أذكر استخداماً تكنولوجياً واحداً يعتمد على تأثير دوبلر لكل من: الموجات فوق الصوتية والموجات الكهرومغناطيسية.

7. أعلّن: الشكل المجاور يمثل موجات طولية تنتقل في نابض. أبين على الرسم كلاً من: اتجاه انتشار الموجات، اتجاه إزاحة حلقات النابض، الطول الموجي، اتجاه انتقال الطاقة.





ملحق إجابات

كتاب الأنشطة والتجارب العملية

## العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة المركزية.

البيانات والملاحظات:

عينة بيانات:

$$m_{\text{ball}} = 20 \text{ g} = 0.02 \text{ kg}$$

$$r = 30 \text{ cm} = 0.30 \text{ m}$$

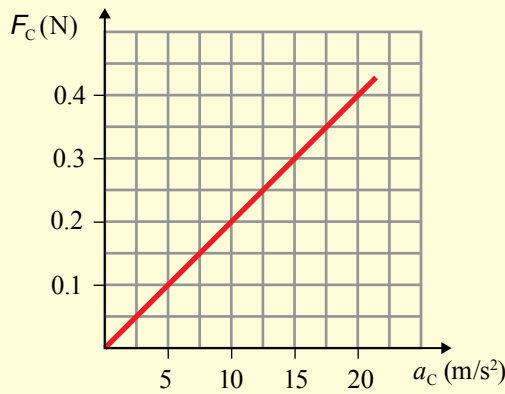
$$m_{\text{hanger}} = 10 \text{ g} = 0.01 \text{ kg}$$

$$n = 10$$

| الجدول (1)   |                                |                     |                               |   |
|--------------|--------------------------------|---------------------|-------------------------------|---|
| رقم المحاولة | مقدار القوة المركزية $F_c$ (N) | الزمن الكلي $t$ (s) | سرعة الكرة المماسية $v$ (m/s) | التسارع المركزي $a_c$ (m/s <sup>2</sup> ) |
| 1            | 0.2                            | 11.09               | 1.69                          | 9.5                                       |
| 2            | 0.3                            | 8.98                | 2.09                          | 14.56                                     |
| 3            | 0.4                            | 7.54                | 2.49                          | 20.67                                     |

$$n = 10$$

| الجدول (2)   |                                |                     |                   |                               |   |
|--------------|--------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------------|---|
| رقم المحاولة | مقدار القوة المركزية $F_c$ (N) | الزمن الكلي $t$ (s) | نصف القطر $r$ (m) | سرعة الكرة المماسية $v$ (m/s) | التسارع المركزي $a_c$ (m/s <sup>2</sup> ) |
| 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                                     |



تطبيق هذه العلاقة على الجدولين 1، و2، أجد أن القيم التي أحصل عليها بالحسابات النظرية تتطابق تقريباً مع القيم التجريبية الموجودة فيها. وإذا كان هنالك أي اختلافات فيعود سبب ذلك إلى وجود أخطاء في القياسات وعدم دقتها.

مصادر الخطأ المحتملة في التجربة: قياس زمن دوران الكرة، عدم تحريك الكرة في مسار دائري أفقي تماماً، ملاصقة مشبك الورق أسفل الأنبوب، خطأ في إجراء الحسابات، وخطأ ناتج عن التقريب. القوة المركزية المؤثرة في الكرة أقل قليلاً من وزن حامل الأثقال والأثقال التي عليه؛ لأن الخيط الممتد بين الكرة والطرف العلوي للأنبوب البلاستيكي لا يكون أفقيًا تماماً، ....

## التحليل والاستنتاج:

- 1 مقدار قوة الشد في الخيط يمثل مقدار القوة المركزية المؤثرة في الكرة.
- 2 أنظر الجدول (1)، والجدول (2).
- 3 أنظر الجدول (1)، والجدول (2).
- 4 أستنتج من بيانات الجدول (1)، أنه بزيادة مقدار السرعة المماسية يزداد مقدار القوة المركزية اللازم تأثيرها في الكرة؛ للمحافظة على ثبات نصف قطر المسار الدائري دون تغيير.
- 5 أستنتج من بيانات الجدول (2)، أنه عند زيادة نصف قطر المسار الدائري يزداد مقدار السرعة المماسية، بحيث يبقى مقدار القوة المركزية المؤثر في الكرة ثابتاً. العلاقة خطية طردية، حيث تقع النقاط على خط مستقيم تقريباً، وأستنتج أن مقدار القوة المركزية المؤثرة في الكرة يتناسب طردياً مع مقدار تسارعها المركزي.
- 6 ميل المنحنى البياني يساوي مقداراً ثابتاً، وتحليل وحدات قياس الميل أجد أنها تساوي (kg)، وبمقارنتها بكتلة كرة المطاط أستنتج أن ميل منحنى (القوة المركزية - التسارع المركزي) يساوي كتلة كرة المطاط.
- 7 نعم، لقد دعمت النتائج التجريبية التي حصلت عليها هذه العلاقة النظرية بين القوة المركزية، والتسارع المركزي؛ فعند



حركته بخط مستقيم، فيصطدم جسمه بالجدار الداخلي لباب السيارة فيؤثر فيه بقوة، وبحسب القانون الثالث لنيوتن يؤثر الباب في الراكب بقوة مساوية لقوة تأثير الراكب به في المقدار، ولكن معاكسة لها في الاتجاه.

4 أ. تكون في اتجاه الرمز (E)؛ حيث تؤثر القوة المركزية دائماً نحو مركز المسار الدائري في الحركة الدائرية المنتظمة.

ب. تتحرك الكرة في اتجاه المماس للمسار الدائري عند نقطة انقطاع الخيط؛ لذا تتحرك نحو الرمز (A).

جـ.

$$a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{(10)^2}{0.8} = 125 \text{ m/s}^2$$

د.

$$F_c = ma_c = 0.5 \times 125 = 62.5 \text{ N}$$

هـ. التسارع هنا في الحركة الدائرية المنتظمة يكون ناتجاً عن تغير اتجاه السرعة المماسية فقط، في حين يبقى مقدارها ثابتاً؛ فالتسارع كمية متجهة، ويكتسب الجسم تسارعاً عند تغير مقدار السرعة أو اتجاهها أو كليهما.

5 أ. يتم حساب معامل الاحتكاك السكوني عندما تكون قوة الاحتكاك السكوني عظمى؛ أي عندما يكون الجسم على وشك الحركة، وهي تساوي أكبر قيمة لقوة الاحتكاك في المنحنى.

$$\mu_s = \frac{f_{s,\max}}{F_N} = \frac{120}{240} = 0.50$$

ب.

$$\mu_k = \frac{f_k}{F_N} = \frac{100}{240} = 0.42$$

جـ.

$$\Sigma F = F_{\text{applied}} - f_k = 160 - 0.42 \times 240 = 100.8 \text{ N}$$

$$a = \frac{\Sigma F}{m} = \frac{100.8}{24} = 4.2 \text{ m/s}^2$$

1 أ.

$$r = 6.85 \times 10^5 + 6.38 \times 10^6 = 7.065 \times 10^6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} F_{EM} &= \frac{Gm_E m_M}{r^2} \\ &= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24} \times 1123}{(7.065 \times 10^6)^2} \\ &= \frac{4.48 \times 10^{17}}{4.99 \times 10^{13}} \\ &= 8.98 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

ب.

$$g = \frac{Gm_E}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 5.98 \times 10^{24}}{(7.065 \times 10^6)^2} = 7.996 \text{ m/s}^2$$

جـ.

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{mv^2}{r} \\ v^2 &= \frac{rFc}{m} = \frac{7.065 \times 10^6 \times 8.98 \times 10^3}{1123} = 5.65 \times 10^7 \\ v &= 7.52 \times 10^3 \text{ m/s} \end{aligned}$$

2

$$r_1 + r_2 = 3.84 \times 10^8$$

$$r_2 = 3.84 \times 10^8 - r_1$$

$$g_E = g_M$$

$$\frac{Gm_E}{r_1^2} = \frac{Gm_M}{r_2^2}$$

$$\frac{5.98 \times 10^{24}}{r_1^2} = \frac{7.35 \times 10^{22}}{(3.84 \times 10^8 - r_1)^2}$$

$$\frac{2.45 \times 10^{12}}{r_1} = \frac{2.71 \times 10^{11}}{(3.84 \times 10^8 - r_1)}$$

$$r_1 = 3.457 \times 10^8 \text{ m}$$

3 أ. تؤثر القوة المحصلة (القوة المركزية) نحو مركز المسار الدائري في أثناء الحركة الدائرية المنتظمة.

ب. يرجع سبب ذلك إلى القصور الذاتي لأجسامنا، فحسب

القانون الأول لنيوتن يميل الجسم إلى المحافظة على حركته

في خط مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه قوة محصلة، فعند

انعطاف سيارة إلى اليسار - مثلاً - يحافظ جسم الراكب على

## قياس كل من سرعة تدفق المائع عملياً ومعدل تدفقه

الهدف:

استخدام مقياس فتوري لقياس سرعة المائع ومعدل تدفقه عملياً.

زمن التنفيذ: 35 دقيقة

### إرشادات السلامة:

الحذر من سكب السوائل على الأرضية؛ حتى لا تصبح زلقة.

### المهارات العلمية:

القياس، المقارنة، التجريب، التحليل، الاستنتاج.

### الإجراءات والتوجيهات:

- وجّه الطلبة إلى الاستعانة بدليل التجارب والأنشطة، وضّح للطلبة طريقة معايرة الورنية قبل استخدامها الورنية وطريقة استخدامها بطريقة صحيحة أثناء قياس قطر الأنبوب، ونبّه 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 ثقب 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  $\Delta P$  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 متساوياً.

### 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 (محصلة القوى تساوي صفرًا)؛ عندئذٍ يصل البالون إلى سرعته الحدية.

ب. باستمرار ارتفاع البالون؛ فإن كثافة الهواء المحيطة به تقل، ومن ثم 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 البالونين 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 حول الطفل، وفرق الضغط هذا يؤثر بقوة في الطفل تدفعه نحو القطار.

### السؤال الثالث:

اعتقاد خديجة خاطيء؛ 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: قياس سرعة الصوت في الهواء

الهدف:

- قياس سرعة الصوت عملياً؛ بالاعتماد على تحديد المدة الزمنية التي تفصل بين لحظة وصول الصوت إلى جهازي استقبال.

زمن التنفيذ: 35 دقيقة

**إرشادات السلامة:** حذّر 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:**

- وضح للطلبة الطريقة المتبعة في ضبط جهازي مولد الذبذبات، ورأس الموجات.
- وضح للطلبة أهمية إبعاد كل من الميكروفونين عن الجدار والأجسام الأخرى؛ خوفاً من التقاط موجات منعكسة.
- وضح للطلبة أهمية تكرار المحاولة 3 مرّات.
- وضح للطلبة لماذا لا يمكن استخدام الساعة لقياس الزمن في هذه التجربة.

**النتائج المتوقعة:**

- قد تختلف نتائج الطلبة للأسباب الآتية:
- عدم اختيار التدرّج المناسب على جهاز رأس الموجات.
- عدم وضع الساعة والميكروفونين على استقامة واحدة.
- وجود حواجز تعكس الصوت وتؤثر في الميكروفونين كليهما.

**التحليل والاستنتاج:**

1 الميكروفون يحول الطاقة الصوتية إلى طاقة كهربائية. والساعة تحول

الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية.

2 سوف يلتقط الصوت القادم من الساعة وصدى الصوت المنعكس

عن الحائط، ويحدث تداخل بينهما.

3 الفاصل الزمني:  $t = \frac{S}{v} = \frac{0.2}{340} = 5.88 \times 10^{-4} \text{ s}$



## إجابات أسئلة الاختبارات الدولية في كتاب الأنشطة والتجارب العملية.

السؤال الأول:

د - موجات الضوء الأحمر أقصر طولاً من موجات (الراديو)؛ لذلك يكون حيودها قليلاً جداً، فلا تنحرف للأسفل.

السؤال الثاني:

أ - زادت شدة موجات الصوت، فازداد ضغط الهواء عند الفتحة.

أولاً: المراجع العربية

1. زيد الهويدي ، أساليب تدريس العلوم في المرحلة الأساسية، ط 2 ، دار الكتاب الجامعي، العين، دولة الإمارات العربية المتحدة، 0102 م.
2. عايش زيتون ، أساليب تدريس العلوم، ط7، دار الشروق للنشر والتوزيع، عمان، 3102 م.
3. عايش زيتون ،النظرية البنائية واستراتيجيات تدريس العلوم، ط1، دار الشروق للنشر والتوزيع، عمان، 9102 م.
4. محمد محمود الحيلة، طرائق التدريس واستراتيجياته، ط 4، العين، دار الكتاب، الامارات، 2102 م.
5. مهيدات، عبد الحكيم، والمحاسنة، إبراهيم، التقويم الواقعي، ط1، دار جرير للنشر والتوزيع، عمان، الأردن، 0102 م.

ثانياً: 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.