المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم

المركز الوطني لتطوير المناهج
National Center
for Curriculum Development

الفيزياء

الصف التاسع - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

9

الفيزياء

الصف التاسع - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

9

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيسًا)

أ.د. محمود إسماعيل الجاغوب

د. حسين محمود الخطيب

ميمي محمد التكروري

الناشر: المركز الوطني لتطوير المناهج

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

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

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

قـرّرت وزارة التربيـة والتعليـم تدريـس هـذا الكتـاب في مـدارس المملكـة الأردنية الهاشـمية جميعهـا، بناءً عـلى قرار المجلـس الأعلى للمركـز الوطنـي لتطوير المناهج في جلسـته رقم (2022/8)، تاريـخ 2022/12/15 م، وقرار مجلس التربيـة والتعليم رقم (2022/133) تاريـخ 2022/12/28 م بـدءًا من العام الـدراسي 2022 /2023 م.

© HarperCollins Publishers Limited 2022.
- 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 - 474 - 3

المملكة الأردنية الهاشمية
رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية
(2023/5/2602)

بيانات الفهرس الأولية للكتاب:

عنوان الكتاب	الفيزياء/ كتاب الطالب الصف التاسع الفصل الدراسي الثاني
إعداد / هيئة	الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج
بيانات النشر	عمان: المركز الوطني لتطوير المناهج ، 2023
رقم التصنيف	375.001
الواصفات	**/ تطوير المناهج/ / المقررات الدراسية/ / مستويات التعليم/ / المناهج/**
الطبعة	الأولى

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

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise , without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright 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.

الطبعة الأولى (التجريبية) 1443 هـ / 2022 م
أعيدت طباعته 1444 هـ / 2023 م

قائمةُ المحتوياتِ

الموضوعُ ..... **الصفحـةُ**

المقدمةُ 5

الوَحدةُ الرابعةُ: ميكانيكا الموائعِ **7**

تجربةٌ استهلاليّةٌ: ضغطُ الماءِ وضغطُ الهواءِ 9

الدرسُ الأولُ: المائعُ الساكنُ 10

الدرسُ الثاني: قياسُ الضغطِ 18

الوَحدةُ الخامسةُ: انكسارُ الضوءِ وتطبيقاته **33**

تجربةٌ استهلاليّةٌ: انحرافُ مسارِ الحركةِ لجسمٍ 35

الدرسُ الأولُ: انكسارُ الضوءِ 36

الدرسُ الثاني: تطبيقاتٌ وظواهرُ بصريّةٌ 45

الدرسُ الثالثُ: العدساتُ الرقيقةُ 56

مسردُ المصطلحاتِ 76

قائمةُ المراجعِ 78

جدولُ الاقتراناتِ المثلّثيةِ 80

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدّمة

انطلاقًا من إيمان المملكة الأردنية الهاشمية الراسخ بأهمية تنمية قدرات الإنسان الأردني، وتسليحه بالعلم والمعرفة؛ سعى المركز الوطني لتطوير المناهج، بالتعاون مع وزارة التربية والتعليم، إلى تحديث المناهج الدراسية وتطويرها؛ لتكون معينًا للطلبة على الارتقاء بمستواهم المعرفي، ومجاراة أقرانهم في الدول المتقدمة.

يُعدّ هذا الكتاب واحدًا من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحلّ المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفقًا لأفضل الطرائق المتّبعة عالميًّا؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبيتها لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلّمين.

وقد روعِيَ في تأليفه تقديم المعلومة العلمية الدقيقة على منهجية تقوم على السلاسة في العرض، والوضوح في التعبير، إضافة إلى الربط بين الموضوعات المطروحة في المراحل الدراسية السابقة واللاحقة، واعتماد منهجية التدرّج في عرض موضوعات المادة، واستهلال وحداتها بأسئلة تُظهِر علاقة علم الفيزياء بالظواهر من حولنا؛ ما يُحفّز الطالب على الإفادة ممّا يتعلّمه في غرفة الصف في تفسير مشاهدات يومية وظواهر طبيعية قد تحدث أمامه، أو يشاهدها في التلفاز، أو يسمع عنها. وقد تضمّنت كل وحدة نشاطًا إثرائيًّا يعتمد منحى STEAM في التعليم الذي يُستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوّعة، وفي قضايا البحث.

ويتألّف الكتاب من وحدتين دراسيتين، هما: ميكانيكا الموائع وانكسار الضوء وتطبيقاته. وقد أُلحق به كتاب للأنشطة والتجارب العملية، يحتوي على التجارب والأنشطة جميعها الواردة في كتاب الطالب؛ ليساعده على تنفيذها بسهولة، بإشراف المعلّم، ومشاركة زملائه فيها، بما في ذلك رصد القراءات، وتحليلها، ثم مناقشتها، وصولًا إلى استنتاجات مبنية على أسس علمية سليمة. ويتضمّن أيضًا أسئلة تفكير؛ بهدف تعزيز فهم الطالب لموضوعات المادة، وتنمية التفكير الناقد لديه.

ونحن إذ نُقدّم هذه الطبعة من الكتاب، فإنّا نأمل أن يُسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية المتعلّم، وتنمية اتجاهات حُبّ التعلّم ومهارات التعلّم المستمرّ، إضافة إلى تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوّعة، والأخذ بملاحظات المعلّمين.

والله وليُّ التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

الوَحدةُ 4

ميكانيكا الموائعِ

Fluids Mechanics

أتأمّلُ الصورةَ

يعاني متسلّقو الجبالِ ضيقًا في التنفّسِ، عندَ وصولِهم إلى ارتفاعاتٍ عاليةٍ. ويشعرُ الغوّاصُ أيضًا بقوًى تضغطُ على جسمِه عندَ السباحةِ على أعماقٍ كبيرةٍ تحتَ سطحِ الماءِ.

هذهِ الظواهرُ وغيرُها يمكنُ تفسيرُها بدراسةِ ضغطِ المائعِ، فما العواملُ التي يعتمدُ عليها ضغطُ المائعِ؟ وكيفَ نحسبُ مقدارَهُ؟ وما الأدواتُ المُستخدَمةُ في قياسِه؟

الفكرةُ العامّةُ:

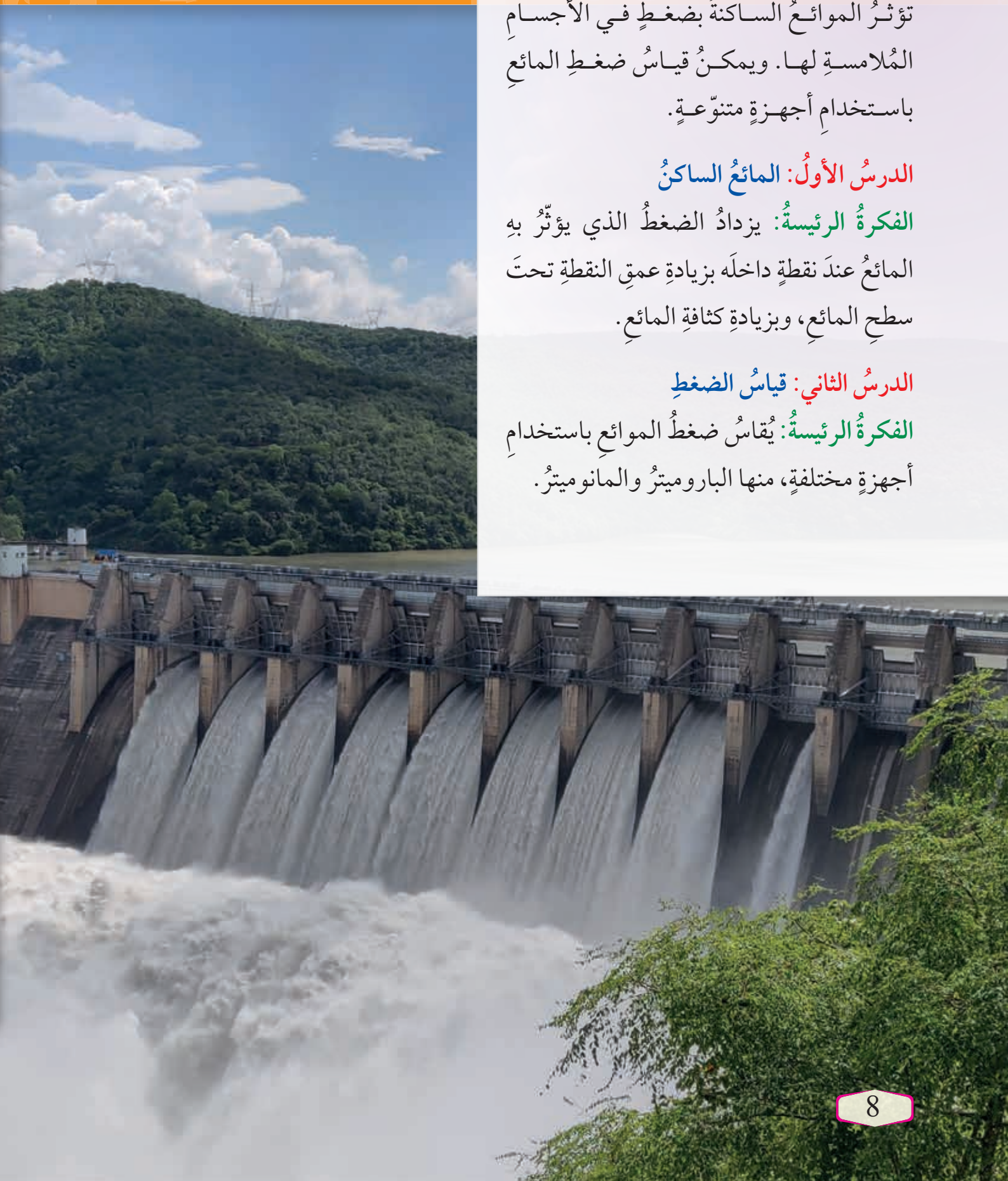
تؤثّرُ الموائعُ الساكنةُ بضغطٍ في الأجسامِ المُلامسةِ لها. ويمكنُ قياسُ ضغطِ المائعِ باستخدامِ أجهزةٍ متنوّعةٍ.

الدرسُ الأولُ: المائعُ الساكنُ

الفكرةُ الرئيسةُ: يزدادُ الضغطُ الذي يؤثّرُ بهِ المائعُ عندَ نقطةٍ داخلَه بزيادةِ عمقِ النقطةِ تحتَ سطحِ المائعِ، وبزيادةِ كثافةِ المائعِ.

الدرسُ الثاني: قياسُ الضغطِ

الفكرةُ الرئيسةُ: يُقاسُ ضغطُ الموائعِ باستخدامِ أجهزةٍ مختلفةٍ، منها البارومترُ والمانومترُ.



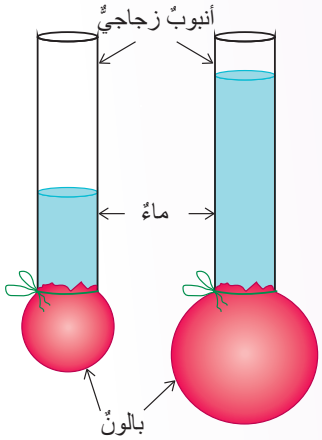
ضغطُ الماءِ وضغطُ الهواءِ

الموادُّ والأدواتُ: أنبوبُ زجاجٍ (أو بلاستيك) مفتوحُ الطرفينِ، بالونٌ، حلقةٌ مطّاطيّةٌ، ماءٌ، كأسٌ زجاجيّةٌ، قطعةُ كرتونٍ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحَذرُ عندَ التعامُلِ معَ الأنبوبِ الزجاجيِّ، إجراءُ نشاطِ ضغطِ الهواءِ فوقَ حوضِ المَغسلةِ.

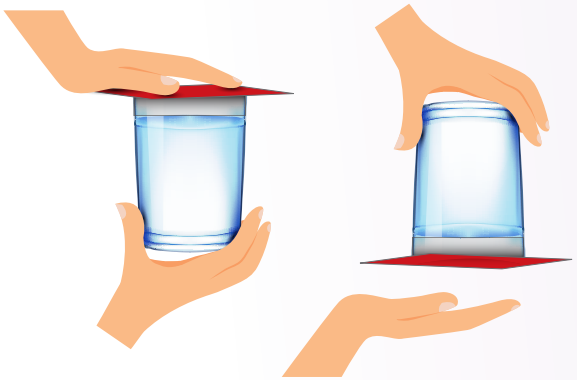
خطواتُ العملِ:

أولًا: ضغطُ الماءِ



1. أَقصُّ فوهّةَ البالونِ، وأثبّتُه جيدًا بطرفِ الأنبوبِ، وأُلُفُّ حولَه حلقةً مطّاطيّةً إذا تطلّبَ الأمرُ ذلكَ.
2. **أُجرّبُ:** أصبُّ كمّيّةً منَ الماءِ في الأنبوبِ، وأُلاحظُ انتفاخَ البالونِ.
3. **أُجرّبُ:** أصبُّ كمّيّةً إضافيّةً منَ الماءِ، وأُلاحظُ ما يحدثُ للبالونِ.

ثانيًا: ضغطُ الهواءِ



1. أملأُ الكأسَ بالماءِ حتى حافتِها العلويّةِ تقريبًا.
2. أُغطّي الكأسَ بقطعةِ الكرتونِ على أنْ أضعَ إحدى يَديَّ أسفلَ الكأسِ، والأخرى فوقَ قطعةِ الكرتونِ ثمَّ أقلبُها بسرعةٍ.
3. **أُجرّبُ:** أبعدُ يدي عن قطعةِ الكرتونِ، وأُلاحظُ ما يحدثُ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أفسّرُ:** ما سببُ انتفاخِ البالونِ عندَ صبِّ الماءِ في الأنبوبِ؟
2. **أُحلّلُ:** ماذا يحدثُ للبالونِ عندَ صبِّ المزيدِ منَ الماءِ في الأنبوبِ؟ وكيفَ أُفسّرُ ذلكَ؟
3. **أُحلّلُ وأستنتجُ:** ما القوى المؤثّرةُ في قطعةِ الكرتونِ داخلَ الكأسِ، وخارجَها؟ وأيُّها أكبرُ؟
4. **أستنتجُ:** ما الذي يجعلُ قطعةَ الكرتونِ تلتصقُ بالكأسِ؟

الفكرةُ الرئيسةُ:

يزدادُ الضغطُ الذي يؤثّرُ بهِ المائعُ عندَ نقطةٍ داخلَه بزيادةِ عمقِ النقطةِ تحتَ سطحِ المائعِ، وبزيادةِ كثافةِ المائعِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أعبّرُ بمعادلةٍ رياضيّةٍ عنِ الضغطِ الذي يؤثّرُ بهِ مائعٌ في نقطةٍ داخلَهُ.
- أستقصي العواملَ التي يعتمدُ عليها ضغطُ المائعِ عندَ نقطةٍ داخلَهُ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

المائعُ	Fluid
ضغطُ المائعِ	Fluid Pressure

الموائعُ Fluids

درستُ في صفوفٍ سابقةٍ ثلاثَ حالاتٍ للمادّةِ هيَ: الحالةُ الصُّلبةُ، والحالةُ السائلةُ، والحالةُ الغازيّةُ.

وتعلّمتُ أنَّ ترتيبَ الجسيماتِ داخلَ السوائلِ والغازاتِ، وطبيعةَ الروابطِ التي تنشأُ بينَ جسيماتِها، تُكسبُها القدرةَ على الانسيابِ (الجريانِ)، وبذلكَ يتغيّرُ شكلُها؛ فالسوائلُ والغازاتُ ليسَ لها شكلٌ محدَّدٌ، بلْ تتّخذُ شكلَ الوعاءِ الذي يحتويها. أتأمّلُ الشكلَ (1).

يُطلقُ على الموادِّ التي لها القدرةُ على الجريانِ، وتغييرِ شكلِها اسمَ **موائعَ Fluids**، وبذلكَ فإنَّ الموائعَ تشملُ السوائلَ والغازاتِ. يعتمدُ سلوكُ المائعِ وخصائصُه على حالتِهِ الحركيّةِ، وتُقسمُ الموائعُ من حيثُ حالتُها الحركيّةُ إلى قسمينِ، هما: الموائعُ الساكنةُ والموائعُ المتحرّكةُ، وستقتصرُ دراستُنا في هذهِ الوحدةِ على الموائعِ الساكنةِ.

✓ **أتحقّقُ:** لماذا تُصنَّفُ الغازاتُ والسوائلُ بأنَّها موائعُ؟

الشكلُ (1): للموائعِ القدرةُ على الانسيابِ، وتتّخذُ شكلَ الوعاءِ الذي يحتويها.

ضغطُ المائعِ الساكنِ Pressure of a Static Fluid

تتعرّضُ أجسامُنا طوالَ الوقتِ إلى ضغطٍ منَ الهواءِ المحيطِ بنا، يُعرفُ بالضغطِ الجويِّ. ونشعرُ بضغطِ الماءِ على أجسامِنا عندَما نسبحُ تحتَ سطحِ الماءِ، ويزدادُ هذا الضغطُ بزيادةِ العمقِ.

يُعرَّفُ الضغطُ Pressure بأنَّه قوةٌ عموديّةٌ تؤثّرُ في وحدةِ المساحةِ، ويُقاسُ بوحدةِ (N/m^2) التي تُعرفُ بالباسكالِ (Pa) بحسبِ النظامِ الدوليِّ للوحداتِ. ويُرمزُ إلى الضغطِ بالرمزِ (P)، ويُعبَّرُ عنهُ بالعلاقةِ الرياضيّةِ الآتيةِ:

$$P = \frac{F}{A}$$

حيثُ (F) القوةُ المؤثرةُ عموديًّا في المساحةِ (A).

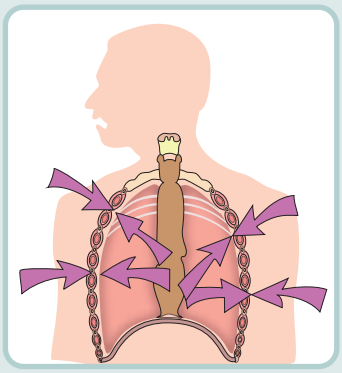
يتأثّرُ الجسمُ داخلَ المائعِ بضغطٍ؛ سببُه وزنُ المائعِ فوقَ الجسمِ. وبزيادةِ ارتفاعِ عمودِ المائعِ فوقَ الجسمِ يزدادُ وزنُ ذلكَ المائعِ، ما يؤدّي إلى زيادةِ الضغطِ المؤثّرِ في الجسمِ، وهذا يفسّرُ زيادةَ الضغطِ على جسمِ الغواصِّ بزيادةِ العمقِ تحتَ سطحِ الماءِ.

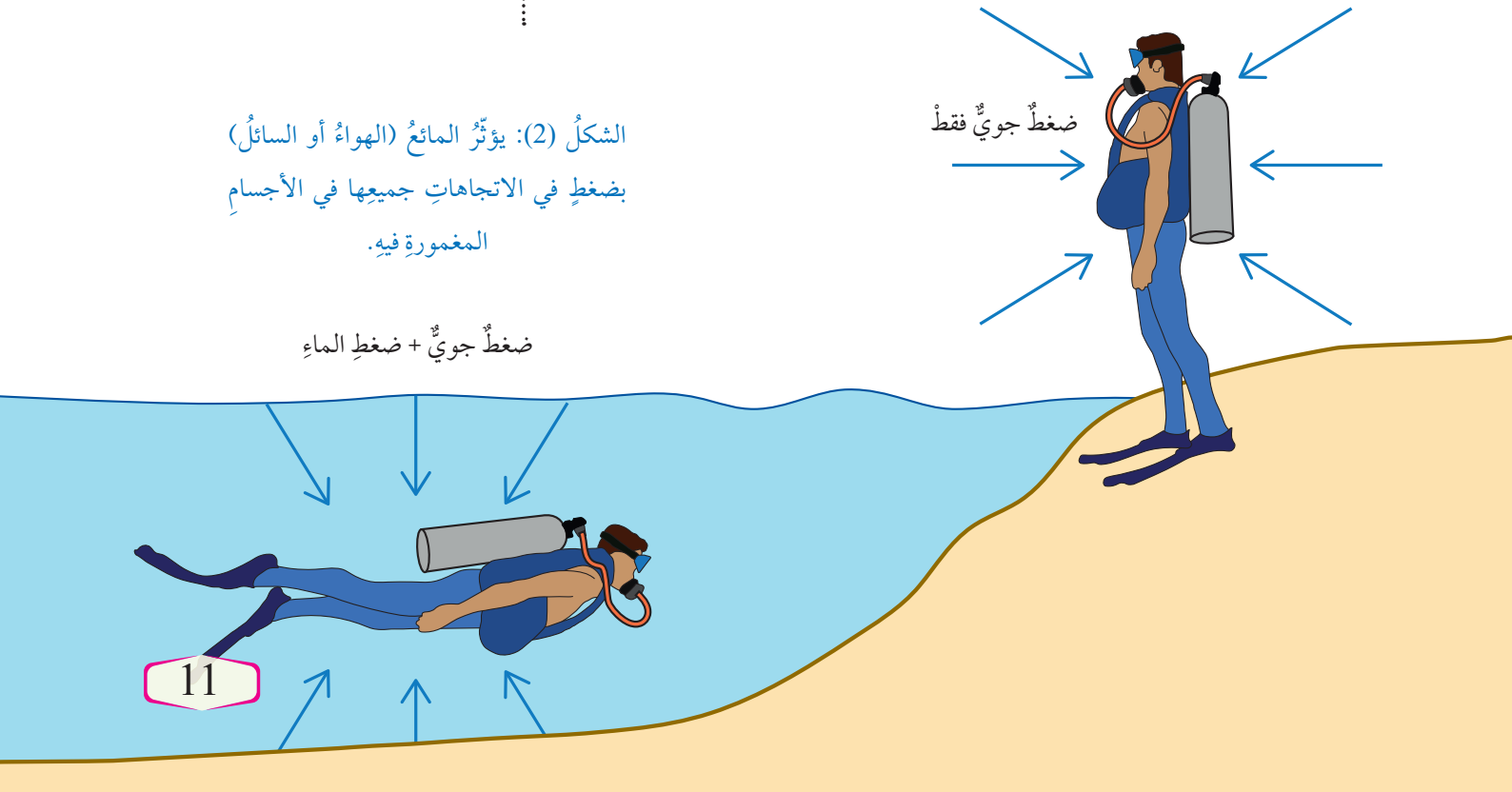
ولمّا كانتْ جسيماتُ المائعِ تتحرّكُ بحريّةٍ؛ فإنَّ المائعَ يؤثّرُ بضغطٍ في الاتجاهاتِ جميعِها في الأجسامِ التي داخلَهُ. أتأمّلُ الشكلَ (2).

أتحقّقُ: لماذا يشعرُ الغوّاصُ بزيادةِ ضغطِ الماءِ على جسمِه بزيادةِ العمقِ الذي يسبحُ عندَه تحتَ سطحِ الماءِ؟

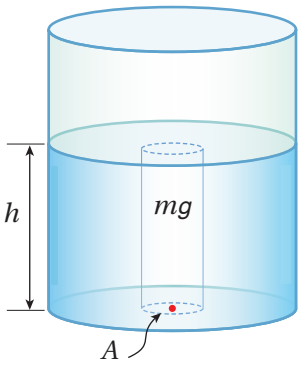
الربطُ بالعلومِ الحياتيّةِ

يؤثّرُ الضغطُ الجويُّ في أجسامِنا بقُوًى نحوَ الداخلِ، لكنَّنا لا نشعرُ بهذا الضغطِ؛ لأنَّ الضغطَ داخلَ أجسامِنا يعادلُ الضغطَ الجويَّ. فمثلًا، ضغطُ الهواءِ داخلَ الرئتينِ يولّدُ قوًى تؤثّرُ نحوَ الخارجِ تعادلُ قوى ضغطِ الهواءِ الخارجيِّ، وتُلغي تأثيرَها.





الشكلُ (2): يؤثّرُ المائعُ (الهواءُ أو السائلُ) بضغطٍ في الاتجاهاتِ جميعِها في الأجسامِ المغمورةِ فيهِ.



الشكلُ (3): الضغطُ عندَ نقطةٍ داخلَ مائعٍ ساكنٍ.

ضغطُ المائعِ عندَ نقطةٍ داخلَهُ Pressure at a Point Inside a Fluid

يبيّنُ الشكلُ (3)، نقطةً داخلَ مائعٍ ساكنٍ (ماءٍ مثلًا) على عمقِ (h) من سطحِه، إنَّ القوةَ العموديّةَ المسبِّبةَ للضغطِ عندَ هذهِ النقطةِ، هي وزنُ عمودِ الماءِ (mg) الممتدِّ من سطحِ الماءِ إلى وحدةِ المساحةِ (A) المحيطةِ بالنقطةِ. فإذا كانَ المائعُ سائلًا متجانسًا؛ فإنَّ كثافتَه (ρ) تكونُ ثابتةً، وللتوصُّلِ إلى علاقةٍ لحسابِ ضغطِ السائلِ عندَ نقطةٍ داخلَه، أتّبعُ الخطواتِ الآتيةَ:

- الكتلةُ تساوي ناتجَ ضربِ الكثافةِ في الحجمِ؛ لذا فإنَّ كتلةَ عمودِ السائلِ يُعبَّرُ عنها بالعلاقةِ الآتيةِ:

$$m = \rho V$$

- حجمُ عمودِ السائلِ يُعبَّرُ عنهُ بالمعادلةِ الآتيةِ:

$$V = Ah$$

- بتعويضِ الحجمِ في معادلةِ الكتلةِ نتوصّلُ إلى أنَّ:

$$m = \rho Ah$$

- بتعويضِ الكتلةِ، فإنَّ وزنَ عمودِ السائلِ (F_g) يساوي:

$$F_g = mg = \rho\, Ah\, g$$

- بناءً على معادلةِ تعريفِ الضغطِ، فإنَّ:

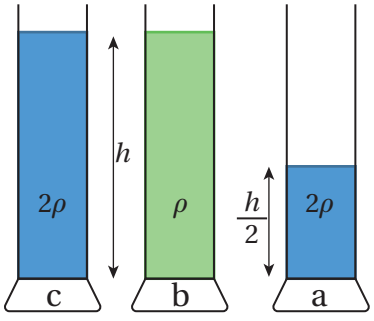
$$P = \frac{F}{A} = \frac{\rho\, Ah\, g}{A} = \rho\, hg$$

ممّا سبقَ، نتوصّلُ إلى أنَّ **ضغطَ المائعِ Fluid pressure** الساكنِ (P_{fluid}) عندَ نقطةٍ داخلَه وعلى عمقِ (h) تحتَ سطحِه يُحسبُ منَ العلاقةِ الآتيةِ:

$$P_{\text{fluid}} = \rho\, hg$$

حيثُ: (ρ) كثافةُ المائعِ، (g) تسارُعُ السقوطِ الحرِّ ومقدارُه $9.8\ \text{m/s}^2$ (تقريبًا $10\ \text{m/s}^2$).

أفكّر: يبيّنُ الشكلُ ثلاثةَ أوعيةٍ متماثلةٍ، معتمدًا على البياناتِ المُثبَتةِ على الشكلِ، أُرتّبُ ضغطَ السائلِ عند قاعدةِ كلٍّ من الأوعيةِ الثلاثةِ (a,b,c) منَ الأكبرِ ضغطًا إلى الأقلِّ.



التجربةُ 1

العواملُ التي يعتمدُ عليها ضغطُ المائعِ

الموادُّ والأدواتُ: ثلاثُ قواريرَ بلاستيكيّةٍ متماثلةٍ، مسمارٌ، لاصقٌ، مسطرةٌ، قلمٌ، وعاءٌ بلاستيكيٌّ عميقٌ، مصدرُ حرارةٍ (لتسخينِ المسمارِ).

إرشاداتُ السلامةِ: أحذرُ عندَ استخدامِ المسمارِ، مُتجنِّبًا سَكْبَ الماءِ على الأرضِ.

(بعدَ الانتهاءِ منَ التجربةِ، أستخدمُ الماءَ لريِّ المزروعاتِ)

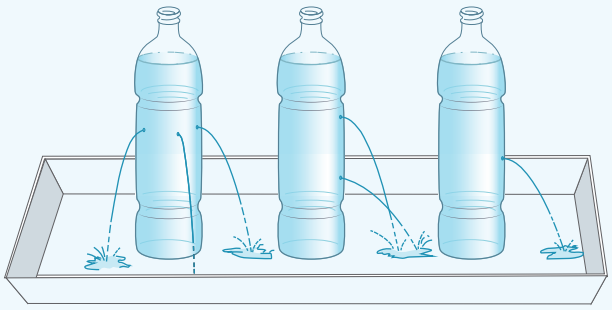
خطواتُ العملِ:

1- أُحدّدُ الارتفاعَ الذي سأثقبُ عندَهُ، وأستخدمُ المسمارَ الساخنَ في ثَقْبِ جوانبِ القواريرِ المشارِ إليها بالرموزِ: (أ، ب، جـ) كما في الشكلِ المجاورِ.

أ . ثقبٌ واحدٌ.

ب. ثقبانِ على ارتفاعينِ مختلفينِ.

جـ. ثلاثةُ ثقوبٍ عندَ المستوى الأفقيِّ نفسِه.



(أ) (ب) (جـ)

2- أُغطّي الثقوبَ بالشريطِ اللاصقِ.

3- **أُجرّبُ:** أضعُ القارورةَ (أ) في الوعاءِ وأملؤُها بالماءِ، ثمَّ أنزعُ الشريطَ اللاصقَ، وألاحظُ اندفاعَ الماءِ منَ الثقبِ مدّةً منَ الزمنِ، وأسجّلُ ملاحظاتي عن قوّةِ اندفاعِ الماءِ.

4- **أُجرّبُ:** أضعُ القارورةَ (ب) في الوعاءِ، وأكرّرُ الخطوةَ السابقةَ، وأسجّلُ ملاحظاتي عن قوّةِ اندفاعِ الماءِ منَ الثقبينِ، ثمَّ أكرّرُ التجربةَ باستخدامِ القارورةِ (جـ).

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أحلّلُ:** ماذا يحدثُ لقوّةِ اندفاعِ الماءِ منَ القارورةِ (أ) بمرورِ الزمنِ؟ وما تفسيرُ ذلكَ؟
2. **أفسّرُ** سببَ اختلافِ قوّةِ اندفاعِ الماءِ منَ الثّقبينِ في القارورةِ (ب).
3. **التفكيرُ الناقدُ:** ما العاملُ الذي ضُبطَ في التجربةِ التي استُخدِمتْ فيها القارورةُ (جـ)؟ وماذا أستنتجُ من هذهِ التجربةِ؟
4. **أتوقّعُ:** لو استخدمتُ الزيتَ بدلًا منَ الماءِ، واستخدمتُ القواريرَ نفسَها، فهلْ يندفعُ الزيتُ بالقوّةِ نفسِها؟ ماذا أستنتجُ؟

العواملُ التي يعتمدُ عليها ضغطُ المائعِ

Factors Affecting Fluid Pressure

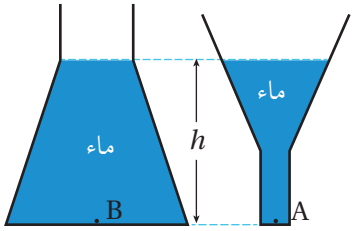
تشيرُ العلاقةُ ($P_{\text{fluid}} = \rho hg$) إلى أنَّ ضغطَ المائعِ عندَ نقطةٍ داخلَه يتناسبُ طرديًّا معَ كلٍّ من: عمقِ النقطةِ داخلَ المائعِ، وكثافةِ المائعِ، وتسارُعِ السقوطِ الحرِّ.

ويكونُ ضغطُ المائعِ متساويًا عندَ النقاطِ جميعِها التي تقعُ على العمقِ نفسِه من سطحِ المائعِ. ولا يعتمدُ ضغطُ المائعِ على شكلِ الوعاءِ الذي يحتويهِ، أو مِساحةِ سطحِ المائعِ؛ فمثلًا، في الشكلِ (4)، يكونُ ضغطُ المائعِ عندَ النقطتينِ (A) و (B) متساويًا؛ لأنَّ ارتفاعَ الماءِ في الوعاءينِ متساوٍ. كذلكَ فإنَّ الغوّاصَ المُبيَّنَ في الشكلِ (5) يتأثّرُ بضغطِ الماءِ نفسِه في البحيرةِ أو في البئرِ، لأنَّهُ يسبحُ على العمقِ نفسِه.

ويجدرُ الانتباهُ إلى أنَّ الضغطَ الذي يُحسبُ بالعلاقةِ ($P_{\text{fluid}} = \rho hg$) هو ضغطُ المائعِ فقطْ، فالغوّاصُ المبيَّنُ في الشكلِ (5) يتأثّرُ أيضًا بالضغطِ الجويِّ، (سأتعرّفُ كيفيّةَ قياسِ الضغطِ الجويِّ في الدرسِ الثاني). وباستخدامِ الرمزِ (P_0) ليدلَّ على الضغطِ الجويِّ عندَ سطحِ المائعِ، فإنَّ الضغطَ الكليَّ عندَ نقطةٍ داخلَ مائعٍ متجانسٍ يُعبَّرُ عنهُ بالعلاقةِ الآتيةِ:

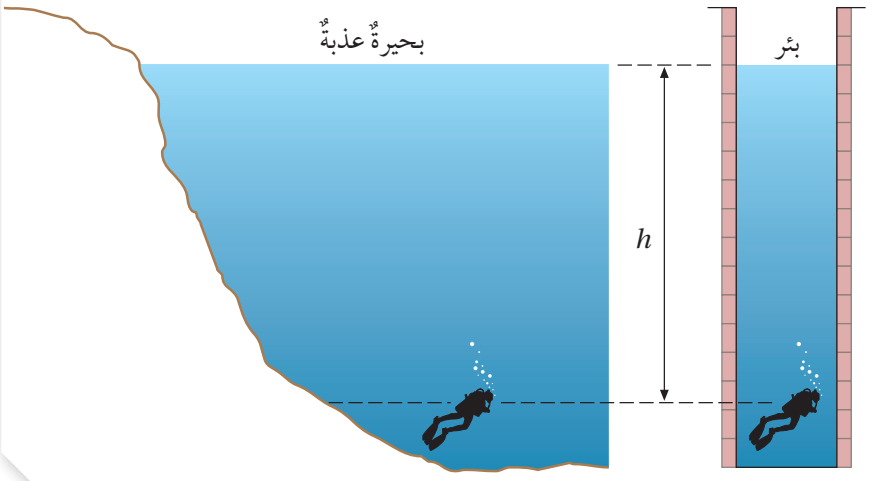
$$P = P_0 + \rho hg$$

أتحقّقُ: ما العلاقةُ بينَ ضغطِ المائعِ عندَ نقطةٍ داخلَه وكلٍّ من: عمقِ النقطةِ، وكثافةِ المائعِ.



الشكلُ (4): ارتفاعُ الماءِ في الوعاءينِ متساوٍ فيكونُ ضغطُ الماءِ متساويًا عندَ قاعدتيهِما.

أصمّمُ باستخدامِ برنامجِ سكراتش (Scratch) عرضًا يوضحُ العواملَ التي يعتمدُ عليها ضغطُ المائعِ، ثمَّ أعرضُهُ على زملائي/ زميلاتي.



الشكلُ (5): يتأثّرُ الغوّاصُ بضغطِ الماءِ نفسِه في الحالتينِ، لأنَّ كثافةَ الماءِ وارتفاعَه متساويانِ في الحالتينِ.

المثالُ 1

أحسبُ الضغطَ الكلّيَّ المؤثِّرَ في غوّاصٍ يسبحُ في بحيرةٍ على عمقِ:

أ. (20 m) ب. (40 m)

علمًا أنَّ: كثافةَ الماءِ ($1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$)، والضغطَ الجويَّ ($1 \times 10^5 \text{ Pa}$)، وتسارُعَ السقوطِ الحرِّ (10 m/s^2).

المُعطَياتُ: $h_1 = 20 \text{ m},\ h_2 = 40 \text{ m},\ \rho = 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3,\ P_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa},\ g = 10 \text{ m/s}^2$

المطلوبُ: $P_1 = ?,\ P_2 = ?$

الحلُّ:

لحسابِ الضغطِ الكلّيِّ داخلَ المائعِ أستخدمُ العلاقةَ:

$$P = P_0 + \rho hg$$

أ. الضغطُ الكلّيُّ على عمقِ (20 m):

$$P_1 = 1 \times 10^5 + (1 \times 10^3 \times 20 \times 10)$$
$$= 1 \times 10^5 + 2 \times 10^5 = 3 \times 10^5 \text{ Pa}$$

ب. الضغطُ الكلّيُّ على عمقِ (40 m):

$$P_2 = 1 \times 10^5 + (1 \times 10^3 \times 40 \times 10)$$
$$= 1 \times 10^5 + 4 \times 10^5 = 5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

المثالُ 2

أنبوبٌ مملوءٌ بالزئبقِ، إذا كانَ مقدارُ ضغطِ الزئبقِ عندَ أسفلِ الأنبوبِ ($1.36 \times 10^5 \text{ Pa}$)، أحسبُ ارتفاعَه، علمًا أنَّ كثافةَ الزئبقِ ($13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$).

المُعطَياتُ: $\rho = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3,\ P = 1.36 \times 10^5 \text{ Pa},\ g = 10 \text{ m/s}^2$

المطلوبُ: $h = ?$

الحلُّ:

بتطبيقِ العلاقةِ:

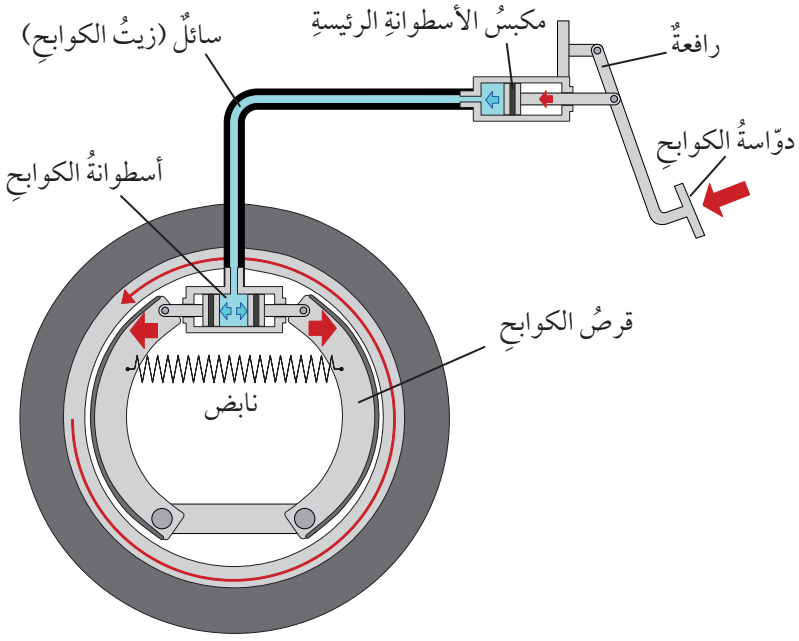
$$P = \rho hg$$
$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{1.36 \times 10^5}{13.6 \times 10^3 \times 10} = 1 \text{ m}$$

الأنظمةُ الهيدروليكيّةُ Hydraulic Systems

تعلّمتُ سابقًا أنَّ السائلَ المحصورَ إذا تعرّضَ لضغطٍ خارجيٍّ، فإنَّ هذا الضغطَ ينتقلُ إلى أجزاءِ السائلِ جميعِها. وتُعدُّ الروافعُ الهيدروليكيّةُ تطبيقًا عمليًّا على هذهِ الفكرةِ، فهيَ أنظمةٌ تعتمدُ في عملِها على استخدامِ السوائلِ المحصورةِ لنقلِ الحركةِ. ويبيّنُ الشكلُ (6) أمثلةً على روافعَ هيدروليكيّةٍ، ويُعدُّ نظامُ الكوابحِ الموجودُ في السيارةِ أحدَ التطبيقاتِ الشائعةِ للأنظمةِ الهيدروليكيّةِ.

المخطّطُ في الشكلِ (7) يبيّنُ الأجزاءَ الرئيسةَ لنظامِ الكوابحِ في السيارةِ. فعندَما يضغطُ السائقُ بقدمِه على دوّاسةِ الكوابحِ، تدفعُ الرافعةُ المتصلةُ بالدوّاسةِ مِكبسَ الأسطوانةِ الرئيسةِ، فينتقلُ الضغطُ إلى أجزاءِ سائلِ الكوابحِ جميعِها الذي يملأُ الأسطوانةَ والأنابيبَ المتّصلةَ بها، ليصلَ إلى أسطوانةِ الكوابحِ، فيضغطُ مِكبسا الأسطوانةِ قرصَ الكوابحِ نحوَ الخارجِ باتّجاهينِ متعاكسينِ كما في الشكلِ، فينشأُ بينَ قرصَي الكوابحِ والإطارِ قوّةُ احتكاكٍ تؤدّي إلى إيقافِ السيارةِ.

الشكلُ (6): الرافعةُ الهيدروليكيّةُ



الشكلُ (7): نظامُ الكوابحِ في إطارِ السيارةِ الخلفيِّ.

مراجعةُ الدرسِ

1 . **الفكرةُ الرئيسةُ:** ما العواملُ التي يعتمدُ عليها ضغطُ المائعِ عندَ نقطةٍ داخلَه؟

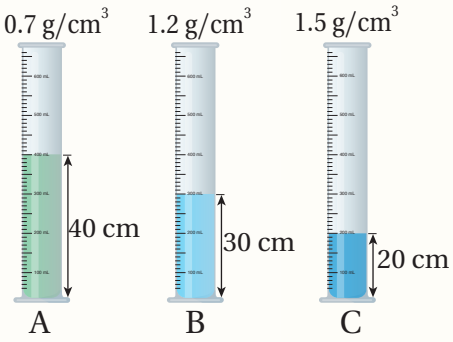
2 . **أحسُبُ** الضغطَ الكليَّ المؤثّرَ في غوّاصٍ يسبحُ على عمقِ (8 m) تحتَ سطحِ ماءٍ:

أ . بحيرةٍ، حيثُ كثافةُ الماءِ $(1 \times 10^3\ kg/m^3)$.

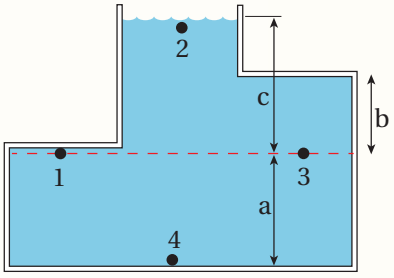
ب . البحرِ، حيثُ كثافةُ الماءِ $(1.03\ g/cm^3)$.

(أفترضُ أنَّ $P_0 = 1 \times 10^5\ Pa$ ، $g = 10\ m/s^2$).

3 . **أستخدمُ المتغيّراتِ:** يبيّنُ الشكلُ المجاورُ ثلاثةَ أنابيبَ (A, B, C) تحتوي على سوائلَ مختلفةٍ. معتمدًا على البياناتِ المُثبَتةِ على الشكلِ، في أيِّ الأنابيبِ الثلاثةِ يكونُ ضغطُ السائلِ عندَ قاعدةِ الإناءِ الأكبرَ مقدارًا؟



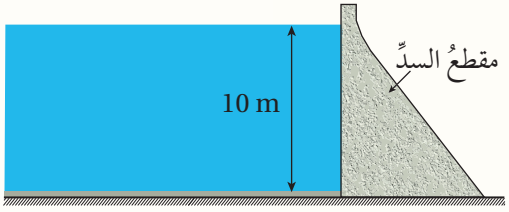
4 . **أحلّلُ وأستنتجُ:** يبيّنُ الشكلُ المجاورُ أربعَ نقاطٍ داخلَ وعاءٍ مملوءٍ بالماءِ. معتمدًا على الشكلِ أُجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:



أ . أيُّ الارتفاعاتِ الرأسيّةِ المشارِ إليها بالرموزِ (a, b, c) يلزمُني لحسابِ ضغطِ الماءِ عندَ النقطةِ (3)؟ أفسّرُ إجابتي.

ب . أرتّبُ النقاطَ: (1, 2, 3, 4) وفقًا لقيمِ الضغطِ عندَها منَ الأكبرِ مقدارًا إلى الأقلِّ.

5 . **التفكيرُ الناقدُ:** السدُّ هو جدارٌ رأسيٌّ يحجزُ الماءَ خلفَهُ، ويبيّنُ الشكلُ المجاورُ سدًّا ارتفاعُ الماءِ فيهِ (10 m). معتمدًا على البياناتِ المُثبَتةِ على الشكلِ، أُجيبُ عمَّا يأتي:



أ . **أحسبُ** ضغطَ الماءِ على عمقِ (5 m) تحتَ سطحِ الماءِ، (كثافةُ الماءِ = $1 \times 10^3\ kg/m^3$).

ب . **أحسب** ضغطَ الماءِ على عمقِ (10 m) تحتَ سطحِ الماءِ.

جـ . **أفسّرُ** معتمدًا على إجابتي على الفرعينِ السابقينِ، لماذا يكونُ سُمكُ قاعدةِ السدِّ أكبرَ من سُمكِ جزئِه العُلويِّ؟

الدرس 2

قياسُ الضغطِ
Pressure Measurement

الفكرةُ الرئيسةُ:
يُقاسُ ضغطُ الموائعِ باستخدامِ أجهزةٍ مختلفةٍ، منها البارومترُ والمانومترُ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:
- أتعرّفُ أجهزةَ قياسِ الضغطِ، والضغطِ الجويِّ (البارومتر، المانومتر).
- أصمّمُ جهازًا لقياسِ الضغطِ الجويِّ.

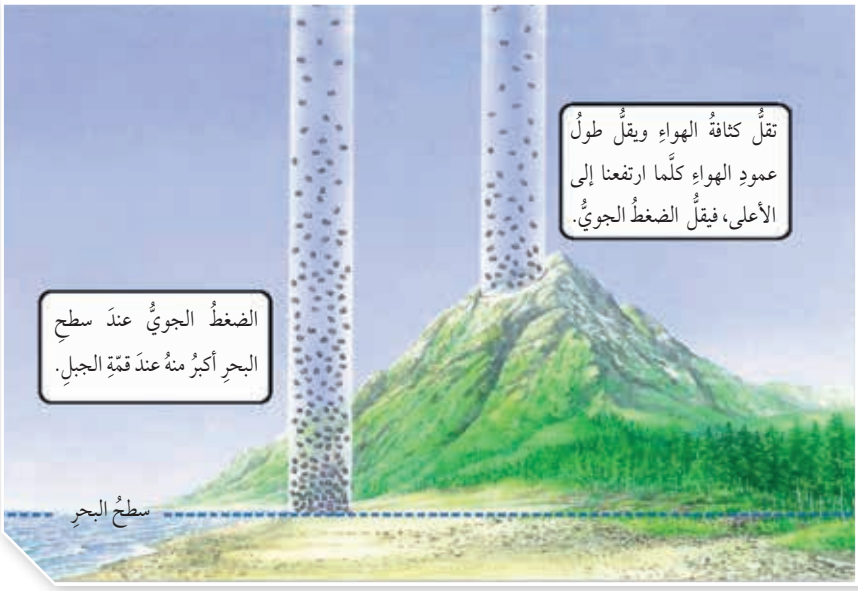
المفاهيمُ والمصطلحاتُ:
البارومترُ الزئبقيُّ
Mercury Barometer
البارومترُ الفلزّيُّ
Aneroid Barometer
المانومتر
Manometer

الضغطُ الجويُّ Atmospheric Pressure

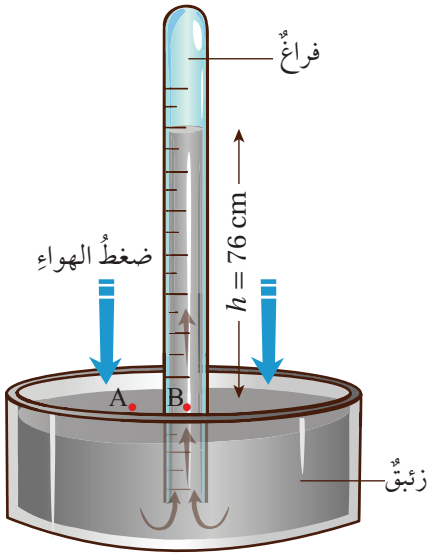
درستُ سابقًا أنَّ الأرضَ مُحاطةٌ بغلافٍ منَ الغازاتِ يُسمَّى الغلافَ الجويَّ، ويؤثّرُ هذا الغلافُ بضغطٍ في الأجسامِ الموجودةِ على سطحِ الأرضِ، يُعرفُ بالضغطِ الجويِّ؛ وهو وزنُ عمودِ الهواءِ المؤثّرِ في وحدةِ المِساحةِ عندَ مِنطقةٍ ما على سطحِ الأرضِ.

يتأثّرُ الضغطُ الجويُّ بعواملَ عدّةٍ منها درجةُ الحرارةِ، والارتفاعُ عن مستوى سطحِ البحرِ؛ فكلَّما قلَّ طولُ عمودِ الهواءِ فوقَ سطحِ البحرِ، فإنَّ وزنَ عمودِ الهواءِ المؤثّرِ في وحدةِ المِساحةِ يقلُّ، فيكونُ الضغطُ الجويُّ مُنخفضًا. في حينِ يكونُ الضغطُ الجويُّ مرتفعًا في الأماكنِ المنخفضةِ؛ نتيجةَ ازديادِ وزنِ عمودِ الهواءِ المؤثّرِ في وحدةِ المِساحةِ. أتأمّلُ الشكلَ (8).

✓ **أتحقّقُ:** كيفَ يتغيّرُ الضغطُ الجويُّ بزيادةِ الارتفاعِ عنْ سطحِ الأرضِ؟



الشكلُ (8): فوقَ أيِّ بقعةٍ على سطحِ الأرضِ، يوجدُ عمودٌ من الهواءِ يمتدُّ منْ سطحِ الأرضِ إلى الغلافِ الجويِّ.



الشكلُ (9): قياسُ الضغطِ الجويِّ عندَ سطحِ البحرِ باستخدامِ بارومترَ زئبقيٍّ.

قياسُ الضغطِ الجويِّ Measuring Atmospheric Pressure

يُقاسُ الضغطُ الجويُّ بأجهزةٍ متنوّعةٍ، منها البارومترُ الزئبقيُّ والبارومترُ الفلزيُّ.

البارومترُ الزئبقيُّ Mercury Barometer

الشكلُ (9) يبيّنُ جهازًا بسيطًا اخترعَه العالمُ تورشيللي عامَ 1643 يُسمَّى **البارومترَ الزئبقيَّ Mercury barometer**، ويتكوّنُ من أنبوبٍ يحتوي على زئبقٍ يوضعُ مقلوبًا في وعاءٍ مملوءٍ بالزئبقِ، على ألّا يُسمحَ بتسرُّبِ الهواءِ إلى الأنبوبِ.

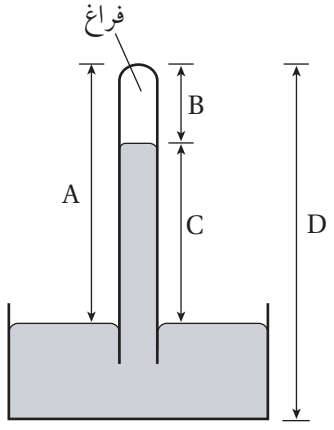
يضغطُ الهواءُ على سطحِ الزئبقِ في الوعاءِ، فيرتفعُ الزئبقُ داخلَ الأنبوبِ. عندَ مستوى سطحِ البحرِ، وعندَ درجةِ حرارةِ (15 °C) فإنَّ طولَ عمودِ الزئبقِ في الأنبوبِ يستقرُّ عندَ (76 cm) بالنسبةِ إلى سطحِ الزئبقِ في الوعاءِ، وهنا يكونُ ضغطُ عمودِ الزئبقِ في الأنبوبِ مساويًا للضغطِ الجويِّ. ونظرًا إلى أنَّ الزئبقَ في حالةِ اتّزانٍ سكونيٍّ، والنقطتينِ (A) و (B) تقعانِ على المستوى الأفقي نفسِه، فإنَّ:

$$P_A = P_B$$

$$P_0 = P_{fluid}$$

$$P_0 = \rho\, hg$$

✓ **أتحقّقُ:** أيُّ الارتفاعاتِ المُثبَتةِ على الشكلِ تُستخدمُ في حسابِ الضغطِ الجويِّ؟



بارومترٌ زئبقيٌّ

أفكّرُ: لماذا يُزوَّدُ متسلّقو الجبالِ بأسطواناتٍ تحتوي على أكسجينٍ مضغوطٍ؟

وبتعويضِ تسارُعِ السقوطِ الحرِّ ($g = 9.8\ \text{m/s}^2$)، وكثافةِ الزئبقِ ($\rho = 13.6 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$)، وارتفاعِ عمودِ الزئبقِ ($76.0 \times 10^{-2}\ \text{m}$)، نحسبُ مقدارَ الضغطِ الجويِّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ:

$$P_0 = 13.6 \times 10^3 \times 76.0 \times 10^{-2} \times 9.8$$

$$P_0 = 1.013 \times 10^5\ \text{Pa}$$

عادةً، يُتّخذُ الضغطُ الجويُّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ مرجعًا؛ ومقدارُه ($1.013 \times 10^5\ \text{Pa}$) يمثّلُ ضغطًا جويًّا واحدًا (1 atm)، حيثُ:

$$1\ \text{atm} = 1.013 \times 10^5\ \text{Pa} \approx 1.0 \times 10^5\ \text{Pa}$$

فمثلًا، عندَ قمّةِ جبلِ إفرست ينخفضُ الضغطُ الجويُّ إلى (33 kPa)، ويعادلُ (0.3 atm) تقريبًا، أيْ (0.3) منْ مقدارِ الضغطِ الجويِّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ.

ويمكنُ أيضًا التعبيرُ عنِ الضغطِ بوحدةِ السنتيمتر زئبق (cmHg)، فالضغطُ الجويُّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ يساوي (76 cmHg).

الربطُ بالحياةِ

عندَما نذهبُ إلى مِنطقةِ البحرِ الميتِ نشعرُ بعدمِ ارتياحٍ في الأذنينِ، ففي الوضعِ العاديِّ يكونُ الضغطُ داخلَ الأذنِ مساويًا للضغطِ خارجَها، ونظرًا إلى أنَّ البحرَ الميتَ مِنطقةٌ منخفضةٌ تحتَ مستوى سطحِ البحرِ، فإنَّ الضغطَ خارجَ الأذنِ يزدادُ عنِ الضغطِ داخلَها، ما يؤدّي إلى الشعورِ بعدمِ الارتياحِ بوصفِه استجابةً منَ الجسمِ لفرقِ الضغطِ. ويختفي هذا الشعورُ عندَما تفتحُ قناةُ استاكيوس، فتُعادِلُ الضغطَ منْ جديدٍ. ويمكنُ تسريعُ هذهِ العمليةِ بالتثاؤبِ أوِ ابتلاعِ الريقِ، أوْ مضغِ العلكةِ.

المثالُ 3

استُخدِمَ بارومترٌ زئبقيٌّ لقياسِ الضغطِ الجويِّ في مِنطقةٍ ما، فكانَ ارتفاعُ عمودِ الزئبقِ (730 mm)، أحسبُ الضغطَ الجويَّ في تلكَ المِنطقةِ، بوحدتَي (Pa) و (cmHg). (مفترضًا تسارعَ السقوطِ الحرِّ $10\ \text{m/s}^2$).

المُعطَياتُ: $h = 730\ \text{mm},\ \rho = 13.6 \times 10^3\ \text{kg/m}^3,\ g = 10\ \text{m/s}^2$.

المطلوبُ: $P_0 = ?$.

الحلُّ:

لحسابِ الضغطِ الجويِّ بوحدةِ الباسكالِ أستخدمُ العلاقةَالآتيةَ:

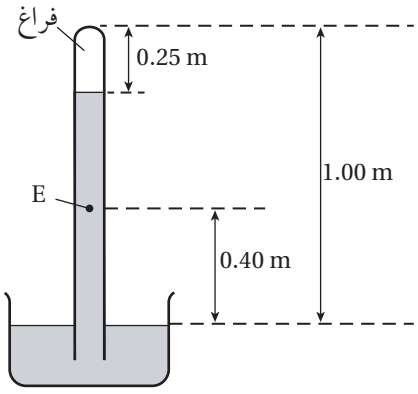
$$P_0 = \rho h g$$

$$= 13.6 \times 10^3 \times 730 \times 10^{-3} \times 10 = 99280 \approx 9.93 \times 10^4\ \text{Pa}$$

أمّا الضغطُ الجويُّ بوحدةِ (cmHg) فيساوي ارتفاعَ عمودِ الزئبقِ بوحدةِ (cm):

$$h = 730\ \text{mm} \times \frac{1\ \text{cm}}{10\ \text{mm}} = 73\ \text{cm} \rightarrow P_0 = 73\ \text{cmHg}$$

المثالُ 4



استُخدِمَ الباروميترُ الزئبقيُّ المُبيَّنُ في الشكلِ المجاورِ لقياسِ الضغطِ الجويِّ في مِنطقةٍ ما على سطحِ الأرضِ. معتمِدًا على البياناتِ المثبتةِ على الشكلِ، أجيبُ عمّا يأتي:

أ . أحسُبُ الضغطَ الجويَّ في تلكَ المِنطقةِ.

ب. أحسبُ الضغطَ عندَ النقطةِ (E).

جـ. ماذا يحدثُ لارتفاعِ عمودِ الزئبقِ في الأنبوبِ عندَ استخدامِ الباروميترِ لقياسِ الضغطِ الجويِّ عندَ قمّةِ جبلٍ مرتفعةٍ؟

المُعطياتُ: $\rho = 13.6 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$ ، $g = 10\ \text{m/s}^2$ ، الارتفاعاتُ المثبتةُ على الشكلِ.

المطلوبُ: $P_0 = ?, P_E = ?$.

الحلُّ:

أ. لحسابِ الضغطِ الجويِّ، أحسبُ أولًا ارتفاعَ الزئبقِ في الأنبوبِ:

$$h_1 = 1 - 0.25 = 0.75\ \text{m}$$

ثمَّ أحسبُ الضغطَ باستخدامِ العلاقةِ الآتيةِ:

$$P_0 = \rho\, hg$$

$$= 13.6 \times 10^3 \times 0.75 \times 10 = 1.02 \times 10^5\ \text{Pa}$$

ب. لحسابِ الضغطِ عندَ النقطةِ (E)، أحسبُ أولًا ارتفاعَ الزئبقِ فوقَ النقطةِ:

$$h = 1 - (0.4 + 0.25) = 0.35\ \text{m}$$

ثمَّ أحسبُ الضغطَ منَ العلاقةِ الآتيةِ:

$$P = \rho\, hg = 13.6 \times 10^3 \times 0.35 \times 10 = 4.76 \times 10^4\ \text{Pa}$$

جـ. عندَ قمّةِ الجبلِ يقلُّ مقدارُ الضغطِ الجويِّ؛ لذا يكونُ طولُ عمودِ الزئبقِ أقلَّ.

تمرين

أحسبُ طولَ عمودِ الزئبقِ في أنبوبِ باروميتر، استُخدِمَ في مِنطقةِ البحرِ الميتِ لقياسِ الضغطِ الجويِّ، إذا كانَ الضغطُ الجويُّ في تلكَ المِنطقةِ (108.8 kPa).

الشكلُ (10): البارومترُ الفلزّيُّ.

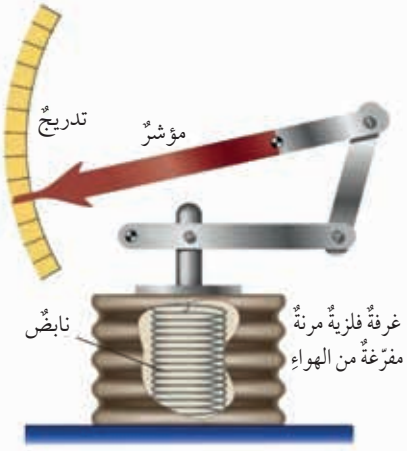
البارومترُ الفلزيُّ Aneroid Barometer

يبيّـنُ الشـكلُ (10) **بارومترَ فلزيًّا** يُستخدمُ في قياسِ الضغطِ الجويِّ، ويُسـمَّى **Aneroid barometer** أيْ بارومترَ لا يُستخدمُ فيهِ الزئبقُ أو أيُّ سـائلٍ آخـرَ. ويُستخدمُ هـذا النـوعُ منَ الأجهـزةِ على نطاقٍ واسـعٍ بـدلًا منَ البارومتـرِ الزئبقـيِّ؛ لصغرِ حجمِه، وسـهولةِ نقلِـه وحملِه.

يحتـوي البارومتـرُ علـى غرفـةٍ فلزّيّـةٍ مرنـةٍ ومُفرَّغـةٍ مـنَ الهـواءِ تقريبًـا، ومُثبَّـتٍ داخلَهـا نابـضٌ، علـى نحـوِ مـا يبيّـنُ الشـكلُ (11). يسـمحُ النابـضُ للغرفـةِ بالتمـدُّد والتقلّـصِ بمـا يتناسـبُ مـعَ ضغـطِ الهـواءِ المحيـطِ بها؛ فـإذا زادَ ضغطُ الهـواءِ انخفضَ السـطحُ العلويُّ للغرفـةِ إلـى الأسـفلِ، وإذا قلَّ ضغـطُ الهـواءِ ارتفعَ سـطحُ الغرفةِ إلى الأعلى.

تنتقـلُ حركـةُ الغرفـةِ إلـى مؤشّـرِ البارومتـرِ عـن طريـقِ رافعـةٍ ميكانيكيّـةٍ، فيـدورُ المؤشّـرُ بمـا يتناسـبُ مـعَ ضغـطِ الهـواءِ المـرادِ قياسُـه. ويقـرأُ البارومتـرُ مقدارَ هـذا الضغطِ عنْ طريـقِ الرقمِ الظاهرِ علـى التدريـجِ الدائـريِّ المقابلِ للمؤشّـرِ.

✓ **أتحقّقُ:** ما الفكرةُ الرئيسةُ التي يعتمدُ عليها مبدأُ عملِ البارومترِ الفلزيِّ؟



الشكلُ (11): أجزاءُ البارومترِ الفلزيِّ.

أبحثُ:

يُقاسُ الضغطُ الجويُّ بوحداتٍ مختلفةٍ، منها المليبارُ والهكتوبارُ والمليمترزئبق. أبحثُ عنِ الوحداتِ المختلفةِ لقياسِ الضغطِ الجويِّ وكيفيّةِ التحويلِ بينَها. مُبيِّنًا الوحداتِ المستخـدَمـةَ في أجـهـزةِ قيـاسِ الضغطِ للتعبيرِ عنِ الضغطِ الجويِّ.

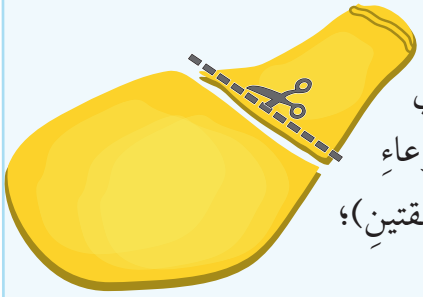
التجربة 2

أصنعُ نموذجَ بارومیتر

الموادُّ والأدواتُ: وعاءٌ زجاجيٌّ، ماصّةٌ بلاستيكيّةٌ، بالونٌ، حلقةٌ مطّاطيّةٌ، صمغٌ، شريطٌ لاصقٌ، قطعةُ كرتونٍ، قلمُ تخطيطٍ، مِقصٌّ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحَذَرُ عندَ استخدامِ المِقصِّ، أضعُ البارومیترَ في مكانٍ مناسبٍ.

خطواتُ العملِ:



1- أقصُّ فوّهةَ البالونِ عندِ المكانِ المُبيَّنِ على الشكلِ المجاورِ، كي أحصلَ على قطعةٍ مناسبةٍ أتمكّنُ منْ شدِّها لأغطّيَ بها فوّهةَ الوعاءِ الزجاجيِّ، وأُثبّتُ البالونَ على الفوّهةِ جيدًا بالحلقةِ المطّاطيّةِ (أو حلقتينِ)؛ منعًا لتسرُّبِ الهواءِ منْ داخلِ الوعاءِ إلى خارجِه أوِ العكسِ.

2- أُثبّتُ طرفَ الماصّةِ عندَ منتصفِ غشاءِ البالونِ بالصمغِ، ثمَّ أضعُ فوقَ الماصّةِ قطعةً منَ الشريطِ اللاصقِ للتأكُّدِ من تثبيتِ طرفِها جيدًا.

3- أقصُّ قطعةَ كرتونٍ مناسبةً، ثمَّ أرسمُ عندَ منتصفِها خطًّا أفقيًّا موازيًا للماصّةِ عندَما تكونُ في الوضعِ الأفقيِّ، ثمَّ أرسمُ مجموعةَ خطوطٍ باللونِ الأحمرِ فوقَ خطِّ المنتصفِ؛ لتدلَّ على ضغطٍ مرتفعٍ، ومجموعةَ خطوطٍ باللونِ الأزرقِ أسفلَ خطِّ المنتصفِ؛ لتدلَّ على ضغطٍ منخفضٍ.

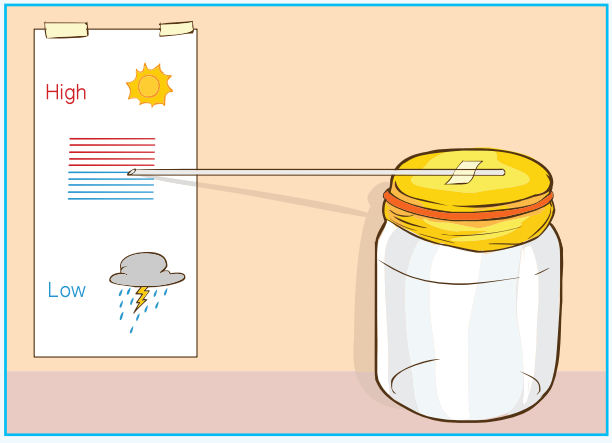
4- أختارُ مكانًا مناسبًا أضعُ عندَهُ نموذجي، على أنْ تكونَ الماصّةُ مقابلَ خطِّ المُنتصفِ المرسومِ على قطعةِ الكرتونِ، على نحوِ ما يبيّنُ الشكلُ.

5- أراقبُ النموذجَ أيّامًا عدّةً، وألاحظُ التغيُّرَ في موضعِ الماصّةِ باختلافِ حالةِ الطقسِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أصفُ** العلاقةَ بينَ اتّجاهِ حركةِ الماصّةِ وحالةِ الطقسِ (يومٍ مشمسٍ، يومٍ غائمٍ، وغيرِ ذلكَ)

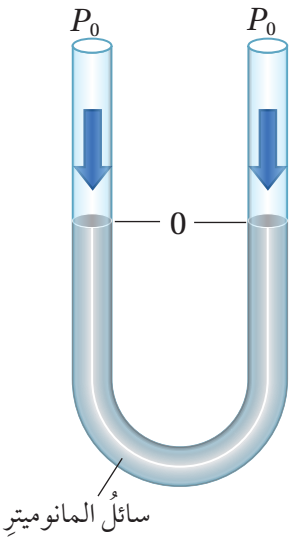
2. **التفكيرُ الناقدُ:** أوضّحُ العلاقةَ بينَ اتجاهِ حركةِ الماصّةِ، وفرقِ الضغطِ بينَ داخلِ الوعاءِ وخارجِه.



قياسُ ضغطِ المائعِ Fluid Pressure Measurement

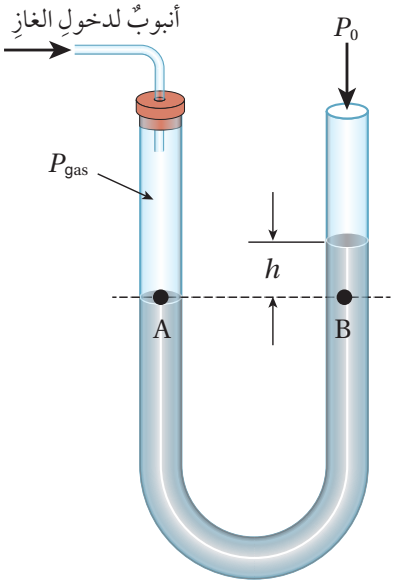
يُقاسُ ضغطُ المائعِ (الغازِ أوِ السائلِ) بأجهزةٍ متنوّعةٍ، ومنَ الأجهزةِ المُستخدَمةِ لقياسِ ضغطِ الغازاتِ والسوائلِ المحصورةِ، جهازٌ يُسمَّى **المانوميترَ Manometer**.

للمانوميترَ أشكالٌ مختلفةٌ، أبسطُها المبيَّنُ في الشكلِ (12)، وهو أنبوبٌ مفتوحٌ منَ الطرفينِ على شكلِ حرفِ (U)، يحتوي على سائلٍ مثلِ الزئبقِ أوِ الماءِ. ونظرًا إلى أنَّ طرفَي الأنبوبِ مُعرّضانِ للضغطِ الجويِّ نفسِه؛ لذا يكونُ ارتفاعُ السائلِ متساويًا في ذراعَي الأنبوبِ.



الشكلُ (12): المانوميترُ.

عندَ استخدامِ المانوميترِ لقياسِ ضغطِ غازٍ محصورٍ، تُوصَلُ أسطوانةُ الغازِ بإحدى ذراعَي المانوميترِ، في حينِ تظلُّ الذراعُ الأخرى مفتوحةً، وبذلك يُعَرَّضُ سائلُ المانوميترِ لضغطِ الغازِ عندَ إحدى الذراعينِ، وللضغطِ الجويِّ عندَ الذراعِ الأخرى. فإذا كانَ ضغطُ الغازِ أكبرَ من الضغطِ الجويِّ، انخفضَ السائلُ في الذراعِ المتّصِلةِ بالغازِ وارتفعَ في الذراعِ الأخرى، كما في الشكلِ (13).

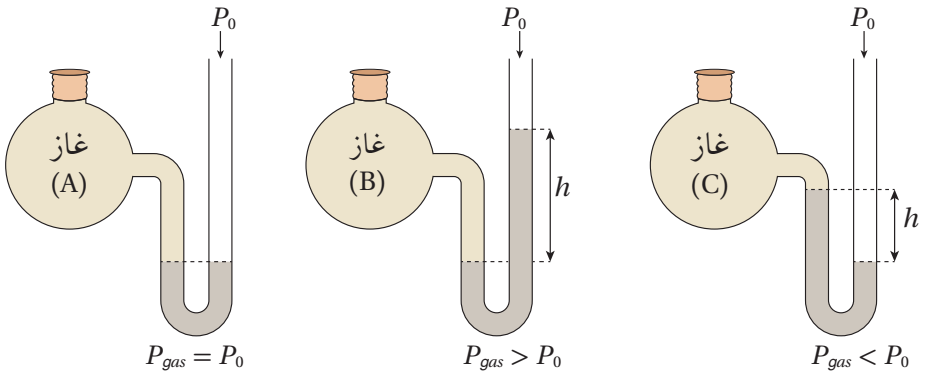


الشكلُ (13): قياسُ ضغطِ غازٍ باستخدامِ المانوميترِ.

وبالاعتمادِ على مبدأِ تساوي الضغطِ (في السائلِ نفسِه) عندَ النقاطِ جميعِها الواقعةِ على المستوى الأفقيِّ نفسِه، يمكنُ حسابُ ضغطِ الغازِ. ففي الشكلِ (13) يكونُ ضغطُ الغازِ المؤثّرُ في النقطةِ (A)، مساويًا لمجموعِ الضغطِ الجويِّ وضغطِ عمودِ السائلِ (h) المؤثّرينِ في النقطةِ (B)، أيْ أنَّ:

$$P_A = P_B$$
$$P_{gas} = P_0 + \rho hg$$

✓ **أتحقّقُ:** في الشكلِ (13) إذا كانَ ضغطُ عمودِ السائلِ (h) فوقَ النقطةِ (B) يساوي (5 cmHg) والضغطُ الجويُّ (75 cmHg)، فما ضغطُ الغازِ بوحدةِ (cmHg)؟



الشكلُ (14): قياسُ الضغطِ لغازاتٍ مختلفةٍ باستخدامِ المانوميتر.

قد يكونُ ضغطُ الغازِ المحصورِ مساويًا للضغطِ الجويِّ أو أكبرَ منه أو أقلَّ، ويبيّنُ الشكلُ (14) ثلاثَ حالاتٍ استُخدمَ فيها المانوميترُ لقياسِ ضغطِ غازاتٍ محصورةٍ. بالاعتمادِ على الشكلِ أستنتجُ أنَّ:

- ضغطَ الغازِ (A) يساوي الضغطَ الجويَّ:

$$P_{gas} = P_0$$

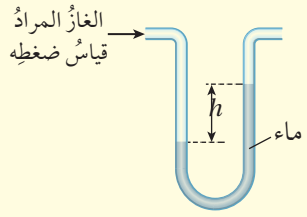
- ضغطَ الغازِ (B) أكبرُ منَ الضغطِ الجويِّ:

$$P_{gas} = P_0 + \rho hg$$

- ضغطَ الغازِ (C) أقلُّ منَ الضغطِ الجويِّ:

$$P_{gas} = P_0 - \rho hg$$

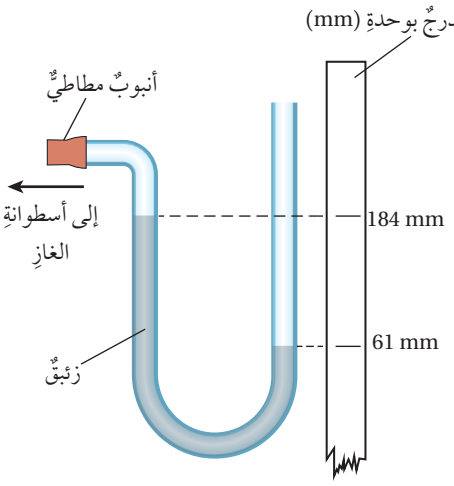
أُفكّر: السائلُ المُستخدَمُ في المانوميترِ المُبيَّنُ في الشكلِ هو الماءُ، واستُخدمَ المانوميترُ لقياسِ ضغطِ غازٍ، فكانَ الفرقُ في ارتفاعِ الماءِ بينَ ذراعيهِ (h). لو استُخدِمَ سائلٌ ذو كثافةٍ أكبرَ بدلًا منَ الماءِ، فماذا يحدثُ لمقدارِ (h)؟ أفسّرُ إجابتي.



الربطُ بالصناعةِ

تُصنعُ المانوميتراتُ بأشكالٍ مختلفةٍ، ولها تطبيقاتٌ عمليّةٌ كثيرةٌ، منها قياسُ ضغطِ الغازِ في أنظمةِ التدفئةِ وضبطُ ضغطِه، وفي أنابيبِ نقلِ الغازِ، وقياسُ ضغطِ البخارِ في محطاتِ توليدِ الطاقةِ الكهربائيّةِ.

المثالُ 5



يبيّنُ الشكلُ المجاورُ مانوميترَ استُخدِمَ لقياسِ ضغطِ غازٍ محصورٍ في أسطوانةٍ. معتمدًا على البياناتِ المُثبَتةِ على الشكلِ، أحسبُ ضغطَ الغازِ.

علمًا أنَّ: كثافةَ الزئبقِ ($13.6 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$)، والضغطَ الجويَّ ($1 \times 10^5\ \text{Pa}$)، وتسارُعَ السقوطِ الحرِّ ($10\ \text{m/s}^2$).

المُعطياتُ: $g = 10\ \text{m/s}^2$, $P_0 = 1 \times 10^5\ \text{Pa}$, $\rho = 13.6 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$.

المطلوبُ: $P_{\text{gas}} = ?$.

الحلُّ:

أحسبُ الفرقَ في ارتفاعِ الزئبقِ في شُعبتَي المانوميترِ:

$$h = 184 - 61 = 123\ \text{mm} = 123 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

انخفاضُ سطحِ الزئبقِ في الشُّعبةِ المفتوحةِ يدلُّ على أنَّ ضغطَ الغازِ أقلُّ منَ الضغطِ الجويِّ، ويُحسبُ منَ العلاقةِ الآتيةِ:

$$P_{\text{gas}} = P_0 - \rho h g$$

$$P = 1 \times 10^5 - (13.6 \times 10^3 \times 123 \times 10^{-3} \times 10)$$

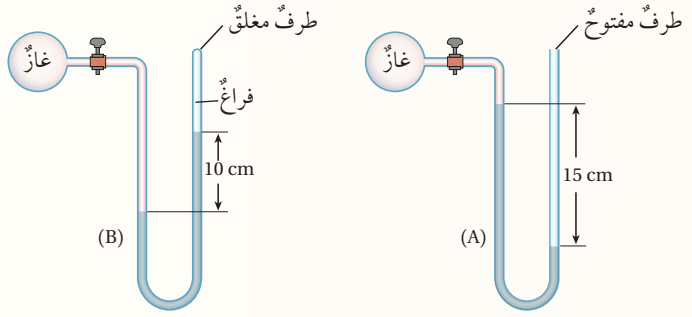
$$= 1 \times 10^5 - 1.67 \times 10^4$$

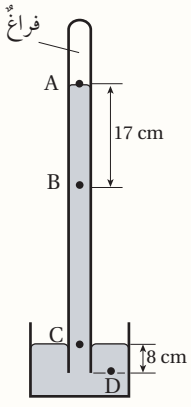
$$= 10 \times 10^4 - 1.67 \times 10^4 = 8.33 \times 10^4\ \text{Pa}$$

مراجعةُ الدرسِ

1 . **الفكرةُ الرئيسةُ:** أذكرُ استخدامًا واحدًا لكلٍّ مما يأتي: البارومترِ والمانومترِ .

2 . **أحسبُ:** مانومترٌ زئبقيٌّ استُخدمَ لقياسِ ضغطِ غازينِ مختلفينِ، مستعينًا بالبياناتِ المُثبَتةِ على الشكل، أحسبُ ضغطَ الغازِ الذي يقيسُه المانومترُ في الحالتينِ (A)، (B).



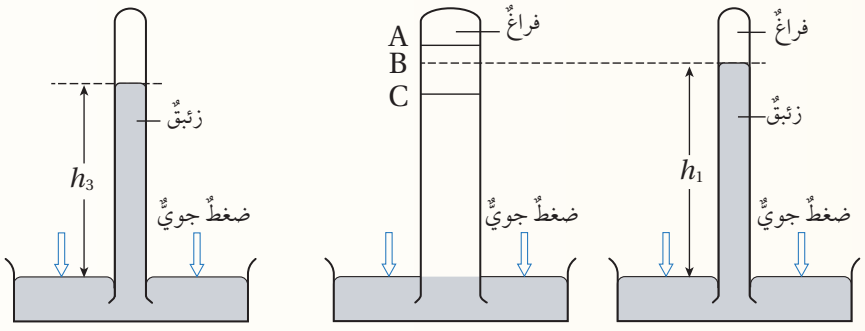


3 . **أحلّلُ:** يُبيّنُ الشكلُ المجاورُ بارومترَ زئبقيًّا ، معتمدًا على المعلوماتِ المُثبَتةِ على الشكلِ، أحسبُ الضغطَ عندَ النقاطِ: (A, B, C, D) بوحدةِ الباسكالِ. علمًا أنَّ الضغطَ الجويَّ في المِنطقةِ التي استُخدِمَ فيها البارومترُ (1×10^5 Pa).

4 . **التفكيرُ الناقدُ:** استُخدِمَ البارومترُ (1) لقياسِ الضغطِ الجويِّ في مِنطقةٍ ما، فكانَ ارتفاعُ الزئبقِ في الأنبوبِ كما في الشكلِ، ثمَّ استُخدِمَ بارومترانِ آخرانِ لقياسِ الضغطِ الجويِّ في المِنطقةِ نفسِها، حيثُ مِساحةُ مقطعِ أنبوبِ البارومترينِ (1) و (3) متساويةٌ، ومِساحةُ مقطعِ البارومترِ (2) أكبرُ منهما. معتمدًا على البياناتِ المثبّتةِ على الشكلِ أُجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:

أ . أختارُ منَ الرموزِ: (A, B, C) الرمزَ الذي أتوقّعُ أنَّه يمثّلُ ارتفاعَ الزئبقِ في أنبوبِ البارومترِ (2)، وأُعطي دليلًا يدعمُ صحّةَ إجابتي.

ب . أقترحُ سببًا أدّى إلى أنْ يكونَ ارتفاعُ الزئبقِ في البارومترِ (3) أقلَّ منَ البارومترِ (1).



بارومتر (1). بارومتر (2). بارومتر (3).

قياسُ ضغطِ الدمِ

ضغطُ الدمِ مصطلحٌ يُستخدمُ للتعبيرِ عن ضغطِ الدمِ على جدرانِ الشرايينِ، ويُعدُّ ضغطُ الدمِ منَ العلاماتِ الحيويّةِ المُهمّةِ لتقييمِ الحالةِ الصحيّةِ لجسمِ الإنسانِ.

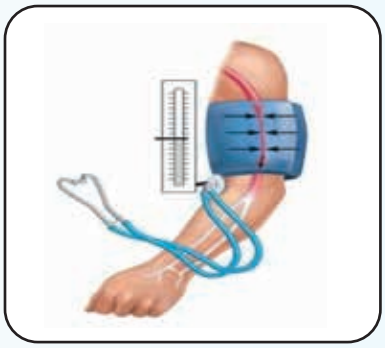
يُقاسُ ضغطُ الدمِ بوحدةِ المليمتر زئبق (mmHg)، ويُستخدمُ لقياسِه العديدُ منَ الأجهزةِ، منها مقياسُ الضغطِ الزئبقيُّ (Sphygmomanometer). ويتكوّنُ من أنبوبٍ يحتوي على زئبقٍ، يتّصلُ بسوارٍ قابلٍ للنفخِ، وسمّاعةٍ طبّيّةٍ، والشكلُ المجاورُ يوضّحُ كيفيّةَ قياسِ ضغطِ الدمِ الانقباضيِّ (الضغطِ العالي) :

أ- يُلفُّ السوارُ حولَ الذراعِ، ويُنفخُ إلى أنْ يتوقّفَ سريانُ الدمِ في الشريانِ، ويكونُ ضغطُ السوارِ في هذهِ الحالةِ أعلى من ضغطِ الدمِ الانقباضيّ (الضغطِ العالي).

ب- يُخفَّفُ ضغطُ السوارِ ببطءٍ، في حينِ يُنصِتُ الفاحصُ بواسطةِ السمّاعةِ الطبّيّةِ ليستمعَ إلى نبضِ الدمِ عبرَ الشريانِ، وفي الوقتِ نفسِه يراقبُ ارتفاعَ الزئبقِ في الأنبوبِ. وبمجرّدِ أن يبدأَ الدمُ بالتدفُّقِ ويسمعَ الفاحصُ أولَ نبضٍ للدمِ عبرَ الشريانِ، فإنَّ ارتفاعَ الزئبقِ في الأنبوبِ في هذهِ الحالةِ يساوي ما يُعرفُ بضغطِ الدمِ الانقباضيِّ (الضغطِ العالي).

ولأجهزةِ قياسِ الضغطِ أشكالٌ مختلفةٌ، منها جهازُ قياسِ الضغطِ الرقميُّ الذي يتميزُ بسهولةِ التشغيلِ وبساطتِه .

أ) ضغطُ السوارِ أعلى من الضغط العالي.

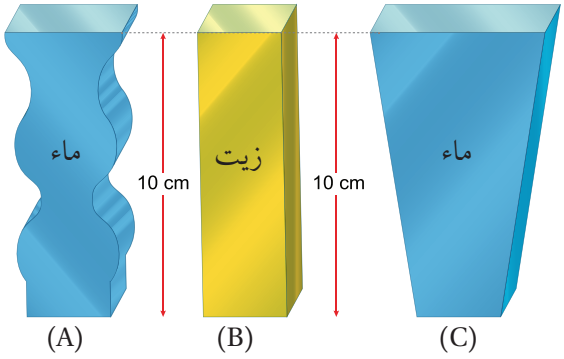

ب) الضغطُ العالي.

جـ) جهازُ قياسِ الضغطِ الرقميُّ.

أبحثُ مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المناسبةِ، أبحثُ عنِ الأشكالِ المختلفةِ لأجهزةِ قياسِ الضغطِ، وأوضّحُ مزايا كلٍّ منها. مُبيِّنًا الأمورَ التي يجبُ مراعاتُها عندَ استخدامِ جهازِ قياسِ الضغطِ للحصولِ على قياساتٍ دقيقةٍ. ثمَّ أكتبُ تقريرًا وأعرضُه على زملائي/ زميلاتي.

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

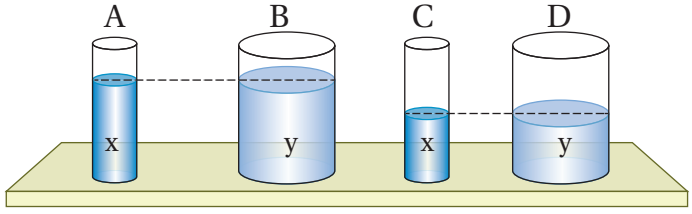
1. يبيّنُ الشكلُ المجاورُ ثلاثةَ أوعيةٍ: اثنينِ منها يحتويانِ على الماءِ والثالثَ يحتوي على زيتٍ. وارتفاعُ السوائلِ في الأوعيةِ الثلاثةِ متساوٍ. إذا علمتُ أنَّ كثافةَ الماءِ أكبرُ من كثافةِ الزيتِ، فإنَّ الترتيبَ التنازليَّ للضغطِ على قاعدةِ كلٍّ منَ الأوعيةِ الثلاثةِ:



أ. $P_A > P_B > P_C$ ب. $P_A = P_C > P_B$

جـ. $P_B > P_A = P_C$ د. $P_A = P_B = P_C$

2. سائلانِ (x, y)، كثافتاهما ($\rho_x = 1010\ kg/m^3$) و ($\rho_y = 950\ kg/m^3$). عندَ صبِّ السائلَينِ في الأوعيةِ المبيَّنةِ في الشكلِ المجاورِ، فإنَّ أكبرَ ضغطٍ يكونُ على قاعدةِ الوعاءِ:



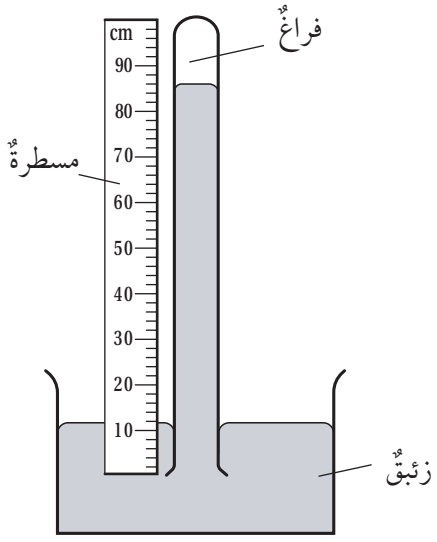
أ. A ب. B

جـ. C د. D

3. الضغطُ الجويُّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ (100 kPa)، وكثافةُ ماءِ البحرِ ($1020\ kg/m^3$). على أيِّ عمقٍ تحتَ سطحِ الماءِ يكونُ الضغطُ الكليُّ (151 kPa)؟

أ. 5 m ب. 25 m جـ. 50 m د. 55 m

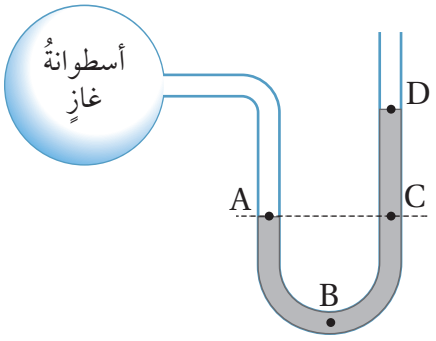
4. يبيّنُ الشكلُ المجاورُ بارومترَ زئبقيًّا استُخدِمَ لقياسِ الضغطِ الجويِّ. أيُّ الأطوالِ الآتيةِ يستخدمُ لحسابِ مقدارِ الضغطِ الجويِّ الذي قاسهُ البارومترُ بوحدةِ (cmHg)؟



أ. 12 ب. 74

جـ. 86 د. 100

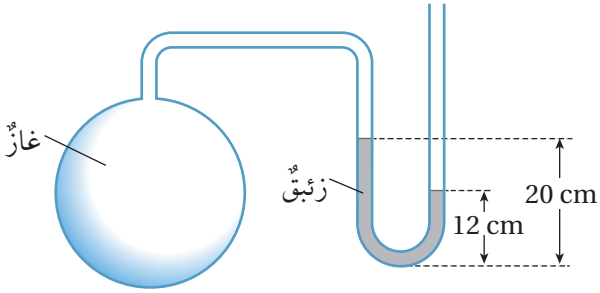
5. يُبيّنُ الشكلُ المجاورُ مانوميترَ، طرفُه الأولُ يتّصلُ بأسطوانةِ غازٍ، وطرفُه الثاني مفتوحٌ. النقطةُ التي يكونُ عندَها مقدارُ الضغطِ الكليِّ أكبرَ ما يمكنُ هي:



أ . A　　ب . B

جـ. D　　د . C

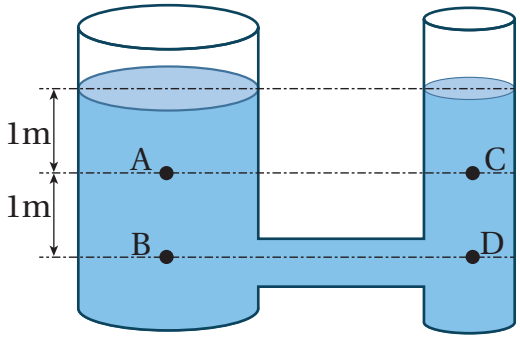
6. يبينُ الشكلُ المجاورُ مانوميترَ طرفُه الأولُ يتّصلُ بأسطوانةِ غازٍ، وطرفُه الثاني مفتوحٌ. إذا كانَ الضغطُ الجويُّ يساوي (76 cmHg)،فإنَّ ضغطَ الغازِ بوحدةِ (cmHg):



أ . 56　　ب . 68

جـ. 84　　د . 96

7. معتمدًا على البياناتِ المُثبَّتةِ على الشكلِ المجاورِ، وإذا علمتُ أنَّ مساحةَ مقطعِ الأنبوبِ الرفيعِ نصفُ مساحةِ مقطعِ الأنبوبِ العريضِ، وأنَّ الضغطَ الجويَّ (100 kPa)، والسائلَ الذي يملأُ الوعاءَ ماءً كثافتُه ($1 \times 10^3\ kg/m^3$)، فإنَّ الضغطَ الكليَّ عندَ النقاطِ: (A, B, C, D) بوحدةِ (kPa).



أ . $P_A = P_B = 10,\ P_C = P_D = 20$

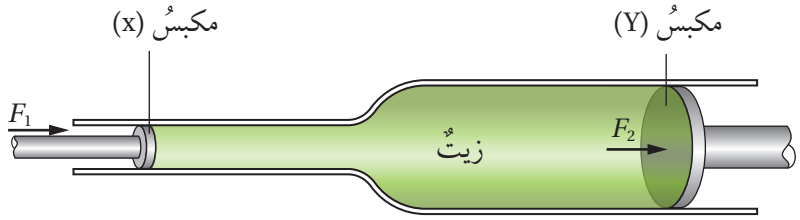
ب . $P_A = P_C = 10,\ P_B = P_D = 20$

جـ. $P_A = 110,\ P_B = 120,\ P_C = 55,\ P_D = 60$

د . $P_A = P_C = 110,\ P_B = P_D = 120$

2. **أصفُ** كيفَ يتغيّرُ الضغطُ الجويُّ بزيادةِ الارتفاعِ عن سطحِ البحرِ، وضغطُ الماءِ بزيادةِ العمقِ تحتَ سطحِ الماءِ.

3. يبيّنُ الشكلُ مقطعًا منْ نظامِ الكوابحِ في السيارةِ. مستعينًا بالشكلِ أجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:

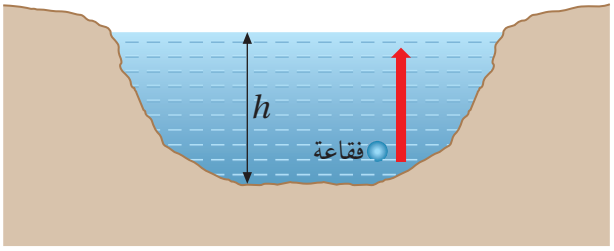


أ . **أحسبُ** مقدارَ الضغطِ على الزيتِ المحصورِ في الأسطوانةِ، الناتجِ منْ قوةٍ مقدارُها $(F_1 = 90\ \text{N})$ تؤثّرُ في مِكبسِ الأسطوانةِ (x)، علمًا أنَّ مساحةَ سطحِه $(48\ \text{cm}^2)$.

ب . ينتقلُ الضغطُ عبرَ الزيتِ إلى المِكبسِ (Y) فيتأثّرُ بقوّةٍ (F_2)، لماذا يكونُ مقدارُ القوّةِ (F_2) المؤثّرةِ في المِكبسِ (Y) أكبرَ من مقدارِ القوّةِ (F_1)؟

جـ. **أفسّرُ:** لا يعملُ نظامُ الكوابحِ على النحوِ المطلوبِ، إذا تسرّبتْ فقاعاتُ هواءٍ إلى الأسطوانةِ.

4. يبيّنُ الشكلُ بحيرةً عمقُ الماءِ فيها $(12\ \text{m})$، وكثافةُ الماءِ $(1 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)$:



أ . **أحسبُ** الضغطَ الكليَّ عندَ أسفلِ البحيرةِ، إذا كانَ الضغطُ الجويُّ $(P_0 = 1 \times 10^5\ \text{Pa})$.

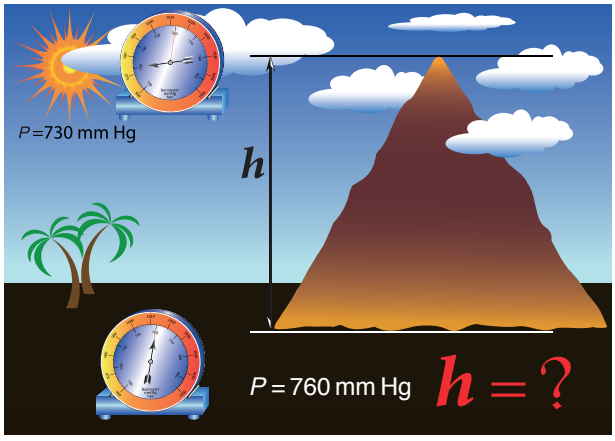
ب . **التفكيرُ الناقدُ:** هلْ يتغيّرُ حجمُ فقاعةِ غازٍ تنطلقُ منْ أسفلِ البحيرةِ إلى سطحِها ؟ أفسّرُ إجابتي.

5. **التفكيرُ الناقدُ:** تُبحِرُ غوّاصةٌ على عمقِ $(20\ \text{m})$ تحتَ سطحِ ماءِ البحرِ، ضغطُ ماءِ البحرِ على هذا العمقِ (P)، وكثافةُ ماءِ البحرِ (ρ_s). ثمَّ تُبحِرُ الغوّاصةُ نفسُها في ماءٍ عذبٍ على عمقِ $(20.6\ \text{m})$ تحتَ سطحِ الماءِ، كثافةُ الماءِ العذبِ (ρ_f)، حيثُ $(\rho_s = 1.03\ \rho_f)$. فهلْ تتأثّرُ الغوّاصةُ في الماءِ العذبِ بضغطٍ مساوٍ أمْ أكبرَ أمْ أقلَّ منَ الضغطِ (P) المؤثِّرِ بها في ماءِ البحرِ؟ أُعطي دليلًا يدعمُ صحّةَ إجابتي.

6. صمّمتْ مجموعةٌ منَ الطالباتِ نموذجًا لرافعةٍ هيدروليكيّةٍ، على نحوِ ما هو مبيَّنٌ في الشكلِ المجاورِ.

أ . **أصفُ** كيفَ يعملُ النموذجُ؟

ب . **أقترحُ**: كيفَ يمكنُ تطويرُ النموذجِ؟



7. **أحلّلُ**: يُبيّنُ الشكلُ المجاورُ قراءتَي بارومترَ عندَ أسفلِ جبلٍ وأعلاهُ، معتمدًا على البياناتِ المُثبَتةِ على الشكلِ أُجيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:

أ . أحسبُ الفرقَ في الضغطِ بينَ أسفلِ الجبلِ وأعلاهُ بوحدةِ الباسكالِ، علمًا أنَّ كثافةَ الزئبقِ تساوي ($13.6 \times 10^3\ kg/m^3$).

ب . أحسبُ ارتفاعَ الجبلِ، علمًا أنَّ متوسطَ كثافةِ الهواءِ يساوي ($1.2\ kg/m^3$).

8. **التفكيرُ الناقدُ**: عندَ استخدامِ بارومترَ زئبقيٍّ لقياسِ الضغطِ الجويِّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ، فإنَّ طولَ عمودِ الزئبقِ في الأنبوبِ يستقرُّ عندَ (76 cm) بالنسبةِ إلى سطحِ الزئبقِ في الوعاءِ.

أ . ماذا لو استُخدمَ الماءُ بدلًا منَ الزئبقِ، فكمْ سيكونُ ارتفاعُ عمودِ الماءِ في البارومترِ عندَ مستوى سطحِ البحرِ؟

ب . لماذا لا يُستخدَمُ الماءُ في البارومترِ ويُستخدمُ الزئبقُ؟ أُعطي دليلًا علميًّا يدعمُ إجابتي معتمدًا على النتيجةِ التي توصّلْتُ إليها في الفرعِ (أ).

الوَحدةُ 5

انكسارُ الضوءِ وتطبيقاتُهُ

Refraction of Light And Its Applications

قالَ تعالى:

﴿ وَٱلَّذِينَ كَفَرُوٓاْ أَعۡمَٰلُهُمۡ كَسَرَابِۭ بِقِيعَةٖ يَحۡسَبُهُ ٱلظَّمۡـَٔانُ مَآءً حَتَّىٰٓ إِذَا جَآءَهُۥ لَمۡ يَجِدۡهُ شَيۡـٔٗا وَوَجَدَ ٱللَّهَ عِندَهُۥ فَوَفَّىٰهُ حِسَابَهُۥۗ وَٱللَّهُ سَرِيعُ ٱلۡحِسَابِ ٣٩ ﴾

[سورة النور، آية (39)]

أتأمّلُ الصورةَ

في فصلِ الشتاءِ يظهرُ عادةً في الجهةِ المقابلةِ للشمسِ ما يُعرفُ بقوسِ المطرِ (قوسِ قزح) بألوانِه الجميلةِ، التي تنتجُ منِ انحرافِ الضوءِ عن مسارِه في أثناءِ مرورِه عبرَ قطراتِ المطرِ في السماءِ. وعندَما أنظرُ إلى قوسِ المطرِ، أرى ألوانَ الضوءِ الأبيضِ مرتَّبةً منَ الأحمرِ في الأعلى إلى البنفسجيِّ في الأسفلِ. لكنْ، كيفَ يتشكّلُ قوسُ المطرِ؟ ولماذا تُفصلُ الألوانُ؟

الفكرةُ العامّةُ:

عندَما يسقطُ الضوءُ بزاويةٍ غيرِ عموديةٍ على الحدِّ الفاصلِ بينَ وسطيْنِ شفافيْنِ مختلفيْنِ، فإنَّهُ يغيّرُ مسارَه عندَ الحدِّ الفاصلِ، ونقولُ عندَئذٍ: إنَّ الضوءَ قدِ انكسرَ. ويترتّبُ على ذلكَ حدوثُ ظواهرَ ضوئيّةٍ عدّةٍ نشاهدُها في حياتِنا اليوميّةِ.

الدرسُ الأولُ: انكسارُ الضوءِ

الفكرةُ الرئيسةُ: الانكسارُ هو انحرافُ الضوءِ عنْ مسارِه عندَما ينتقلُ بينَ وسطينِ شفّافينِ مختلفينِ.

الدرسُ الثاني: تطبيقاتٌ وظواهرُ بصريّةٌ

الفكرةُ الرئيسةُ: لانكسارِ الضوءِ تطبيقاتٌ عديدةٌ في حياتِنا، وتنشأُ عنهُ ظواهرُ بصريةٌ متنوّعةٌ.

الدرسُ الثالث: العدساتُ الرقيقةُ

الفكرةُ الرئيسةُ: تختلفُ صفاتُ الأخيلةِ المتكوّنةِ في العدساتِ باختلافِ نوعِ العدسةِ، وبُعدِها البؤريِّ، وموقعِ الجسمِ بالنسبةِ إليها.

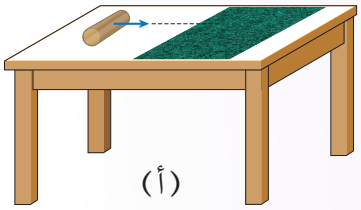
تجربةٌ استهلاليةٌ

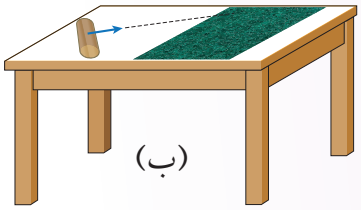
انحرافُ مسارِ الحركةِ لجسمٍ

الموادُّ والأدواتُ: أُسطوانـة فلزيـةٌ أو خشبيةٌ بقطرِ (5 – 10 cm) وارتفاعِ (20 – 30 cm)، قطعُ قُماشٍ خشنٍ مستطيلـةُ الشكلِ أبعادُها (60 cm × 100 cm) تقريبًا، ورقٌ أبيضُ (A 4).

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ من سقوطِ الأُسطوانة على القدمينِ.

خطواتُ العملِ: بالتعاونِ معَ أفرادِ مجموعتي، أُنفّذُ الخطواتِ الآتيةَ:


(أ)


(ب)

1. أُثبّتُ قطعةَ قُماشٍ على أحدِ نصفَي سطحِ الطاولةِ، وأَضعُ الأسطوانةَ على النصفِ الآخرِ، كما في الشكلِ (أ).
2. أدحرجُ الأسطوانةَ باتّجاهٍ عموديٍّ على حافةِ قطعةِ القُماشِ المقابلةِ للأسطوانةِ، وأُلاحظُ سرعتَها على سطحِ الطاولةِ مقارنةً بسرعتِها على قطعةِ القُماشِ.
3. أُعيدُ الأسطوانةَ إلى مكانِها، ثمَّ أدحرجُها باتجاهٍ يصنعُ زاويةً حادّةً معَ حافةِ قطعةِ القماشِ المقابلةِ للأسطوانةِ، كما في الشكلِ (ب)، وأُلاحظُ ما يحدثُ للأسطوانةِ عندَما تبدأُ بالتدحرجِ على قطعةِ القُماشِ.
4. أُكرّرُ الخطوةَ السابقةَ (2 – 3) مرّاتٍ، وأُدوّنُ ملاحظاتي عنِ اتجاهِ حركةِ الأسطوانةِ على سطحِ الطاولةِ مقارنةً باتجاهِ حركتِها على قطعةِ القماشِ.
5. أَضعُ الأسطوانةَ على قطعةِ القماشِ وأدحرجُها نحوَ سطحِ الطاولةِ، وباتجاهٍ يصنعُ زاويةً حادّةً مع حافةِ قطعةِ القماشِ، وأُلاحظُ بأيِّ اتجاهٍ سوفَ تنحرفُ عندَ انتقالِها إلى سطحِ الطاولةِ مقارنةً باتجاهِ حركتِها على قطعةِ القماشِ.

التحليلُ والاستنتاجُ:

1. **أُقارنُ** مقدارَ سرعةِ الأسطوانةِ على سطحِ الطاولةِ بمقدارِ سرعتِها على قطعةِ القماشِ (أيُّهما أكبرُ)، عندَما تتدحرجُ بحسبِ الوضعِ الواردِ في الخطوةِ (2).
2. **أُفسّرُ** سببَ اختلافِ سرعةِ الأسطوانةِ عندَ انتقالِها من سطحِ الطاولةِ إلى قطعةِ القماشِ.
3. **أُحلّلُ:** أُقارنُ اتجاهَ حركةِ الأسطوانةِ على سطحِ الطاولةِ باتجاهِ حركتِها على قطعةِ القماشِ، عندَما تتدحرجُ بحسبِ الوضعِ الواردِ في الخطوتينِ (3 ، 4)، وأُفسّرُ سببَ انحرافِ الأسطوانةِ عن مسارِها عندَما انتقلتْ منْ سطحِ الطاولةِ إلى قطعةِ القُماشِ.
4. **أُقارنُ** اتجاهِ انحرافِ الأسطوانةِ عندَما تتدحرجُ بحسبِ الوضعِ الواردِ في الخطوتينِ (3 ، 4)، باتجاهِ انحرافِها عندَما تتدحرجُ بحسبِ الوضعِ الواردِ في الخطوةِ (5).
5. **أَستنتجُ** ما يحدثُ لسرعةِ جسمٍ (مقدارًا واتجاهًا) عندَما ينتقلُ من وسطٍ ما إلى وسطٍ آخرَ مختلفٍ.

الدرس 1

انكسارُ الضوءِ
Refraction of Light

الفكرةُ الرئيسةُ:

الانكسارُ هو انحرافُ الضوءِ عن مسارِه عندَما ينتقلُ بينَ وسطينِ شفّافينِ مختلفينِ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أُفسّرُ ظاهرةَ انكسارِ الضوءِ.
- أُنفّذُ تجاربَ عمليةً للتوصّلِ إلى قانونِ سنِل.
- أُطبّقُ قانونَ سنِل في حلِّ مسائلَ حسابيةٍ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

الانكسارُ	Refraction
معاملُ الانكسارِ	Refractive Index
زاويةُ السقوطِ	Angle of Incidence
زاويةُ الانكسارِ	Angle of Refraction

للضوءِ أهميّةٌ بالغةٌ في حياتِنا، وهو يحيطُ بنا من كلِّ مكانٍ، فهو سببُ رؤيتِنا الأشياءَ من حولِنا، ويُسهِّلُ علينا استكشافَ العالمِ المحيطِ بنا. فلو أغمضْنا أعيُنَنا لحظةً، وتخيّلْنا عالمَ الظلامِ الذي سنعيشُ فيهِ، فكيفَ سيبدو عالمُنا دونَ وجودِ الضوءِ؟ توجدُ عملياتٌ مختلفةٌ تحدثُ للضوءِ وتساعدُنا على رؤيةِ العالمِ من حولِنا، منها الانعكاسُ والانكسارُ، فالأجسامُ من حولِنا تعكسُ الضوءَ الساقطَ عليها منَ المصادرِ الضوئيّةِ المختلفةِ، كالشمسِ، والمصابيحِ، والأجسامِ المشتعلةِ، وعندَما يدخلُ الضوءُ القادمُ من هذهِ الأجسامِ إلى أعيُنِنا، ينكسرُ عن طريقِ العدسةِ الموجودةِ في أعيُنِنا ويتركّزُ على الشبكيّةِ، فتحدثُ الرؤيةُ.

وقد تعرّفْنا في صفٍّ سابقٍ الانعكاسَ، وسنتعرّفُ في هذا الدرسِ خصيصةً أخرى للضوءِ وهي الانكسارُ.

الانكسارُ Refraction

ينتقلُ الضوءُ في الفراغِ أوْ في الوسطِ الشفّافِ المتجانسِ (كالماءِ والزجاجِ) بسرعةٍ ثابتةٍ وفي خطٍّ مستقيمٍ دونَ أن ينحرفَ، ولكنْ، هلْ يبقى كذلكَ عندَما ينتقلُ منَ الفراغِ إلى وسطٍ شفّافٍ أوِ العكسُ، أوْ منْ وسطٍ شفّافٍ إلى وسطٍ شفّافٍ آخرَ؟

عندَما نضعُ قلمًا في كأسٍ بها ماءٌ، فإنَّ القلمَ يظهرُ مكسورًا عندَ سطحِ الماءِ كما في الشكلِ (1)، وهذا يدلُّ على أنَّ الأشعّةَ

الشكلُ (1): ظاهرةُ الانكسارِ.

الضوئيةَ القادمةَ منَ الجزءِ المغمورِ في الماءِ منَ القلمِ والساقطةَ على العينِ قدْ غيّرتْ مسارَ حركتِها (انكسرتْ) عندَما انتقلتْ منَ الماءِ إلى الهواءِ، فما الذي أدّى إلى ظهورِ القلمِ مكسورًا؟ ولماذا تغيّرَ مسارُ الضوءِ عندَما انتقلَ منَ الماءِ إلى الهواءِ؟

تبلغُ سرعةُ الضوءِ في الفراغِ $(c = 3 \times 10^8\ \text{m/s})$ تقريبًا، لكنَّها تقلُّ عنْ ذلكَ في الأوساطِ الشفّافةِ (كالهواءِ، والماءِ، والزجاجِ، وغيرِها)، وتختلفُ سرعةُ الضوءِ في الأوساطِ الشفّافةِ باختلافِ هذهِ الأوساطِ؛ لذا عندَما ينتقلُ الضوءُ منْ وسطٍ شفّافٍ إلى وسطٍ شفّافٍ آخرَ فإنَّ سرعتَه تتغيّرُ، ما يؤدّي إلى تغيّرِ مسارِه. ويُطلقُ على ظاهرةِ تغيّرِ مسارِ الضوءِ عندَ انتقالِه بينَ وسطينِ شفّافينِ مختلفينِ اسمَ: **انكسارِ الضوءِ Refraction of light.**

أتحقّقُ: أُعرّفُ انكسارَ الضوءِ.

معاملُ الانكسارِ Refractive Index

يُعرّفُ **معاملُ الانكسارِ Refractive index** للوسطِ الشفّافِ بأنَّه: النسبةُ بينَ سرعةِ الضوءِ في الفراغِ (c) إلى سرعتِه في الوسطِ الشفّافِ (ν). ويُرمزُ إلى معاملِ الانكسارِ بالرمزِ (n)، أيْ أنَّ:

$$n = \frac{\text{سرعةُ الضوءِ في الفراغِ}}{\text{سرعةِ الضوءِ في الوسطِ الشفافِ}} = \frac{c}{\nu}$$

ونظرًا إلى أنَّ سرعةَ الضوءِ في الوسطِ الشفافِ أقلُّ منْ سرعتِه في الفراغِ، فإنَّه وفقًا للمعادلةِ السابقةِ تكونُ قيمةُ معاملِ الانكسارِ $(n \geq 1)$، حيثُ تساوي (1) للفراغِ، وهيَ أقلُّ قيمةٍ لمعاملِ الانكسارِ. ويُعدُّ معاملُ الانكسارِ مقياسًا لقدرةِ الوسطِ الشفّافِ على كسرِ الأشعةِ الضوئيةِ، فكلَّما كانَ معاملُ انكسارِ الوسطِ الشفافِ أكبرَ، كانتْ قدرتُه على كسرِ الأشعةِ الضوئيةِ أكبرَ، لكنَّ سرعتَه تقلُّ معَ زيادةِ معاملِ الانكسارِ على نحوِ ما يظهرُ منَ المعادلةِ السابقةِ، وألاحظُ أيضًا منَ المعادلةِ أنَّ معاملَ الانكسارِ ليسَ لهُ وحدةُ قياسٍ، لأنَّه حاصلُ قسمةِ

الربطُ بالتاريخِ

أوّلُ مَنْ وصفَ قانونَ الانكسارِ وصفًا صحيحًا هوَ العالمُ المسلمُ العلاءُ بنُ سهلٍ في القرنِ العاشرِ الميلاديِّ، وقدِ استخدمَ القانونَ في التوصّلِ إلى الشكلِ الهندسيِّ لعدسةٍ ذاتِ تركيزٍ عالٍ، المعروفةِ باسمِ "anaclastic". وقدِ استفادَ الحسنُ بنُ الهيثمِ منْ أبحاثِ ابنِ سهلٍ في اكتشافاتِه الخاصّةِ بعلمِ البصريّاتِ.

الجدولُ (1): معاملاتُ الانكسارِ لبعضِ الموادِّ الشفّافةِ.

معاملاتُ الانكسارِ لبعضِ الموادِّ الشفّافةِ							
المادّةُ	الهواءُ	الماءُ	الأسيتون	الجلسرين	الزجاجُ	الكوارتز	الماس
معاملُ الانكسارِ	1.0003	1.33	1.36	1.47	1.52	1.55	2.42

أفكّر: مستعينًا بتعريفِ معاملِ الانكسارِ وبالقيمِ الواردةِ في الجدولِ (1)، في أيِّ الوسطيْنِ تكونُ سرعةُ الضوءِ أكبرَ: في الماءِ أمِ الزجاجِ؟

كمّيتينِ لهما وحدةُ القياسِ نفسُها. ويُبيّنُ الجدولُ (1) معاملاتِ الانكسارِ لبعضِ الموادِّ الشفّافةِ.

أُلاحظُ منَ الجدولِ أنَّ معاملَ الانكسارِ للهواءِ يساوي (1) تقريبًا، الذي يساوي معاملَ الانكسارِ للفراغِ.

✓ **أتحقّقُ:** ما أقلُّ قيمةٍ لمعاملِ الانكسارِ؟

المثالُ 1

بالاستعانةِ بالجدولِ (1)، أحسُبُ سرعةَ الضوءِ في الماءِ، علمًا أنَّ سرعتَه في الفراغِ $3 \times 10^8\ \text{m/s}$

المُعطياتُ: $n = 1.33$ ، $c = 3 \times 10^8\ \text{m/s}$.

المطلوبُ: $\nu = ?$.

الحلُّ:

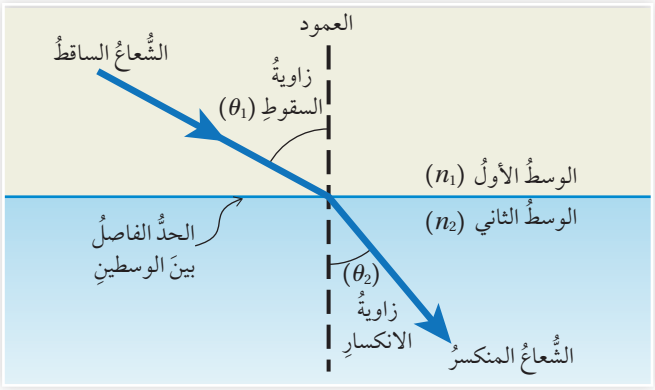
بالتطبيقِ على معادلةِ حسابِ معاملِ الانكسارِ:

$$n = \frac{c}{\nu}$$

$$1.33 = \frac{3 \times 10^8}{\nu}\ ,\quad \nu = \frac{3 \times 10^8}{1.33} = 2.25 \times 10^8\ \text{m/s}$$

تمرين

بالاستعانةِ بالجدولِ (1) أحسبُ سرعةَ الضوءِ في الزجاجِ.



الشكلُ (2): تمثيلُ الانكسارِ بالرسمِ.

تمثيلُ الانكسارِ بالرسمِ Representing Refraction Using Diagrams

لفهمِ سلوكِ الضوءِ في أثناءِ انتقالِه في الأوساطِ الشفّافةِ، يمكنُ تمثيلُ عمليةِ الانكسارِ برسومٍ تخطيطيّةٍ. فالشكلُ (2) يمثّلُ انتقالَ شعاعٍ ضوئيٍّ بينَ وسطينِ شفّافينِ مختلفين، وتُعرّفُ المصطلحاتُ الواردةُ في الشكلِ على النحوِ الآتي:

الوسطُ الأولُ: الوسطُ الشفّافُ الذي يسقطُ فيهِ الشعاعُ الضوئيُّ، ومعاملُ انكسارِه (n_1).

الوسطُ الثاني: الوسطُ الشفّافُ الذي ينتقلُ فيهِ الشعاعُ المنكسرُ، ومعاملُ انكسارِه (n_2).

الحدُّ الفاصلُ بينَ الوسطينِ: سطحُ التقاءِ الوسطِ الأولِ معَ الوسطِ الثاني.

العمودُ: الخطُّ العموديُّ على الحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ الشفّافينِ والمقامِ منْ نقطةِ السقوطِ (نقطةِ التقاءِ الشعاعِ الساقطِ بالحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ).

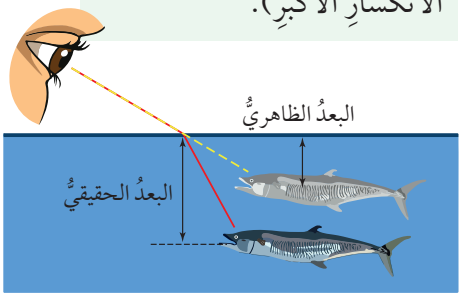
زاويةُ السقوطِ Angle of incidence: الزاويةُ المحصورةُ بينَ الشعاعِ الساقطِ والعمودِ، ويُرمزُ إليها بالرمزِ (θ_1).

زاويةُ الانكسارِ Angle of refraction: الزاويةُ المحصورةُ بينَ الشعاعِ المنكسرِ والعمودِ، ويُرمزُ إليها بالرمزِ (θ_2).

وكلٌّ منَ الشعاعِ الساقطِ والشعاعِ المنكسرِ والعمودِ تقعُ جميعُها في مستوًى واحدٍ عموديٍّ على الحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ.

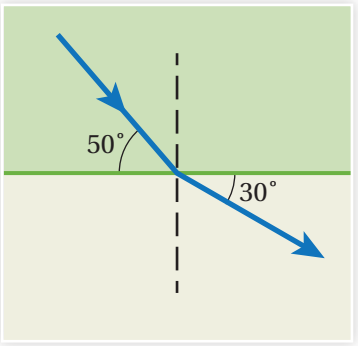
الربطُ بالحياةِ

نظرًا إلى انكسارِ الضوءِ عندَ الحدِّ الفاصلِ بينَ وسطينِ شفّافينِ مختلفينِ، فإنَّ الأجسامَ الموجودةَ داخلَ أحدِ الوسطينِ تبدو أقربَ منْ موقعِها الحقيقيِّ (عندَ النظرِ إليها منَ الوسطِ ذي معاملِ الانكسارِ الأصغرِ)، أوْ أبعدَ منْ موقعِها الحقيقيِّ (عندَ النظرِ إليها منَ الوسطِ ذي معاملِ الانكسارِ الأكبرِ).



المثالُ 2

أحسبُ كلًّا من زاويةِ السقوطِ وزاويةِ الانكسارِ في الشكلِ.



المُعطياتُ: الزاويةُ التي يصنعُها الشعاعُ الساقطُ معَ الحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ = 50°، والزاويةُ التي يصنعُها الشعاعُ المنكسِرُ معَ الحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ = 30°.

المطلوبُ: $\theta_1 = ?$، $\theta_2 = ?$.

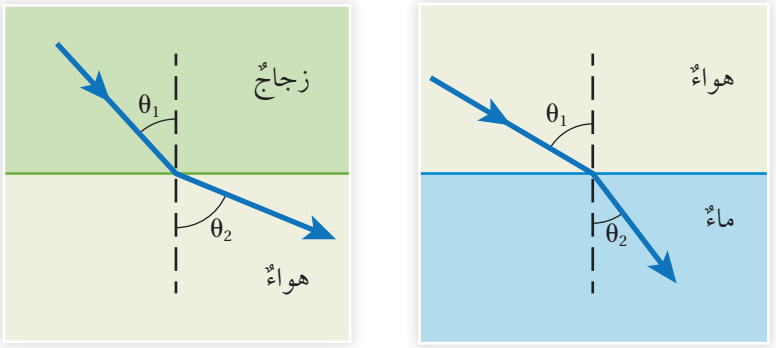
الحلُّ:

θ_1: الزاويةُ التي يصنعُها الشعاعُ الساقطُ معَ العمودِ

$$\theta_1 = 90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$$

θ_2: الزاويةُ التي يصنعُها الشعاعُ المنكسرُ معَ العمودِ

$$\theta_2 = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$



الشكلُ (3):
أ . انكسارُ الشعاعِ الضوئيِّ مقتربًا من العمودِ.
ب. انكسارُ الشعاعِ الضوئيِّ مبتعدًا عن العمودِ.

قانونُ الانكسارِ (قانونُ سنِل)

The Law of Refraction (Snell's Law)

عندما ينتقلُ شعاعٌ ضوئيٌّ منْ وسطٍ شفّافٍ معاملُ انكسارِه (n_1) إلى وسطٍ شفّافٍ معاملُ انكسارِه (n_2) فإنَّ سرعتَه تقلُّ، وينكسرُ مقتربًا منَ العمودِ كما في الشكلِ (3/ أ)، إذا كان $n_2 > n_1$. أمّا إذا كانَ $n_1 > n_2$، فإنَّ سرعتَه تزدادُ، وينكسرُ مبتعِدًا عنِ العمودِ كما في الشكلِ (3/ ب).

لكنْ، ما العلاقةُ بينَ زاويةِ السقوطِ (θ_1)وزاويةِ الانكسارِ (θ_2)؟

عامَ 1621 توصّلَ العالِمُ الألمانيُّ ويلبرورد سنِل (Willebrord Snell) تجريبيًّا إلى علاقةٍ رياضيّةٍ تربطُ بينَ زاويتَي السقوطِ والانكسارِ، وهيَ على الصورةِ الآتيةِ:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

ويُطلقُ على هذِهِ العلاقةِ اسمُ قانونِ الانكسارِ أو قانونِ سنِل، حيثُ:

n_1: معاملُ انكسارِ الوسطِ الأولِ.

n_2: معاملُ انكسارِ الوسطِ الثاني.

θ_1: زاويةُ السقوطِ.

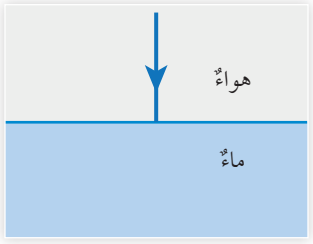
θ_2: زاويةُ الانكسارِ.

أتحقّقُ: إذا انتقلَ شعاعٌ بينَ وسطينِ شفّافينِ وكانَ $n_1 > n_2$، ففي أيِّ الوسطينِ تكونُ سرعةُ الضوءِ أكبرَ ؟

أصمّمُ باستخدامِ برنامجِ السكراتش (Scratch) عرضًا يوضّحُ كيفَ تتغيرُ زاويةُ الانكسارِ بتغيُّرِ زاويةِ السقوطِ عندَما ينتقلُ الضوءُ منْ وسطٍ شفّافٍ إلى وسطٍ شفّافٍ آخرَ، ثمَّ أعرضُه على زملائي/ زميلاتي في الصفِّ.

المثالُ 3

أحسبُ زاويةَ الانكسارِ في الشكلِ.



المُعطياتُ: $\theta_1 = 0^\circ$ ومن الجدول (1): $n_1 = 1$ ، $n_2 = 1.33$.

المطلوبُ: $\theta_2 = ?$.

الحلُّ:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$1 \times \sin 0^\circ = 1.33 \times \sin\theta_2$$
$$\theta_2 = 0^\circ$$

وهذا يعني أنَّ الشعاعَ يستمرُّ في مسارِه دونَ انحرافٍ.

يتّضحُ منَ المثالِ السابقِ أنَّ الشعاعَ الضوئيَّ لا يتغيّرُ مسارُه إذا سقطَ عموديًّا على الحدِّ الفاصلِ بينَ وسطينِ شفّافينِ، ومعَ ذلكَ فإنَّ سرعتَه تتغيّرُ.

المثالُ 4

انتقلَ شعاعٌ ضوئيٌّ منَ الماءِ إلى وسطٍ شفّافٍ غيرِ معلومٍ، فإذا كانتْ زاويةُ سقوطِ الشعاعِ 45° وزاويةُ انكسارِه 38° فأحسبُ معاملَ انكسارِ الوسطِ غيرِ المعلومِ، ثمَّ أحدّدُ طبيعتَه مستعينًا بالجدولِ (1).

المُعطياتُ: $\theta_1 = 45^\circ$ ، $\theta_2 = 38^\circ$ ، ومن الجدولِ (1): $n_1 = 1.33$.

المطلوبُ: $n_2 = ?$ ، طبيعةُ الوسطِ الشفّافِ غيرِ المعلومِ.

الحلُّ:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$
$$1.33 \times \sin 45^\circ = n_2 \times \sin 38^\circ$$
$$n_2 = 1.53$$

وبالرجوعِ إلى الجدولِ (1) يظهرُ أنَّ الوسطَ الشفّافَ أقربُ إلى كونِهِ مصنوعًا منَ الزجاجِ.

تمرين

انتقلَ شعاعٌ ضوئيٌّ منَ الماسِ إلى الماءِ، فإذا كانتْ زاويةُ سقوطِ الشعاعِ 30°، فأحسبُ ما يأتي:

1. سرعةَ الضوءِ في الماسِ.
2. زاويةَ انكسارِ الشعاعِ في الماءِ.

التجربةُ 1

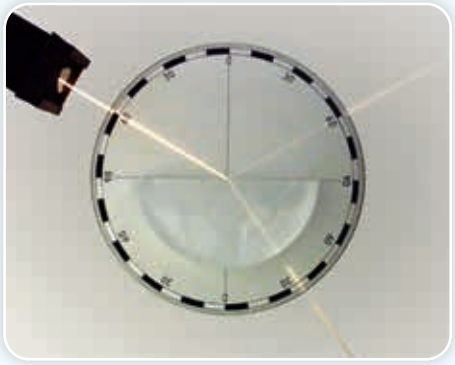
التوصُّلُ إلى قانونِ الانكسارِ عمليًّا

الموادُّ والأدواتُ: صندوقٌ ضوئيٌّ، قرصٌ زجاجيٌّ نصفُ دائريٍّ معاملُ انكساره معلومٌ، مِنْقَلةٌ دائريّةٌ، ورقٌ أبيضُ (A4)، قلمٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذَرُ من سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ.

خطواتُ العملِ:

1- أُثبّتُ ورقةً بيضاءَ على سطحِ الطاولةِ وأضعُ فوقَها المِنقلةَ الدائريّةَ، ثمَّ أضعُ القرصَ الزجاجيَّ عندَ منتصفِ المِنقلةِ على أن ينطبقَ مركَزُ القرصِ على مركزِ المِنْقلةِ.



2- أُعَلّمُ بالقلمِ حولَ القرصِ الدائريِّ، ثمَّ أُنشئُ بالقلمِ عمودًا على الوجهِ المستوي للقرصِ منْ مركَزِه.

3- أُسقِطُ حزمةً ضوئيةً ضيّقةً منَ الصندوقِ الضوئيِّ على القرصِ، على أنْ تكونَ موازيةً لسطحِ الورقةِ، وتصنعَ زاويةً معَ العمودِ المرسومِ في الخطوةِ (2)، كما في الشكلِ المجاورِ.

4- أدوّنُ في جدولٍ زاويتَي سقوطِ الشعاعِ وانكسارِه.

5- أغيّرُ منْ زاويةِ سقوطِ الشعاعِ، ثمّ أدوّنُ زاويتَي السقوطِ والانكسارِ في الجدولِ الآتي.

6- أكرّرُ الخطوةَ (5) مرّاتٍ عدّةً، وأدوّنُ زاويتَي السقوطِ والانكسارِ كلَّ مرّةٍ في الجدولِ الآتي:

رقمُ المحاولةِ	زاويةُ السقوطِ (θ_1)	زاويةُ الانكسارِ (θ_2)	$\sin\theta_1$	$\sin\theta_2$	$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$
1					
2					
3					
4					
5					

التحليلُ والاستنتاجُ

1. **أحسُبُ** كلًّا من: $\sin\theta_1$ ، $\sin\theta_2$ للمحاولاتِ جميعِها، وأدوّنُها في الجدولِ السابقِ.
2. **أحسبُ** النسبةَ $\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ للمحاولاتِ جميعِها، وأدوّنُها في الجدولِ السابقِ، وأقارنُها بمعاملِ انكسارِ القرصِ الزجاجيِّ المستخدمِ في التجربةِ. هلْ يوجدُ أيُّ اختلافٍ بينَهما؟ أُفسّرُ إجابتي.
3. **أحسبُ** قيمَ (θ_2) عن طريقِ قانونِ سنِل للمحاولاتِ جميعِها.
4. **أقارنُ** بينَ قيمِ (θ_2) التي حصلْنا عليها منْ قانونِ سنل بالقيمِ التجريبيّةِ المدوّنةِ في الجدولِ.
5. **أحلّلُ:** هلْ دعمتْ نتائجُ تجربتي التي حصلتُ عليها قانونَ سنل في الانكسارِ؟ أُوضّحُ سببَ وجودِ أيِّ اختلافٍ بينَهما.
6. **أفسّرُ:** إذا أُسقطتِ الأشعّةُ الضوئيّةُ في القرصِ الزجاجيِّ بدلًا منَ الهواءِ، فهلْ تتغيّرُ النتائجُ التي حصلْنا عليها؟ أفسّرُ إجابتي.
7. **أتوقّعُ** مصادرَ الخطأِ المُحتَملةَ في التجربةِ.

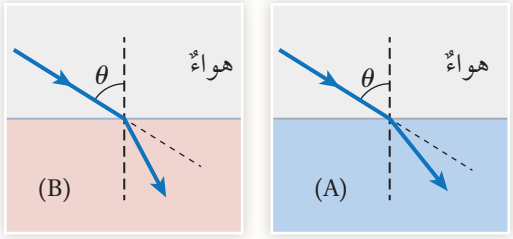
مراجعةُ الدرسِ

1 . **الفكرةُ الرئيسةُ:** أُوضّحُ المقصودَ بانكسارِ الضوءِ.

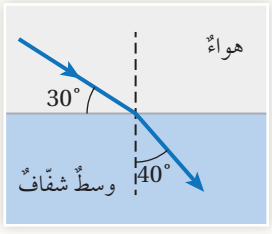
2 . **أَحسبُ** سرعةَ الضوءِ في الزركونِ (مادةٌ تُضافُ إلى المجوهراتِ لتقليدِ الماسِ)، إذا كانَ معاملُ انكسارِه (1.92).

3 . **أَحسبُ:** إذا كانتْ سرعةُ الضوءِ في وسطٍ شفّافٍ تساوي $(1.24 \times 10^8\ m/s)$، أحسبُ معاملَ انكسارِ الوسطِ الشفّافِ.

4 . **أُحلّلُ:** يبيّنُ الشكلُ انتقالَ شعاعٍ ضوئيٍّ منَ الهواءِ إلى وسطٍ شفّافٍ (A)، وإلى وسطٍ شفّافٍ آخرَ (B) بزاويةِ السقوطِ نفسِها. أُبيّنُ في أيِّ الوسطينِ (A) أو (B) تكونُ سرعةُ الضوءِ أكبرَ.



5 . **أَستخدمُ المتغيّراتِ:** يبيّنُ الشكلُ الآتي انتقالَ شعاعٍ ضوئيٍّ منَ الهواءِ إلى وسطٍ شفّافٍ، معتمدًا على الشكلِ، أجدُ ما يأتي:

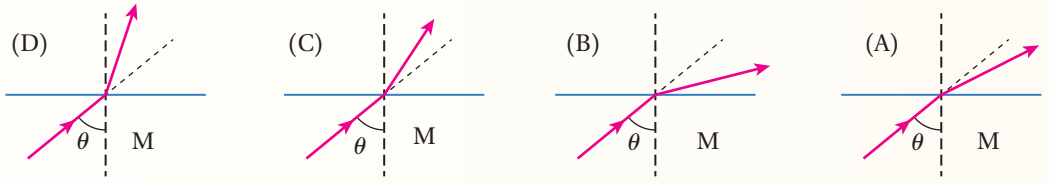


أ . زاويةَ السقوطِ.

ب . معاملَ انكسارِ الوسطِ الشفّافِ.

جـ . سرعةَ الضوءِ في الوسطِ الشفّافِ.

6 . **أُحلّلُ:** تُبيّنُ الأشكالُ الآتيةُ انتقالَ شعاعٍ ضوئيٍّ منْ وسطٍ شفّافٍ (M) إلى أوساطٍ شفّافةٍ مختلفةٍ: (A, B, C, D). أُرتّبُ الأوساطَ الشفّافةَ منَ الوسطِ ذي معاملِ الانكسارِ الأكبرِ إلى الوسطِ ذي معامل الانكسارِ الأصغرِ.



7 . **التفكيرُ الناقدُ:** صمّمَ طالبٌ تجربةً لقياسِ معاملِ انكسارِ مادّةٍ شفّافةٍ، بإسقاطِ شعاعٍ ضوئيٍّ منَ الهواءِ على المادّةِ الشفّافةِ، وقياسِ زاويتَي السقوطِ والانكسارِ، فكانتْ زاويةُ السقوطِ تساوي (10°) وزاويةُ الانكسارِ تساوي (13°). فهلْ يمكنُ أنْ تكونَ القيمُ التي سجّلَها الطالبُ لزاويتَي السقوطِ والانكسارِ صحيحةً؟ أُوضّحُ ذلكَ.

الفكرةُ الرئيسةُ:

لانكسارِ الضوءِ تطبيقاتٌ عدّةٌ في حياتِنا، وتنشأُ عنْهُ ظواهرُ بصريّةٌ متنوّعةٌ.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أُحدّدُ شروطَ حدوثِ ظاهرةِ الانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ عمليًّا.
- أُعبّرُ عنِ الانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ بمعادلةٍ رياضيّةٍ.
- أَحسبُ الزاويةَ الحرجةَ.
- أَشرحُ عددًا منَ الظواهرِ الضوئيّةِ المرتبطةِ بظاهرةِ انكسارِ الضوءِ والانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

زاويةٌ حَرِجةٌ	Critical Angle
انعكاسٌ كلّيٌّ داخليٌّ	Total Internal Reflection
سَرابٌ	Mirage
أليافٌ ضوئيّةٌ	Optical Fibers

لانكسارِ الضوءِ تطبيقاتٌ عدّةٌ في حياتِنا، فلا يكادُ جهازٌ بصريٌّ يخلو منْ دخولِ انكسارِ الضوءِ في مبدأِ عملِه، وتتعدّدُ الظواهرُ البصريّةُ (الضوئيّةُ) التي تحدثُ في الطبيعةِ التي تنشأُ بسببِ انكسارِ الضوءِ، وفي ما يأتي بعضُ التطبيقاتِ والظواهرِ البصريّةِ.

الانعكاسُ الكليُّ الداخليُّ والزاويةُ الحرجةُ

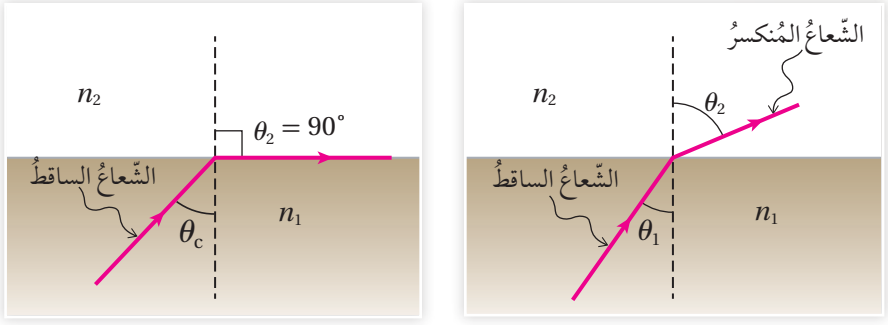
Total Internal Reflection and the Critical Angle

الزاويةُ الحرجةُ Critical Angle

تعلّمتُ في الدرسِ السابقِ أنّه عندَما ينتقلُ شعاعٌ ضوئيٌّ من وسطٍ شفّافٍ معاملُ انكسارِه (n_1) إلى وسطٍ آخرَ معاملُ انكسارِه (n_2) فإنّه ينكسرُ مُبتعِدًا عنِ العمودِ إذا كان $n_1 > n_2$، أيْ تكونُ زاويةُ انكسارِ الشعاعِ الضوئيِّ أكبرَ من زاويةِ سقوطِه، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ (4/ أ)، ووفقًا لقانونِ سنِل

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

يمكنُ ملاحظةُ أنّه بزيادةِ زاويةِ السقوطِ (θ_1) تزدادُ زاويةُ الانكسارِ (θ_2)، ذلكَ أنّ معاملَي الانكسارِ (n_1 ، n_2) ثابتانِ للوسطينِ الشفّافينِ. ونظرًا إلى أنّ (θ_2) أكبرُ منْ (θ_1)، فإنّه عندَ زاويةِ سقوطٍ معيّنةٍ تكونُ زاويةُ الانكسارِ (90°)، عندَما يكونُ الشعاعُ الضوئيُّ المنكسِرُ مُلامِسًا للحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ الشفّافينِ، كما في الشكلِ (4/ ب). ويُطلقُ على زاويةِ سقوطِ



(أ) (ب)

الشكلُ (4):
أ. زاويةُ السقوطِ أقلُّ منَ الزاويةِ الحرجةِ.
ب. زاويةُ السقوطِ تساوي الزاويةَ الحرجةَ.

أفكّر: كيفَ يمكنُ الاستفادةُ مِنْ فكرةِ الزاويةِ الحرجةِ في حسابِ معاملِ انكسارِ الوسطِ الشفّافِ؟

الشعاعِ الضوئيِّ التي تقابلُها زاويةُ انكسارٍ مقدارُها (90°) اسمُ: **الزاويةِ الحرجةِ Critical angle**، ويُرمزُ إليها بالرمزِ (θ_c).

وبتعويضِ ($\theta_1 = \theta_c$) و ($\theta_2 = 90^\circ$) في قانونِ سنِل ينتجُ:

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin 90^\circ$$ ، ومنها:

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

أُلاحظُ منَ المعادلةِ السابقةِ أنَّ ($n_1 > n_2$)، لأنَّ أكبرَ قيمةٍ لجيبِ الزاويةِ يساوي واحدًا، وهذا يعني أنَّهُ يمكنُ الحصولُ على الزاويةِ الحرجةِ فقطْ عندَما ينتقلُ الشعاعُ الضوئيُّ منْ وسطٍ شفافٍ إلى وسطٍ شفافٍ آخرَ، معاملُ انكسارِهِ أقلُّ. وإذا انتقلَ الضوءُ منْ وسطٍ شفّافٍ إلى الفراغِ (الهواءِ)، على أنْ تكونَ زاويةُ سقوطِهِ في الوسطِ الشفّافِ تساوي الزاويةَ الحرجةَ، فإنَّ ($n_1 = n$ ، $n_2 = 1$)، وتكونُ عندَها (θ_c) الزاويةَ الحرجةَ للوسطِ الشفّافِ، أيْ إنَّ:

$$\sin\theta_c = \frac{1}{n}$$

حيثُ n: معاملُ انكسارِ الوسطِ الشفّافِ.

المثالُ 5

أَحسبُ الزاويةَ الحرجةَ للماءِ، علمًا أنَّ معاملَ انكسارِ الماءِ (1.33).

المُعطياتُ: $n = 1.33$.

المطلوبُ: $\theta_c = ?$.

الحلُّ:

$$\sin\theta_c = \frac{1}{n} = \frac{1}{1.33} = 0.75$$

$$\theta_c = 48.6^\circ$$

الربطُ بالحياةِ

تبلغُ الزاويةُ الحرجةُ للماسِ نحوَ 24.4° تقريبًا، وعليهِ عندَما يدخلُ الضوءُ إلى الماسِ يحدثُ لهُ العديدُ منَ الانعكاساتِ الكليّةِ الداخليّةِ، إذْ يُصمَّمُ سطحُهُ الخارجيُّ بأوجهٍ متعددةٍ تجعلُ الضوءَ يتركّزُ ويخرجُ منْ أماكنَ معينةٍ، تكونُ زاويةُ سقوطِهِ عندَها أقلَّ منْ 24.4°، فيظهرُ متلألئًا منْ هذهِ الأماكنِ.

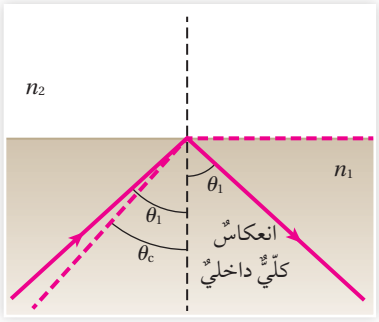
تمرين

أَحسبُ الزاويةَ الحرجةَ لقالبٍ منَ الزجاجِ معاملُ انكسارِهِ (1.5).

الانعكاسُ الكليُّ الداخليُّ Total Internal Reflection

عندَما ينتقلُ شعاعٌ ضوئيٌّ منْ وسطٍ شفافٍ إلى وسطٍ شفافٍ آخرَ، معاملُ انكسارِهِ أقلُّ، وكانتْ زاويةُ سقوطِ الشعاعِ الضوئيِّ أكبرَ منَ الزاويةِ الحرجةِ، فإنَّ الشعاعَ ينعكسُ كليًّا في الوسطِ الذي سقطَ فيهِ، وتكونُ زاويةُ السقوطِ مساويةً لزاويةِ الانعكاسِ، وفقًا لقانونِ الانعكاسِ الذي دُرِّسَ في صفٍّ سابقٍ، كما في الشكلِ (5). ويُطلقُ على العمليّةِ التي تنعكسُ فيها الأشعّةُ الضوئيّةُ كُليًّا في الوسطِ الذي سقطتْ فيهِ اسمُ: **الانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ Total internal reflection.**

وللتحقُّقِ منْ ذلكَ عمليًّا، يمكنُ إجراءُ التجربةِ الآتيةِ:



الشكلُ (5): زاويةُ سقوطِ الشعاعِ الضوئيِّ أكبرُ من الزاويةِ الحرجةِ.

التجربةُ 2

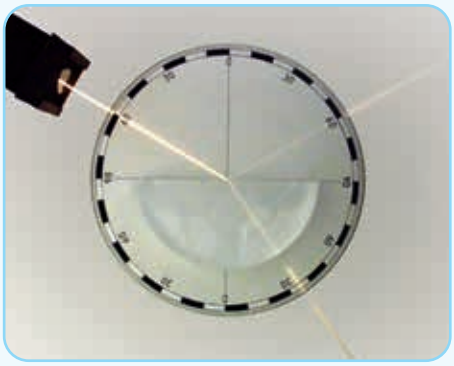
الانعكاسُ الكليُّ الداخليُّ

الموادُّ والأدواتُ: صندوقٌ ضوئيٌّ، قرصٌ زجاجيٌّ نصفُ دائريٍّ معاملُ انكسارِهِ معلومٌ، مِنقلةٌ دائريّةٌ، ورقٌ أبيضُ (A4)، قلمٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحذرُ من سقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ.

خطواتُ العملِ:

1- أُثبّتُ ورقةً بيضاءَ على سطحِ الطاولةِ وأضعُ فوقَها المِنقلةَ الدائريّةَ، ثمَّ أضعُ القرصَ الزجاجيَّ عندَ منتصفِ المِنقلةِ على أنْ ينطبقَ مركزُ القرصِ على مركزِ المِنقلةِ.



2- أُعَلّمُ بالقلمِ حولَ القرصِ الدائريِّ، ثمَّ أنشئُ بالقلمِ عمودًا على الوجهِ المستوي للقرصِ منْ مركزِهِ.

3- أُسقِطُ حزمةً ضوئيّةً ضيقةً منَ الصندوقِ الضوئيِّ على الوجهِ المستوي منَ القرصِ، على أنْ تكونَ موازيةً لسطحِ الورقةِ، وتصنعَ زاويةً معَ العمودِ المرسومِ في الخطوةِ (2) كما في الشكلِ المجاورِ، ثمَّ أقيسُ زاويتَي السقوطِ والانكسارِ.

4- أَزيدُ من زاويةِ سقوطِ الشعاعِ تدريجيًّا حتى أصلَ إلى أكبرِ زاويةِ سقوطٍ ممكنةٍ، عندَما يكونُ الشعاعُ الساقطُ محاذيًا للوجهِ المستوي منَ القرصِ، وأُلاحظُ تغيّرَ زاويةِ الانكسارِ معَ زيادةِ زاويةِ السقوطِ.

5- أُغيّرُ الجهةَ التي تسقطُ فيها الحزمةُ الضوئيّةُ، مُراعِيًا سقوطَها على الوجهِ الدائريِّ منَ القرصِ، بزاويةِ سقوطٍ تجعلُ الشعاعَ يخرجُ منَ الجهةِ المقابلةِ منَ القرصِ، ولتكنْ مثلًا (30°)، ثمَّ أقيسُ زاويةَ الانكسارِ.

6- أَزيدُ منْ زاويةِ سقوطِ الشعاعِ تدريجيًّا حتى يخرجَ الشعاعُ الضوئيُّ منَ القرصِ ملامسًا للوجهِ المستوي منهُ، وأقيسُ زاويةَ السقوطِ.

7- أَزيدُ زاويةَ السقوطِ عنْ تلكَ المقيسةِ في الخطوةِ السابقةِ، وأُلاحظُ مسارَ الحزمةِ الضوئيّةِ، ثمَّ أقيسُ الزاويةَ التي تصنعُها الحزمةُ معَ العمودِ.

8- أكرّرُ الخطوةَ السابقةَ مرتينِ إلى ثلاثِ مرّاتٍ، وأدوّنُ زاويتَي السقوطِ والانعكاسِ في كلِّ مرّةٍ في الجدولِ المجاورِ:

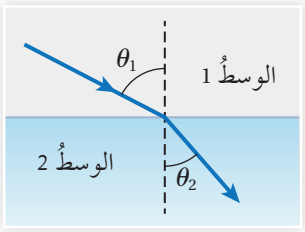
رقمُ المحاولةِ	زاويةُ السقوطِ (θ_1)	زاويةُ الانعكاسِ ($\theta`$)
1		
2		
3		
4		

التحليلُ والاستنتاجُ

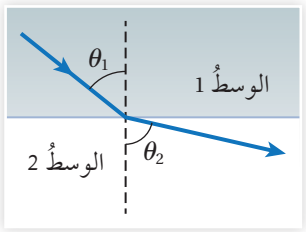
1. **أُقارنُ** بينَ زوايا السقوطِ وزوايا الانكسارِ المقيسةِ في الخطوتينِ (3، 4). أيُّها أكبرُ؟
2. **أُحلّلُ**: بناءً على مقارنةِ زوايا السقوطِ بزوايا الانكسارِ في الخطوةِ السابقةِ، هلْ يمكنُ أنْ يحدثَ انعكاسٌ كلّيٌّ داخليٌّ عندَما تنتقلُ الحزمةُ الضوئيةُ منَ الهواءِ إلى الزجاجِ؟ ماذا أستنتجُ من ذلكَ؟
3. **أُقارنُ** بينَ زوايا السقوطِ وزوايا الانكسارِ المقيسةِ في الخطوتينِ (5، 6). أيُّها أكبرُ؟
4. **أُحلّلُ**: بناءً على مقارنةِ زوايا السقوطِ بزوايا الانكسارِ في الخطوةِ السابقةِ، هلْ يمكنُ أنْ يحدثَ انعكاسٌ كلّيٌّ داخليٌّ عندَما تنتقلُ الحزمةُ الضوئيّةُ منَ الزجاجِ إلى الهواءِ؟ ماذا أستنتجُ من ذلكَ؟
5. **أَحسبُ** الزاويةَ الحرجةَ باستخدامِ العلاقةِ: $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$، حيثُ:
   n_1: معاملُ انكسارِ القرصِ الزجاجيِّ، n_2: معاملُ انكسارِ الهواءِ.
6. **أُقارنُ** بينَ الزاويةِ الحرجةِ المحسوبةِ في الخطوةِ السابقةِ، والمقيسةِ في الخطوةِ (6) أعلاهُ، وأُفسّرُ أيَّ اختلافٍ بينَهُما.
7. **أُحلّلُ**: هلْ تختلفُ قيمُ (θ_1) عنْ قيمِ ($\theta`$) المدوَّنةِ في الجدولِ؟ ماذا أستنتجُ من ذلكَ؟
8. **أَستنتجُ** شروطَ حدوثِ ظاهرةِ الانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ.
9. **أتوقّعُ** مصادرَ الخطأِ المُحتَملةَ في التجربةِ.

المثالُ 6

أُبيّنُ أيُّ الشكلينِ (أ، ب) يمكنُ أنْ يُحقّقَ شروطَ حدوثِ انعكاسٍ كلّيٍّ داخليٍّ عندَما تسقطُ الأشعّةُ الضوئيّةُ في الوسطِ الأولِ.



(أ)



(ب)

المُعطياتُ: الشكلُ (أ) فيهِ زاويةُ السقوطِ أكبرُ من زاويةِ الانكسارِ، الشكلُ (ب) فيهِ زاويةُ السقوطِ أقلُّ من زاويةِ الانكسارِ.

المطلوبُ: أُحدّدُ أيُّ الشكلينِ يُحقّقُ شروطَ الانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ معَ بيانِ السببِ.

الحلُّ:

الشكلُ (ب)، لأنَّ $(\theta_1 < \theta_2)$ وهذا يدُلُّ بحسبِ قانونِ سنِل على أنَّ $(n_1 > n_2)$، أيْ أنَّ الضوءَ ينتقلُ منَ الوسطِ ذي معاملِ الانكسارِ الأكبرِ إلى الوسطِ ذي معاملِ الانكسارِ الأصغرِ، وحتى تنعكسَ الأشعّةُ الضوئيّةُ انعكاسًا كليًّا داخليًّا في الوسطِ الأولِ، يجبُ أنْ تسقطَ بزاويةٍ أكبرَ منَ الزاويةِ الحرجةِ.

المثالُ 7

في المثالِ السابقِ، إذا كانَ مُعامِلا الانكسارِ للوسطينِ الأولِ والثاني على الترتيبِ للشكلِ (ب): 1.8 ، 1.3، فأَحسبُ الزاويةَ الحرجةَ في الوسطِ الأولِ.

المُعطياتُ: $n_2 = 1.3$ ، $n_1 = 1.8$.

المطلوبُ: $\theta_c = ?$.

الحلُّ:

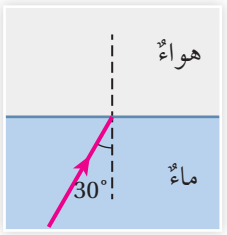
$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.3}{1.8} = 0.72$$

$$\theta_c = 46.2^\circ$$

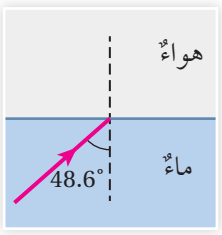
وحتى يحدثَ انعكاسٌ كلّيٌّ داخليٌّ يجبُ أن تزيدَ زاويةُ السقوطِ في الوسطِ الأولِ على (46.2°).

المثالُ 8

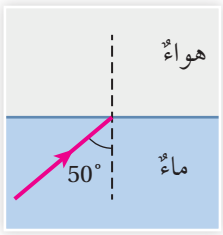
أُكملُ مساراتِ الأشعّةِ في الأشكالِ الآتيةِ لتوضيحِ مسارِ الضوءِ في كلِّ حالةٍ:



(أ)



(ب)



(جـ)

المُعطياتُ: زوايا السقوطِ بِحسبِ الأشكالِ

على الترتيبِ: الشكلُ (أ) : 30°

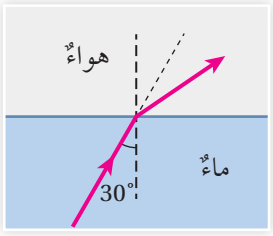
الشكلُ (ب): 48.6°

الشكلُ (جـ): 50°

الزاويةُ الحرجةُ للماءِ تساوي 48.6° (من مثال 5)

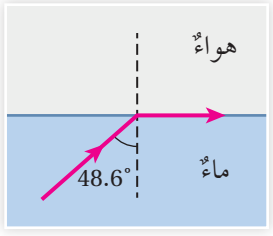
المطلوبُ: إكمالُ مساراتِ الأشعّةِ.

الحلُّ:



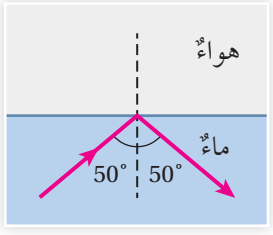
(أ)

للشكلِ (أ): زاويةُ السقوطِ أقلُّ منَ الزاويةِ الحرجةِ للماءِ، والشعاعُ الضوئيُّ يتّجهُ منْ وسطٍ شفّافٍ معاملُ انكسارِه أكبرُ منْ معاملِ انكسارِ الوسطِ الشفافِ الآخرِ؛ لذا سينكسرُ الشعاعُ الضوئيُّ عندَ الحدِّ الفاصلِ مُبتعِدًا عنِ العمودِ، كما في الشكلِ المجاورِ.



(ب)

للشكلِ (ب): زاويةُ السقوطِ تساوي الزاويةَ الحرجةَ للماءِ؛ لذا سينكسرُ الشعاعُ الضوئيُّ عندَ الحدِّ الفاصلِ بزاويةٍ تساوي 90°، أيْ يكونُ مُلامِسًا للحدِّ الفاصلِ بينَ الوسطينِ، كما في الشكلِ المجاورِ.



(جـ)

للشكلِ (جـ): زاويةُ السقوطِ أكبرُ منَ الزاويةِ الحرجةِ للماءِ؛ لذا سينعكسُ الشعاعُ الضوئيُّ انعكاسًا كليًّا داخليًّا عندَ الحدِّ الفاصلِ بزاويةٍ تساوي زاويةَ السقوطِ، كما في الشكلِ المجاورِ.

✓ **أتحقّقُ**: ما المقصودُ بالانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ؟

(أ)

(ب)

السّرابُ Mirage

يُشيرُ **السّرابُ Mirage** عادةً إلى الخداعِ البصريِّ الذي يُرى في الصحراءِ، حيثُ يرى الشخصُ صورةَ جسمٍ بعيدٍ على أنَّه بركةُ ماءٍ، كما في الشكلِ (6/ أ). ويُرى السّرابُ أيضًا في مناطقَ أُخرى في أيامِ الصيفِ الحارّةِ، ولاسيّما على الطرقاتِ، كما في الشكلِ (6/ ب). ويُطلَقُ على هذا النوعِ منَ السّرابِ اسمُ: السّرابِ الصحراويِّ (السُّفليِّ) Inferior mirage، على عكسِ نوعٍ آخرَ مختلفٍ من السّرابِ يُسمّى: السّرابَ القطبيَّ (العُلويَّ) Superior mirage، الذي يُشاهَدُ في المناطقِ القطبيّةِ الباردةِ. فالسّرابُ عمومًا، ظاهرةٌ طبيعيةٌ تحدثُ نتيجةَ انكساراتٍ متتاليةٍ للضوءِ خلالَ طبقاتِ الهواءِ القريبةِ منْ سطحِ الأرضِ. وفي ما يأتي توضيحٌ لسببِ تكوّنِ نوعَي السّرابِ، الصحراويِّ والقطبيِّ:

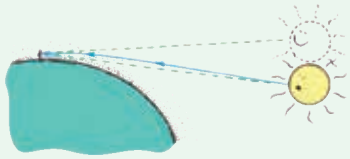
السَّرابُ الصحراويُّ Inferior Mirage

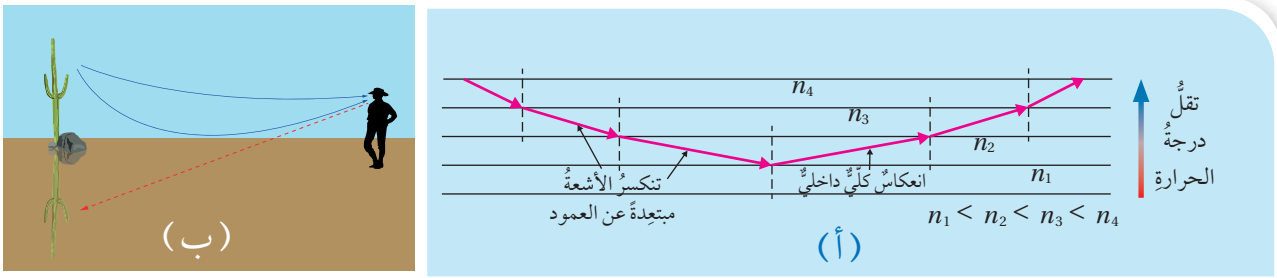
في أيامِ الصيفِ الحارّةِ، يكونُ الهواءُ الملامسُ لسطحِ الأرضِ وقتَ الظهيرةِ ساخنًا جدًّا، وتقلُّ سخونتُه بالابتعادِ عنْ سطحِ الأرضِ، أيْ إنَّ درجةَ الحرارةِ تتناقصُ معَ الارتفاعِ. ومنَ المعلومِ أنَّ معاملَ انكسارِ الهواءِ يزدادُ بنقصانِ درجةِ حرارتِه؛ لذا يزدادُ معاملُ الانكسارِ معَ الارتفاعِ عن سطحِ الأرضِ. فالأشعّةُ الضوئيةُ القادمةُ منْ جسمٍ مرتفعٍ بعيدٍ نسبيًّا يحدثُ لها انكساراتٌ متتاليةٌ عندَ انتقالِها خلالَ طبقاتِ الهواءِ، بسببِ اختلافِها في معاملِ الانكسارِ، حيثُ تنكسرُ

▲ الشكلُ (6): السّرابُ كما يظهرُ:
أ . في الصحراءِ.
ب. على الطرقاتِ.

الربطُ بعلمِ الفضاءِ

عندَما نشاهدُ غروبَ الشمسِ، نراها دقائقَ عدّةً بعدَ أنْ تختفِيَ وراءَ الأفقِ. نظرًا إلى أنَّ الضوءَ القادمَ منَ الشمسِ تحدثُ لهُ انكساراتٌ متعدّدةٌ بعدَ دخولِه الغلافَ الجويَّ، إذْ تزدادُ كثافةُ طبقاتِ الغلافِ الجويِّ تدريجيًّا كلَّما اتّجهْنا نحوَ الأسفلِ، فتزدادُ معاملاتُ انكسارِها؛ لذا فإنَّ مسارَ الضوءِ ينحني تدريجيًّا نحوَ سطحِ الأرضِ، فيرى مراقبٌ على الأرضِ الشمسَ على امتدادِ آخرِ شعاعٍ يصلُه منها.





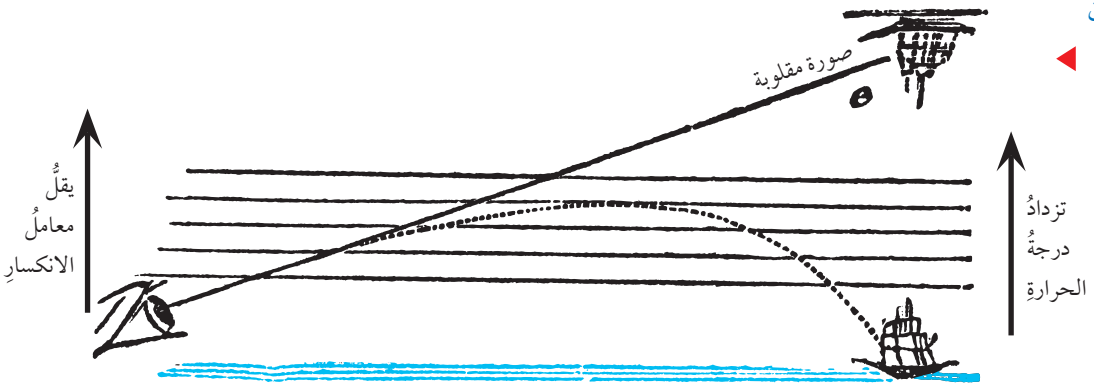
الشكلُ (7): أ. الانكساراتُ المتتاليةُ للأشعةِ الضوئيةِ خلالَ طبقاتِ الهواءِ. ب. مخطّطٌ يبيّنُ تشكُّلَ السرابِ الصحراويِّ.

مبتعدةً عنِ العمودِ، بحسبِ قانونِ سنِل، كما في الشكلِ (7/ أ)، وعندَ حدٍّ معيّنٍ تزيدُ فيه زاويةُ السقوطِ عنِ الزاويةِ الحرجةِ، تنعكسُ الأشعّةُ الضوئيّةُ انعكاسًا كليًّا داخليًّا، ثمَّ تَستمرُّ في الانحناءِ إلى أعلى حيثُ تظهرُ صورةٌ مقلوبةٌ للجسمِ على امتدادِ آخرِ شُعاعٍ يصلُ إلى عينِ المراقبِ، كما في الشكلِ (7/ ب).

السَّرابُ القطبيُّ Superior Mirage

على عكسِ السّرابِ الصحراويِّ، ففي المناطقِ القطبيةِ الباردةِ يكونُ الهواءُ الملامسُ لسطحِ الأرضِ أكثرَ برودةً منَ الذي فوقَه، حيثُ تزيدُ درجةُ حرارةِ الهواءِ كلَّما اتّجهْنا بعيدًا عنْ سطحِ الأرضِ، أيْ أنَّ معاملَ الانكسارِ يقلُّ معَ الارتفاعِ. وللأشعّةِ الضوئيّةِ القادمةِ منْ جسمٍ بعيدٍ وقريبٍ منْ سطحِ الأرضِ يحدثُ لها انكساراتٌ متتاليةٌ خلالَ طبقاتِ الهواءِ، وعندَما تصبحُ زاويةُ السقوطِ أكبرَ منَ الزاويةِ الحرجةِ عندَ الحدِّ الفاصلِ بينَ طبقتينِ متجاورتينِ منَ الهواءِ، فإنَّ الأشعةَ تنعكسُ انعكاسًا كليًّا داخليًّا، ويرى المراقبُ في الأعلى صورةً مقلوبةً للجسمِ على امتدادِ آخرِ شعاعٍ يصلُ إلى عينِه، كما في الشكلِ (8).

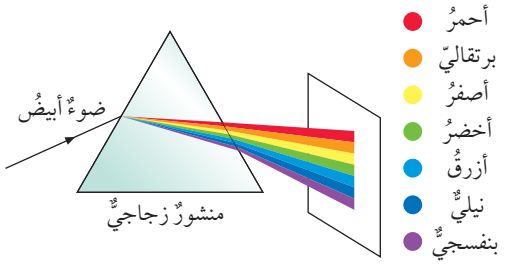
أتحقّقُ: ما أنواعُ السّرابِ؟



الشكلُ (8): مخطّطٌ يبيّنُ تشكُّلَ السرابِ القطبيِّ.

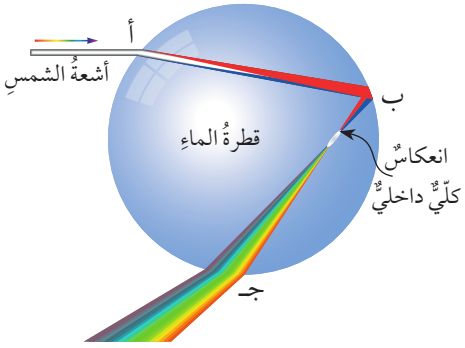
قوسُ المطرِ Rainbow

يتكوّنُ الضوءُ الأبيضُ (مثلَ ضوءِ الشمسِ أوْ ضوءِ مصباحِ التنغستون) منْ سبعةِ ألوانٍ يُطلقُ عليها عادةً ألوانُ الطّيفِ المرئيِّ، ويمكنُ رؤيتُها بمنشورٍ زجاجيٍّ، بتوجيهِ أحدِ أوجهِ المنشورِ نحوَ الشمسِ، واستقبالِ ألوانِ الطيفِ على ورقةٍ بيضاءَ توضعُ في الجهةِ المقابلةِ للشمسِ كما في الشكلِ (9).



الشكلُ (9): تحليلُ الضوءِ الأبيضِ إلى ألوانِ الطيفِ السبعةِ باستخدامِ المنشورِ.

وتقومُ فكرةُ تحليلِ المنشورِ لألوانِ الطيفِ على أنَّ معاملَ انكسارِ المنشورِ (أو أيِّ مادّةٍ شفّافةٍ) يَختلفُ باختلافِ لونِ الضوءِ الساقطِ عليهِ، فلكلِّ لونٍ منْ ألوانِ الطيفِ معاملُ انكسارٍ مختلفٌ عنِ الآخرِ، فأكبرُها للّونِ البنفسجيِّ وأقلُّها للّونِ الأحمرِ؛ لذا تكونُ زاويةُ انكسارِ اللونِ البنفسجيِّ بِحسبِ قانونِ سنِل أكبرَ ما يمكنُ، يليهِ النيليُّ، وهكذا دَوالَيْكَ. وعليهِ، تظهرُ ألوانُ الطيفِ مرتّبةً بِحسبِ معاملاتِ الانكسارِ للمنشورِ أوْ أيِّ مادّةٍ شفّافةٍ يَعبرُها الضوءُ.



الشكلُ (10): تحلّلُ ضوءِ الشمسِ خلالَ قطرةِ مطرٍ.

وهذا ما يحدثُ تمامًا عندَ مرورِ ضوءِ الشمسِ عبرَ قطراتِ الماءِ المعلّقةِ في الهواءِ في فصلِ الشتاءِ، فالشكلُ (10) يوضّحُ سقوطَ أشعةٍ ضوئيّةٍ منَ الشمسِ على قطرةِ مطرٍ معلّقةٍ في الهواءِ بزاويةٍ تحقّقُ شروطَ حدوثِ انعكاسٍ كلّيٍّ داخليٍّ، حيثُ تنكسرُ عندَ النقطةِ (أ) منْ سطحِ القطرةِ مقتربةً منَ العمودِ بزوايا تختلفُ باختلافِ لونِ الضوءِ، ثمَّ تسقطُ على السطحِ الداخليِّ للقطرةِ عندَ النقطةِ (ب)، فتنعكسُ انعكاسًا كليًّا داخلَ القطرةِ، إذْ تكونُ زاويةُ سقوطِها عندَ النقطةِ (ب) أكبرَ من الزاويةِ الحرجةِ للماءِ، ثمَّ تسقطُ عندَ نقطةٍ أخرى (جـ) منَ السطحِ الداخليِّ للقطرةِ، فتنكسرُ مبتعدةً عنِ العمودِ بزوايا مختلفةٍ، وتتابعُ مسيرَها خارجَ قطرةِ المطرِ. وتتكرّرُ هذهِ العمليةُ في قطراتِ المطرِ المتجاورةِ، لتشكّلَ في النهايةِ حلقةً دائريةً من ألوانِ الطيفِ المرئيِّ يظهرُ منها قَوسٌ فقطْ لِمُشاهدٍ على سطحِ الأرضِ يقفُ متوجهًا لجهةٍ معاكسةٍ للشمسِ، وهذا القوسُ يُعرفُ باسمِ قوسِ المطرِ أو قوسِ قُزحَ، كما في الشكلِ (11).

الشكلُ (11): صورةٌ لقوسِ المطرِ.

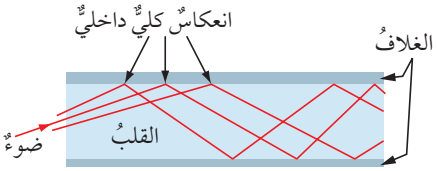
✓ **أتحقّقُ:** ما الألوانُ التي يتكوّنُ منها الضوءُ الأبيضُ؟

الأليافُ الضوئيةُ Optical Fibers

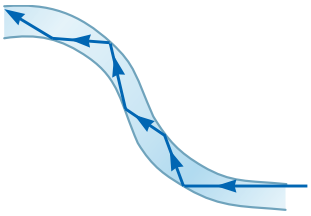
تُعدُّ الأليافُ الضوئيّةُ أحدَ أكثرِ التطبيقاتِ شيوعًا على الانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ التي تُستخدمُ على نطاقٍ واسعٍ، لاسيّما في الطبِّ والاتصالاتِ. **والأليافُ الضوئيةُ Optical fibers** عبارةٌ عن أنابيبَ رفيعةٍ وشفافةٍ، تُصنعُ عادةً منَ الزجاجِ أو البلاستيك، وتُستخدمُ لنقلِ الضوءِ. ويتكوّنُ اللّيفُ الضوئيُّ من أنبوبينِ متداخلينِ؛ القلبُ ويتراوحُ قطرُه منْ (10–50) ميكرومتر، والغلافُ، وكلاهما منْ مادّتينِ شفّافتينِ مختلفتينِ، ويكونُ معاملُ انكسارِ مادّةِ الغلافِ أقلَّ منهُ لمادّةِ القلبِ ليبقى الضوءُ داخلَ قلبِ اللّيف الضوئيِّ. إذْ عندَما يدخلُ الضوءُ إلى قلبِ اللّيفِ الضوئيِّ، ونظرًا إلى أنَّ قُطرَه صغيرٌ جدًّا، فإنَّ الضوءَ يسقطُ دائمًا على الحدِّ الفاصلِ بينَ القلبِ والغلافِ بزاويةٍ أكبرَ منَ الزاويةِ الحرجةِ، فيحدثُ لهُ انعكاسٌ كلّيٌّ داخليٌّ، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ (12)، وبهذا يحافظُ الليفُ الضوئيُّ على الطاقةِ الضوئيةِ وينقلُها إلى مسافاتٍ بعيدةٍ دونَ ضياعٍ يُذكرُ للطاقةِ. وتمتازُ الأليافُ الضوئيةُ بمرونتِها العاليةِ، إذْ يمكنُ ثَنيُها، كما في الشكلِ (13) دونَ أنْ يؤثّرَ ذلكَ في كفاءتِها على نقلِ الضوءِ.

وللألياف الضوئيةِ تطبيقاتٌ عدّةٌ في الطبِّ والاتصالاتِ. ففي الطبِّ، أحدثتِ الأليافُ الضوئيّةُ ثورةً في التقنياتِ الجراحيّةِ وعملياتِ التنظيرِ التشخيصيّةِ والعلاجيّةِ وتصويرِ الأجزاءِ الداخليّةِ، إذْ يُستخدمُ المِنظارُ، الذي تُعدُّ الأليافُ الضوئيّةُ الجزءَ الرئيسَ منه، لاستكشافِ الأعضاءِ الداخليّةِ المختلفةِ بصريًّا دونَ جراحةٍ، إذْ تسمحُ مرونةُ الألياف الضوئيةِ للأطباءِ بالتنقُّلِ داخلَ مناطقَ مثلُ الأمعاءِ والقلبِ والأوعيّةِ الدمويّةِ والمفاصلِ، كما في الشكلِ (14/ أ). ويمكنُ أيضًا إجراءُ عملياتٍ جراحيّةٍ، مثلُ الجراحةِ بالمنظارِ على مَفْصِلِ الركبةِ أو الكَتِفِ، أو إزالةِ الزوائدِ اللحميّةِ والأورامِ بأدواتِ القَطعِ المُلحقةِ بالمنظارِ كما في الشكلِ (14/ ب). وفي مجالِ الاتصالاتِ، تُستخدمُ الألياف الضوئيّةُ لنقلِ إشاراتِ المحادثاتِ الهاتفيةِ واتصالاتِ الإنترنتِ بكفاءةٍ عاليةٍ جدًّا، منْ حيثُ الحفاظُ على سرّيّةِ البياناتِ، ومقاومتُها للتشويشِ، وحجمُ

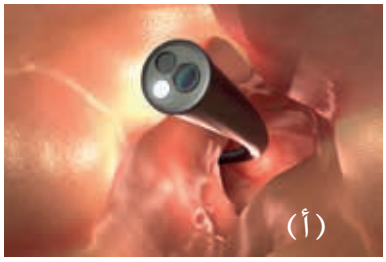
أُفكّرُ: لماذا لا يُرى قوسُ المطرِ لشخصٍ يقفُ متوجِّهًا نحوَ الشمسِ؟



الشكلُ (12): مقطعٌ لأحد الألياف الضوئيةِ.



الشكلُ (13): انتقالُ الضوءِ في ليفٍ ضوئيٍّ منحنٍ.



الشكلُ (14):
أ. تنظيرُ القولونِ باستخدامِ منظارٍ ثلاثيِّ الأبعادِ.
ب. منظارٌ ثلاثيُّ الأبعادِ يُزيلُ ورمَ القولونِ بحلقةٍ سلكيةٍ.

المعلوماتِ التي تُنقلُ مقارنةً بالأسلاكِ النحاسيّةِ. إذْ يمكنُ لِليفٍ زجاجيٍّ واحدٍ بسُمْكِ شعرةِ الإنسانِ أنْ ينقلَ معلوماتٍ صوتيةً أو فيديو تكافئُ (32000) مكالمةٍ صوتيةٍ في آنٍ واحدٍ.

أتحقّقُ: ما المقصودُ بالألياف الضوئيّةِ؟

أبحثُ في مصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمتاحةِ عنْ تطبيقاتٍ أخرى على ظاهرةِ الانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ، وعلى الانكسارِ بوجهٍ عامٍّ، وأشاركُ زملائي في ذلكَ.

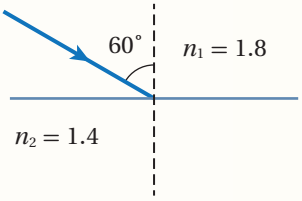
مراجعةُ الدرسِ

1. **الفكرةُ الرئيسةُ:** أُوضّحُ المقصودَ بالانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ، وأذكرُ شروطَ حدوثِه.

2. **أَصِفُ** موضِّحًا بالرسمِ الزاويةَ الحرجةَ وعلاقتَها بالانعكاسِ الكلّيِّ الداخليِّ.

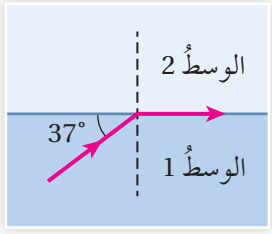
3. **أُقارنُ** بينَ السّرابِ الصحراويِّ والسّرابِ القطبيِّ.

4. **أُحلّلُ:** سقطَ شعاعٌ ضوئيٌّ على الحدِّ الفاصلِ بينَ وسطينِ شفّافينِ بزاويةِ (60°) على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ. أَحسبُ الزاويةَ الحرجةَ، وأُحدّدُ ما إذا كانَ الشعاعُ الضوئيُّ سينعكسُ كليًّا داخلَ الوسطِ الأولِ.

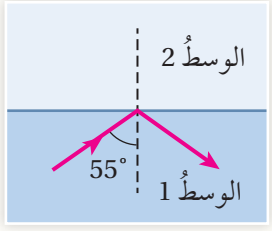


5. **أَحسبُ:** إذا كانتِ الزاويةُ الحرجةُ للماسِ تساوي (24.4°)، فما معاملُ انكسارِ الماسِ.

6. **أُحلّلُ:** إذا كانَ معاملُ انكسارِ الوسطِ الأولِ في الشكلِ المجاورِ يساوي (1.7) ، فما معاملُ انكسارِ الوسطِ الثاني.



7. **أُطبّقُ:** سقطَ شعاعٌ ضوئيٌّ على الحدِّ الفاصلِ بينَ وسطينِ شفّافينِ، فانعكسَ كليًّا في الوسطِ الأولِ، كما في الشكلِ المجاورِ.
فما المعلوماتُ التي يمكنُ معرفتُها عن:
أ . العلاقةِ بينَ معاملَي انكسارِ الوسطينِ الشفّافينِ؟
ب . الزاويةِ الحرجةِ؟



العدساتُ الرقيقةُ
Thin Lenses

الدرس 3

الفكرةُ الرئيسةُ:

تختلفُ صفاتُ الأخيلةِ المتكوِّنةِ في العدساتِ باختلافِ نوعِ العدسةِ وبُعدِها البؤريِّ وموقعِ الجسمِ بالنسبةِ إليها.

نتاجاتُ التعلُّمِ:

- أَستقصي عمليًّا صفاتِ الخيالِ المتكوِّنِ لجسمٍ في العدساتِ المُقعّرةِ والمحدّبةِ.
- أَرسمُ مخطّطاتِ الأشعةِ المنكسرةِ لأتوصّلَ إلى صفاتِ الخيالِ في العدساتِ.
- أَبحثُ في عيوبِ الإبصارِ التي قدْ تصيبُ الإنسانَ وآليةِ معالجةِ كلٍّ منها.
- أُصمّمُ أجهزةً بصريّةً تساعدُ على رؤيةِ الأجسامِ البعيدةِ أو الأشياءِ الدقيقةِ.

المفاهيمُ والمصطلحاتُ:

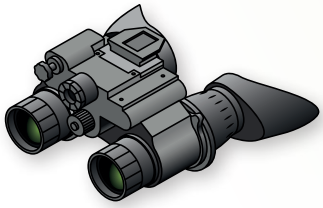
عدسةٌ	Lens
طولُ النظرِ	Hyperopia
قصرُ النظرِ	Myopia

درستُ في صفٍّ سابقٍ تكوُّنَ الأخيلةِ للأجسامِ في المرايا (المستويةِ والكرويةِ) بوصفِها تطبيقًا عمليًّا على ظاهرةِ انعكاسِ الضوءِ، وسأتعرّفُ في هذا الدرسِ تطبيقًا عمليًّا على ظاهرةِ انكسارِ الضوءِ، وهو تكوّنُ الأخيلةِ في العدساتِ. فما المقصودُ بالعدسةِ؟ وهل تكوّنُ الأخيلةِ في العدساتِ يشبهُ تكوُّنَها في المرايا؟

العدساتُ Lenses

العدساتُ جمعُ **عدسةٍ Lens**، وهي قطعةٌ بصريّةٌ تتكوّنُ من وسطٍ شفّافٍ يحدُّه سطحانِ مُنحنيانِ، أو أحدُهما مستوٍ والآخرُ مُنحنٍ. وكلمةُ "عدسةٍ" lens مشتقةٌ منَ الكلمةِ اللاتينيةِ **lentil seed** التي تعني حبّةَ العدسِ، فهي تشبهُ العدسةَ محدَّبةَ الوجهينِ. وتُستخدمُ العدساتُ في كثيرٍ منَ الأدواتِ والأجهزةِ البصريّةِ، مثلِ: النظاراتِ، والمنظارِ، والمِجهرِ، وغيرِها. والشكلُ (15) يبيّنُ بعضَ هذهِ الأدواتِ والأجهزةِ.

كاميرا


منظارٌ

تلسكوب

نظاراتٌ

مِجهرٌ

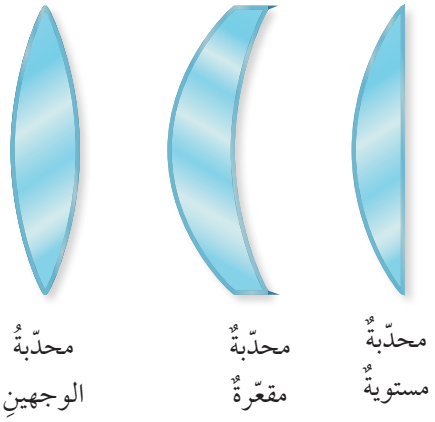
الشكلُ (15): بعضُ الأدواتِ والأجهزةِ البصريةِ.

أنواعُ العدساتِ Types of Lenses

تُصنَّفُ العدساتُ بحسبِ شكلِها الهندسيِّ إلى نوعينِ: مُحدَّبةٌ، ومُقعَّرةٌ. وتعملُ العدساتُ بوجهٍ عامٍّ على تغييرِ مساراتِ الأشعةِ الساقطةِ عليها تبعًا لقانونِ الانكسارِ.

أولًا: العدساتُ المحدّبةُ Convex Lenses

تكونُ سميكةً من الوسطِ وأقلَّ سُمْكًا عندَ الحافاتِ، ولها ثلاثةُ أشكالٍ مختلفةٍ، كما في الشكلِ (16). وتُجمِّعُ العدسةُ المحدّبةُ الأشعّةَ الضوئيّةَ الساقطةَ عليها؛ لذا يُطلقُ عليها اسمُ عدسةٍ مُجمِّعةٍ Converging lens. ولدراسةِ سلوكِ الأشعّةِ الضوئيّةِ التي تعبرُ العدسةَ، أتأمّلُ الشكلَ (17)، حيثُ تمثّلُ المصطلحاتُ الواردةُ في الشكلِ ما يأتي:



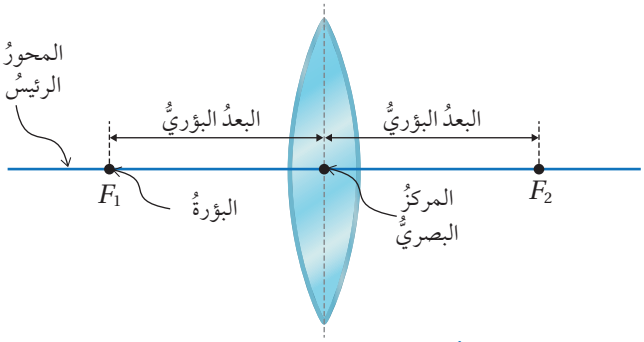
الشكلُ (16): أشكالُ العدسةِ المُحدّبةِ.

المركزُ البصريُّ: النقطةُ التي تتوسّطُ العدسةَ.

البؤرةُ (F): نقطةُ التقاءِ الأشعةِ الضوئيّةِ المُنكسرةِ عنِ العدسةِ عندَما تسقطُ موازيةً للمحورِ الرئيسِ.

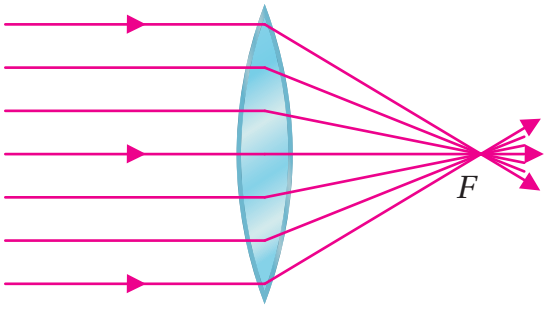
المحورُ الرئيسُ: الخطُّ المستقيمُ المارُّ ببؤرتي العدسةِ ومَركَزِها البصريِّ.

البعدُ البؤريُّ: المسافةُ بينَ البؤرةِ والمركزِ البصريِّ.



الشكلُ (17): مصطلحاتُ العدسةِ الرئيسةِ.

أُلاحظُ أنَّ للعدسةِ بؤرتينِ (F_1, F_2) تقعانِ على جانبَي العدسةِ وعلى البُعدِ نفسِه منها، ونظرًا إلى أنَّ للعدسةِ وجهينِ، فعندَ سقوطِ أشعّةٍ ضوئيّةٍ على أحدِ وجهَي العدسةِ موازيةٍ للمحورِ الرئيسِ فإنَّها تلتقي في البؤرةِ المقابلةِ للوجهِ الآخرِ للعدسةِ، كما في الشكلِ (18). وتوصَفُ بؤرةُ العدسةِ المحدَّبةِ بأنَّها حقيقيةٌ، لأنَّها ناتجةٌ منَ التقاءِ الأشعةِ النافذةِ منَ العدسةِ.

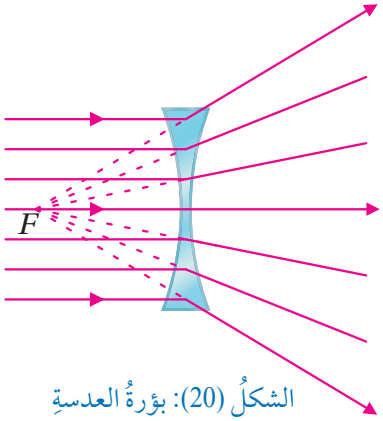


الشكلُ (18): بؤرةُ العدسةِ المُحدّبةِ.

الشكلُ (19): أشكالُ العدسةِ المقعّرةِ.

ثانيًا: العدساتُ المقعَّرةُ Concave Lenses

تكـونُ سـميكةً عنـدَ الحافـاتِ وأقلَّ سُـمْكًا عندَ الوسـطِ، ولهـا ثلاثةُ أشـكالٍ مختلفـةٍ، كمـا في الشـكلِ (19). وتعمـلُ العدسـةُ المقعَّـرةُ على تفريـقِ الأشـعّةِ الضوئيّـةِ السـاقطةِ عليهـا؛ لـذا يُطلـقُ عليها اسـمُ عدسـةٍ مفرِّقـةٍ Diverging lens. ومثلَما للعدسـةِ المحدّبةِ بؤرتانِ، فإنَّ للعدسـةِ المقعَّـرةِ بؤرتيـنِ أيضًـا، لكنَّ بـؤرةَ العدسـةِ المقعّـرةِ وهميّةٌ لأنَّهـا ناتجةٌ مـنِ التقـاءِ امتـداداتِ الأشـعةِ النافذةِ منَ العدسـةِ، كما في الشـكلِ (20).



الشكلُ (20): بؤرةُ العدسةِ المقعَّرةِ.

أفكّرُ: عندَما أُوجِّهُ أحدَ أوجُـهِ عدسةٍ محدَّبـةٍ نحـوَ الشمسِ فإنَّ أشعّةَ الشمسِ تتجمّعُ في بقعةٍ صغيرةٍ شديدةِ الإضاءةِ، يُمكنُها أنْ تحرقَ ورقةً رقيقةً، فكيفَ تفسِّرُ ذلكَ؟

✓ **أتحقّقُ:** ما أنواعُ العدساتِ؟

تتبُّعُ مساراتِ الأشعةِ وتكوُّنُ الأخيلةِ في العدساتِ
Ray Tracing and Image Formation by Lenses

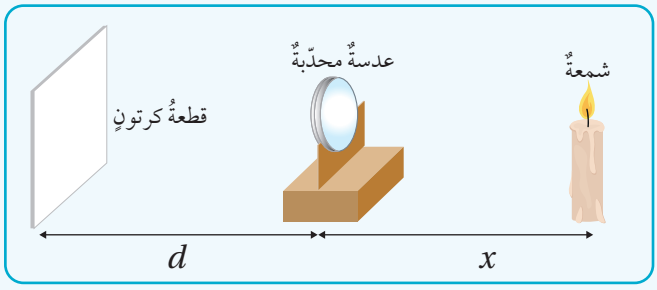
تكمنُ أهميّةُ العدساتِ في أنَّها تُكوِّنُ أخيلةً للأجسامِ التي توضعُ أمامَها، وتختلفُ صفاتُ الأخيلةِ المتكوِّنةِ باختلافِ نوعِ العدسةِ وبُعْدِها البؤريِّ وموقعِ الجسمِ بالنسبةِ إليها. وسأتعرّفُ صفاتِ الأخيلةِ المتكوِّنةِ في العدساتِ عبْرَ النشاطِ الآتي، وعبْرَ مخطّطاتِ الأشعةِ التي تلي النشاطَ.

التجربةُ 3

صفاتُ الأخيلةِ المتكوِّنةِ في العدساتِ

الموادُّ والأدواتُ: عدسةٌ محدَّبةٌ وأخرى مقعَّرةٌ معلومتا البعد البؤري، حاملُ عدساتٍ، شمعةٌ، قطعةٌ منَ الكرتونِ الأبيضِ، مَسطرةٌ مترِيّةٌ، ورقٌ أبيضُ (A4)، قلمٌ.

إرشاداتُ السلامةِ: الحـذَرُ من سـقوطِ الأجسامِ والأدواتِ على القدمينِ، وأتجنبُ تقريبَ الموادِّ القابـلةِ للاشتعالِ منَ الشمعةِ.



خطواتُ العملِ:

1- أُشعلُ الشمعةَ وأُثبّتُها على سطحِ الطاولةِ ثمَّ، أُرتّبُ الأدواتِ كما في الشكلِ، مُراعيًا أنْ يكونَ بُعدُ الشمعةِ عنِ العدسةِ المحدَّبةِ أكبرَ منْ مِثلَي بُعدِها البؤريِّ.

2- أُقرِّبُ قطعةَ الكرتونِ وأُبعدُها عنِ العدسةِ حتى يظهرَ عليها خيالٌ واضحٌ للشمعةِ، ثمَّ أُسجّلُ صفاتِ الخيالِ المتكوّنِ.

	نوعُ العدسةِ:	بُعدُها البؤريُّ:		
رقمُ الحالةِ	بعدُ الشمعةِ عنِ العدسةِ (x)	بُعدُ الخيالِ عنِ العدسةِ (d)	صفاتُ الخيالِ المتكوّنِ
1	$x > 2F$		
2	$x = 2F$		
3	$F < x < 2F$		
4	$x = F$		
5	$x < F$		

3- أُغيّرُ موقعَ العدسةِ عنِ الشمعةِ بحسبِ الأبعادِ المبيَّنةِ في الجدولِ المجاورِ، وأُسجّلُ صفاتِ الخيالِ المتكوِّنِ كلَّ مرّةٍ.

4- أَستخدمُ العدسةَ المقعّرةَ بدلًا منَ العدسةِ المحدّبةِ، ثمّ أُقرِّبُ قطعةَ الكرتونِ وأُبعدُها عنِ العدسةِ، وأُلاحظُ هل يتكوّنُ خيالٌ للشمعةِ على قطعةِ الكرتونِ أم لا.

5- أَنظرُ إلى الشمعةِ من خلالِ العدسةِ المقعّرةِ، وأُلاحظُ الخيالَ المتكوّنَ.

6- أُقرِّبُ العدسةَ وأُبعدُها عنِ الشمعةِ ناظرًا إليها من خلالِ العدسةِ، وأُلاحظُ الخيالَ المتكوّنَ.

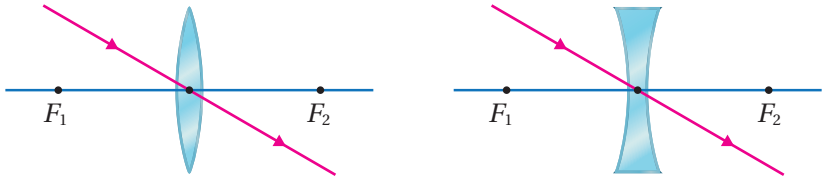
التحليلُ والاستنتاجُ

1. **أُقارنُ** بينَ بُعدِ الشمعةِ عنِ العدسةِ (x) وبُعدِ الخيالِ عنها (d)، مُبيِّنًا علاقةَ ذلكَ بحجمِ الخيالِ المتكوّنِ مقارنةً بحجمِ الجسمِ (الشمعةِ).
2. **أُحلّل:** بناءً على الحالاتِ الواردةِ في الجدولِ، أتوصّلُ إلى ما يأتي:
   أ . مدى البعدِ الذي تُوضعُ فيه الشمعةُ عن العدسةِ المحدّبةِ ليتكوّنَ لها خيالٌ حقيقيٌّ.
   ب . علاقةُ نوعِ الخيالِ المتكوّنِ (حقيقيٌّ، وهميٌّ) بحالتِه (معتدلٌ، مقلوبٌ).
   جـ. أيُّ الحالاتِ لا يتكوّنُ فيها خيالٌ للشمعةِ؟
3. **أُقارنُ** بينَ الخيالِ الحقيقيِّ والخيالِ الوهميِّ.
4. **أَستنتجُ** صفاتِ الخيالِ المتكوّنِ في العدسةِ المقعّرةِ.
5. **أتوقّعُ** مصادرَ الخطأِ المحتمَلةَ في التجربةِ.

المخطّطاتُ الشعاعيّةُ المعياريّةُ Standard Ray Diagrams

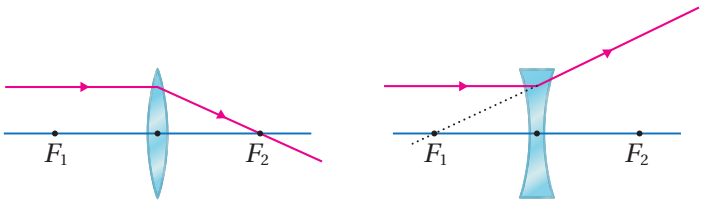
الشعاعُ المعياريُّ هو الشعاعُ الذي نعرفُ مسارَه الكاملَ. وتوجدُ ثلاثةُ أشعّةٍ معياريّةٍ، يمكنُ استخدامُها لتحديدِ موقعِ الخيالِ المتكوّنِ لجسمٍ وصِفاتِه وهي:

1. الشعاعُ المارُّ بالمَركزِ البصريِّ للعدسةِ المحدّبةِ أوِ العدسةِ المقعّرةِ، يستمرُّ في مسارِه دونَ انحرافٍ، كما في الشكلِ (21).



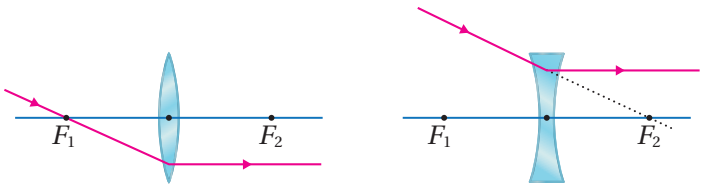
الشكلُ (21): الشعاعُ المعياريُّ الأولُ.

2. الشعاعُ الموازي للمحورِ الرئيسِ ينكسرُ في العدسةِ المحدّبةِ مارًّا بالبؤرةِ، وفي العدسةِ المقعّرةِ ينكسرُ بحيث يمرُّ امتدادُه بالبؤرةِ، كما في الشكلِ (22).



الشكلُ (22): الشعاعُ المعياريُّ الثاني.

3. الشعاعُ المارُّ ببؤرةِ العدسةِ المحدّبةِ، أو امتدادُه يمرُّ ببؤرةِ العدسةِ المقعّرةِ، ينكسرُ موازيًا للمحورِ الرئيسِ، كما في الشكلِ (23).



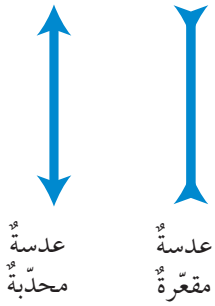
الشكلُ (23): الشعاعُ المعياريُّ الثالثُ.

تمرين

أُبيّنُ عبْرَ رسمِ المخطّطاتِ الشعاعيّةِ المعياريّةِ سببَ عدمِ تكوّنِ خيالِ للحالةِ رقم (4) في التجربةِ (3) السابقةِ.

ولإيجادِ موقعِ وصفاتِ الخيالِ المتكوّنِ في العدسةِ بالرسمِ، أَتّبعُ الخطواتِ الآتيةَ:

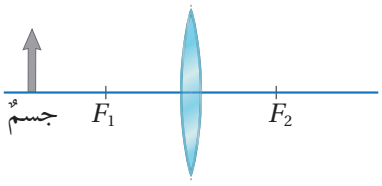
1. أرسمُ رسمًا تخطيطيًّا يمثّلُ العدسةَ، ويمكنُ استخدامُ الرمزينِ الموضّحينِ في الشكلِ (24) لكلٍّ منَ العدسةِ المحدّبةِ والعدسةِ المقعّرةِ.



الشكلُ (24): رمزُ كلٍّ منَ العدسةِ المحدّبةِ والعدسةِ المقعّرةِ.

2. أرسمُ خطًّا أُفقيًّا مستقيمًا بالمسطرةِ يمرُّ بمنتصفِ العدسةِ يمثّلُ المحورَ الرئيسَ، ثمَّ أُحدّدُ نقطتينِ على جانبَي العدسةِ تقعانِ على المحورِ الرئيسِ وعلى البعدِ نفسِه منَ المركزِ البصريِّ (نقطةُ التقاءِ المحورِ الرئيسِ بالعدسةِ) لتُمثّلا بؤرتَي العدسةِ.

3. أرسمُ مخطّطًا للجسمِ، أو سهمًا ذيلُه على المحورِ الرئيسِ يمثّلُ الجسمَ المرادَ تحديدُ صفاتِ خيالِه، أتأمّلُ الشكلَ (25).



الشكلُ (25): جسمٌ موضوعٌ أمامَ عدسةٍ محدبةٍ.

أفكّر: لماذا يتكوّنُ خيالُ الجزءِ السفليِّ للجسمِ على المحورِ الرئيسِ؟

الربطُ بعلمِ الفضاءِ

تتنبّأُ النظريةُ النسبيّةُ العامّةُ لأينشتاين بأنَّ الضوءَ الذي يمرُّ بالقربِ منَ الأجسامِ الثقيلةِ جدًّا مثلُ المجرّاتِ والثقوبِ السوداءِ والنجومِ الضخمةِ سوفَ ينحني. لذا تعملُ هذهِ الأجسامُ الضخمةُ عملَ نوعٍ منَ العدساتِ يُعرفُ باسمِ عدساتِ الجاذبيّةِ Gravitational Lenses. وتقومُ عدساتُ الجاذبيّةِ هذهِ بتشويهِ المواقعِ الظاهريّةِ للنجومِ وتغييرِها.

4. أرسمُ بالمسطرةِ منْ رأسِ الجسمِ (السهمِ) مخطّطاتِ الأشعةِ المعياريّةِ الثلاثةَ (1, 2, 3)، وألاحظُ أنَّها تلتقي جميعُها أوِ امتداداتُها، بعدَ نفاذِها منَ العدسةِ في نقطةٍ واحدةٍ تمثّلُ خيالَ رأسِ الجسمِ (يمكنُ تحديدُ الخيالِ بشعاعينِ فقطْ منَ الأشعةِ المعياريّةِ، وأرسمُ الشعاعَ الثالثَ للتحقّقِ منَ الدقّةِ التي رسمتُ بها أوّلَ شعاعينِ). أمّا خيالُ الجزءِ السفليِّ للجسمِ، فإنَّه يتكوّنُ على المحورِ الرئيسِ.

5. أرسمُ مخطّطًا للخيالِ أو سهمًا يكونُ ذيلُه على المحورِ الرئيسِ ورأسُه عندَ نقطةِ التقاءِ الأشعّةِ المعياريّةِ، وأقيسُ كلًّا من طولِ الخيالِ وطولِ الجسمِ بالمسطرةِ، وأُلاحظُ ما يأتي:

أ. إذا كانَ حجمُ (طولُ) الخيالِ أكبرَ من حجمِ (طولِ) الجسمِ فإنَّه يكونُ مُكبَّرًا، وإذا كانَ حجمُ الخيالِ أصغرَ من حجمِ الجسمِ فإنَّه يكونُ مُصغَّرًا، وأمّا إذا كانَ غيرَ ذلكَ، فهوَ مساوٍ للجسمِ في الحجمِ.

ب. إذا كانَ الخيالُ ناتجًا منِ التقاءِ الأشعةِ النافذةِ منَ العدسةِ فإنَّه يكونُ حقيقيًّا، وإذا كانَ ناتجًا منِ التقاءِ امتداداتِ الأشعةِ النافذةِ منَ العدسةِ فإنَّه يكونُ وهميًّا.

جـ. إذا وقعَ خيالُ رأسِ الجسمِ فوقَ المحورِ الرئيسِ يكونُ معتدلًا، وإذا وقعَ أسفلَ المحورِ الرئيسِ يكونُ مقلوبًا.

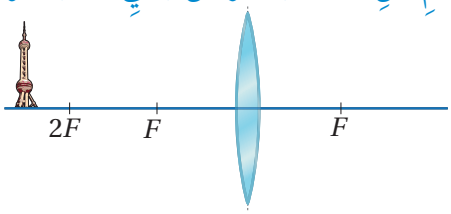
تكوّنُ الأخيلةِ في العدساتِ Image Formation by Lenses

لتحديدِ موقعِ الخيالِ المتكوّنِ في العدسةِ وصفاتِه نتّبعُ الخطواتِ السابقةَ، والأمثلةُ الآتيةُ توضّحُ ذلكَ:

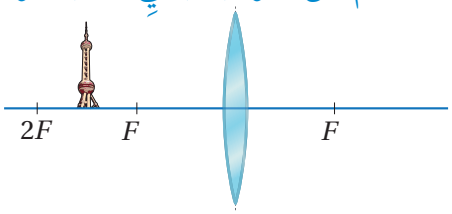
المثالُ 9

أُحدّدُ بالرسمِ موقعَ وصفاتِ الخيالِ المتكوِّنِ لجسمٍ موضوعٍ أمامَ عدسةٍ محدّبةٍ عندَما يكونُ:

1 . بُعدُ الجسمِ عنِ العدسةِ أكبرَ منْ مِثْلَي البُعدِ البؤريِّ.



2 . الجسمُ بينَ البؤرةِ ومِثْلَي البعدِ البؤريِّ.

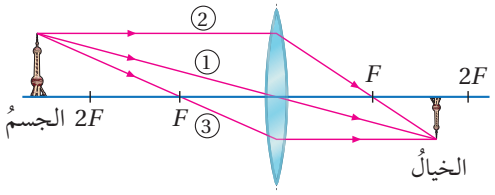


المُعطياتُ: جسمٌ موضوعٌ أمامَ عدسةٍ محدّبةٍ.

المطلوبُ: موقعُ الخيالِ المتكوّنِ للجسمِ وصفاتُهُ.

الحلُّ:

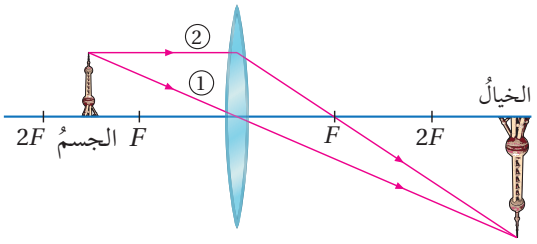
1 . أرسمُ منْ رأسِ الجسمِ مخطّطاتِ الأشعةِ المعياريّةِ (1, 2, 3) بالمسطرةِ، كما في الشكلِ المجاورِ. وأُلاحظُ ما يأتي:



أ . الخيالُ المتكوِّنُ للجسمِ يقعُ خلفَ العدسةِ بينَ البؤرةِ ومِثْلَي البعدِ البؤريِّ، وحجمُه (طولُه) أصغرُ من حجمِ (طولِ) الجسمِ، ومقلوبٌ أيضًا.

ب . نظرًا إلى أنَّ الخيالَ ناتجٌ منِ التقاءِ الأشعةِ النافذةِ منَ العدسةِ، فهوَ حقيقيٌّ. أيْ أنَّ صفاتِ الخيالِ تكونُ على النحوِ الآتي: مصغّرٌ ومقلوبٌ وحقيقيٌّ.

2 . أرسمُ بالمسطرةِ منْ رأسِ الجسمِ مخطّطاتِ الأشعةِ المعياريةِ (1, 2)، كما في الشكلِ. وأُلاحظُ ما يأتي:

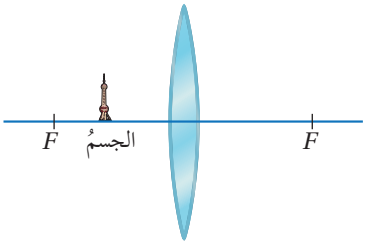


أ . الخيالُ المتكوّنُ للجسمِ يقعُ خلفَ العدسةِ على بُعدٍ أكبرَ منْ مِثلي البُعدِ البؤريِّ، وحجمُه أكبرُ منِ حجمِ الجسمِ، ومقلوبٌ أيضًا.

ب . نظرًا إلى أنَّ الخيالَ ناتجٌ منِ التقاءِ الأشعةِ النافذةِ منَ العدسةِ، فهوَ حقيقيٌّ. أيْ أنَّ صفاتِ الخيالِ تكونُ على النحوِ الآتي: مُكبّرٌ ومقلوبٌ وحقيقيٌّ.

✓ **أتحقّقُ:** كيف يمكنني التأكد من الدقة التي رسمت بها الشعاعين 1 و 2 في الشكل السابق؟

المثالُ 10

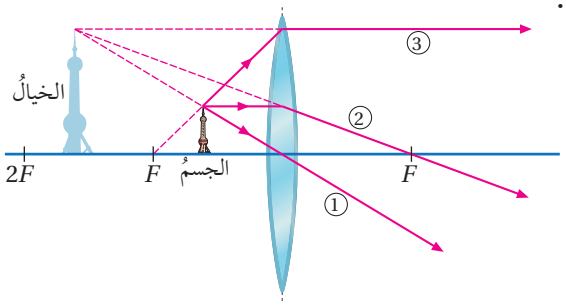


أُحدّدُ بالرسمِ موقعَ الخيالِ المتكوّنِ وصفاتِهِ لجسمٍ موضوعٍ بينَ عدسةٍ محدّبةٍ وبؤرتِها.

المُعطياتُ: جسمٌ موضوعٌ أمامَ عدسةٍ محدّبةٍ بينَ البؤرةِ والعدسةِ.

المطلوبُ: موقعُ الخيالِ المتكوّنِ للجسمِ وصفاتُهُ.

الحلُّ:



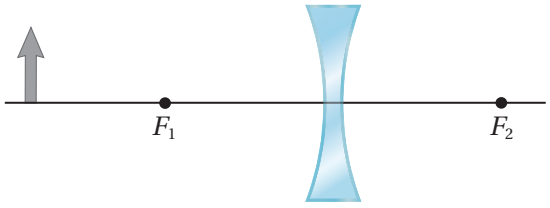
أرسمُ بالمسطرةِ منْ رأسِ الجسمِ مخطّطاتِ الأشعةِ المعياريةِ (1, 2, 3)، كما في الشكلِ المجاورِ. وأُلاحظُ ما يأتي:

أ . الخيالُ المتكوّنُ للجسمِ يقعُ في الجهةِ نفسِها التي يوجدُ فيها الجسمُ بينَ البؤرةِ ومِثلَي البُعدِ البؤريِّ، وحجمُه أكبرُ من حجمِ الجسمِ ومعتدلٌ أيضًا.

ب . لا تلتقي الأشعةُ النافذةُ منَ العدسةِ بلْ تلتقي امتداداتُها؛ لذا يكونُ الخيالُ المتكوّنُ وهميًّا.

أيْ أنَّ صفاتِ الخيالِ تكونُ على النحوِ الآتي: مكبّرٌ ومعتدلٌ ووهميٌّ.

المثالُ 11

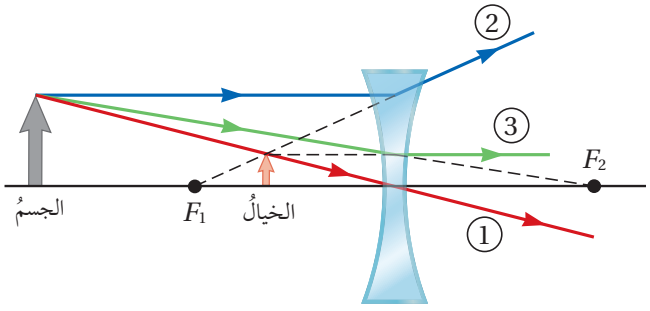


أُحدّدُ بالرسمِ موقعَ الخيالِ المتكوّنِ وصفاتِهِ لجسمٍ موضوعٍ أمامَ عدسةٍ مقعّرةٍ.

المُعطياتُ: جسمٌ موضوعٌ أمامَ عدسةٍ مقعّرةٍ.

المطلوبُ: موقعُ الخيالِ المتكوّنِ للجسمِ وصفاتُهُ.

الحلُّ:



أرسمُ بالمسطرةِ منْ رأسِ الجسمِ مخطّطاتِ الأشعةِ المعياريّةِ (1, 2, 3)، كما في الشكلِ المجاورِ. وأُلاحظُ ما يأتي:

أ . الخيالُ المتكوّنُ للجسمِ يقعُ في الجهةِ نفسِها التي يوجدُ فيها الجسمُ بينَ البؤرةِ والعدسةِ، وحجمُه أصغرُ من حجمِ الجسمِ، ومعتدلٌ أيضًا.

ب . لا تلتقي الأشعةُ النافذةُ منَ العدسةِ، ولكنْ تلتقي امتداداتُها؛ لذا يكونُ الخيالُ المتكوّنُ وهميًّا، أيْ أنَّ صفاتِ الخيالِ تكونُ على النحو الآتي: مصغّرٌ ومعتدلٌ ووهميٌّ.

أُلاحظُ منَ التجربةِ (3) والأمثلةِ السابقةِ أنَّ العدسةَ المحدّبةَ يمكنُ أنْ تكوّنَ لجسمٍ خيالًا حقيقيًّا أو وهميًّا، مقلوبًا أوْ معتدلًا، مصغَّرًا أوْ مساويًا لحجمِ الجسمِ أو مكبَّرًا، ويعتمدُ ذلكَ على موقعِ الجسمِ بالنسبةِ إلى العدسةِ. أمّا بالنسبةِ إلى العدسةِ المقعّرةِ، فإنَّ الخيالَ يكونُ دائمًا مصغّرًا ومعتدلًا ووهميًّا، بصرفِ النظرِ عنْ موقعِه منَ العدسةِ، ويقعُ دائمًا بينَ العدسةِ المقعّرةِ وبؤرتِها. ويمكنُ ملاحظةُ أنَّ الخيالَ الحقيقيَّ يكونُ دائمًا مقلوبًا، ويمكنُ تكوينُه على حاجزٍ (جدارٍ)، في حينِ أنَّ الخيالَ الوهميَّ يكونُ دائمًا معتدلًا، ولا يمكنُ تكوينُه على حاجزٍ.

أتحقّقُ: ما نوعُ العدسةِ التي يمكنُ أن تُكوِّنَ خيالًا حقيقيًّا لجسمٍ؟

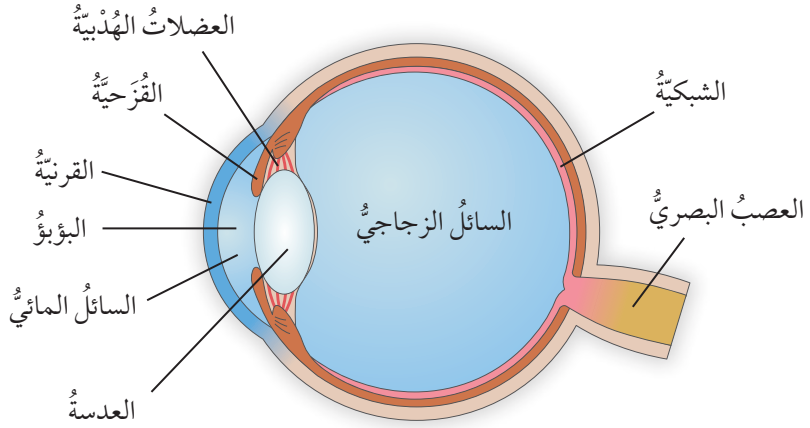
تمرين

أُحدّدُ بالرسمِ موقعَ الخيالِ المتكوّنِ وصفاتِه لجسمٍ موضوعٍ عندَ نقطةٍ تقعُ على بُعدٍ يساوي مِثلَي البُعدِ البؤريِّ لعدسةٍ إذا كانتِ العدسةُ:

1 . محدّبةً.

2 . مقعّرةً.

أعدُّ فيلمًا قصيرًا باستعمالِ برنامجِ صانعِ الأفلامِ (movie maker) يعرضُ خصائصَ الأخيلةِ المتكوّنةِ لجسمٍ في العدساتِ المحدّبةِ والمقعّرةِ، وتقريبَ الجسمِ وإبعادَهُ عنِ العدسةِ، وملاحظةَ التغيُّرِ الذي يحدثُ على كلٍّ من: موقعِ الخيالِ المتكوّنِ وحجمِه وصفاتِه.



الشكلُ (26): الأجزاءُ الرئيسةُ للعينِ.

الربطُ بالطبِّ

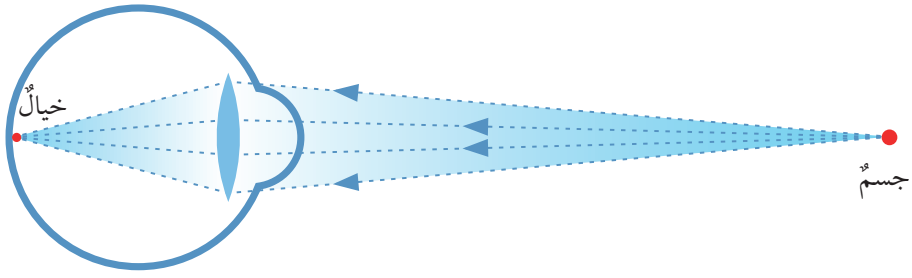
يُصحَّحُ البصرُ عندَ بعضِ الأشخاصِ الذينَ يعانونَ ضعفَ البصرِ عن طريقِ عملياتٍ جراحيّةٍ بتقنيةِ الليزك، التي تعني تصحيحَ تحدُّبِ القرنيةِ باستخدامِ الليزرِ الموضعيِّ، وقدْ حقّقتْ هذهِ العملياتُ الجراحيّةُ نجاحاتٍ جيدةً. ونادرًا ما تحدثُ لها مضاعفاتٌ أو آثارٌ جانبيةٌ، وهيَ تغني عنِ استخدامِ العدساتِ اللاصقةِ أوِ النظاراتِ، لكنَّها لا تناسبُ الأشخاصَ المصابينَ جميعًا، لاسيما الذينَ لديهم قِصَرُ نظرٍ أو طولُ نظرٍ شديدانِ.

تطبيقاتُ العدساتِ Applications of Lenses

العينُ البشريةُ The Human Eye

هيَ العضوُ الخاصُّ بإبصارِ الأشياءِ وتمييزِ الألوانِ، وتتكوّنُ منْ أجزاءٍ خاصّةٍ باستقبالِ الأشعةِ الضوئيّةِ وتمريرِها وتكوينِ أخيلةٍ واضحةٍ للأشياءِ، والشكلُ (26) يبيّنُ الأجزاءَ الرئيسةَ للعينِ المتعلّقةَ بعمليةِ الإبصارِ.

وتتلخصُ عمليةُ الإبصارِ بدخولِ أشعةِ الضوءِ إلى العينِ عبرَ القرنيةِ (وهي طبقةٌ رقيقةٌ شفّافةٌ تقعُ في مقدمةِ العينِ)، ومنها إلى العدسةِ (وهي محدَّبةُ الوجهينِ) لتشكّلا نظامًا يُجمّعُ الأشعةَ الضوئيّةَ القادمةَ منْ جسمٍ ما، ويوجّهُها إلى الشبكيّةِ فتكوّنُ خيالًا للجسمِ، كما في الشكلِ (27)، التي تقومُ بتحويلِها إلى إشاراتٍ كهربائيةٍ ينقلُها العصبُ البصريُّ إلى مركزِ الإبصارِ في الدماغِ لتحليلِها، فتحدثُ الرؤيةُ.



الشكلُ (27): تكوينُ الخيالِ على شبكيةِ العينِ.

ويتحكّمُ البؤبؤُ (فتحةٌ في وسطِ القزحيةِ، وهي الجزءُ الملوّنُ منَ العينِ) في شدّةِ الضوءِ الداخلِ إلى العينِ عنْ طريقِ زيادةِ اتّساعِ الفتحةِ، لتمريرِ أكبرِ قدرٍ منَ الأشعةِ الضوئيةِ عندَما يكونُ الضوءُ خافتًا، وإنقاصِ اتّساعِ الفتحةِ عندَما يكونُ الضوءُ قويًّا. في حينِ تتحكّمُ العضلاتُ الهدبيّةُ في درجةِ تحدُّبِ العدسةِ لتكوينِ أخيلةٍ للأجسامِ البعيدةِ أوِ انقباضِها لتكوينِ أخيلةٍ للأجسامِ القريبةِ، فيما يُعرفُ بتكيُّفِ العينِ.

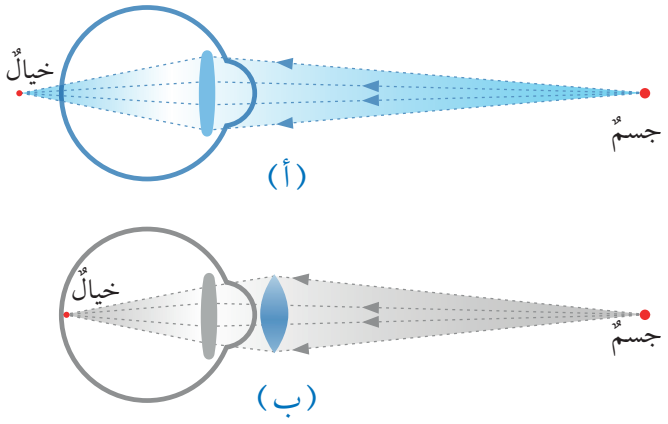
وتزدادُ أقربُ مسافةٍ للرؤيةِ الواضحةِ عندَ الإنسانِ معَ التقدُّمِ في العمرِ، إذْ تبلغُ نحوَ (18 cm) في سنِّ (10) سنواتٍ، وتصلُ (25 cm) عندَ الإنسانِ السليمِ في سنِّ الشبابِ (20) سنةً ، في حينِ تصلُ إلى نحوِ (50 cm) في سنِّ (40) سنةً.

العيوبُ التي تصيبُ العينَ Defects that Affect the Eye

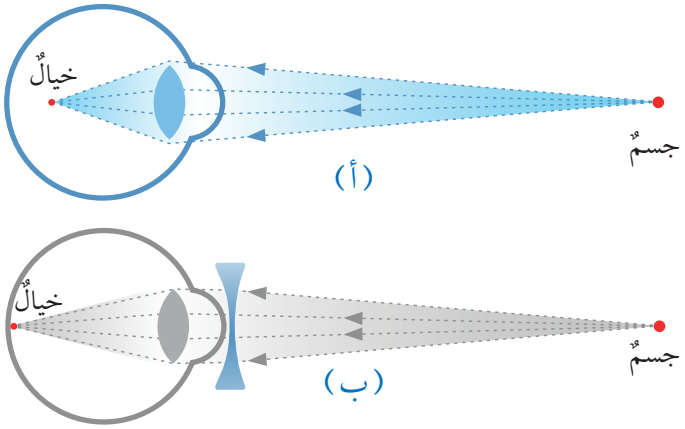
يوجدُ عيبانِ شائعانِ يُصيبانِ كثيرًا منَ الناسِ ينتجُ منهما عدمُ قدرةِ العينِ على تكوينِ أخيلةٍ واضحةٍ على شبكيّةِ العينِ، هما: **طولُ النظرِ Hyperopia** و**قِصرُ النظرِ Myopia**، ويمكنُ تصحيحُهما كليهما إلى حدٍّ كبيرٍ باستخدامِ العدساتِ – النظاراتِ الطبّيّةِ أو العدساتِ اللاصقةِ.

طولُ النظرِ Farsightedness (Hyperopia)

أقربُ مسافةٍ للرؤيةِ الواضحةِ عندَ الشخصِ الذي يُعاني طولَ النظرِ تكونُ أكبرَ من (25 cm)، فهو يرى الأجسامَ البعيدةَ بوضوحٍ، أمّا الأجسامُ القريبةُ (التي يقلُّ بُعدُها عنْ أصغرِ مسافةٍ للرؤيةِ الواضحةِ) فتتكوّنُ أخيلتُها خلفَ الشبكيةِ، كما في الشكلِ (28/ أ) فلا يراها الشخصُ بوضوحٍ. ويمكنُ معالجةُ هذهِ الحالةِ بوضعِ عدسةٍ محدّبةٍ أمامَ العينِ، تكسرُ الأشعةَ نحوَ المحورِ الرئيسِ قبلَ أنْ تدخلَ العينَ، ما يؤدّي إلى تركيزِ هذهِ الأشعةِ على شبكيّةِ العينِ وتكوينِ خيالٍ واضحٍ على الشبكيّةِ، على كما في الشكلِ (28/ ب).



الشكلُ (28): أ . طولُ النظرِ. ب. علاجُ طولِ النظرِ.



الشكلُ (29):
أ. قصرُ النظرِ.
ب. علاجُ قصرِ النظرِ.

قِصرُ النظرِ Nearsightedness (Myopia)

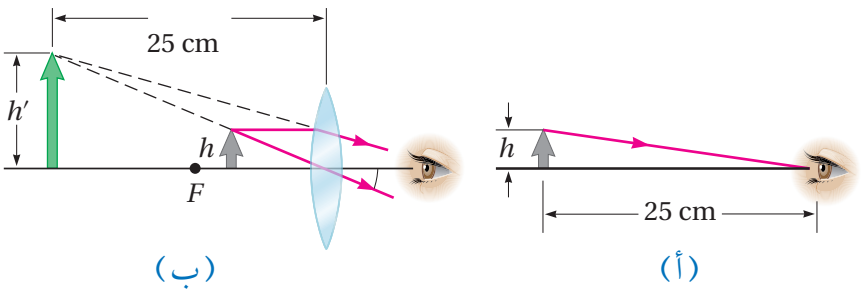
الشخصُ الذي يُعاني قِصرَ النظرِ لا يرى الأجسامَ البعيدةَ بوضوحٍ، حيثُ تتكوّنُ أخيلتُها أمامَ الشبكيّةِ، كما في الشكلِ (29/ أ). ويمكنُ معالجةُ هذهِ الحالةِ بوضعِ عدسةٍ مقعّرةٍ أمامَ العينِ، تفرّقُ الأشعةَ بعيدًا عنِ المحورِ الرئيسِ قبلَ أنْ تدخلَ العينَ، ما يؤدّي إلى تركيزِ الأشعةِ على شبكيّةِ العينِ وتكوينِ خيالٍ واضحٍ على الشبكيّةِ، كما في الشكلِ (29/ ب).

أبحثُ:
في مصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ والمتاحةِ عنْ عيوبٍ أخرى تُصيبُ العينَ، غيرِ طولِ النظرِ وقصرِهِ وكيفيةِ علاجِها.

المِجهرُ البسيطُ (العدسةُ المكبّرةُ) The Simple Magnifier

يتكوّنُ من عدسةٍ محدّبةٍ واحدةٍ تكوّنُ أخيلةً مكبّرةً للأشياءِ، فيمكنُنا من خلالِها رؤيةُ الأشياءِ الصغيرةِ أوْ تفاصيلِها بوضوحٍ أكبرَ. فعندَما أنظرُ بالعينِ المجرّدةِ إلى حشرةٍ صغيرةِ الحجمِ، كما في الشكلِ (30) مثلًا، لنْ أتمكّنَ منْ تمييزِ تفاصيلِها؛ لذا فإنَّ العدسةَ المُكبِّرةَ تكوّنُ خيالًا وهميًّا مُكبّرًا، أتأمّلُ الشكلَ (31/ أ، ب).

الشكلُ (30): النظرُ إلى حشرةٍ من خلالِ مِجهرٍ بسيطٍ.



الشكلُ (31): النظرُ إلى جسمٍ
أ. مباشرةً.
ب. من خلالِ عدسةٍ مكبِّرةٍ.
حيث (h) طول الجسم و (h') طول الخيال.

الشكلُ (32): النظرُ إلى أجزاءِ الساعةِ من خلالِ العدسةِ المكبِّرةِ.

وتُعدُّ العدسةُ المُكبِّرةُ منَ الأدواتِ الأساسيةِ عندَ طبيبِ الأسنانِ للنظرِ من خلالِها إلى داخلِ فمِ المريضِ، وأنَّ فنّيَّ إصلاحِ الساعاتِ سيجدُ صعوبةً في تفحُّصِ الأجزاءِ الصغيرةِ للساعةِ دونَ الاستعانةِ بالعدسةِ المُكبِّرةِ، أتأمّلُ الشكلَ (32).

المِجهرُ المركّبُ The Compound Microscope

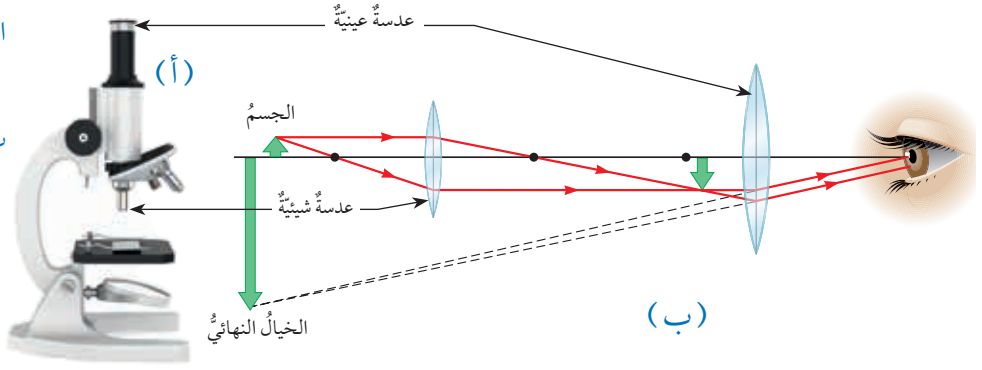
للمِجهرِ البسيطِ قدرةٌ محدودةٌ في إظهارِ التفاصيلِ الدقيقةِ لجسمٍ ما، ويمكنُ تحقيقُ تكبيرٍ أكبرَ عبرَ الجمعِ بينَ عدستينِ في جهازٍ يُسمَّى المِجهرَ المركّبَ كما في الشكلِ (33/ أ)، الذي يتكوّنُ منْ عدسةٍ شيئيةٍ (يوضعُ أمامَها الجسمُ المرادُ تكبيرُه) بُعْدُها البؤريُّ صغيرٌ جدًّا (أقلُّ من 1 cm)، وعدسةٌ عينيّةٌ يبلغُ بُعدُها البؤريُّ بضعةَ سنتيمتراتٍ، ويفصلُ بينَ العدستينِ مسافةٌ أكبرُ بكثيرٍ من بُعديْهما البؤريّينِ. تُكوّنُ العدسةُ الشيئيّةُ للجسمِ خيالًا حقيقيًّا مقلوبًا يقعُ بينَ العدسةِ العينيّةِ وبؤرتِها، التي تعملُ بدورِها عملَ مِجهرٍ بسيطٍ، وتُكوّن خيالًا وهميًّا مكبّرًا، كما في الشكلِ (33/ ب).

الربطُ بالتاريخِ

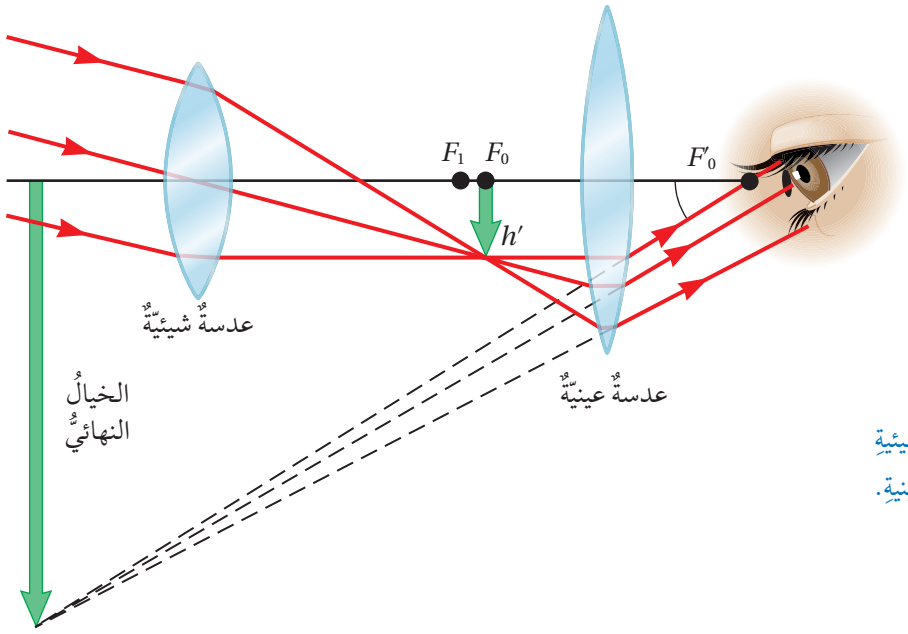
إنَّ أولَ منِ اخترعَ النظارةَ الطبيّةَ هوَ العالمُ المسلمُ الحسنُ بنُ الهيثمِ، رائدُ علمِ البصرياتِ، إذْ عندَما ضعُفَ بصرُه، أجرى تجاربَ عدّةً على الزجاجِ ليصنعَ منهُ نظارةً تُعينُه على القراءةِ، وتوصّلَ إلى اختراعِ عدسةٍ محدّبةٍ كانتْ تُظهرُ الكلامَ والأشكالَ بصورةٍ كبيرةٍ وواضحةٍ. وقد صُنعتْ أولُ نظارةٍ طبيّةٍ دقيقةٍ في إيطاليا سنةَ 1286 ميلاديّة.

الربطُ بعلومِ الحياةِ

يُستخدمُ المجهرُ المركّبُ لرؤيةِ المكوّناتِ الدقيقةِ للخلايا النباتيةِ والحيوانيةِ، وللتمييزِ بينَ أنواعِ الميكروباتِ وغيرِ ذلكَ منَ المكوِّناتِ الدقيقةِ للأجزاءِ الحيّةِ.



الشكلُ (33):
أ . المِجهرُ المركّبُ.
ب. رسمٌ تخطيطيٌّ لتكوّن الخيالِ في المجهرِ المركّبِ.



الشكلُ (34): رسمٌ تخطيطيٌّ للتلسكوبِ.

حيثُ: (F_0) بؤرةُ العدسةِ الشيئيةِ
(F_1) بؤرةُ العدسةِ العينيةِ.

التلسكوبُ (المِقرابُ الفلكيُّ) The Telescope

يُستخدمُ التلسكوبُ لتكوينِ أخيلةٍ واضحةٍ ومكبَّرةٍ للأجسامِ البعيدةِ جدًّا، مثلِ النجومِ والأجرامِ السماويةِ الأخرى، إذْ عندَما أنظرُ إليها بالعينِ المجرّدةِ فإنَّها تظهرُ صغيرةً جدًّا. والتلسكوبُ يشبهُ المجهرَ المركّبَ في أنَّ لهُ عدستينِ: عينيّةً وشيئيّةً. وتُرتَّبُ العدستانِ على أنْ تُكوّنَ العدسةُ الشيئيّةُ للجسمِ البعيدِ خيالًا حقيقيًّا مقلوبًا في مكانٍ قريبٍ جدًّا منْ بؤرةِ العدسةِ العينيّةِ، ونظرًا إلى أنَّ الجسمَ (النجم مثلًا) موجودٌ في اللانهايةِ، فإنَّ خيالَهُ سيتكوّنُ في بؤرةِ العدسةِ الشيئيّةِ؛ لذا تكونُ بؤرتا العدستينِ متجاورتينِ تمامًا ومتداخلتينِ، أيْ أنَّ بؤرةَ الشيئيّةِ تكونُ أقربُ للعينيّةِ، وبؤرةَ العينيةِ أقربُ للشيئيّةِ. والشكلُ (34) يبيّنُ الرسمَ التخطيطيَّ لتركيبِ التلسكوبِ وتكوُّنِ الخيالِ فيهِ.

أُفكّر: لماذا يُصمَّمُ التلسكوبُ على أنْ تكونَ بؤرةُ العدسةِ الشيئيّةِ قريبةً جدًّا من بؤرةِ العدسةِ العينيّةِ؟

أبحثُ:
عنْ طريقةِ صنعِ تلسكوبٍ يتكونُ منْ عدستينِ، مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ الموثوقةِ.

مراجعةُ الدرسِ

1 . **الفكرةُ الرئيسةُ:** أُحدّدُ العواملَ التي تعتمدُ عليها صفاتُ الأخيلةِ المتكوِّنةِ في العدساتِ.

2 . **أَصِفُ** موضِّحًا بالرسمِ الفرقَ بينَ:

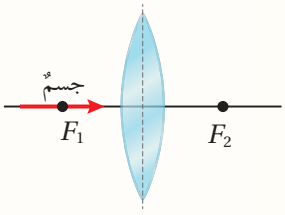
أ .الخيالِ الحقيقيِّ والخيالِ الوهميِّ.

ب . البؤرةِ الحقيقيّةِ والبؤرةِ الوهميّةِ.

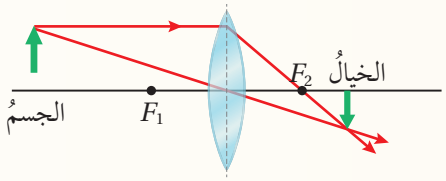
3 . **أُقارِنُ** بينَ العدساتِ المحدّبةِ والعدساتِ المقعّرةِ منْ حيثُ:

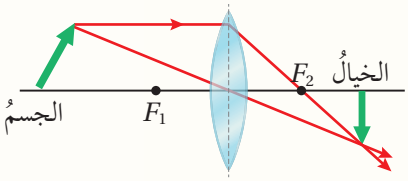
أ . الشكلُ. ب . نوعُ البؤرةِ. جـ . نوعُ الخيالِ الذي تكوّنُه.

4 . **أُحلّلُ:** في الشكلِ جسمٌ موضوعٌ أمامَ عدسةٍ محدّبةٍ، أصفُ (دونَ رسمٍ تخطيطيٍّ) الخيالَ المتكوّنَ للجسمِ.

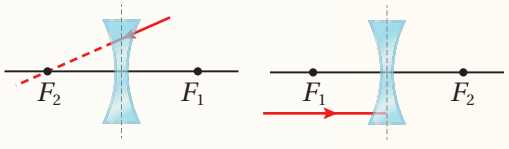


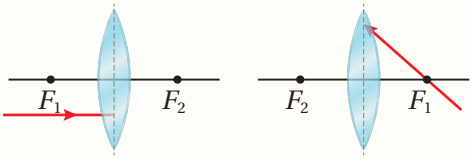
5 . **التفكيرُ الناقدُ:** في الشكلِ الآتي، رسمَ طالبٌ رسومًا تخطيطيّةً للتوصّلِ إلى صفاتِ الخيالِ المتكوّنِ لجسمٍ موضوعٍ أمامَ عدسةٍ محدّبةٍ في حالتينِ مختلفتينِ، أُبيّنُ ما إذا كانتْ رسومُ الطالبِ صحيحةً أم لا.





6 . **أُطبّقُ:** أُكملُ مسارَ كلٍّ منَ الأشعةِ الضوئيةِ في الأشكالِ الآتيةِ:



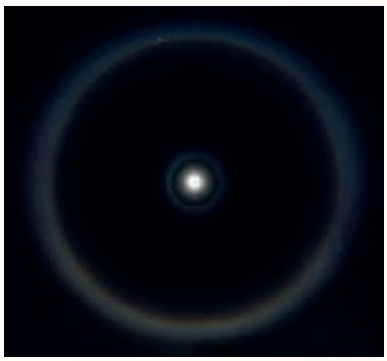


7 . **أُقارِنُ** بينَ طولِ النظرِ وقِصرِ النظرِ من حيثُ:

أ. المفهومُ.

ب. العلاجُ.

الفيزياءُ والفضاءُ
الهالةُ الشمسيّةُ



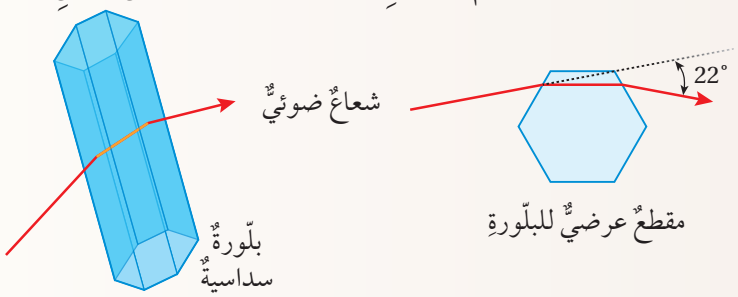
هالةٌ قمريةٌ.

هالةٌ شمسيّةٌ.

الهالةُ هيَ ظاهرةٌ شائعةٌ في الغلافِ الجويِّ، لها بعضُ أوجهِ التشابُهِ معَ قوسِ المطرِ، وتظهرُ على شكلِ حلقةٍ مضيئةٍ حولَ الشمسِ أو القمرِ، عندَما ينكسرُ الضوءُ القادمُ منَ الشمسِ (أو القمرِ) عنْ طريقِ بلوراتٍ ثلجيّةٍ سُداسيّةِ الشكلِ ذاتِ أقطارٍ أقلَّ منْ (20) ميكرومتر. ويوضّحُ الشكلُ هالةً شمسيّةً، وأخرى قمريّةً. وتتشكّلُ الهالاتُ على مدارِ السنةِ، منَ المناطقِ المداريّةِ إلى القطبينِ، عنْ طريقِ بلوراتِ الجليدِ الصغيرةِ التي تتراكمُ عادةً في غيومٍ رقيقةٍ على ارتفاعاتٍ عاليةٍ، (5 – 10 km) فوقَ سطحِ الأرضِ، في طبقةِ التروبوسفيرِ العُليا الباردةِ دائمًا.

وأحيانًا، تتشكّلُ الهالةُ أيضًا، في الطقسِ الشديدِ البرودةِ، عنْ طريقِ بلوراتِ الجليدِ القريبةِ منْ سطحِ الأرضِ.

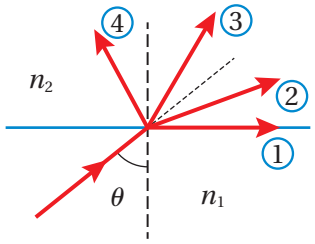
فعندَما يدخلُ الضوءُ الأبيضُ القادمُ منَ الشمسِ (أو القمرِ) أحدَ جوانبِ بلورةِ الجليدِ، فإنَّه ينكسرُ مرّتينِ ليخرجَ منَ الجانبِ الآخرِ بانحرافٍ زاويٍّ يبلغُ حدُّه الأقصى نحوَ (22°)، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ اللاحقِ، بمدًى يتراوحُ بينَ (21.537°) للضوءِ الأحمرِ و (22.371°) للضوءِ الأزرقِ ، إذْ إنَّ ضوءَ الشمسِ يتحلّلُ نتيجةَ عبورِه بلورةَ الجليدِ؛ لأنَّ معاملَ انكسارِ البلورةِ يختلفُ باختلافِ لونِ الضوءِ الساقطِ. وبتكرارِ هذهِ العمليّةِ في البلوراتِ المتجاورةِ، تتكوّنُ حلقاتٌ ملوّنةٌ مضيئةٌ حلقيّةٌ تشبهُ قوسَ المطرِ، لكنَّ ترتيبَ الألوانِ في الهالةِ يكونُ معاكسًا لترتيبِها في قوسِ المطرِ، فيظهرُ الأزرقُ منَ الداخلِ والأحمرُ منَ الخارجِ. ويُطلقُ على الهالةِ التي تتشكّلُ بهذهِ الطريقةِ اسمُ هالةِ 22 درجةً، ويُطلقُ على الهالاتِ أحيانًا اسمُ أقواسِ الجليدِ، لأنّها تتشكّلُ بفعلِ بلّوراتِ الجليدِ.



أبحثُ مستعينًا بمصادرِ المعرفةِ المناسبةِ، أبحثُ عنْ ظواهرَ بصريةٍ أخرى وتطبيقاتٍ على انكسارِ الضوءِ. ثمَّ أكتبُ تقريرًا عنها، وأقرؤُه أمامَ زملائي/ زميلاتي في غرفةِ الصفِّ.

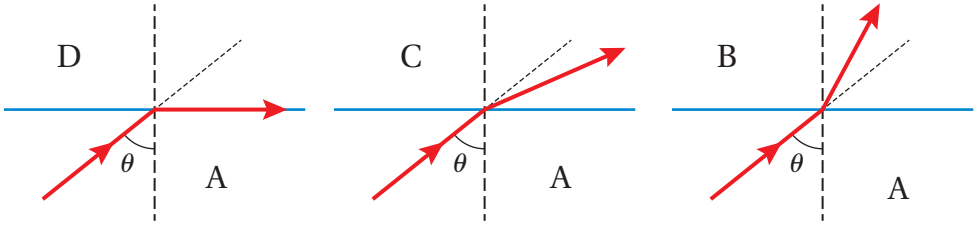
1. أَضعُ دائرةً حولَ رمزِ الإجابةِ الصحيحةِ لكلِّ جملةٍ ممّا يأتي:

1. أيُّ المساراتِ: (1, 2, 3, 4) في الشكلِ المجاورِ يمثّلُ أقربَ مسارٍ صحيحٍ لشعاعٍ ضوئيٍّ ينتقلُ منْ وسطٍ شفّافٍ مُعاملُ انكسارِه ($n_1 = 1.4$) إلى وسطٍ شفّافٍ آخرَ مُعاملُ انكسارِه ($n_2 = 1.6$)؟



أ . 1 ب . 2 جـ. 3 د . 4

* تُبيّنُ الأشكالُ الآتيةُ انتقالَ شعاعٍ ضوئيٍّ من وسطٍ شفّافٍ (A) إلى أوساطٍ شفّافةٍ مختلفةٍ (B, C, D). أُجيبُ عنِ الفقرتينِ (2 ، 3) الآتيتينِ:



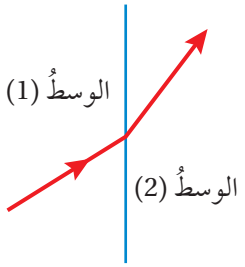
2. تكونُ سرعةُ الضوءِ أكبرَ ما يمكنُ في الوسطِ:

أ . A ب . B جـ. C د . D

3. الوسطُ ذو مُعاملِ الانكسارِ الأكبرِ هو:

أ . A ب . B جـ. C د . D

4. منْ تتبُّعِ مسارِ الشعاعِ الضوئيِّ في الشكلِ المجاورِ نَستدلُّ على أنَّ:



أ . زاويةَ السقوطِ أكبرُ من زاويةِ الانكسارِ.

ب . زاويةَ السقوطِ أكبرُ من الزاويةِ الحرجةِ.

جـ. معاملَ انكسارِ الوسطِ الأولِ أكبرُ من معاملِ انكسارِ الوسطِ الثاني.

د . سرعةَ الضوءِ في الوسطِ الأولِ أكبرُ من سرعتِه في الوسطِ الثاني.

5. ينتقلُ شعاعٌ ضوئيٌّ منْ وسطٍ شفّافٍ مُعاملُ انكسارِه n_1 إلى وسطٍ آخرَ مُعاملُ انكسارِه n_2. يحدثُ انعكاسٌ كلّيٌّ داخليٌّ للشعاعِ الضوئيِّ عندَما يكونُ:

أ . $\theta_c > \theta_1$ ، $n_2 > n_1$ ب . $\theta_c < \theta_1$ ، $n_2 < n_1$

جـ. $\theta_c > \theta_1$ ، $n_2 < n_1$ د . $\theta_c < \theta_1$ ، $n_2 > n_1$

6. يبلغُ مُعاملُ انكسارِ الماءِ نحوَ $\frac{4}{3}$. ماذا يحدثُ لشعاعٍ ضوئيٍّ ينتقلُ منَ الهواءِ ($n = 1$) إلى الماءِ؟

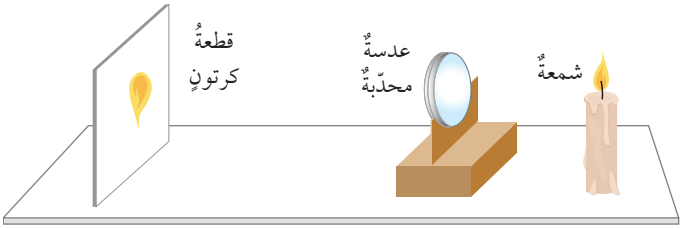
أ . تقلُّ سرعتُه إلى ($\frac{3}{4}$ c).

ب . تزيدُ سرعتُه إلى ($\frac{4}{3}$ c).

جـ. ينكسرُ بزاويةٍ تساوي ($\frac{3}{4}\theta_1$).

د . ينكسرُ بزاويةٍ تساوي ($\frac{4}{3}\theta_1$).

* يمثّلُ الشكلُ عمليّةَ تكوّنِ خيالٍ حقيقيٍّ مُكبَّرٍ للهبِ شمعةٍ موضوعةٍ أمامَ عدسةٍ محدّبةٍ. مستعينًا بالشكلِ، أجيبُ عنِ الفقرتينِ (7، 8) الآتيتينِ:



7. موقعُ الشمعةِ بالنسبةِ إلى العدسةِ يكونُ:

أ . بينَ العدسةِ وبؤرتِها.

ب . بينَ البؤرةِ ومِثلَي البُعدِ البؤريِّ.

جـ. على بُعدٍ يساوي مِثلَي البُعدِ البؤريِّ.

د . على بُعدٍ أكبرَ من مِثلَي البُعدِ البؤريِّ.

8. لتكوينِ خيالٍ مُصغّرٍ للهبِ الشمعةِ على قطعةِ الكرتونِ تُحرَّكُ:

أ . قطعةُ الكرتونِ نحوَ العدسةِ.

ب . قطعةُ الكرتونِ بعيدًا عنِ العدسةِ.

جـ. العدسةُ نحوَ الشمعةِ.

د . العدسةُ نحوَ قطعةِ الكرتونِ.

9. الأخيلةُ التي تكوّنُها العدسةُ المقعّرةُ للأجسامِ الموضوعةِ أمامَها تكونُ دائمًا:

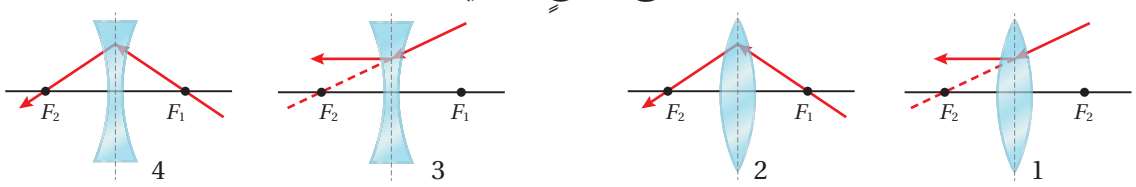
أ . وهميّةً ومعتدلةً ومصغّرةً.

ب . وهميّةً ومعتدلةً ومُكبَّرةً.

جـ. حقيقيةً ومقلوبةً ومُصغَّرةً.

د . حقيقيّةً ومقلوبةً ومكبَّرةً.

10. أحدُ الأشكالِ الآتيةِ يُبيّنُ المسارَ الصحيحَ لشعاعٍ ضوئيٍّ بعدَ نفاذِه منَ العدسةِ:



أ . 1 ب . 2 جـ. 3 د . 4

2. **أَستخدمُ المتغيّراتِ:** تَتبّعَ سامي مسارَ شعاعٍ ضوئيٍّ سقطَ منَ الهواءِ على مكعبٍ بلاستيكيٍّ، فوَجدَ أنَّ زاويةَ السقوطِ (50°) وزاويةَ الانكسارِ (21.7°). أَجدُ:

أ . معاملَ انكسارِ المكعبِ.

ب . الزاويةَ الحرجةَ للمادّةِ المصنوعِ منها المكعبُ.

3. **أُفسّرُ:** تُصنَعُ الأليافُ الضوئيّةُ بحيثُ تكونَ ضيّقةً جدًّا. مُراعيًا المساراتِ المختلفةَ التي يمكنُ أنْ يسلكَها الضوءُ في الألياف الضوئيّةِ، فلماذا يجبُ ألّا تكونَ الأليافُ الضوئيّةُ واسعةً جدًّا؟

4. **أَحسُبُ:** إذا كانتِ الزاويةُ الحرجةُ لقالبٍ من الزجاجِ تساوي (42°)، أَحسبُ الزاويةَ الحرجةَ للقالبِ إذا أُلقيَ في الماءِ، علمًا أنَّ معاملَ انكسارِ الماءِ (1.33).

زاويةُ السقوطِ	زاويةُ الانكسارِ
10°	7.5°
20°	14.3°
30°	21.4°
40°	28.4°
50°	34.0°
60°	40.0°

5. **التفكيرُ الإبداعيُّ:** أجرتْ سلمى وآيةُ استقصاءً لتحديدِ نوعِ سائلٍ غيرِ معروفٍ، فسلطتا شعاعًا ضوئيًّا على سطحِ السائلِ بزاويةٍ معيَّنةٍ وقاستا زاويةَ الانكسارِ. وقد كرّرَتا هذهِ العمليّةَ بتغييرِ زاويةِ السقوطِ، ثمَّ سجلتا نتائجَ التجربةِ في الجدولِ المجاورِ.

أ . أَكتبُ هدفًا لهذا الاستقصاءِ.

ب . أَكتبُ قائمةً بالأدواتِ جميعِها التي استُخدِمتْ.

جـ. أُحدّدُ نوعَ السائلِ (مستعينًا بالجدول 1).

د . أُحدّدُ الأخطاءَ المحتمَلةَ في التجربةِ.

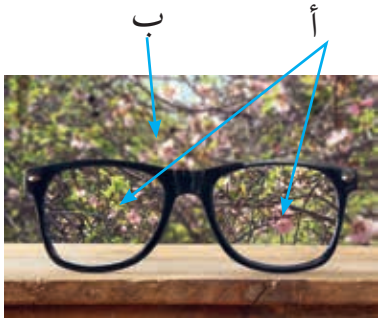
6. **أحلّلُ:** وُضِعَ جسمٌ طولُه (15 cm) أمامَ عدسةٍ، فتكوّنَ لهُ خيالٌ مقلوبٌ طولُه (5 cm). أُجيبُ عمّا يأتي:

أ . ما نوعُ العدسةِ الموضوعِ أمامَها الجسمُ؟

ب . هلِ الخيالُ المتكوِّنُ حقيقيٌّ أمْ وهميٌّ؟ أذكرُ السببَ.

جـ. إذا قُرِّبَ الجسمُ من العدسةِ، فماذا يحدثُ لطولِ الخيالِ؟

7. **أستنتجُ:** في الشكلِ المجاورِ، ينظرُ شخصٌ مصابٌ بأحدِ عيوبِ الإبصارِ إلى مكعبينِ: أحدُهما قريبٌ (A) والآخرُ بعيدٌ (B). فما نوعُ العيبِ البصريِّ الذي أُصيبَ بهِ الشخصُ؟ وكيفَ يمكنُ علاجُه؟



8. **أحلّلُ:** في الشكلِ ينظرُ شخصٌ إلى أحدِ المناظرِ الطبيعيةِ البعيدةِ نسبيًّا، فيبدو لهُ المنظرُ (أ) من خلالِ النظاراتِ والمنظرُ (ب) من غيرِ النظاراتِ. فما نوعُ عدساتِ النظاراتِ؟ وما نوعُ العيبِ البصريِّ الذي يعانيهِ الشخصُ؟

9. **أُقارنُ بالرسمِ** بينَ الخيالِ الوهميِّ المتكوِّنِ في كلٍّ منَ العدسةِ المحدّبةِ والعدسةِ المقعّرةِ، مُبيِّنًا ما يحدثُ للخيالِ عندَ تقريبِ الجسمِ منَ العدسةِ في الحالتينِ.

مسردُ المصطلحاتِ

- **الأنظمةُ الهيدروليكيّةُ (Hydraulic System):** أنظمةٌ تعتمدُ في عملِها على استخدامِ السوائلِ المحصورةِ لنقلِ الحركةِ، عنْ طريقِ تعريضِ السائلِ إلى ضغطٍ خارجيٍّ، فينتقلُ هذا الضغطُ إلى أجزاءِ السائلِ جميعِها.

- **انكسارُ الضوءِ (Refraction of light):** ظاهرةُ تغيُّرِ مسارِ الضوءِ عندَ انتقالِه بينَ وسطينِ شفّافينِ مختلفينِ.

- **الانعكاسُ الكلّيُّ الداخليُّ (Total Internal Reflection):** العمليةُ التي تنعكسُ فيها الأشعةُ الضوئيةُ كُليًّا في الوسطِ الذي سقطتْ فيهِ.

- **الأليافُ الضوئيةُ (Optical Fibers):** أنابيبُ رفيعةٌ وشفافةٌ، تُصنعُ عادةً منَ الزجاجِ أوِ البلاستيكِ، وتُستخدمُ لنقلِ الضوءِ.

- **البارومترُ الزئبقيُّ (Mercury Barometer):** جهازٌ يتكوّنُ منْ أنبوبٍ يحتوي على زئبقٍ يوضعُ مقلوبًا في وعاءٍ مملوءٍ بالزئبقِ، بحيثُ لا يُسمحُ بتسرّبِ الهواءِ إلى الأنبوبِ.

- **بؤرةٌ حقيقيّةٌ (Real Focus):** نقطةُ التقاءِ الأشعةِ الضوئيّةِ المنكسرةِ عنِ العدسةِ المحدّبةِ عندَما تسقطُ موازيةً للمحورِ الرئيسِ.

- **بؤرةٌ وهميّةٌ (Virtual Focus):** نقطةُ التقاءِ امتداداتِ الأشعّةِ الضوئيّةِ المنكسرةِ عنِ العدسةِ المقعّرةِ عندَما تسقطُ موازيةً للمحورِ الرئيسِ.

- **البعدُ البؤريُّ (Focal Length):** المسافةُ بينَ البؤرةِ والمركزِ البصريِّ للعدسةِ.

- **الزاويةُ الحرجةُ (Critical Angle):** زاويةُ سقوطِ الشعاعِ الضوئيِّ في وسطٍ شفّافٍ، تقابلُها زاويةُ انكسارٍ مقدارُها (90°) في وسطٍ شفّافٍ آخرَ ملامسٍ للأولِ.

- **السّرابُ (Mirage):** خداعٌ بصريٌ يُرى نتيجةَ الانكساراتِ المتتاليةِ للضوءِ في طبقاتِ الهواءِ القريبةِ منْ سطحِ الأرضِ.

- **الشعاعُ المعياريُّ (Standard Ray):** هوَ الشعاعُ الذي يسقطُ على عدسةٍ ونعرفُ مسارَه كلَّه، ويُستخدمُ لتحديدِ موقعِ الخيالِ وصفاتِهِ المتكوّنِ لجسمٍ في العدسةِ.

- **الضغطُ (Pressure):** قوّةٌ عموديّةٌ تؤثّرُ في وحدةِ المِساحةِ، ويُقاسُ بوحدةِ (N/m^2) التي تُعرفُ بالباسكالِ.

- **الضغطُ الجويُّ (Atmospheric Pressure):** وزنُ عمودِ الهواءِ المؤثّرِ في وحدةِ المِساحةِ عندَ منطقةٍ ما على سطحِ الأرضِ.

- **طولُ النظرِ (Hyperopia):** أحدُ عيوبِ الإبصارِ التي تصيبُ العينَ البشريّةَ، وينتجُ منهُ تكوّنُ أخيلةٍ للأجسامِ القريبةِ منَ العينِ خلفَ الشبكيّةِ.

- **العدسةُ (Lens):** قطعةٌ بصريّةٌ تتكوّنُ منْ وسطٍ شفّافٍ يحدُّه سطحانِ منحنيانِ، أوْ أحدُهما مستوٍ والآخرُ منحنٍ.

- **قوسُ المطرِ (Rainbow):** حلقةٌ دائريةٌ منْ ألوانِ الطيفِ المرئيِّ تتكوّنُ عندَ مرورِ ضوءِ الشمسِ عبرَ قطراتِ الماءِ المعلّقةِ في الهواءِ في فصلِ الشتاءِ، يظهرُ منها قَوسٌ فقطْ لمُشاهدٍ على سطحِ الأرضِ يقفُ متوجّهًا لجهةٍ معاكسةٍ للشمسِ.

- **قِصرُ النظرِ (Myopia):** أحدُ عيوبِ الإبصارِ التي تصيبُ العينَ البشريةَ، وينتجُ منهُ تكوّنُ أخيلةٍ للأجسامِ البعيدةِ عنِ العينِ أمامَ الشبكيّةِ.

- **الموائعُ (Fluids):** الموادُّ التي لها القدرةُ على الانسيابِ وتغييرِ شكلِها، وتشملُ السوائلَ والغازاتِ.

- **المانوميتر Manometer:** أنبوبٌ مفتوحٌ منَ الطرفينِ على شكلِ حرفِU،يحتوي على سائلٍ مثلِ الزئبقِ أوِ الماءِ. و يُستخدمُ لقياسِ ضغطِ الغازاتِ والسوائلِ المحصورةِ .

- **معاملُ الانكسارِ للوسطِ الشفافِ (Refractive index):** النسبةُ بينَ سرعةِ الضوءِ في الفراغِ (c) إلى سرعتِه في الوسطِ الشفّافِ (v).

قائمةُ المراجعِ (References)

1. Adams, S. (2013). **Advanced Physics**. (2nd edition).USA: Oxford University Press.

2. Bradley, M. & Gardner, S. (2014). **Cambridge Igcse Physics**. London: Harper Collins Publishers Limited.

3. Chadha, G. (2015). **A Level Physics a for OCR**. A Level Physics a for OCR.

4. Giancoli, D. C. (2014). **Physics: Principles with Applications**. (7th edition). Pearson Education, Inc.

5. Halliday, D., Resnick , R. & Walker, J. (2018). **Fundamentals of Physics**. (11th edition). John Wiley & Sons, Inc.

6. Hewitt, P. G. (2015). **Conceptual Physics**. (14th edition). Pearson Education, Inc.

7. Lahiri, A. (2018). **BASIC PHYSICS: PRINCIPLES AND CONCEPTS**. Avijit Lahiri.

8. Muncaster, R. (2014). **A Level Physics**. (4th edition). Oxford University Press.

9. Serway , R. A. & Jewett, J. W. (2013). **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**. (9th edition). Cengage Learning.

10. Serway , R. A. &, Vuille, C. (2017). **College Physics**. (11th edition). Cengage Learning.

11. Shankar, R. (2019). **Fundamentals of Physics I: Mechanics, Relativity and Thermodynamics**. Expanded Edition; Yale University Press.

12. Smyth, M., Pharaoh, L., Grimmer, R., Bishop, C. & Davenport, C. (2020). **Cambridge International AS & A Level Physics**. London: Harper Collins Publishers Limited.

13. Tipler, P. A. & Mosca, G. (2007). **Physics for Scientists and Engineers**. (6th edition). W. H. Freeman.

14. Young , H. D. & Freedman, R. A. (2015). **University Physics with Modern Physics**. (14th edition). Pearson Education, Inc.

جدولُ الاقتراناتِ المثلثيةِ

الزاوية	sinθ	cosθ	tanθ
صفر	0.0000	1.000	0.000
1	0.018	1.000	0.018
2	0.035	0.999	0.035
3	0.052	0.999	0.052
4	0.070	0.998	0.070
5	0.087	0.996	0.088
6	0.105	0.995	0.105
7	0.122	0.993	0.123
8	0.139	0.990	0.141
9	0.156	0.989	0.158
10	0.174	0.985	0.176
11	0.191	0.982	0.194
12	0.208	0.978	0.213
13	0.225	0.974	0.231
14	0.242	0.970	0.249
15	0.259	0.966	0.268
16	0.276	0.961	0.287
17	0.292	0.956	0.306
18	0.309	0.951	0.325
19	0.326	0.946	0.344
20	0.342	0.940	0.364
21	0.358	0.934	0.384
22	0.375	0.927	0.404
23	0.391	0.921	0.425
24	0.407	0.914	0.445
25	0.423	0.906	0.466
26	0.438	0.899	0.488
27	0.454	0.891	0.510
28	0.470	0.883	0.531
29	0.485	0.875	0.554
30	0.500	0.866	0.577
31	0.515	0.857	0.604
32	0.530	0.848	0.625
33	0.545	0.839	0.650
34	0.559	0.829	0.675
35	0.574	0.819	0.700
36	0.588	0.809	0.727
37	0.602	0.799	0.754
38	0.616	0.788	0.781
39	0.629	0.777	0.810
40	0.643	0.766	0.839
41	0.656	0.755	0.869
42	0.669	0.734	0.900
43	0.682	0.731	0.932
44	0.695	0.719	0.966
45	0.707	0.707	1.000

الزاوية	sinθ	cosθ	tanθ
46	0.719	0.695	1.036
47	0.731	0.682	1.072
48	0.743	0.669	1.110
49	0.756	0.656	1.150
50	0.766	0.643	1.192
51	0.777	0.629	1.235
52	0.788	0.616	1.280
53	0.799	0.602	1.327
54	0.809	0.588	1.376
55	0.819	0.574	1.428
56	0.829	0.559	1.483
57	0.839	0.545	1.540
58	0.848	0.530	1.600
59	0.857	0.515	1.664
60	0.866	0.500	1.732
61	0.875	0.485	1.804
62	0.883	0.470	1.880
63	0.891	0.454	1.963
64	0.899	0.438	2.050
65	0.906	0.423	2.145
66	0.914	0.407	2.246
67	0.921	0.391	2.356
68	0.927	0.375	2.475
69	0.935	0.384	2.605
70	0.940	0.342	2.748
71	0.946	0.326	2.904
72	0.951	0.309	3.078
73	0.956	0.292	3.271
74	0.961	0.276	3.487
75	0.966	0.259	3.732
76	0.970	0.242	4.011
77	0.974	0.225	4.331
78	0.978	0.208	4.705
79	0.982	0.191	5.145
80	0.985	0.174	5.671
81	0.988	0.156	6.314
82	0.990	0.139	7.115
83	0.993	0.122	8.144
84	0.995	0.105	9.514
85	0.996	0.087	11.43
86	0.998	0.070	14.30
87	0.998	0.052	19.08
88	0.999	0.035	28.64
89	1.000	0.018	57.29
90	1.000	0.000	∞

Collins