



# الفيزياء

الصف التاسع - كتاب الطالب

الفصل الدراسي الثاني

9

فريق التأليف

موسى عطا الله الطراونة (رئيساً)

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

قررت وزارة التربية والتعليم تدريس هذا الكتاب في مدارس المملكة الأردنية الهاشمية جميعها، بناءً على قرار المجلس الأعلى للمركز الوطني لتطوير المناهج في جلسته رقم (---)، تاريخ -----/2022 م، وقرار مجلس التربية والتعليم رقم (---) تاريخ --- م بدءاً من العام الدراسي 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 - 318 - 0**

المملكة الأردنية الهاشمية

رقم الإيداع لدى دائرة المكتبة الوطنية:

(2022/4/1992)

375,001

الأردن. المركز الوطني لتطوير المناهج

الفيزياء: الصف التاسع: كتاب الطالب (الفصل الدراسي الثاني) / المركز الوطني لتطوير المناهج. - عمان: المركز، 2022  
(80) ص.

ر.إ.: 2022/4/1992

الواصفات: / تطوير المناهج / المقرارات الدراسية / مستويات التعليم / المناهج /

يتحمل المؤلف كامل المسؤولية القانونية عن محتوى مصنفه ولا يعبر هذا المصنف عن رأي دائرة المكتبة الوطنية.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, sorted in retrieval system, or transmitted in any form by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher or a license permitting restricted copying in the United Kingdom issued by the Copyright Licensing Agency Ltd, Barnard's Inn, 86 Fetter Lane, London, EC4A 1EN.

British Library Cataloguing -in- Publication Data

A catalogue record for this publication is available from the Library.

## قائمة المحتويات

| الصفحة | الموضوع                                  |
|--------|--|
| 5      | المقدمة                                  |
| 7      | الوحدة الرابعة: ميكانيكا الموائع         |
| 9      | تجربة استهلالية: ضغط الماء وضغط الهواء   |
| 10     | الدرس الأول: المائع الساكن               |
| 18     | الدرس الثاني: قياس الضغط                 |
| 33     | الوحدة الخامسة: انكسار الضوء             |
| 35     | تجربة استهلالية: انحراف مسار الحركة لجسم |
| 36     | الدرس الأول: انكسار الضوء                |
| 45     | الدرس الثاني: تطبيقات وظواهر بصرية       |
| 56     | الدرس الثالث: العدسات الرقيقة            |
| 76     | مسرد المصطلحات                           |
| 78     | قائمة المراجع                            |
| 80     | جدول الاقترانات المثلثية                 |



## المقدمة

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

يُعد هذا الكتاب واحداً من سلسلة كتب المباحث العلمية التي تُعنى بتنمية المفاهيم العلمية، ومهارات التفكير وحل المشكلات، ودمج المفاهيم الحياتية والمفاهيم العابرة للمواد الدراسية، والإفادة من الخبرات الوطنية في عمليات الإعداد والتأليف وفقاً لأفضل الطرائق المتّبعة عالمياً؛ لضمان انسجامها مع القيم الوطنية الراسخة، وتلبية لحاجات أبنائنا الطلبة والمعلّمين.

وقد روعي في تأليفه تقديم المعلومة العلمية الدقيقة على منهجية تقوم على السلامة في العرض، والوضوح في التعبير، إضافة إلى الربط بين الموضوعات المطروحة في المراحل الدراسية السابقة واللاحقة، واعتماد منهجية التدرج في عرض موضوعات المادة، واستهلال وحداتها بأسئلة تُظهر علاقة علم الفيزياء بالظواهر من حولنا؛ ما يُحفّز الطالب على الإفادة مما يتعلّمه في غرفة الصف في تفسير مشاهدات يومية وظواهر طبيعية قد تحدث أمامه، أو يشاهدها في التلفاز، أو يسمع عنها. وقد تضمنّت كل وحدة نشاطاً إثرائياً يعتمد منحى STEAM في التعليم الذي يستعمل لدمج العلوم والتكنولوجيا والهندسة والفن والعلوم الإنسانية والرياضيات في أنشطة الكتاب المتنوعة، وفي قضايا البحث.

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

ونحن إذ نقدم هذه الطبعة من الكتاب، فإننا نأمل أن يُسهم في تحقيق الأهداف والغايات النهائية المنشودة لبناء شخصية المتعلم، وتنمية اتجاهات حُبّ التعلم ومهارات التعلم المستمر، إضافة إلى تحسين الكتاب بإضافة الجديد إلى محتواه، وإثراء أنشطته المتنوعة، والأخذ بمحاذطات المعلّمين.

والله ولي التوفيق

المركز الوطني لتطوير المناهج

# ميكانيكا الموائع

Fluids Mechanics

## الوحدة

4

### أتأمل الصورة

يعاني متسلقو الجبال من ضيقا في التنفس، عند وصولهم إلى ارتفاعات عالية. ويشعر الغواصون أيضا بقوى تضغط على جسمه عند السباحة على أعماق كبيرة تحت سطح الماء. هذه الظواهر وغيرها يمكن تفسيرها بدراسة ضغط المائع، فما العوامل التي يعتمد عليها ضغط المائع؟ وكيف نحسب مقداره؟ وما الأدوات المستخدمة في قياسه؟

## الفكرة العامة:

تؤثر المواقع الساكنة بضغط على الأجسام الملامسة لها. ويمكن قياس ضغط الماء باستخدام أجهزة متنوعة.

### الدرس الأول: الماء الساكن

**الفكرة الرئيسية:** يزداد الضغط الذي يؤثر به الماء عند نقطة داخله بزيادة عمق النقطة تحت سطح الماء، وبزيادة كثافة الماء.

### الدرس الثاني: قياس الضغط

**الفكرة الرئيسية:** يُقاس ضغط الماء باستخدام أجهزة مختلفة، منها الباروميتر والمانوميتر.



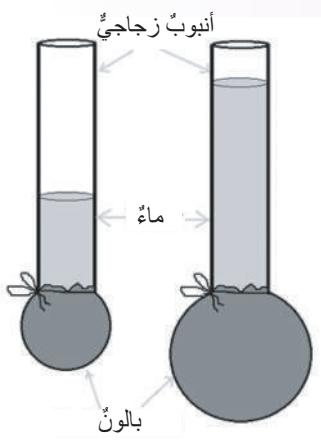
## ضغط الماء وضغط الهواء

**المواد والأدوات:** أنبوب زجاج (أو بلاستيك) مفتوح الطرفين، بالون، حلقة مطاطية، ماء، كأس زجاجية، قطعة كرتون.

**إرشادات السلامة:** الحذر عند التعامل مع الأنابيب الزجاجية، إجراء نشاط ضغط الهواء فوق حوض المغسلة.

**خطوات العمل:**

**أولاً: ضغط الماء**



**1** أقص فوهة البالون، وأثبته جيداً بطرف الأنابيب، وألف حوله حلقة مطاطية إذا تطلب الأمر ذلك.

**2 أُجرب:** أصب كمية من الماء في الأنابيب، وألاحظ انتفاخ البالون.

**3 أُجرب:** أصب كمية إضافية من الماء، وألاحظ ما يحدث للبالون.

**ثانياً: ضغط الهواء**

**1** أملأ الكأس بالماء حتى حافتها العلوية تقرباً.

**2** أغطي الكأس بقطعة الكرتون على أن أضع إحدى يدي أسفل الكأس، والأخرى فوق قطعة الكرتون ثم أقلبها بسرعة.

**3 أُجرب:** أبعد يدي عن قطعة الكرتون، وألاحظ ما يحدث.



**التحليل والاستنتاج:**

1. **أفسر:** ما سبب انتفاخ البالون عند صب الماء في الأنابيب؟

2. **أحلل:** ماذا يحدث للبالون عند صب المزيـد من الماء في الأنابيب؟ وكيف أفسـر ذلك؟

3. **أحلل وأستنتج:** ما القوى المؤثـرة في قطعة الكرتون داخل الكأس، وخارجها؟ وأيها أكـبر؟

4. **أستنتج:** ما الذي يجعل قطعة الكرتون تلتصـق بالكأس؟

## المائِعُ Fluids

درستُ في صفوٍ سابقةٍ ثلاثةٍ حالاتٍ للمادةٍ هيَ؛ الحالةُ الصلبةُ والحالةُ السائلةُ والحالةُ الغازيةُ.

وتعلّمتُ أنَّ ترتيبَ الجُزيئاتِ داخلَ السوائلِ والغازاتِ، وطبيعةَ الرابطِ التي تنشأُ بينَ جُزيئاتها، تُكبسُها القدرةُ على الانسيابِ (الجريانِ)، وبذلكَ يتغيّرُ شكلُها؛ فالسوائلُ والغازاتُ ليسَ لها شكلٌ محدّدٌ، بل تَتَّخِذُ شكلَ الوعاءِ الذي يحتويها. أتَائِلُ الشكلَ (1).

يُطلقُ على الموادُ التي لها القدرةُ على الجريانِ، وتغييرِ شكلِها اسمَ **مَوَائِعَ Fluids**، وبذلكَ فإنَّ المَوَائِعَ تشملُ السوائلَ والغازاتِ. يعتمدُ سلوكُ المَوَائِعَ وخصائصُه على حالتهِ الحركيَّةِ، وتُقسِّمُ المَوَائِعُ من حيثُ حالتهِ الحركيَّةِ إلى قسمينِ هما: المَوَائِعُ الساكنةُ والمَوَائِعُ المتحرّكةُ، وستقتصرُ دراستُنا في هذا الدرسِ على المَوَائِعَ الساكنةِ.

✓ **أَتَحَقَّقُ:** لماذا تُصنَّفُ الغازاتُ والسوائلُ بأنَّها مَوَائِعُ؟



الفلَّةُ الرئيْسَةُ:

يزدادُ الضغطُ الذي يؤثِّرُ بِهِ المَوَائِعُ عندَ نقطَةٍ داخلَهُ بِزيادةِ عَمَقِ النقطَةِ تحتَ سطحِ المَوَائِعِ، وبِزيادةِ كثافةِ المَوَائِعِ.

نَتْجَاءُ التَّعْلِمُ:

- أَعْبُرُ بِمُعَادِلَةِ رِياضِيَّةٍ عنِ الضغطِ الذي يؤثِّرُ بِهِ مَوَائِعُ في نقطَةٍ داخلَ المَوَائِعِ.

- أَسْتَقْصِي العوامِلَ التي يعتمدُ عليها ضغطُ المَوَائِعِ عندَ نقطَةٍ داخلَهُ.

المفاهِيمُ والمصْطَدِحُونُ:

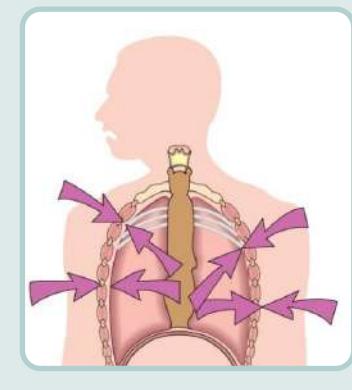
|                |                  |
|----------------|------------------|
| Fluid          | المَوَائِعُ      |
| Fluid Pressure | ضغطُ المَوَائِعِ |

الشكل (1): للمَوَائِعِ القدرةُ على الانسيابِ، وتَتَّخِذُ شكلَ الوعاءِ الذي يحتويها.

## ضغط المائع الساكن Pressure of a Static Fluid



يؤثّر الضغط الجوي في أجسامنا بقوى نحو الداخل، لكننا لا نشعر بهذا الضغط، لأنّ الضغط داخل أجسامنا يعادل الضغط الجوي. فمثلاً، ضغط الهواء داخل الرئتين يولّد قوى تؤثّر نحو الخارج تعادل قوى ضغط الهواء الخارجي، وتُلغّي تأثيرها.



تتعرّض أجسامنا طوال الوقت إلى ضغط من الهواء المحيط بنا، يُعرف بالضغط الجوي. ونشعر بضغط الماء على أجسامنا عندما نسبّح تحت سطح الماء، ويزداد هذا الضغط بزيادة العمق.

يُعرف الضغط Pressure بأنه قوة عمودية تؤثّر في وحدة المساحة، ويُقاس بوحدة  $N/m^2$  التي تُعرف بالباسكال (Pa) بحسب النظام الدولي للوحدات. ويرمز إلى الضغط بالرمز (P)، ويعبر عنه بالعلاقة الرياضية الآتية:

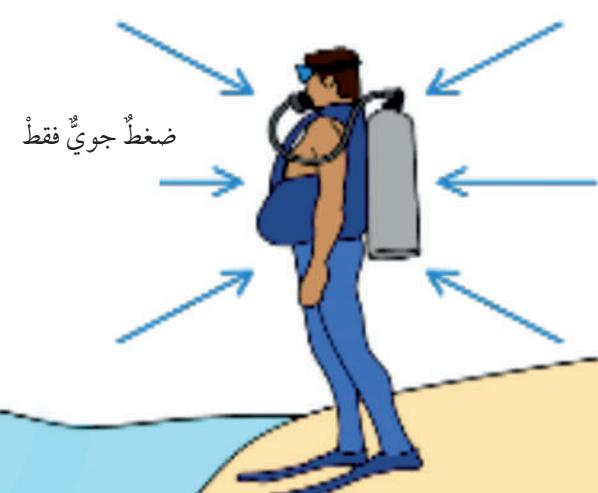
$$P = \frac{F}{A}$$

يتأثّر الجسم داخل الماء بضغط؛ سببه وزن الماء فوق الجسم. وبزيادة ارتفاع عمود الماء فوق الجسم يزداد وزن ذلك الماء، ما يؤدّي إلى زيادة الضغط المؤثّر في الجسم، وهذا يفسّر زيادة الضغط على جسم الغواص بزيادة العمق تحت سطح الماء.

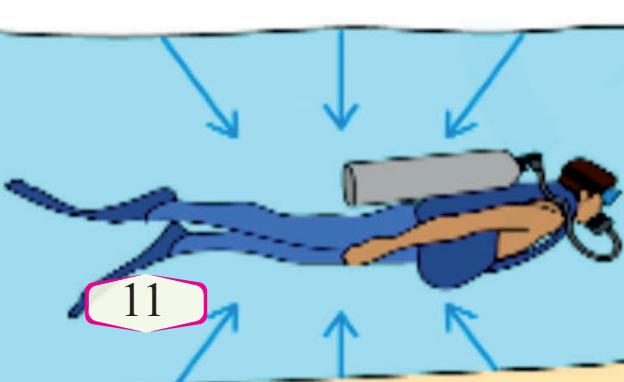
ولمّا كانت جزيئات الماء تتحرّك بحرية؛ فإنّ الماء يؤثّر بضغط في الاتجاهات جميعها في الأجسام التي بداخله. أتَأملُ الشكل (2).

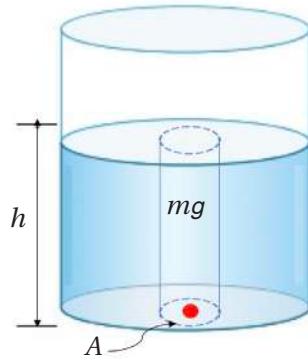
**أتحقق:** لماذا يشعر الغواص بزيادة ضغط الماء على جسمه بزيادة العمق الذي يسبّح عنه تحت سطح الماء؟

الشكل (2): يؤثّر الماء (الهواء أو السائل) بضغط في الاتجاهات جميعها في الأجسام المغمورة فيه.



ضغط جوي + ضغط الماء





الشكل (3): الضغط عند نقطة داخل مائع ساكن.

### ضغط المائع عند نقطة داخله

يبين الشكل (3)، نقطة تقع داخل مائع ساكن (ماء مثلاً) على عمق ( $h$ ) من سطحه، إنَّ القوة العمودية المنسوبة للضغط عند هذه النقطة هي وزن عمود الماء ( $mg$ ) الممتد من سطح الماء إلى وحدة المساحة ( $A$ ) المحيطة بالنقطة. فإذا كان الماء سائلاً متجانساً؛ فإنَّ كثافته ( $\rho$ ) تكون ثابتة، وللتوصل إلى علاقة لحساب ضغط السائل عند نقطة داخله، أتبع الخطوات الآتية:

■ الكتلة تساوي ناتج ضرب الكثافة في الحجم، لذا فإنَّ كتلة عمود السائل يُعبر عنها بالعلاقة:

$$m = \rho V$$

■ حجم عمود السائل يُعبر عنه بالمعادلة:

$$V = Ah$$

■ بتعويض الحجم في معادلة الكتلة نتوصل إلى أنَّ:

$$m = \rho Ah$$

■ بتعويض الكتلة، فإنَّ وزن عمود السائل ( $F_g$ ) يساوي:

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

■ من معادلة تعريف الضغط، فإنَّ:

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

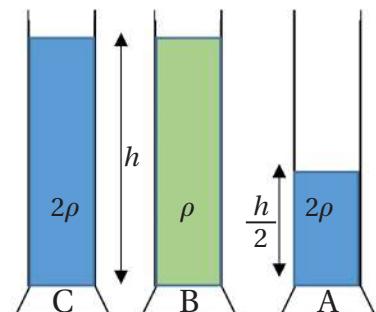
مما سبق نتوصل إلى أنَّ **ضغط الماء** **Fluid Pressure** الساكن ( $P_{\text{fluid}}$ ) عند نقطة داخله وعلى عمق ( $h$ ) تحت سطحه يُحسب من

العلاقة الآتية:

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

حيث: ( $\rho$ ) كثافة الماء، ( $g$ ) تسارع السقوط الحرّ.

**أفكاً:** يبين الشكل ثلاثة أوعية متماثلة، معتمداً على البيانات المثبتة على الشكل، أرتُب ضغط السائل عند النقاط ( $A, B, C$ ) من الأكبر ضغطاً إلى الأقلً.



# التجربة ١

## العوامل التي يعتمد عليها ضغط الماء

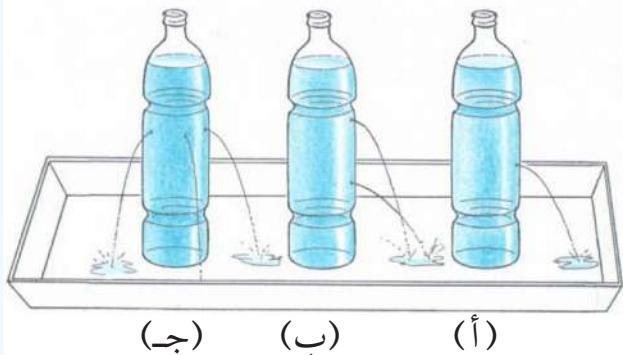
**المواد والأدوات:** ثلاثة زجاجات بلاستيكية متماثلة، مسمار، لاصق، مسطرة، قلم، وعاء بلاستيكي عميق، مصدر حرارة (تسخين المسمار).

**إرشادات السلامة:** أحذر عند استخدام المسمار، وآخذ في الحسبان لأن الماء لا ينسكب على الأرض. (بعد الانتهاء من التجربة، استخدم الماء لري المزروعات)

### خطوات العمل:

١- أحدد الارتفاع الذي سأعمل به الثقوب، وأستخدم المسمار الساخن لعمل الثقوب في جوانب الزجاجات المشار إليها بالرموز (أ، ب، ج) على نحو ما هو مبين في الشكل المجاور.

أ. ثقب واحد.



ب. ثقبان على ارتفاعين مختلفين.

ج. ثلاثة ثقوب عند المستوى الأفقي نفسه.

٢- أغطي الفتحات بالشريط اللاصق.

٣- **أجري:** أضع الزجاجة (أ) في الوعاء وأملئها بالماء، ثم أنزع الشريط اللاصق، وألاحظ اندفاع الماء من الثقب مدة من الزمن، وأسجل ملاحظاتي عن قوة اندفاع الماء.

٤- **أجري:** أضع الزجاجة (ب) في الوعاء، وأكرر الخطوة السابقة، وأسجل ملاحظاتي عن قوة اندفاع الماء من الثقبين، ثم أكرر التجربة باستخدام الزجاجة (ج).

### التحليل والاستنتاج:

١. **أحلل:** ماذا يحدث لقوة اندفاع الماء من الزجاجة (أ) بمرور الزمن، وما تفسير ذلك؟

٢. **أفسر:** سبب اختلاف قوة اندفاع الماء من الثقبين في الزجاجة (ب).

٣. **التفكير الناقد:** ما العامل الذي ضبط في التجربة التي استخدمت فيها الزجاجة (ج)؟ وماذا أستنتج من هذه التجربة؟

٤. **أتوقع:** لو استخدمت الزيت بدلاً من الماء، واستخدمت الزجاجات نفسها، فهل يندفع الزيت بالقوة نفسها؟ أختبر صحة توقعك عملياً.

## العوامل التي يعتمد عليها ضغط الماء

### Factors Affecting Liquid Pressure

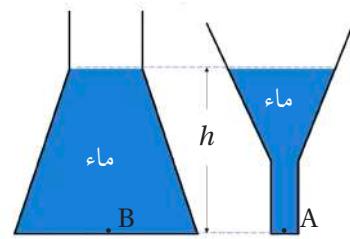
تشير العلاقة  $P_{\text{fluid}} = \rho hg$  إلى أنَّ ضغط الماء عند نقطة داخله يناسب طردياً مع كلٍّ من: عمق النقطة داخل الماء، وكثافة الماء، وتسارُع السقوط الحرّ.

ويكونُ ضغطُ الماء متساوياً عند النقاط جميعها التي تقعُ على العمق نفسه من سطح الماء. ولا يعتمدُ ضغطُ الماء على شكل الوعاء الذي يحتويه، أو مساحة سطح الماء؛ فمثلاً، في الشكل (4)، يكونُ ضغطُ الماء عند النقطتين (A) و (B) متساوياً؛ لأنَّ ارتفاعَ الماء في الوعاءين متساوٍ. كذلك فإنَّ الغواصَ المُبيَّنَ في الشكل (5) يتأثرُ بضغطِ الماء نفسه في البحيرة أو في البئر، لأنَّه يسبحُ على العمق نفسه.

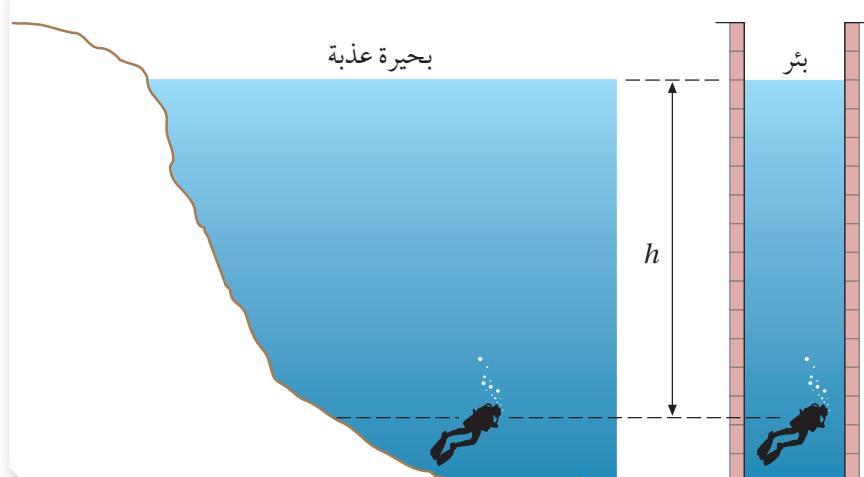
ويجدرُ الانتباه إلى أنَّ الضغط الذي يُحسبُ من العلاقة  $P_{\text{fluid}} = \rho hg$  هو ضغطُ الماء فقط، فالغواصُ المُبيَّنُ في الشكل (5) يتأثرُ أيضاً بالضغط الجويّ، (سأعرّفُ كيفية قياسِ الضغطِ الجويّ في الدرسِ الثاني). وباستخدامِ الرمز  $P_0$  ليدلُّ على الضغطِ الجويّ عند سطح الماء، فإنَّ الضغطَ الكليَّ عند نقطةٍ داخلَ ماءٍ متجانسٍ يُعبرُ عنه بالعلاقةِ الآتية:

$$P = P_0 + \rho hg$$

**أتحققُ:** ما العلاقةُ بينَ ضغطِ الماء عندَ نقطةٍ داخلَه وكلٍّ من: عمقِ النقطة، وكثافةِ الماء.



الشكل (4): ارتفاعُ الماء في الوعاءين متساوٍ فيكونُ ضغطُ الماء متساوياً عندَ قاعتيهما.



الشكل (5): يتأثرُ الغواصُ بضغطِ الماء نفسه في الحالتين، لأنَّ كثافةَ الماء وارتفاعَه متساويانَ في الحالتين.

## المثال 1

أحسب الضغط الكلّي المؤثّر في غواص يسبح في بحيرة على عمق:

أ. (20 m)      ب. (40 m)

علماً أنَّ كثافة الماء ( $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ), والضغط الجوي ( $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ), وتسارع السقوط الحرّ ( $10 \text{ m/s}^2$ ).

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

المطلوبُ: ( $P_1 = ?$ ), ( $P_2 = ?$ )  
الحلُّ:

لحساب الضغط الكلّي داخل الماء استخدُم العلاقة:

$$P = P_0 + \rho hg$$

أ. الضغط الكلّي على عمق (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. الضغط الكلّي على عمق (40 m):

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

## المثال 2

أنبوب مملوء بالزئبق، إذا كان مقدار ضغط الزئبق عند أسفل الأنابيب ( $1.36 \times 10^5 \text{ Pa}$ ), أحسب ارتفاعه، علماً أنَّ كثافة الزئبق ( $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ).

المُعْطَياتُ: ( $\rho = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ), ( $P = 1.36 \times 10^5 \text{ Pa}$ )

المطلوبُ: ( $h = ?$ )  
الحلُّ:

بتطبيق العلاقة:

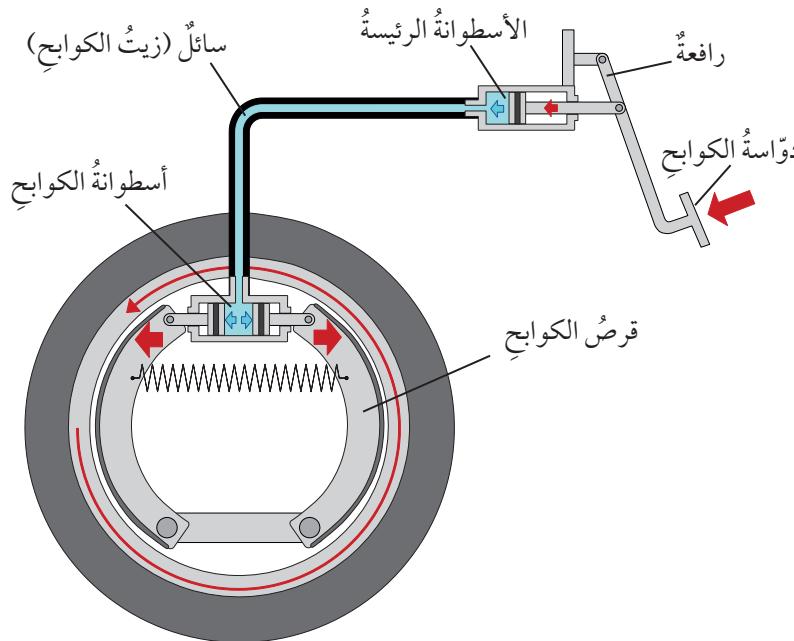
$$P = \rho hg$$

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

## الأنظمة الهيدروليكية Hydraulic Systems

تعلّمتُ سابقاً أنَّ السائل الممحضَ إذا تعرّض لضغطٍ خارجيًّا، فإنَّ هذا الضغط ينتقلُ إلى أجزاء السائل جميعها. وتُعدُّ الروافعُ الهيدروليكيَّة تطبيقاً عملياً على هذه الفكرة، فهي أنظمةٌ تعتمدُ في عملِها على استخدامِ السوائل الممحضَة لنقلِ الحركة. ويبيَّنُ الشكلُ (6) أمثلةً على روافعٍ هيدروليكيَّة، ويُعدُّ نظامُ الكوابح الموجودُ في السيارة أحدَ التطبيقاتِ الشائعةِ لأنظمةِ الهيدروليكيَّة.

المخططُ في الشكلِ (7) يبيَّنُ الأجزاءَ الرئيسيَّةَ لنظامِ الكوابحِ في السيارة. فعندَما يضغطُ السائقُ بقدمِه على دوَّاسِةِ الكوابحِ، تدفعُ الرافعةُ المتصلةُ بالدوَّاسِةِ مكبسَ الأسطوانةِ الرئيسيَّةِ، فينتقلُ الضغطُ إلى أجزاءِ سائلِ الكوابحِ جميعِها الذي يملأُ الأسطوانةَ والأنبابَ المتصلةَ بها، ليصلَ إلى أسطوانةِ الكوابحِ، فيضغطُ مكبسِ الأسطوانةِ على قرصِ الكوابحِ نحوِ الخارجِ باتجاهينِ متعاكسيْنِ على نحوِ ما هو مبيَّنُ في الشكلِ، فينشأُ بينَ الكوابحِ والإطارِ قوَّةٌ احتكاكِ تؤديُ إلى إيقافِ السيارة.



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



الشكل (6): الروافعُ الهيدروليكيَّة.

# مراجعة الدرس

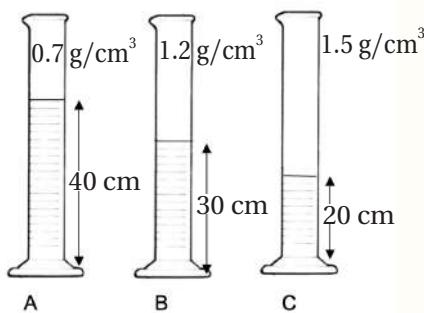
1. **الفكرة الرئيسية:** ما العوامل التي يعتمد عليها ضغط الماء عند نقطة داخله؟

2. **أحسب الضغط الكلي المؤثر في غواص يسبح على عمق (8 m) تحت سطح ماء:**

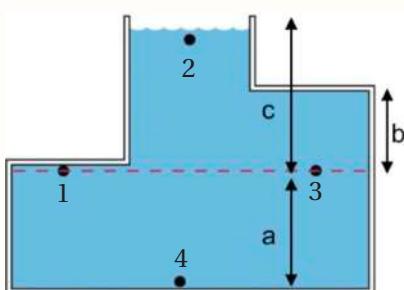
أ . بحيرة، حيث كثافة الماء  $(1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)$

ب . البحر، حيث كثافة الماء  $(1.03 \text{ g/cm}^3)$

(أفترض أن  $g = 10 \text{ m/s}^2$  ،  $P_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ )



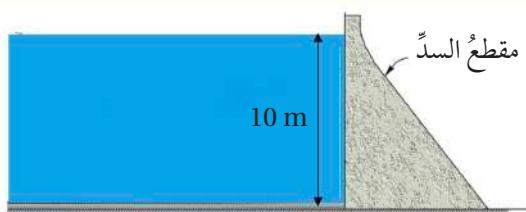
3. **استخدم المتغيرات:** يبيّن الشكل المجاور ثلاثة أوعية (A, B, C) تحتوي على سوائل مختلفة. معتمداً على البيانات المثبتة على الشكل، في أي الأوعية الثلاثة يكون ضغط السائل عند قاعدة الإناء أكبر مقداراً؟



4. **أحلّ وأستنتج:** يبيّن الشكل المجاور أربع نقاط داخل وعاء مملوء بالماء. معتمداً على الشكل أجب عن الأسئلة الآتية:

أ . أي الارتفاعات الرأسية المشار إليها بالرموز (a, b, c) يلزموني لحساب ضغط الماء عند النقطة (3)؟ أفسّر إجابتي.

ب . أرتّب النقاط (1, 2, 3, 4) وفقاً لقييم الضغط عندها من الأكبر مقداراً إلى الأقل.



5. **التفكير الناقد:** السد هو جدار رأسى يحجز الماء خلفه، ويبين الشكل المجاور سداً ارتفاع الماء فيه (10 m). معتمداً على البيانات المثبتة على الشكل، أجب عنما يأتي:

أ . **أحسب** ضغط الماء على عمق (5 m) تحت سطح الماء، (كثافة الماء  $= 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ).

ب . **أحسب** ضغط الماء على عمق (10 m) تحت سطح الماء.

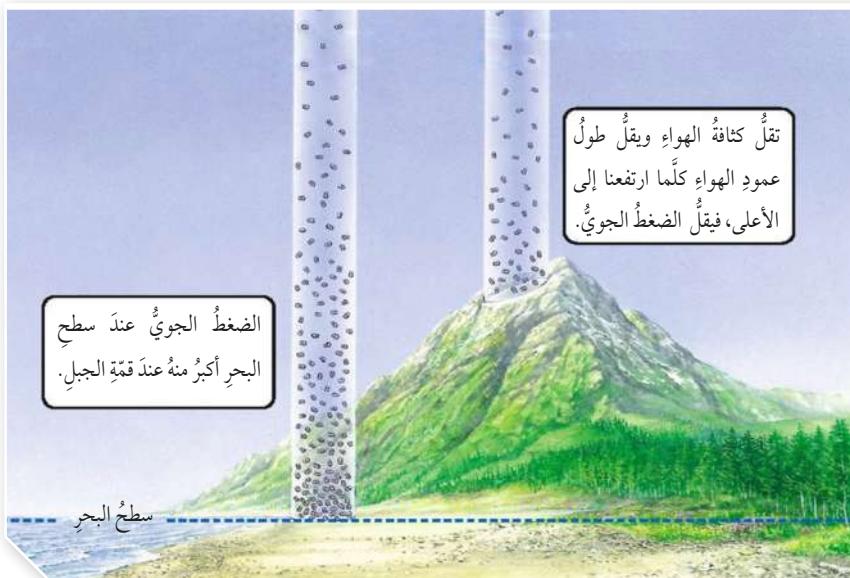
ج . **أفسّر** معتمداً على إجابتي على الفرعين السابقين، لماذا يكون سمك قاعدة السد أكبر من سمك جزءه العلوي؟

### الضغط الجوي Atmospheric Pressure

درستُ سابقاً أنَّ الأرضَ محاطةٌ بـغلافٍ منَ الغازاتِ يُسمَّى الغلافُ الجويُّ، ويُشكّلُ هذا الغلافُ ضغطاً على الأجسامِ الموجودةٍ على سطحِ الأرضِ، يُعرفُ بالضغطِ الجويِّ؛ وهو وزنُ عمودِ الهواءِ المؤثِّرِ في وحدةِ المساحةِ عندَ منطقةٍ ما على سطحِ الأرضِ.

يتَأثَّرُ الضغطُ الجويُّ بعواملٍ عدَّةٍ منها درجةُ الحرارة، والارتفاعُ عن مستوى سطحِ البحرِ؛ فكَلَّما قَلَّ طولُ عمودِ الهواءِ فوقَ سطحِ البحرِ فإنَّ وزنَ عمودِ الهواءِ المؤثِّرِ في وحدةِ المساحةِ يَقُلُّ، فيكونُ الضغطُ الجويُّ مُنخفضاً. في حينِ يكونُ الضغطُ الجويُّ مرتفعاً في الأماكنِ المنخفضةِ نَتِيجةً لِارتفاعِ وزنِ عمودِ الهواءِ المؤثِّرِ في وحدةِ المساحةِ. أَتَأَمَّلُ الشَّكْلَ (8).

أَتَحَقَّقُ: كيفَ يتَغيَّرُ الضغطُ الجويُّ بِزِيادةِ الارتفاعِ عنْ سطحِ الأرضِ؟



يُقاسُ ضغطُ المواقعِ باستخدامِ أجهزةٍ مختلفةٍ، منها الباروميترُ والمانوميترُ.

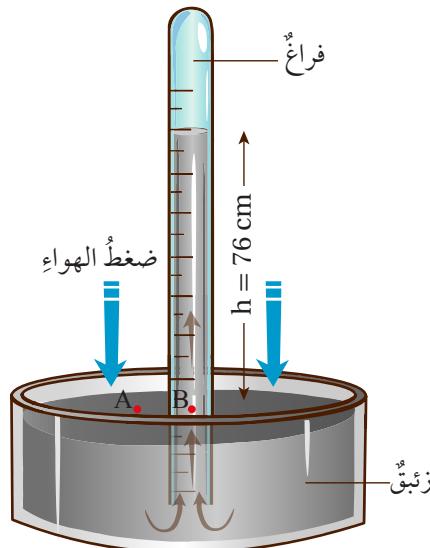
- أَتَعْرَفُ أجهزةَ قياسِ الضغطِ، والضغطِ الجويِّ (الباروميتر، الباروميتر الرَّئبقيِّ، المانوميتر).
- أَصْمِمُ جهازاً لِقياسِ الضغطِ الجويِّ.

المفهومُ والمصطلحانُ:  
الباروميتر الرَّئبقيِّ

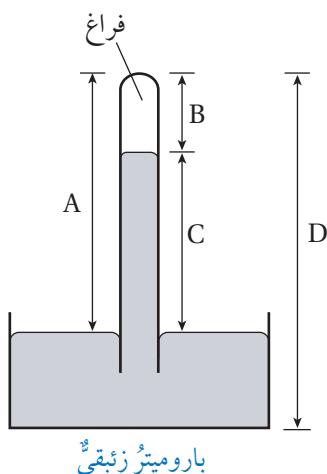
- Mercury barometer  
الباروميتر الفلزِيُّ  
Aneroid Barometer  
مانوميتر

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

الشكل (9): قياس الضغط الجوي عند سطح البحر باستخدام باروميتر زئبقي.



أتحقق: أيٌ من الارتفاعات المثبتة على الشكل تُستخدم لحساب الضغط الجوي؟



**أَخْرَى** يُزَوَّدُ متسَلِّقو الجبالِ بأسطواناتٍ تحتوي على أكسجين مضغوطٍ.

## قياس الضغط الجوي Measuring Atmospheric Pressure

يُقاس الضغط الجوي بأجهزة متنوعة، منها الباروميتر الزئبقي والباروميتر الفلزی.

### الباروميتر الزئبقي Mercury Barometer

الشكل (9) يبيّن جهازاً بسيطاً اخترعه العالم تورشيللي عام 1643 يُسمى **الباروميتر الزئبقي** Mercury barometer، ويتكوّن من أنبوب يحتوي على زئبقي يوضع مقلوباً في وعاء مملوء بالزئبقي، على ألا يُسمح بتسرب الهواء إلى الأنبوب.

يُضغط الهواء على سطح الزئبقي في الوعاء، فيرتفع الزئبقي داخل الأنبوب. عند مستوى سطح البحر، وعند درجة حرارة (15 °C) فإن طول عمود الزئبقي في الأنبوب يسفر عن (76 cm) بالنسبة إلى سطح الزئبقي في الوعاء، وهنا يكون ضغط عمود الزئبقي في الأنبوب مساوياً للضغط الجوي. ونظراً إلى أنَّ الزئبقي في حالة اتّزانٍ سكونيٍّ، والنقطتين (A) و (B) تقعان على المستوى الأفقي نفسه، فإنَّ:

$$P_A = P_B$$

$$P_0 = P_{\text{fluid}}$$

$$P_0 = \rho hg$$

عندما نذهب إلى منطقة البحر الميت نشعر بعدم ارتياح في الأذنين، ففي الوضع العادي يكون الضغط داخل الأذن مساوياً للضغط خارجها، ونظراً إلى أنَّ البحر الميت منطقة منخفضة تحت مستوى سطح البحر، فإنَّ الضغط خارج الأذن يزداد عن الضغط داخلها، مما يسبب الشعور بعدم الارتياح كاستجابة من الجسم لفرق الضغط. ويخفي هذا الشعور عندما تفتح قناة استاكوس، فتعمل على معادلة الضغط من جديد. ويمكن تطبيق هذه العملية بالثأب أو ابتلاع الريق، أو مضغ العلقة.

وبتعويض تسارع السقوط الحرّ ( $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ، وكثافة الزئبق  $\rho = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )، وارتفاع عمود الزئبق ( $76.0 \times 10^{-2} \text{ m}$ )، نحسب مقدار الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر:

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

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

عادةً، يُتَّخَذُ الضغط الجوي عند سطح مستوى البحر مرجعاً؛ ومقداره ( $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ ) يمثل ضغطاً جوياً واحداً (1 atm)، حيث:

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

فمثلاً، عند قمة جبل إفرست ينخفض الضغط الجوي إلى (33 kPa)، ويعادل (0.3 atm) تقريرياً، أي (0.3) من مقدار الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر.

ويمكن أيضاً التعبير عن الضغط بوحدة السنتيمتر زئبق (cmHg)، فالضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يساوي (76 cmHg).

### المثال 3

استُخدم باروميتر زئبقي لقياس الضغط الجوي في منطقة ما، فكان ارتفاع عمود الزئبق (730 mm)، أحسب الضغط الجوي في تلك المنطقة، بوحدة (cmHg) و (Pa). (مفترضاً تسارع السقوط الحرّ ( $10 \text{ m/s}^2$ )).

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

المطلوب :  $P_0 = ?$

الحل :

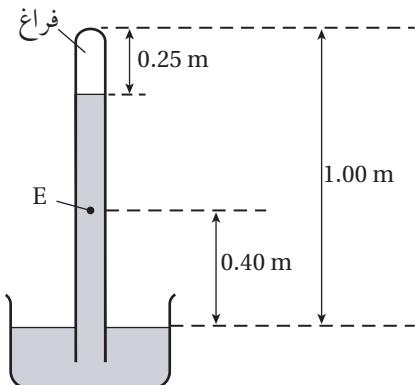
لحساب الضغط الجوي بوحدة الباسكال أستخدم العلاقة:

$$P_0 = \rho hg$$

$$= 13.6 \times 10^3 \times 730 \times 10^{-3} \times 10 = 99280 \approx 9.92 \times 10^4 \text{ Pa}$$

أما الضغط الجوي بوحدة (cmHg) فيساوي ارتفاع عمود الزئبق بوحدة (cm):

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



استُخدم الباروميتر الرئيسي المُبيَّن في الشكل المجاور لقياس الضغط الجوي في منطقة ما على سطح الأرض، معتمداً على البيانات المثبتة على الشكل، أجيِّب عما يأتي:

أ. أحسبُ الضغط الجوي في تلك المنطقة.

ب. أحسبُ الضغط عند النقطة (E).

ج. ماذا يحدث لارتفاع عمود الرئيسي في الأنوب عند استخدام الباروميتر لقياس الضغط الجوي عند قمة جبل مرتفعة؟

المُعطيات: ( $P_0 = ?$ ), ( $P_E = ?$ )

الحلُّ:

أ. لحساب الضغط الجوي، أحسبُ أولاً ارتفاع الرئيسي في الأنوب:

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

ثمَّ أحسبُ الضغطَ باستخدام العلاقة:

$$P_0 = \rho h g$$

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

ب. لحساب الضغط عند النقطة (E)، أحسبُ أولاً ارتفاع الرئيسي فوق النقطة:

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

ثمَّ أحسبُ الضغطَ من العلاقة:

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

ج. عند قمة الجبل يقلُّ مقدارُ الضغط الجوي، لذا يكونُ طولُ عمود الرئيسي أقلَّ.

لتمرين

أحسب طولَ عمود الرئيسي في أنوب باروميتر، استُخدم في منطقة البحر الميت لقياس الضغط الجوي، إذا كانَ الضغطُ الجويُّ في تلك المنطقة (108.8 kPa).

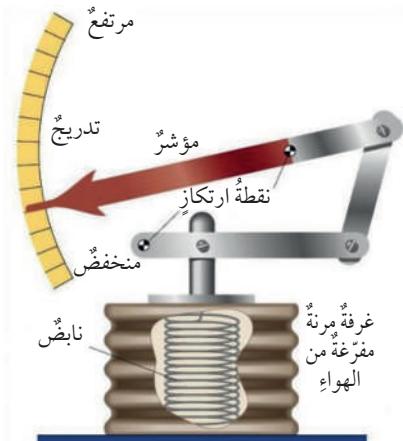


الشكل (10): الباروميتر الفلزّي.

### الباروميتر الفلزّي Aneroid Barometer

يبيّنُ الشكل (10) باروميتر زئبيقياً يُستخدمُ في قياسِ الضغطِ الجويّ، ويُسمّى **Aneroid Barometer** أي باروميتر "لا سائلٍ"؛ إذ لا يُستخدمُ فيِ الزئبق أو أيِّ سائلٍ آخر. ويُستخدمُ هذا النوع منَ الأجهزة على نطاقٍ واسعٍ بدلًا منَ الباروميتر الزئبقي؛ لصغرِ حجمه، وسهولةِ نقلِه وحملِه. يحتوي الباروميتر على غرفةٍ فلزّيةٍ مُفرغةٍ منَ الهواءِ تقريبًا، ومؤثّتٍ بداخلِها نابضٌ، على نحوٍ ما يبيّنُ الشكل (11). يسمحُ النابضُ للغرفةِ بالتمددِ والتقلّصِ بما يتناسبُ معَ ضغطِ الهواءِ المحيطِ بها؛ فإذا زادَ ضغطُ الهواءِ انخفضَ السطحُ العلويُّ للغرفةِ إلى الأسفلِ، وإذا قلَّ ضغطُ الهواءِ ارتفعَ سطحُ الغرفةِ إلى الأعلى. تنتقلُ حركةُ الغرفةِ إلى مؤشرِ الباروميتر عن طريقِ رافعةٍ ميكانيكيةٍ، فيدورُ المؤشرُ بما يتناسبُ معَ ضغطِ الهواءِ المرادِ قياسُه. ويقرأُ الباروميتر مقدارَ هذا الضغطِ من خلالِ الرقمِ الظاهرِ على التدريجِ الدائريِّ المقابلِ للمؤشرِ.

أَتَحَقَّقُ: ما الفكرةُ الرئيْسُّةُ التي يعتمدُ عليها مبدأً عملِ الباروميتر الفلزّي؟



الشكل (11): أجزاء الباروميتر الفلزّي.

### أَبْحَثُ:

يُقاسُ الضغطُ الجويُّ بوحداتٍ مختلفةٍ، منها المليارُ والهكتوبارُ والمليметр زئبق. أَبْحَثُ عنِ الوحداتِ المختلفةِ لقياسِ الضغطِ الجويِّ وكيفيّةِ التحويلِ بينَها. وما الوحداتُ المستخدمةُ علىِ أجهزةِ قياسِ الضغطِ للتعبيرِ عنِ الضغطِ الجويِّ؟

## أصنُّ نموذج باروميتر

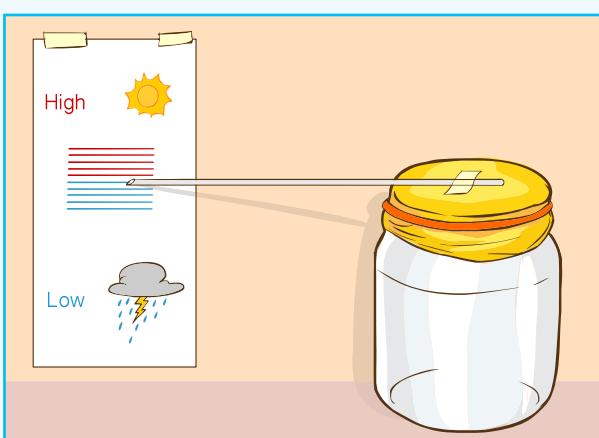
**المواد والأدوات:** وعاء زجاجي، ماصة بلاستيكية، بالون، حلقة مطاطية، صمغ، شريط لاصق، قطعة كرتون، قلم تخطيط، مقص.

**إرشادات السلامة:** أحذر عند استخدام المقص، أضع الباروميتر في مكان مناسب.

### خطوات العمل:



- أضع فوهة البالون عند المكان المبين على الشكل المجاور، كي أحصل على قطعة مناسبة أتمكن من شدّها لأغطي بها فوهة الوعاء الزجاجي، وأثبتت البالون على الفوهة جيداً باستخدام الحلقة المطاطية (أو حلقتين)؛ لامنع تسرب الهواء من داخل الوعاء إلى خارجه أو العكس.
- أثبتت طرف الماصة عند منتصف غشاء البالون باستخدام الصمغ، ثم أضع فوق الماصة قطعة من الشريط اللاصق للتأكد من ثبيت طرف الماصة جيداً.
- أضع قطعة كرتون مناسبة، وأرسم عند منتصفها خطأً أفقياً موازياً للماصة عندما تكون في الوضع الأفقي، ثم أرسم مجموعة خطوط باللون الأحمر فوق خط المتتصف؛ لتدلّ على ضغط مرتفع، ومجموعة خطوط باللون الأزرق أسفل خط المتتصف؛ لتدلّ على ضغط منخفض.
- أختار مكاناً مناسباً أضع عنده نموذجي، على أن تكون الماصة مقابل خط المتتصف المرسوم على قطعة الكرتون، على نحو ما يبيّن الشكل.
- أراقب النموذج أيامًا عدّة، وألاحظ التغيير في موضع الماصة باختلاف حالة الطقس.



### التحليل والاستنتاج:

- أصف** العلاقة بين اتجاه حركة الماصة وحالة الطقس (يوم مشمس، يوم غائم،...)
- التفكير الناقد:** أوضح العلاقة بين اتجاه حركة الماصة، وفرق الضغط بين داخل الوعاء وخارجه.

## قياس ضغط المائع Fluid Pressure Measurement

يُقاسُ ضغطُ الماءِ (غازٍ أو سائلٍ) باستخدَامِ أجهزةٍ مُتَّوِّعةٍ، ومنَ الأجهزةِ المُستَخدَمةِ لِقياسِ ضغطِ الغازاتِ والسوائلِ المُحصورةَ، جهازٌ يُسَمَّى **مانوميتر** Manometer.

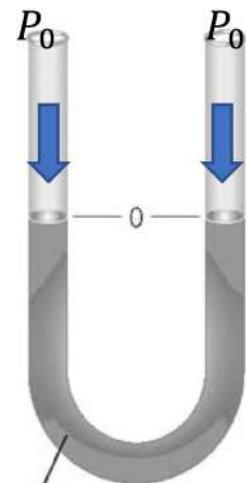
للمانوميترِ أشكالٌ مُخْتَلِفةٌ، أبسطُها المبيَّنُ في الشكلِ (12)، وهو أنبوبٌ مفتوحٌ منَ الطرفينِ على شكلٍ حرفٍ (U)، يحتوي على سائلٍ مُثَلَّ الزئبقيِّ أو الماءِ. ونظرًا إلى أنَّ طرفَيِّ الأنبوبِ مُعرَّضانِ لِلضغطِ الجويِّ نفسهِ، لذا يكونُ ارتفاعُ السائلِ متساوِيًّا في ذراعيِّ الأنبوبِ.

عندَ استخدَامِ المانوميترِ لِقياسِ ضغطِ غازٍ محصورٍ، تُوصَلُ أسطوانةُ الغازِ بِأحدَى ذراعيِّ المانوميترِ، في حينِ تظلُّ الذراعُ الأخرى مفتوحةً، وبذلك يتَّمُّ تعرِيُّضُ سائلِ المانوميترِ لِضغطِ الغازِ عندَ إحدَى الذراعينِ، ولِلضغطِ الجويِّ عندَ الذراعِ الآخرِ. فإذا كانَ ضغطُ الغازِ أَكْبَرَ منَ الضغطِ الجويِّ، انخَفَضَ السائلُ في الذراعِ المُتَصلَّةِ بالغازِ وارتفَعَ في الذراعِ الآخرِ، على نحوِ ما هو مُبيَّنُ في الشكلِ (13).

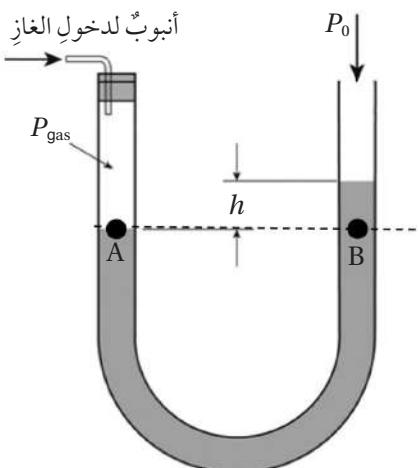
وبالاعتمادِ على مبدأ تساوي الضغطِ (في السائلِ نفسهِ) عندَ النقطَيِّ جمِيعِها الواقعةِ على المستوىِ الأفقيِّ نفسهِ، يمكنُ حسابُ ضغطِ الغازِ. ففي الشكلِ (13) يكونُ ضغطُ الغازِ المؤثِّرُ في النقطةِ (A)، متساوِيًّا لمجموعِ الضغطِ الجويِّ وضغطِ عمودِ السائلِ ( $h$ ) المؤثِّريِّنِ في النقطةِ (B)، أيُّ أنَّ:

$$P_A = P_B$$

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



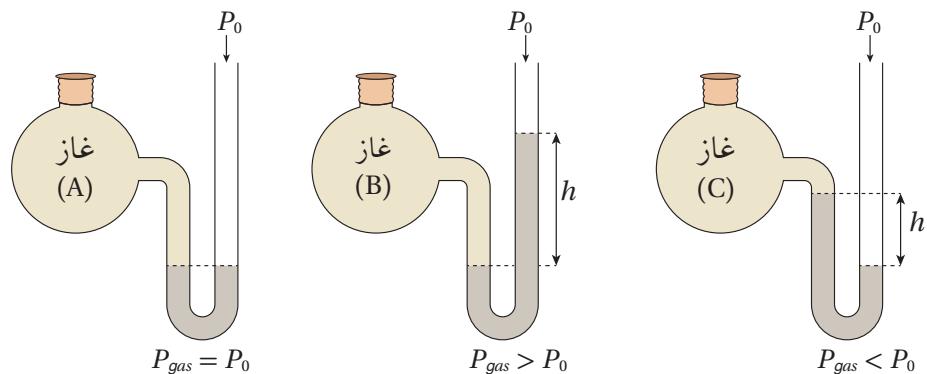
الشكل (12): المانوميتر.



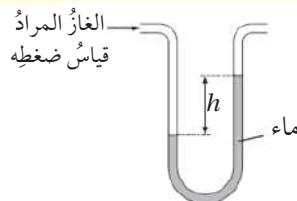
الشكل (13): قياسُ ضغطِ غازٍ باستخدَامِ المانوميتر.

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

الشكل (14): قياس الضغط لغازات مختلفة باستخدام المانوميتر.



**أَفْخَر:** السائل المستخدم في المانوميتر المبيّن في الشكل هو الماء، واستُخدم المانوميتر لقياس ضغط غاز، فكان الفرق في ارتفاع السائل بين ذراعيه (h). لو استبدل الماء بسائل ذي كثافة أكبر، فماذا يحدث لمقدار (h)؟ أفسر إجابتي.



قد يكون ضغط الغاز المحصور مساوياً للضغط الجوي أو أكبر منه أو أقل، وبيّن الشكل (14) ثلاث حالات استُخدم فيها المانوميتر لقياس ضغط غازات محصورة. بالاعتماد على الشكل نستنتج أن:

$$P_{gas} = P_0$$

■ ضغط الغاز (A) يساوي الضغط الجوي:

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

■ ضغط الغاز (B) أكبر من الضغط الجوي:

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

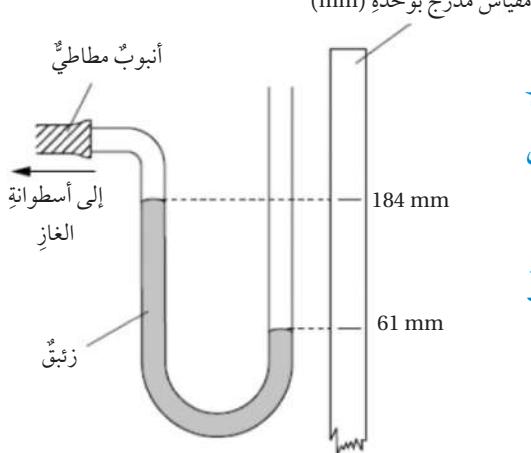
■ ضغط الغاز (C) أقل من الضغط الجوي:



### الربط بالصناعة

تصنُع المانوميترات بأشكال مختلفة، ولها تطبيقات عملية كثيرة، منها قياس ضغط الغاز في أنظمة التدفئة وضبط ضغطه، وفي أنابيب نقل الغاز، وقياس ضغط البخار في محطات توليد الطاقة الكهربائية.

## المثال 5



يبينُ الشكلُ المجاورُ مانوميترً استُخدِمَ لقياسِ ضغطِ غازٍ محصورٍ في أسطوانةٍ. معتمداً على البياناتِ المُثبَّتةِ على الشكلِ، أحسبُ ضغطَ الغازِ.

علماً بأنَّ: كثافةَ الزئبقِ ( $13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ), والضغطُ الجويُّ ( $10 \times 10^5 \text{ Pa}$ )، وتسارُعَ السقوطِ الحرّ ( $10 \text{ m/s}^2$ ).

المعطياتُ:

$$(h = 184 - 61 = 123 \text{ mm}), (\rho = 13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3), (P_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}), (g = 10 \text{ m/s}^2)$$

المطلوبُ:

$$(P_{\text{gas}} = ?)$$

الحلُّ:

أحسبُ الفرقَ في ارتفاعِ الزئبقِ في شعبتي المانوميترِ:

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

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

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

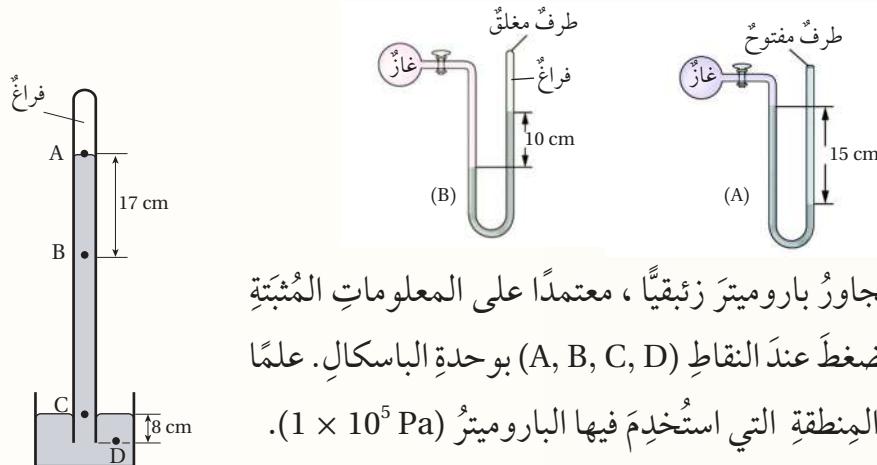
$$P = 1 \times 10^5 - (13.6 \times 10^3 \times 123 \times 10^{-3} \times 10)$$

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

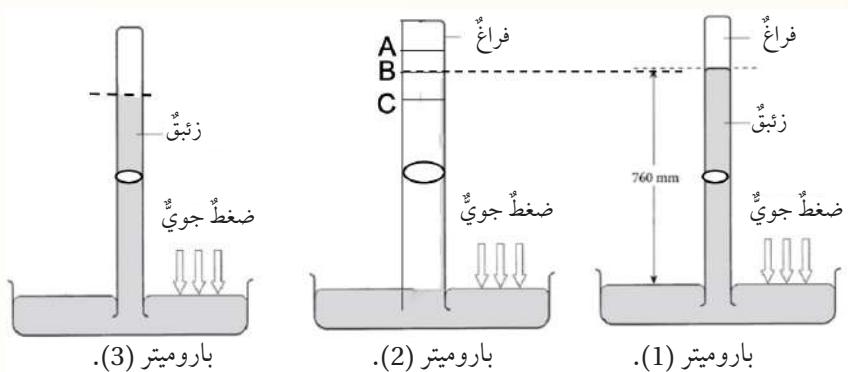
$$= 10 \times 10^4 - 1.67 \times 10^4 = 8.33 \times 10^4 \text{ Pa}$$

# مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسية:** أذكر استخداماً لكُلّ من: الباروميتر والمانوميتر.
- أحسب:** مانوميتر زبقي استُخدم لقياس ضغط غازين مختلفين، مستعيناً بالبيانات المثبتة على الشكل، أحسب ضغط الغاز الذي يقيسه المانوميتر في الحالتين (A) ، (B).



- أحلّ:** يُبيّن الشكل المجاور باروميتر زبقياً، معتمداً على المعلومات المثبتة على الشكل، أحسب الضغط عند النقاط (A, B, C, D) بوحدة الباسكال. علمًا بأنَّ الضغط الجوي في المنطقة التي استُخدم فيها الباروميتر ( $1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ).
- التفكير الناقد:** استُخدم الباروميتر (1) لقياس الضغط الجوي في منطقة ما، فكان ارتفاع الزبقي في الأنوب على نحو ما هو مُبيَّن في الشكل، ثم استُخدم بارومتران آخران لقياس الضغط الجوي في المنطقة نفسها، حيث مساحة مقطع أنبوب البارومتر (1) و (3) متساوية، ومساحة مقطع الباروميتر (2) أكبر منها. معتمداً على البيانات المثبتة على الشكل أُجِيب عن الأسئلة الآتية:
  - أختار من الرموز (A, B, C) الرمز الذي أتوقع أنه يمثل ارتفاع الزبقي في أنبوب الباروميتر (2) وأعطي دليلاً يدعم صحة إجابتي.
  - اقتصر سبباً أدى إلى أن يكون ارتفاع الزبقي في الباروميتر (3) أقل من الباروميتر (1).



## قياس ضغط الدم

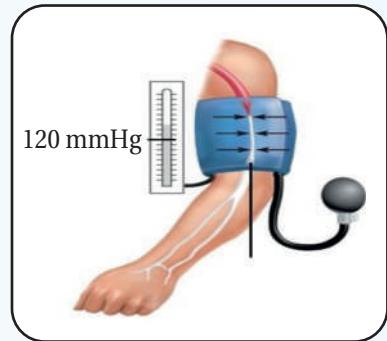
ضغط الدم مصطلح يستخدم للتعبير عن قوة ضغط الدم على جدران الشرايين، ويُعد ضغط الدم من العلامات الحيوية المهمة لتقسيم الحالة الصحية لجسم الإنسان.

يُقاس ضغط الدم بوحدة المليمتر زئبق (mmHg)، ويُستخدم لقياسه العديد من الأجهزة، منها مقياس الضغط الزئبقي (Sphygmomanometer). ويتكوّن من أنبوب يحتوي على زئبق، يتصل بسوار قابل للنفخ، وسماعة طبّية، والشكل المجاور يوضح كيفية قياس ضغط الدم الانقباضي (الضغط العالي) :

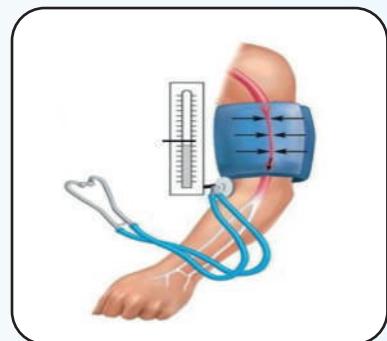
أ - يُلف السوار حول الذراع، وينفخ إلى أن يتوقف سريان الدم في الشريان، ويكون ضغط السوار في هذه الحالة أعلى من (120 mmHg).

ب - يخفّض ضغط السوار ببطء، في حين ينصت الفاحص بواسطة السماعة الطبية لسماع إلى نبض الدم عبر الشريان، وفي الوقت نفسه يراقب ارتفاع الزئبق في الأنبوب. وبمجرد أن يبدأ الدم بالتدفق ويسمع الفاحص أول نبض للدم عبر الشريان، فإن ارتفاع الزئبق في الأنبوب في هذه الحالة يساوي ما يُعرف بضغط الدم الانقباضي (الضغط العالي).

ولأجهزة قياس الضغط أشكال مختلفة، منها جهاز قياس الضغط الرقمي الذي يتميز بسهولة التشغيل وبساطته.



أ) ضغط السوار أعلى من 120 mmHg



ب) الضغط العالي.



جهاز قياس الضغط الرقمي

**أبحث** مستعيناً بمصادر المعرفة المناسبة، أبحث عن الأشكال المختلفة لأجهزة قياس الضغط، وأوضح مزايا كل منها. وما الأمور التي يجب أخذها في الحسبان عند استخدام جهاز قياس الضغط للحصول على قياسات دقيقة؟ ثم أكتب تقريراً وأعرضه على زملائي / زميلاتي.

1. أضف دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة لكل جملة مما يأتي:

1. يبيّن الشكل المجاور ثلاثةً أوعيةً؛ اثنين منها يحتويان على الماء والثالث يحتوي على زيت. وارتفاع

السوائل في الأوعية الثلاثة متساوٍ. إذا علمت أنَّ كثافة الماء أكبر من كثافة الزيت، فإنَّ الترتيب التنازلي للضغط على قاعدة الأوعية الثلاثة:

A.  $P_A = P_C > P_B$

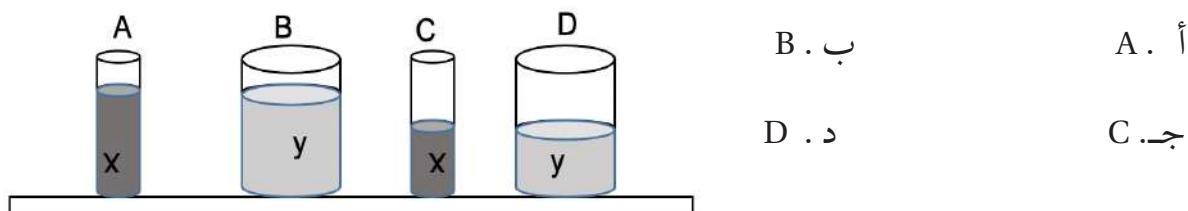
B.  $P_A > P_B > P_C$

C.  $P_A = P_B = P_C$

D.  $P_B > P_A = P_C$

2. سائلان (x, y)، كثافتهما ( $\rho_x = 1010 \text{ kg/m}^3$ ) و ( $\rho_y = 950 \text{ kg/m}^3$ ). عند صب السائلين في

الأوعية المبينة في الشكل المجاور، فإنَّ أكبرَ ضغطٍ يكونُ على قاعدة الوعاء:



A. B.

B. D.

C. ج.

3. الضغطُ الجويُّ عند مستوى سطح البحر (100 kPa)، وكثافةُ ماء البحر ( $1020 \text{ kg/m}^3$ ). على أيِّ

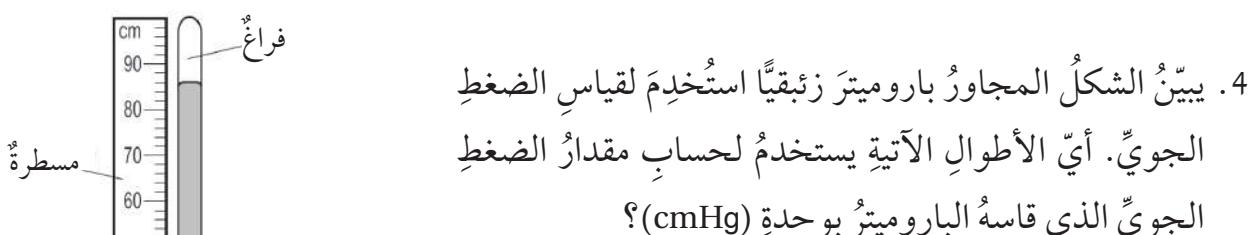
عمقٍ تحت سطح الماء يكونُ الضغطُ الكلّي (151 kPa)؟

A. 5 m

B. 25 m

C. 50 m

D. 55 m



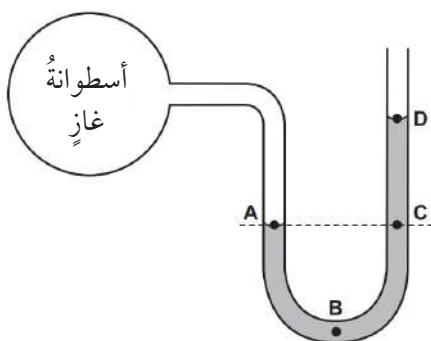
4. يبيّن الشكل المجاور باروميتر زئقياً استُخدم لقياسِ الضغط الجوي. أيِّ الأطوالِ الآتية يستخدم لحسابِ مقدارِ الضغط الجويِّ الذي قاسهُ الباروميتر بوحدة (cmHg)؟

A. 12

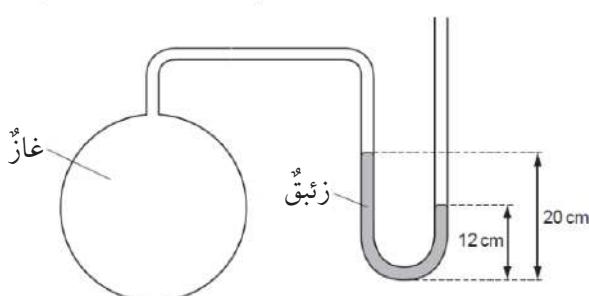
B. 74

C. 86

D. 100



5. يُبيّنُ الشكلُ المجاورُ مانوميترَ، طرفُه الأولُ يتصلُ بأسطوانةٍ غازٍ، وطرفُه الثاني مفتوحٌ. النقطةُ التي يكونُ عندها مقدارُ الضغطِ أكبرَ ما يمكنُ هي:
- A. A.  
B. B.  
C. C.  
D. D.

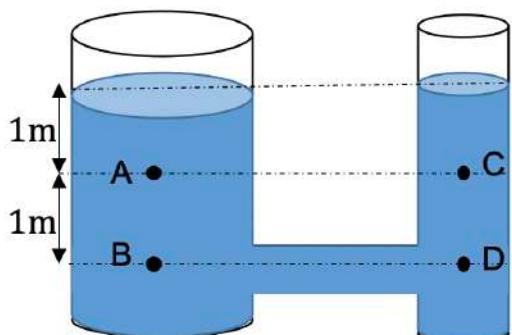


6. يبيّنُ الشكلُ المجاورُ مانوميترَ طرفُه الأولُ يتصلُ بأسطوانةٍ غازٍ، وطرفُه الثاني مفتوحٌ. إذا كانَ الضغطُ الجويُّ يساوي (76 cmHg)، فإنَّ ضغطَ الغازِ بوحدةٍ (cmHg) :

أ. 56.  
ب. 68.

ج. 96.  
د. 6.

7. معتمداً على البياناتِ المثبتةِ على الشكلِ المجاورِ، وإذا علمتُ أنَّ مساحةً مقطعِ الأنوبِ الرفيع نصفُ مساحةً مقطعِ الأنوبِ العريضِ، وأنَّ الضغطَ الجويَّ (100 kPa)، والسائلُ الذي يملأُ الوعاءَ ماءً كثافته ( $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ )، فإنَّ الضغطَ الكلّيَّ عندَ النقاطِ (A, B, C, D) بوحدةٍ (kPa) .



أ.  $P_A = P_B = 10, P_C = P_D = 20$ .

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

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

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

2. **أَصْفُ** كيفَ يتغيّرُ كُلُّ منَ: الضغطُ الجويُّ بزيادةِ الارتفاعِ عن سطحِ البحرِ، وضغطِ الماءِ بزيادةِ العمّقِ تحتَ سطحِ الماءِ.

3. يبيّن الشكل مقطعاً من نظام الكوابح في السيارة. مستعيناً بالشكل أجب عن الأسئلة الآتية:

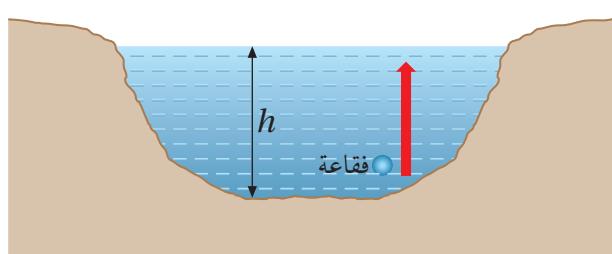


أ. **أحسب** مقدار الضغط على الزيت المحصور في الأسطوانة، الناتج عن قوة مقدارها  $F_1 = 90 \text{ N}$  تؤثّر في مكبس الأسطوانة (x)، علمًا بأنّ مساحة سطحه  $48 \text{ cm}^2$ .

ب. يتقدّم الضغط عبر الزيت إلى المكبس (Y)، فيتأثّر بقوّة ( $F_2$ )، لماذا يكون مقدار القوّة ( $F_2$ ) المؤثّرة في المكبس (Y) أكبر من مقدار القوّة ( $F_1$ )؟

ج. **أفسّر**: لا يعمل نظام الكوابح على النحو المطلوب، إذا تسربت فقاعاتٌ هواء إلى الأسطوانة.

4. يبيّن الشكل بحيرةً عمّق الماء فيها (12 m)، وكثافة الماء ( $1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ):



أ. **أحسب** الضغط الكلّي عند أسفل البحيرة، إذا كان الضغط الجوي ( $P_0 = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$ ).

ب. **التفكير الناقد**: هل يتغيّر حجم فقاعة غازٍ تنطلق من أسفل البحيرة إلى سطحها؟  
أفسّر إجابتي.

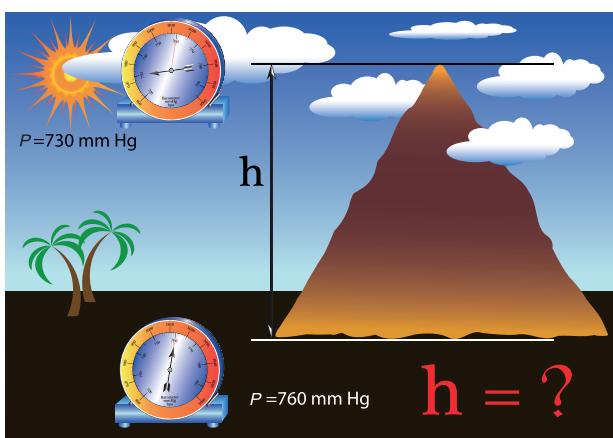
5. **التفكير الناقد**: تبحّر غواصه على عمق (20 m) تحت سطح ماء البحر، ضغطُ ماء البحر على هذا العمق ( $P$ )، وكثافة ماء البحر ( $\rho_s$ ). ثم تبحّر الغواصه نفسها في ماء عذب على عمق (20.6 m) تحت سطح الماء، كثافة الماء العذب ( $\rho_f$ )، حيث ( $\rho_s = 1.03 \rho_f$ ). فهل تأثّر الغواصه في الماء العذب بضغطٍ مساوي أم أكبر أم أقل من الضغط ( $P$ ) المؤثّر بها في ماء البحر؟ أُعطي دليلاً يدعم صحة إجابتي.



6. صمّمت مجموعةٌ من الطالبات نموذجًا لرافعةٍ هيدروليكيّة، على نحوٍ ما هو مبيّنُ في الشكلِ المجاور.

أ. **أصنف** كيفَ يَعْمَلُ النموذجُ؟

ب. **اقترن**: كيفَ يَمْكُنُ تطويرُ النموذجِ؟



7. **أحلّ**: يُبيّنُ الشكلُ المجاورُ قراءةَ باروميترَ عندَ أسفلِ جبلٍ وأعلاهُ، معتمدًا على البياناتِ المُثبتةِ على الشكلِ أُجِيبُ عنِ الأسئلةِ الآتيةِ:

- أ. أحسبُ الفرقَ في الضغطِ بينَ أسفلِ الجبلِ وأعلاهُ بوحدةِ الباسكالِ، علمًا بأنَّ كثافةَ الزئبقِ تساوي  $(13.6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3)$ .
- ب. أحسبُ ارتفاعَ الجبلِ، علمًا بأنَّ متوسطَ كثافةِ الهواءِ يساوي  $(1.2 \text{ kg/m}^3)$ .

8. **التفكيرُ الناقدُ**: عندَ استخدامِ باروميترٍ زئبقيٍّ لقياسِ الضغطِ الجويِّ عندَ مستوى سطحِ البحرِ، فإنَّ طولَ عمودِ الزئبقِ في الأنوبَ يُستقرُّ عندَ  $(76 \text{ cm})$  بالنسبةِ إلى سطحِ الزئبقِ في الوعاءِ.

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

ب. لماذا لا يُستخدمُ الماءُ في الباروميترِ ويُستخدمُ الزئبقُ؟ أُعطي دليلاً علميًّا يَدْعُمُ إجابتيِّ معتمدًا على النتيجةِ التي توصلتُ إليها في الفرعِ (أ).

# الوحدة

## 5

قال تعالى:

﴿وَالَّذِينَ كَفَرُوا أَعْمَلُهُمْ كَسَرَابٌ بِقِيَعَةٍ يَحْسِبُهُ الظَّمَانُ مَاءً حَتَّىٰ إِذَا جَاءَهُ لَمْ يَجِدْهُ شَيْئًا وَوَجَدَ اللَّهَ عِنْدَهُ فَوْفَنَهُ حِسَابٌ وَاللَّهُ سَرِيعُ الْحِسَابِ﴾  
﴿٣٩﴾

[سورة التور، آية (39)]

## أتَأْمُلُ الصُّورَةَ

في فصلِ الشتاء يظهرُ عادةً في الجهةِ المقابلةِ للشمسِ ما يُعرفُ بقوسِ المطرِ (قوسِ قزح) بألوانِهِ الجميلةِ، التي تنتُجُ عن تشتُّتِ الضوءِ في أثناءِ مرورِهِ عبرِ قطراتِ المطرِ التي تحلقُ في السماءِ بعدَ عاصفةٍ مُمطرَةٍ. وعندَما أنظُرُ إلى قوسِ المطرِ، أرى ألوانَ الضوءِ الأبيضِ مرتبةً من الأحمرِ في الأعلى إلى البنفسجيِّ في الأسفلِ. لكنَّ كيَفَ يتشكّلُ قوسُ المطرِ؟ ولماذا تُفصَلُ الألوانُ؟

## الفكرة العامة:

عندما ينتقل الضوء من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر، على أن يصنع زاويةً مع الحد الفاصل بين الوسطين الشفافين، فإنه يغير مساره عند الحد الفاصل، ونقول إن الضوء قد انكسر. ويترب على ذلك حدوث ظواهر ضوئية عدّة نشاهدها في حياتنا اليومية.

### الدرس الأول: انكسار الضوء

**الفكرة الرئيسية:** الانكسار هو انحراف الضوء عن مساره عندما ينتقل بين وسطين شفافين مختلفين.

### الدرس الثاني: تطبيقات وظواهر بصرية

**الفكرة الرئيسية:** لأنكسار الضوء تطبيقات عديدة في حياتنا، وتنشأ عنها ظواهر بصرية متنوعة.

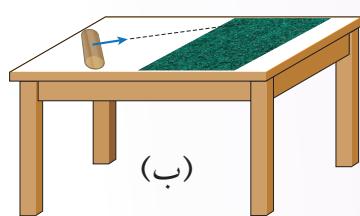
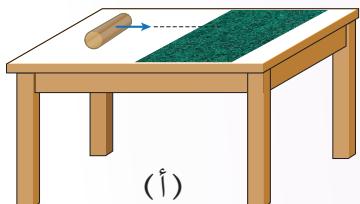
### الدرس الثالث: العدسات الرقيقة

**الفكرة الرئيسية:** تختلف صفات الأخيال المتكوّنة في العدسات باختلاف نوع العدسة، وبعدها البؤري، وموقع الجسم بالنسبة إليها.

# تجربة استهلاك الله

## انحراف مسار الحركة لجسم

المواد والأدوات: أسطوانات فلزية أو خشبية بقطر (5 cm – 10 cm) وارتفاع (20 cm – 30 cm)، قطع قماش خشن مستطيلية الشكل أبعادها (60 cm × 100 cm) تقريباً، ورق أبيض (A4).



**إرشادات السلامة:** الحذر من سقوط الأسطوانات على القدمين.

**خطوات العمل:** بالتعاون مع أفراد مجموعتي، أنفذ الخطوات الآتية:

1 أثبت قطعة قماش على أحد نصفي سطح الطاولة، وأضع الأسطوانة على النصف الآخر، على نحو ما يظهر في الشكل (أ).

2 أدفع الأسطوانة على أن تدرج باتجاه عمودي على حافة قطعة القماش المقابلة للأسطوانة، وألاحظ سرعتها على سطح الطاولة مقارنة بسرعتها على قطعة القماش.

3 أعيد الأسطوانة إلى مكانها، ثم أدفعها لتدرج باتجاه يصنع زاوية حادةً مع حافة قطعة القماش المقابلة للأسطوانة، على نحو ما يظهر في الشكل (ب)، وألاحظ ما يحدث للأسطوانة عندما تبدأ بالدرج على قطعة القماش.

4 أكرر الخطوة السابقة (2 – 3) مرات، وأدون ملاحظاتي حول اتجاه حركة الأسطوانة على سطح الطاولة مقارنة باتجاه حركتها على قطعة القماش.

5 أضع الأسطوانة على قطعة القماش وأدفعها لتدرج نحو سطح الطاولة، وباتجاه يصنع زاوية حادةً مع حافة قطعة القماش، وألاحظ بأي اتجاه سوف تحرف عن انتقالها إلى سطح الطاولة مقارنة باتجاه حركتها على قطعة القماش.

## التحليل والاستنتاج:

1. أقارن مقدار سرعة الأسطوانة على سطح الطاولة بمقدار سرعتها على قطعة القماش (أيضاً أكبر)، عندما تدرج بحسب الوضع الوارد في الخطوة (2).

2. أفسر سبب اختلاف سرعة الأسطوانة عند انتقالها من سطح الطاولة إلى قطعة القماش.

3. أحلل: أقارن اتجاه حركة الأسطوانة على سطح الطاولة باتجاه حركتها على قطعة القماش، عندما تدرج بحسب الوضع الوارد في الخطوتين (3، 4)، وأفسر سبب انحراف الأسطوانة عن مسارها عندما انتقلت من سطح الطاولة إلى قطعة القماش.

4. أقارن اتجاه انحراف الأسطوانة عندما تدرج بحسب الوضع الوارد في الخطوتين (3، 4)، باتجاه انحرافها عندما تدرج بحسب الوضع الوارد في الخطوة (5).

5. أستنتج ما يحدث لسرعة جسم (مقداراً واتجاهًا) عندما يتقلل من وسط ما إلى وسط آخر مختلف.

للضوء أهمية بالغة في حياتنا، وهو يحيط بنا من كل مكان، فهو سبب رؤيتنا الأشياء من حولنا، ويُسهل علينا استكشاف العالم المحيط بنا. فلو أغمضنا أعينا لحظةً، وتخيلنا عالم الظلام الذي سنعيش فيه، فكيف سيبدو عالمنا دون وجود الضوء؟ توجد عمليات مختلفة تحدث وتساعدنا على رؤية العالم من حولنا، منها الانعكاس والانكسار، فال أجسام من حولنا تعكس الضوء الساقط عليها من المصادر الضوئية المختلفة، كالشمس، والمصابيح، والأجسام المشتعلة، وعندما يدخل الضوء القادم من هذه الأجسام إلى أعيننا ينكسر عن طريق العدسة الموجودة في أعيننا ويتركز على الشبكية، فتحدث الرؤية. وقد تعرفنا في صف سابق الانعكاس، وستتعرف في هذا الدرس خاصية أخرى للضوء وهي الانكسار.

### الانكسار

يتنقل الضوء في الفراغ أو في الوسط الشفاف المتبعان (الماء والزجاج) بسرعة ثابتة وفي خط مستقيم دون أن ينحرف، ولكن هل يبقى كذلك عندما ينتقل من الفراغ إلى وسط شفاف أو العكس، أو من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر؟

عندما نضع قلماً في كأسٍ بها ماء، فإنَّ القلم يظهر مكسوراً عند سطح الماء على نحو ما يظهر في الشكل (1)، وهذا يدلُّ

### الفلترة الرئيسية:

الانكسار هو انحراف الضوء عن مساره عندما يتقلَّ بينَ وسطين شفافين مختلفين.

### نتائجُ التعلم:

- أفسر ظاهرة انكسار الضوء.
- أنفذ تجارب عمليةً للتوصيل إلى قانون سينل.
- أطبق قانون سينل في حل مسائل حسابية.

### المفاهيم والمصطلحات:

|                |                     |
|----------------|---------------------|
| انكسار         | Refraction          |
| معامل الانكسار | Refractive index    |
| زاوية السقوط   | Angle of incidence  |
| زاوية الانكسار | Angle of refraction |



الشكل (1): ظاهرة الانكسار.

## الربط بالتاريخ

أول من وصف قانون الانكسار وصفاً صحيحاً هو العالم المسلم العلاء بن سهلٍ في القرن العاشر الميلادي، وقد استخدم القانون في التوصل إلى الشكل الهندسي لعدسات ذات تركيز عالٍ المعروفة باسم "anaclastic". وقد استفاد الحسن بن الهيثم من أبحاث ابن سهلٍ في اكتشافاته الخاصة بعلم البصريات.

**أَفْخَرُ:** لماذا تقل سرعة الضوء عندما يتقلل من الفراغ إلى وسطٍ شفافٍ؟

على أنَّ الأشعة الضوئية القادمة من الجزء المغمور في الماء من القلم والساقة على العين قد غيرت مسار حركتها (انكسرت) عندما انتقلت من الماء إلى الهواء، فما الذي أدى إلى ظهور القلم مكسوراً؟ ولماذا تغير مسار الضوء عندما انتقل من الماء إلى الهواء؟

تبلغ سرعة الضوء في الفراغ ( $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) تقريباً، لكنها تقل عن ذلك في الأوساط الشفافة (الهواء، والماء، والزجاج، ...)، وتختلف سرعة الضوء في الأوساط الشفافة باختلاف هذه الأوساط، لذا عندما ينتقل الضوء من وسطٍ شفافٍ إلى وسطٍ شفافٍ آخر فإنَّ سرعته تتغير، ما يؤدي إلى تغير مساره. ويُطلق على ظاهرة تغير مسار الضوء عند انتقاله بين وسطين شفافين مختلفين اسم: **انكسار الضوء**.

✓ **أَتَحَقَّقُ:** أُعْرِفُ انكسار الضوء.

## معامل الانكسار Refractive index

يُعرف معامل الانكسار **Refractive index** للوسيط الشفاف بأنه: النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ ( $c$ ) إلى سرعته في الوسيط الشفاف ( $n$ ). ويرمز إلى معامل الانكسار بالرمز ( $n$ ), أي أنَّ:

$$n = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في الوسيط الشفاف}}$$

ونظراً إلى أنَّ سرعة الضوء في الوسيط الشفاف أقل من سرعته في الفراغ، فإنَّه وفقاً للمعادلة السابقة تكون قيمة معامل الانكسار ( $n \geq 1$ ), حيث تساوي (1) للفراغ، وهي أقل قيمة لمعامل الانكسار. ويُعدُّ معامل الانكسار مقياساً لقدرة الوسيط الشفاف على كسر الأشعة الضوئية، إذ كلما كان معامل انكسار الوسيط الشفاف أكبر كانت قدرته على كسر الأشعة الضوئية أكبر، لكنَّ سرعته تقل مع زيادة معامل الانكسار على نحوٍ ما يظهره من المعادلة السابقة، وألاحظ أيضاً من المعادلة أنَّ معامل الانكسار ليس له وحدة قياس، لأنَّه حاصلٌ قسمة

الجدول (1): معاملات الانكسار لبعض المواد الشفافة.

| معاملات الانكسار لبعض المواد الشفافة |          |        |          |          |       |        |                |
|--------------------------------------|----------|--------|----------|----------|-------|--------|----------------|
| الماض                                | الكوراتز | الزجاج | الجلسرين | الأسيتون | الماء | الهواء | المادة         |
| 2.42                                 | 1.54     | 1.52   | 1.47     | 1.36     | 1.33  | 1.0003 | معامل الانكسار |

كميّتين لهما وحدة القياس نفسها. ويُبيّن الجدول (1) معاملات الانكسار لبعض المواد الشفافة:

الألاحظ من الجدول أنَّ معامل الانكسار للهواء يساوي (1) تقريرًا، والذي يساوي معامل الانكسار للفراغ.

أتحقق: ما أقل قيمة لمعامل الانكسار؟ ✓

أُفَكِّر: مستعيناً بتعريف معامل الانكسار وبالقيم الواردة في الجدول (1)، أفي الماء أم الزجاج تكون سرعة الضوء أكبر؟

## المثال 1

بالاستعانة بالجدول (1)، أحسب سرعة الضوء في الماء علماً بأنَّ سرعته في الفراغ  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

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

المطلوب: سرعة الضوء في الماء.

الحل:

بالتطبيق على معادلة حساب معامل الانكسار:

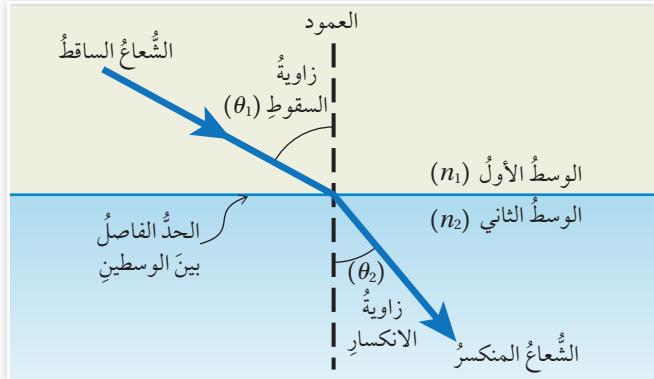
$$n = \frac{c}{\nu}$$

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

لتمرين

بالاستعانة بالجدول (1) أحسب سرعة الضوء في الزجاج.

الشكل (3): تمثيل الانكسار بالرسم.



### تمثيل الانكسار بالرسم Representing Refraction with Diagrams

#### الربط بالحياة

نظراً إلى انكسار الضوء عند السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين، فإن الأجسام الموجودة داخل أحد الوسطين تبدو أقرباً من موقعها الحقيقي (عند النظر إليها من الوسط ذي معامل الانكسار الأصغر) أو أبعد من موقعها الحقيقي (عند النظر إليها من الوسط ذي معامل الانكسار الأكبر).



لفهم سلوك الضوء في أثناء انتقاله في الأوساط الشفافة، يمكن تمثيل عملية الانكسار برسوم تخطيطية. فالشكل (3) يمثل انتقال شعاع ضوئي بين وسطين شفافين، وتُعرف المصطلحات الواردة في الشكل على التحول الآتي:

**الوسط الأول:** الوسط الشفاف الذي يسقط فيه الشعاع الضوئي، ومعامل انكساره ( $n_1$ ).

**الوسط الثاني:** الوسط الشفاف الذي ينتقل فيه الشعاع المنكسر، ومعامل انكساره ( $n_2$ ).

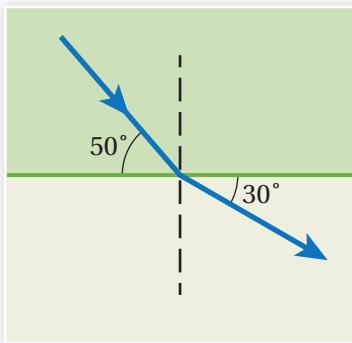
**الحد الفاصل بين الوسطين:** سطح التقاء الوسط الأول مع الوسط الثاني.  
**العمود:** الخط العمودي على الحد الفاصل بين الوسطين الشفافين والمقام من نقطة السقوط (نقطة التقاء الشعاع الساقط مع الحد الفاصل بين الوسطين).

**زاوية السقوط** Angle of incidence: الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود، ويرمز إليها بالرمز ( $\theta_1$ ).

**زاوية الانكسار** Angle of refraction: الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والعمود، ويرمز إليها بالرمز ( $\theta_2$ ).

وكل من الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على الحد الفاصل بين الوسطين.

أُحدِّد كلاً من زاوية السقوط وزاوية الانكسار في الشكل.



المُعطيات: الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع الحد الفاصل بين الوسطين =  $50^\circ$ ، والزاوية التي يصنعها الشعاع المنكسر مع الحد الفاصل بين الوسطين =  $30^\circ$ .

المطلوب: زاوية السقوط ( $\theta_1$ ), وزاوية الانكسار ( $\theta_2$ ).

الحل:

$\theta_1$ : الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود

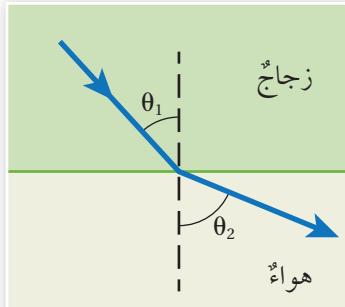
$$\theta_1 = 90^\circ - 50^\circ = 40^\circ$$

$\theta_2$ : الزاوية التي يصنعها الشعاع المنكسر مع العمود

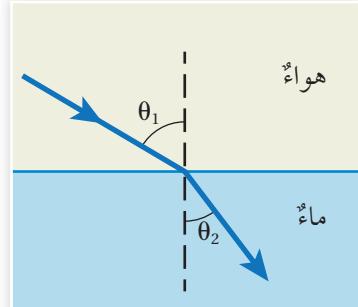
$$\theta_2 = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$$

الشكل (4):

- أ. انكسار الشعاع الضوئي مقترباً من العمود.
- ب. انكسار الشعاع الضوئي مبتعداً عن العمود.



(ب)



(أ)

## قانون الانكسار (قانون سنل)

### The Law of Refraction (Snell's Law)

عندما يتقلل شعاع ضوئي من وسط شفاف معامل انكساره صغير إلى وسط شفاف معامل انكساره كبير فإن سرعته تقل، وينكسر مقترباً من العمود على نحو ما هو مبين في الشكل (أ)، وعندما يتقلل الشعاع الضوئي من وسط شفاف معامل انكساره كبير إلى وسط شفاف معامل انكساره صغير فإن سرعته تزداد، وينكسر مبتعداً عن العمود على نحو ما هو مبين في الشكل (ب). لكن ما العلاقة بين زاوية السقوط ( $\theta_1$ ) وزاوية الانكسار ( $\theta_2$ )؟

عام 1621 توصل العالم الألماني ويلبرورد سنل (Willebrord Snell) تجريرياً إلى علاقة رياضية تربط بين زاويتي السقوط والانكسار، وهي على الصورة الآتية:

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

ويُطلق على العلاقة السابقة اسم قانون الانكسار أو قانون سنل، حيث:

$n_1$ : معامل انكسار الوسط الأول

$n_2$ : معامل انكسار الوسط الثاني

$\theta_1$ : زاوية السقوط

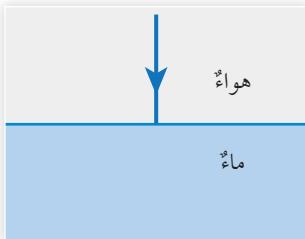
$\theta_2$ : زاوية الانكسار

**أتحقق:** إذا انتقل شعاع بين وسطين شفافين وكان  $n_1 > n_2$ ، ففي أي الوسطين تكون سرعة الضوء أكبر؟



أصمم باستخدام برنامج السكراتش (Scratch) عرضاً يوضح كيف تغير زاوية الانكسار بتغير زاوية السقوط عندما يتقلل الضوء من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر، ثم أعرضه على زملائي/ زميلاتي في الصف.

### المثال 3



أحد الزوايا التي ينكسر فيها الشعاع الضوئي في الشكل.

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

المطلوب:  $\theta_2$

الحل:

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

$$1 \times \sin 0^\circ = 1.33 \times \sin \theta_2$$

$$\theta_2 = 0^\circ$$

وهذا يعني أن الشعاع يستمر في مساره دون انحراف.

يتضح من المثال السابق أن الشعاع الضوئي لا يتغير مساره إذا سقط عموديا إلى السطح الفاصل بين وسطين شفافين، ومع ذلك فإن سرعته تتغير، فالانكسار هو نتيجة لتغير سرعة الضوء عندما يتقلل من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر، وليس سببا لهذا التغير.

### المثال 4

انتقل شعاع ضوئي من الماء إلى وسط شفاف غير معلوم، فإذا كانت زاوية سقوط الشعاع  $45^\circ$  وزاوية انكساره  $38^\circ$ ، فأحسب معامل انكسار الوسط غير المعلوم، ثم أحد طبيعته مستعينا بالجدول (1).

المعطيات:  $n_1 = 1.33$  ،  $\theta_1 = 45^\circ$  ،  $\theta_2 = 38^\circ$  ، ومن الجدول (1) :

المطلوب:  $n_2$  ، طبيعة الوسط الشفاف غير المعلوم.

الحل:

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

$$1.33 \times \sin 45^\circ = n_2 \times \sin 38^\circ$$

$$n_2 = 1.53$$

وبالرجوع إلى الجدول (1) يظهر أن الوسط الشفاف مصنوع من الزجاج.

### لقد

انتقل شعاع ضوئي من الماء إلى الماس، فإذا كانت زاوية سقوط الشعاع  $30^\circ$ ، فأحسب ما يأتي:

1. سرعة الضوء في الماس.

2. زاوية انكسار الشعاع في الماء.

# التجربة ١

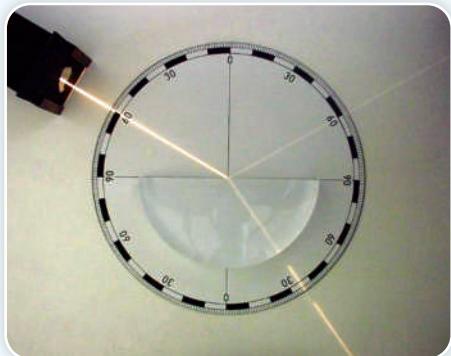
## التوصل إلى قانون الانكسار عملياً

**المواد والأدوات:** صندوق ضوئي، قرص زجاجي نصف دائري معامل انكساره معلوم، مِنْقَلَة دائريَّة، ورق أبيض (A4)، قلم.

**إرشادات السلامة:** الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

### خطوات العمل:

١- أثبتت ورقَة بيضاء على سطح الطاولة وأضفت فوقها المِنْقَلَة الدائريَّة، ثم أضفت القرص الزجاجي عند متصف المِنْقَلَة على أن ينطبق مركز القرص على مركز المِنْقَلَة.



٢- أعلم بالقلم حول القرص الدائري، ثم أنسئ بالقلم عموداً على الوجه المستوي للقرص من مركزه.

٣- أُسقِط حزماً ضوئيَّة ضيقَة من الصندوق الضوئي على القرص، على أن تكون موازية لسطح الورقة، وتصنَع زاويةً مع العمود المرسوم في الخطوة (٢)، على نحو ما هو مبيَّن في الشكل المجاور.

٤- أدوُّن في جدولٍ كلاً من زاوية سقوط الشعاع وزاوية انكساره.

٥- أغيِّر من زاوية سقوط الشعاع، ثم أدوُّن زاويتي السقوط والانكسار في الجدول اللاحق.

٦- أكرر الخطوة (٥) مرتَّ عدَّة، وأدوُّن زاويتي السقوط والانكسار في كل مرتَّة في الجدول الآتي:

| $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$ | $\sin \theta_1$ | $\sin \theta_2$ | زاوية الانكسار $(\theta_2)$ | زاوية السقوط $(\theta_1)$ | رقم المحاولة |
|---------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------|
|                                       |                 |                 |                             |                           | ١            |
|                                       |                 |                 |                             |                           | ٢            |
|                                       |                 |                 |                             |                           | ٣            |
|                                       |                 |                 |                             |                           | ٤            |
|                                       |                 |                 |                             |                           | ٥            |

### التحليل والاستنتاج

١. **أحسب** كلاً من  $\sin \theta_1$ ،  $\sin \theta_2$  للمحاولات جميعها، وأدوُّنها في الجدول السابق.

٢. **أحسب** النسبة  $\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2}$  للمحاولات جميعها، وأدوُّنها في الجدول السابق، وأقارنها بمعامل انكسار القرص الزجاجي المستخدم في التجربة. هل يوجد أي اختلاف بينهما؟ أفسِّر إجابتي.

٣. **أحسب** قيم  $(\theta_2)$  عن طريق قانون سين للمحاولات جميعها.

٤. **أقارن** بين قيم  $(\theta_2)$  التي حصلنا عليها من قانون سين مع القيم التجريبية المدونة في الجدول.

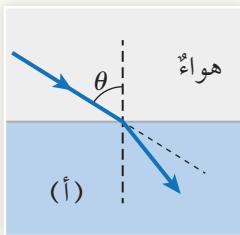
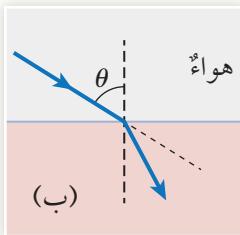
٥. **أحلل**: هل دعمت نتائجي التجريبية التي حصلت عليها قانون سين في الانكسار؟ أوضِّح سبب وجود أي اختلاف بينهما.

٦. **أفسِّر**: إذا أسقطت الأشعة الضوئية في القرص الزجاجي بدلاً من الهواء، فهل تتغيَّر النتائج التي حصلنا عليها؟ أفسِّر إجابتي.

٧. **أتوقع** مصادر الخطأ المحتملة في التجربة.

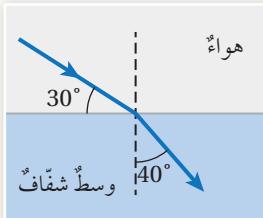
# مراجعة الدرس

- الفكرة الرئيسية: أوضح المقصود بانكسار الضوء.
- أحسب سرعة الضوء في الزركون (مادة تضاف إلى المجوهرات لتقليل الماس)، إذا كان معامل انكساره (1.92).
- أحسب: إذا كانت سرعة الضوء في وسط شفاف تساوي ( $1.24 \times 10^8 \text{ m/s}$ )، فأحسب معامل انكسار الوسط الشفاف.

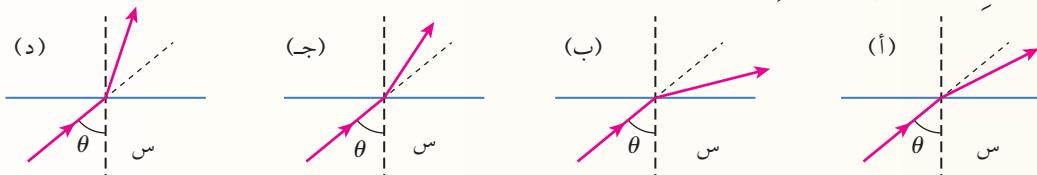


- أحل: يبيّن الشكل انتقال شعاع ضوئي من الهواء إلى وسط شفاف (أ)، وإلى وسط شفاف آخر (ب) بزاوية السقوط نفسها. أبين في أي الوسطين (أ) أو (ب) تكون سرعة الضوء أكبر.

- استخدم المتغيرات: يبيّن الشكل انتقال شعاع ضوئي من الهواء إلى وسط شفاف، معتمداً على الشكل، أجد ما يأتي:
  - زاوية السقوط.
  - معامل انكسار الوسط الشفاف.
  - سرعة الضوء في الوسط الشفاف.



- أحل: تبيّن الأشكال الآتية انتقال شعاع ضوئي من وسط شفاف (س) إلى أوساط شفافة مختلفة (أ، ب، ج، د). أرتّب الأوساط الشفافة من الوسط ذي معامل الانكسار الأكبر إلى الوسط ذي معامل الانكسار الأصغر.



- التفكير الناقد: صمم طالب تجربة لقياس معامل انكسار مادة شفافة، بإسقاط شعاع ضوئي من الهواء على المادة الشفافة، وقياس كل من زاوية السقوط وزاوية الانكسار، فكانت زاوية السقوط تساوي (10°) وزاوية الانكسار تساوي (13°). فهل يمكن أن تكون القيم التي سجلها الطالب لزاوية السقوط والانكسار صحيحة؟ أوضح ذلك.

لأنكسار الضوء تطبيقات عدّة في حياتنا، فلا يكاد جهاز بصري يخلو من دخول أنكسار الضوء في مبدأ عمله، وتتعدد الظواهر البصرية (الضوئية) التي تحدث في الطبيعة التي تنشأ بسبب انكسار الضوء، وفي ما يأتي استعراض لبعض التطبيقات والظواهر البصرية.

### الانعكاس الكلّي الداخلي والزاوية الحرجة

#### Total Internal Reflection and the Critical Angle

#### الزاوية الحرجة Critical Angle

تعلّمت في الدرس السابق أنّه عندما ينتقل شعاع ضوئي من وسط شفافٍ معامل انكساره كبيرٌ إلى وسطٍ آخرٍ معامل انكساره صغيرٌ فإنّه ينكسُر مبتعداً عن العمود، أي تكون زاوية انكسار الشعاع الضوئي أكبر من زاوية سقوطه، على نحو ما يظهر في الشكل (5/أ)، ووفقاً لقانون سين،

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

يمكن ملاحظة أنّه بزيادة زاوية سقوط ( $\theta_1$ ) تزداد زاوية الانكسار ( $\theta_2$ )، ذلك لأنّ معامل الانكسار ( $n_1, n_2$ ) ثابتان للوسطين الشفافين. ونظراً إلى أنّ ( $\theta_2$ ) أكبر دائمًا من ( $\theta_1$ )، فإنّه عند زاوية سقوط معينة تكون زاوية الانكسار ( $90^\circ$ )، عندما يكون الشعاع الضوئي المنكسُر ملمساً للحدّ الفاصل بين الوسطين الشفافين، على نحو ما يظهر في الشكل (5/ب). ويُطلق على

**الغذاء الرئيسية:**  
لأنكسار الضوء تطبيقات عدّة في حياتنا وتنشأ عنه ظواهر بصرية متنوعة.  
**نتائج التعلم:**

- أحدّد شروط حدوث ظاهرة الانعكاس الكلّي الداخلي عملياً.
- أعبر عن الانعكاس الكلّي الداخلي بمعادلة رياضية.
- أحسب الزاوية الحرجة لشعاع ضوئي.
- أشرح عدداً من الظواهر الضوئية المرتبطة بظاهرة انكسار الضوء والانعكاس الكلّي الداخلي.

#### المفاهيم والمصطلحات:

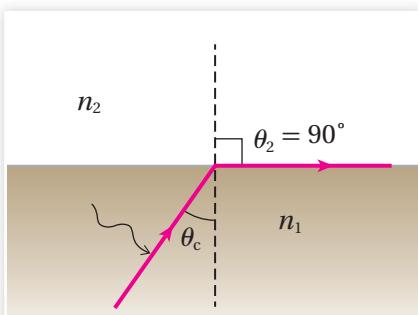
انعكاسٌ كليٌّ داخليٌّ

Total Internal Reflection

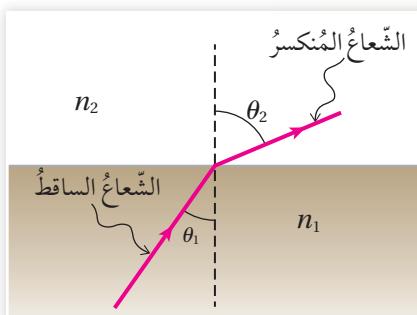
Critical Angle زاوية حرجة

Mirage سراب

Optical Fibers ألياف ضوئية



(ب)



(أ)

الشكل (5):

أ. زاوية السقوط أقل من زاوية الحرجة.

ب. زاوية السقوط تساوي زاوية الحرجة.

زاوية سقوط الشعاع الضوئي التي تقابلها زاوية انكسار مقدارها  $(90^\circ)$  اسماً **الزاوية الحرجة Critical angle** ، ويرمز إليها بالرمز  $(\theta_c)$ .

وبتعويض  $(\theta_1 = \theta_c)$  و  $(90^\circ = \theta_2)$  في قانون سين يتبع:  
 $n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin 90^\circ$  ، ومنها:

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

الاحظ من المعادلة السابقة أن  $(n_1 > n_2)$  دائماً لأن أكبر قيمة لجيب الزاوية يساوي واحداً، وهذا يعني أنه يمكن الحصول على الزاوية الحرجة فقط عندما ينتقل الشعاع الضوئي من الوسط الذي معامل انكساره كبير إلى الوسط الذي معامل انكساره صغير. وإذا انتقل الضوء من وسط شفاف إلى الفراغ (الهواء)، على أن تكون زاوية سقوطه في الوسط الشفاف تساوي الزاوية الحرجة، فإن  $(n_2 = 1)$  ،  $n_1 = n$ ، وتكون عندها  $(\theta_c)$  الزاوية الحرجة للوسط الشفاف، أي إن:

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

حيث  $n$ : معامل انكسار الوسط الشفاف.

## المثال 5

أحسب الزاوية الحرجة للماء، علمًا أن معامل انكسار الماء  $(1.33)$ .

المعطيات:  $n = 1.33$

المطلوب: الزاوية الحرجة للماء.

الحل:

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

$$\theta_c = 48.6^\circ$$

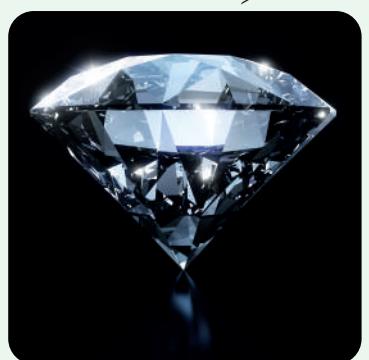
لذلك

أحسب الزاوية الحرجة لقالب من الزجاج معامل انكساره  $(1.5)$ .

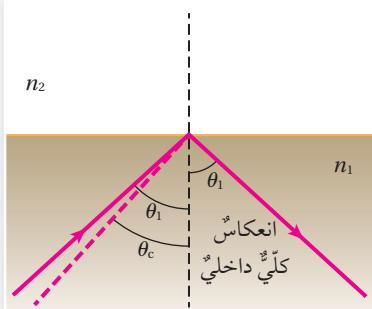
**أفكار:** كيف يمكن الاستفادة من فكرة الزاوية الحرجة في حساب معامل انكسار الوسط الشفاف؟

## الربط بالحياة

تبلغ الزاوية الحرجة لالماس نحو  $24.4^\circ$  درجة تقريباً، وعليه عندما يدخل الضوء إلى الماس يحدث له العديد من الانعكاسات الكلية الداخلية، إذ يصمم سطحه الخارجي على أن يكون له أوجه متعددة تهدف إلى جعل الضوء يترکز ويخرج من أماكن معينة، تكون زاوية سقوطه عندها أقل من  $24.4^\circ$ ، فيظهر متالقاً من هذه الأماكن.



## الانعكاس الكلّي الداخليّ Total Internal Reflection



الشكل (6): زاوية سقوط الشعاع الضوئي أكبر من الزاوية الحرجة.

عندما ينتقل شعاع ضوئي من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره صغير، وكانت زاوية سقوط الشعاع الضوئي أكبر من الزاوية الحرجة، فإنَّ الشعاع ينعكس كلياً في الوسط الذي سقط فيه، وتكون زاوية السقوط مساوية لزاوية الانعكاس، وفقاً لقانون الانعكاس الذي درس في صف سابق، على نحو ما يظهر في الشكل (6). ويُطلق على العملية التي تنعكس فيها الأشعة الضوئية كلياً في الوسط الذي سقطت فيه اسم: **الانعكاس الكلّي الداخليّ Total Internal Reflection**.

وللحقيق من ذلك عملياً يمكن إجراء التجربة الآتية:

## التجربة 2

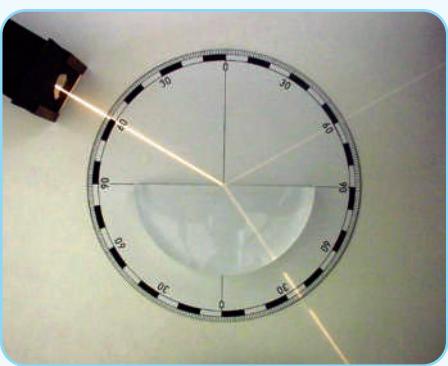
### الانعكاس الكلّي الداخليّ

**المواد والأدوات:** صندوق ضوئي، قرص زجاجي نصف دائري معامل انكساره معلوم، مِنْقَلَة دائريّة، ورق أبيض (A4)، قلم.

**إرشادات السلامة:** الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين.

#### خطوات العمل:

1- أثبتت ورقه بيضاء على سطح الطاولة وأضع فوقها المِنْقَلَة الدائريّة، ثمَّ أضع القرص الزجاجي عند متصف المِنْقَلَة على أنْ ينطبق مركز القرص على مركز المِنْقَلَة.



2- أعلم بالقلم حول القرص الدائري، ثمَّ أنشئ بالقلم عموداً على الوجه المستوي للقرص من مركزه.

3- أُسقِط حزماً ضوئيّاً ضيقاً من الصندوق الضوئي على الوجه المستوي من القرص، على أنْ تكون موازية لسطح الورقة، وتصنع زاويةً مع العمود المرسوم في الخطوة (2) على نحو ما يظهر في الشكل المجاور، ثمَّ أقيس زاوية السقوط وزاوية الانعكاس.

4- أزيد من زاوية سقوط الشعاع تدريجياً حتى أصل إلى أكبر زاوية سقوط ممكنة، عندما يكون الشعاع الساقط محاذياً للوجه المستوي من القرص، وألاحظ تغيير زاوية الانعكاس مع زيادة زاوية السقوط.

- 5- أُغيِّرُ الجهةَ التي تسقطُ فيها الحزْمَةُ الضوئيَّةُ، على أنْ تسقطَ على الوجهِ الدائريِّ من القرصِ، بزاويةِ سقوطٍ تجعلُ الشعاعَ يخرجُ من الجهةِ المقابلةِ من القرصِ، ولتكنْ مثلاً  $(30^\circ)$ ، ثُمَّ أقيِسْ زاويةَ الانكسارِ.
- 6- أَزِيدُ من زاويةِ سقوطِ الشعاعِ تدريجيًّا حتى يخرجَ الشعاعُ الضوئيُّ من القرصِ ملامسًا للوجهِ المستويِّ منهُ، وأقيِسْ زاويةَ السقوطِ.
- 7- أَزِيدُ زاويةَ السقوطِ عن تلكَ المقيسَةِ في الخطوةِ السابقةِ، وألَاحِظُ مسارَ الحزْمَةِ الضوئيَّةِ، ثُمَّ أقيِسْ الزاويةَ التي تصنَعُها الحزْمَةُ مع العمودِ.

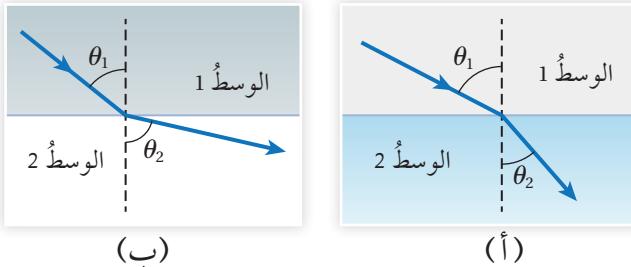
| زاويةُ الانعكاسِ<br>( $\theta$ ) | زاويةُ السقوطِ<br>( $\theta_1$ ) | رقمُ المحاولةِ |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------|
|                                  |                                  | 1              |
|                                  |                                  | 2              |
|                                  |                                  | 3              |
|                                  |                                  | 4              |

- 8- أكرِرُ الخطوةَ السابقةَ مرتينَ إلى ثلَاثِ مراتٍ، وأدوِّنْ زاويَتِيَ السقوطِ والانعكاسِ في كُلِّ مرَّةٍ في الجدولِ المجاورِ:

### التحليلُ والاستنتاجُ

- أُقارِنُ بينَ زوايا السقوطِ وزوايا الانكسارِ المقيسَةِ في كُلِّ من الخطوتينِ (3 ، 4). أيُّها أَكْبَرُ؟
- أُحلِّلُ بناءً على مقارنةِ زوايا السقوطِ وزوايا الانكسارِ في الخطوةِ السابقةِ، هلْ يمكِنُ أنْ يحدثَ انعكاسُ كُلِّيٍّ داخليًّا عندَما تنتقلُ الحزْمَةُ الضوئيَّةُ من الهواءِ إلى الزجاجِ؟ ماذا أستتَّنِجُ من ذلكَ؟
- أُقارِنُ بينَ زوايا السقوطِ وزوايا الانكسارِ المقيسَةِ في كُلِّ من الخطوتينِ (5 ، 6). أيُّها أَكْبَرُ؟
- أُحلِّلُ بناءً على مقارنةِ زوايا السقوطِ وزوايا الانكسارِ في الخطوةِ السابقةِ، هلْ يمكِنُ أنْ يحدثَ انعكاسُ كُلِّيٍّ داخليًّا عندَما تنتقلُ الحزْمَةُ الضوئيَّةُ من الهواءِ إلى الزجاجِ؟ ماذا أستتَّنِجُ من ذلكَ؟
- أَحْسِبُ الزاويةَ الحرجةَ باستخدامِ العلاقةِ:  $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ ، حيثُ  $n_1$ : معاملُ انكسارِ الهواءِ،  $n_2$ : معاملُ انكسارِ الزجاجِ.
- أُقارِنُ بينَ الزاويةِ الحرجةِ المحسوبةِ في الخطوةِ السابقةِ، والمقيسَةِ في الخطوةِ (6) أعلاهُ، وأفْسِرُ أيَّ اختلافٍ بينَهما.
- أُحلِّلُ: هلْ تختلفُ قيمُ  $(\theta_1)$  عن قيمِ  $(\theta)$  المدوَّنةِ في الجدولِ؟ ماذا أستتَّنِجُ من ذلكَ؟
- أَسْتَنِجُ شروطَ حدوثِ ظاهرةِ الانعكاسِ الكُلِّيِّ الداخليِّ.
- أَتُوقِّعُ مصادرَ الخطأِ المحتملةَ في التجربةِ.

## المثال 6



أُبَيِّنُ أَيُّ الشَّكَلَيْنِ (أَ, بِ) يُمْكِنُ أَنْ يُحَقِّقَ شَرُوطَ حَدُوثِ انْعَكَاسٍ كُلِّيٍّ دَاخِلِيٍّ عِنْدَمَا تَسَقَّطُ الأَشْعَةُ الضَّوئِيَّةُ فِي الْوَسْطِ الْأَوَّلِ.

**المُعْطَياتُ:** الشَّكَلُ (أَ) فِيهِ زَوْيَةُ السَّقْوَطِ أَكْبَرُ مِنْ زَوْيَةِ الْانْكَسَارِ، الشَّكَلُ (بِ) فِيهِ زَوْيَةُ السَّقْوَطِ أَقْلَى مِنْ زَوْيَةِ الْانْكَسَارِ.

**الْمُطَلُّوبُ:** أُحَدِّدُ أَيُّ الشَّكَلَيْنِ يُحَقِّقُ شَرُوطَ الْانْعَكَاسِ الْكُلِّيِّ الدَّاخِلِيِّ مَعَ بَيَانِ السَّبِبِ.

**الحُلُّ:**

الشَّكَلُ (بِ)، لِأَنَّ  $\theta_1 < \theta_2$  (وَهَذَا يُدْلِلُ بِحَسْبِ قَانُونِ سِنِلِ عَلَى أَنَّ  $n_1 > n_2$ )، أَيْ أَنَّ الضَّوْءَ يَتَقَلَّمُ مِنَ الْوَسْطِ ذِي مَعَالِ الْانْكَسَارِ الْأَكْبَرِ إِلَى الْوَسْطِ ذِي مَعَالِ الْانْكَسَارِ الْأَصْغَرِ، وَهُنَّ تَنْعَكَسَ الأَشْعَةُ الضَّوئِيَّةُ انْعَكَسًا كُلِّيًّا دَاخِلِيًّا فِي الْوَسْطِ الْأَوَّلِ، يَجُبُ أَنْ تَسَقَّطَ بِزَوْيَةٍ أَكْبَرَ مِنَ زَوْيَةِ الْحَرْجَةِ.

## المثال 7

فِي الْمَثَالِ السَّابِقِ، إِذَا كَانَ مُعَالِمَا الْانْكَسَارِ لِلْوَسْطَيْنِ الْأَوَّلِ وَالثَّانِي عَلَى التَّرْتِيبِ لِلشَّكَلِ (بِ): 1.3، 1.8، فَأَحْسِبُ زَوْيَةَ الْحَرْجَةِ فِي الْوَسْطِ الْأَوَّلِ.

**المُعْطَياتُ:**  $n_1 = 1.8$  ،  $n_2 = 1.3$

**الْمُطَلُّوبُ:** زَوْيَةُ الْحَرْجَةِ فِي الْوَسْطِ الْأَوَّلِ.

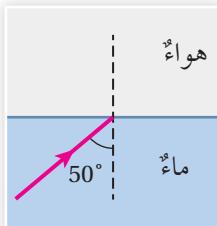
**الحُلُّ:**

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

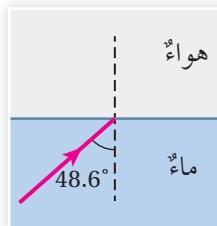
$$\theta_c = 46.2^\circ$$

وَهُنَّ يَحْدُثُ انْعَكَاسٌ كُلِّيٌّ دَاخِلِيٌّ يَجُبُ أَنْ تَزِيدَ زَوْيَةُ السَّقْوَطِ فِي الْوَسْطِ الْأَوَّلِ عَلَى  $(46.2^\circ)$ .

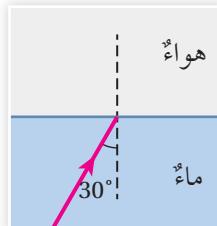
أكمل مسارات الأشعة في الأشكال الآتية لتوضيح مسار الضوء في كل حالة.



(ج)



(ب)



(أ)

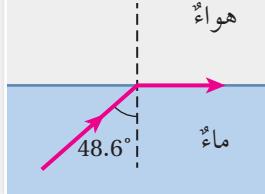
المعطيات: زاوية السقوط بحسب الأشكال  
على الترتيب: الشكل (أ):  $30^\circ$   
الشكل (ب):  $48.6^\circ$   
الشكل (ج):  $50^\circ$

الزاوية الحرجة للماء تساوي  $48.6^\circ$  (من مثال 5)

المطلوب: إكمال مسارات الأشعة.

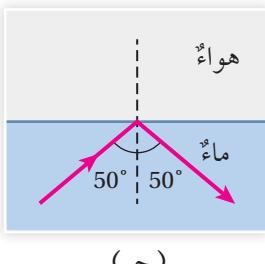
الحل:

للشكل (أ): زاوية السقوط أقل من الزاوية الحرجة للماء، والشعاع الضوئي يتجه من وسط شفاف معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره صغير، لذا سينكسر الشعاع الضوئي عند الحد الفاصل مبتعدا عن العمود، على نحو ما يظهر في الشكل المجاور.



(أ)

للشكل (ب): زاوية السقوط تساوي الزاوية الحرجة للماء، لذا سينكسر الشعاع الضوئي عند الحد الفاصل بزاوية تساوي  $90^\circ$ ، أي ملامسا للحد الفاصل بين الوسطين، على نحو ما يظهر في الشكل المجاور.



(ب)

للشكل (ج): زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة للماء، لذا سينعكس الشعاع الضوئي انعكاسا كلياً داخلياً عند الحد الفاصل بزاوية تساوي زاوية السقوط، على نحو ما يظهر في الشكل المجاور.

أتحقق: ما المقصود بالانعكاس الكلي الداخلي؟



(ب)

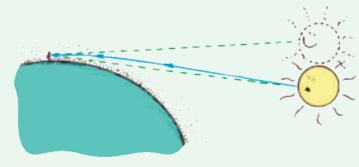


(أ)

- ▲ الشكل (7): السراب كما يظهر:  
أ. في الصحراء.  
ب. على الطرق.

### الربط بعلم الفضاء

عندما نشاهد غروب الشمس، نراها دقائق عدّة بعد أن تسقط وراء الأفق. نظراً إلى أن الضوء القادم من الشمس تحدث له انكسارات متعدّدة بعد دخوله الغلاف الجوي، إذ تزداد كثافة طبقات الغلاف الجوي تدريجياً كلّما اتجهنا نحو الأسفل، فتزداد معاملات انكسارها، لذا فإن مسار الضوء ينحني تدريجياً نحو سطح الأرض، فيرى مراقب على الأرض الشمس على امتداد آخر شعاع يصله منها.

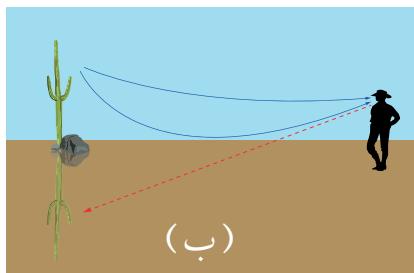


## السّراب **Mirage**

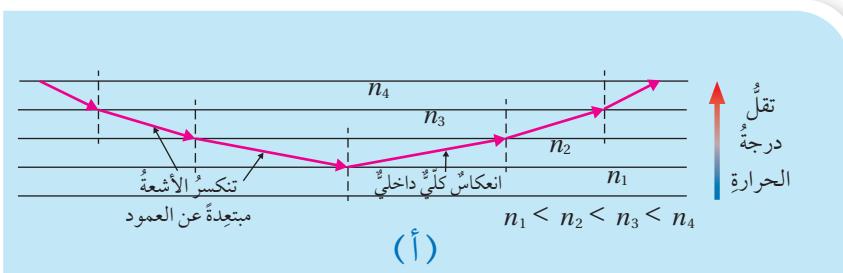
يُشير السّراب **Mirage** عادةً إلى الخداع البصري الذي يراه مراقب في الصحراء، حيث يرى صورة جسم بعيد على أنه بركة ماء، على نحو ما يظهر في الشكل (أ). وُيرى السّراب أيضاً في مناطق أخرى في أيام الصيف الحارّة، ولاسيما على الطرق، على نحو ما يظهر في الشكل (ب). ويشير إلى هذا النوع من السّراب باسم: **السّراب الصحراوي (السفلي)** **Inferior Mirage**، على عكس نوع آخر مختلف من السّراب يُسمى: **السّراب القطبي (العلوي)** **Superior Mirage**، الذي يشاهد في المناطق القطبية الباردة. فالسّراب عموماً، ظاهرة طبيعية تحدث نتيجة انكسارات متتالية للضوء خلال طبقات الهواء القربي من سطح الأرض. وفي ما يأتي توضيح لسبب تكون نوعي السّراب، الصحراوي والقطبي:

## السّراب الصحراوي **Inferior Mirage**

في أيام الصيف الحارّة، يكون الهواء الملائم لسطح الأرض وقت الظهيرة ساخناً جدّاً، وتقل سخونته بالابتعاد عن سطح الأرض، أي إنّ درجة الحرارة تتناقص مع الارتفاع. ومن المعلوم أنّ معامل انكسار الهواء يزداد بنقصان درجة حرارته، لذا يزداد معامل الانكسار مع الارتفاع عن سطح الأرض. فالأشعة الضوئية القادمة من جسم مرتفع بعيد نسبياً يحدث لها انكسارات متتالية عند انتقالها خلال طبقات الهواء، بسبب اختلافها في معامل الانكسار، حيث تنكسر



(ب)



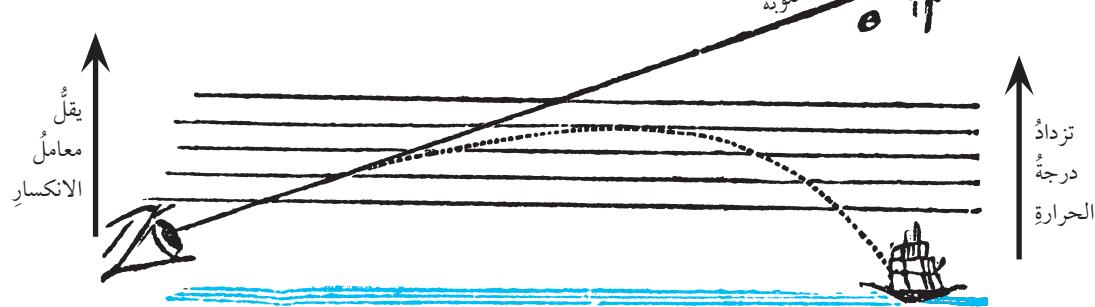
الشكل (8): أ. الانكسارات المتتالية للأشعة الضوئية خلال طبقات الهواء. ب. مخطط يبيّن تشكّل السراب الصحراوي.

مبتعدة عن العمود، بحسب قانون سينل، على نحو ما يظهر في الشكل (أ)، وعند حد معين تزيد فيه زاوية السقوط عن الزاوية الحرجة، تعكس الأشعة الضوئية انعكاساً كلياً داخلياً، ثم تستمر في الانحناء إلى أعلى حيث تظهر صورة مقلوبة للجسم على امتداد آخر شعاع يصل إلى عين المراقب، على نحو ما يظهر في الشكل (8/ب).

### السّراب القطبي Superior Mirage

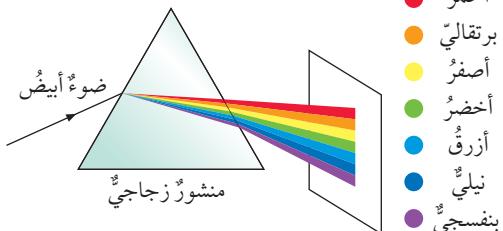
على عكس السراب الصحراوي، في المناطق القطبية الباردة يكون الهواء الملامس لسطح الأرض أكثر برودة من الذي فوقه، حيث تزيد درجة حرارة الهواء كلما اتجهنا بعيداً عن سطح الأرض، أي أنّ معامل الانكسار يقل مع الارتفاع. وللأشعة الضوئية القادمة من جسم بعيد وقريب من سطح الأرض يحدث لها انكسارات متتالية خلال طبقات الهواء، وعندما تصبح زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة عند الحد الفاصل بين طبقتين متجاورتين من الهواء، فإنّ الأشعة تعكس انعكاساً كلياً داخلياً، ويرى المراقب في الأعلى صورة مقلوبة للجسم على امتداد آخر شعاع يصل إلى عينه، على نحو ما يظهر في الشكل (9).

أتحقق؟: ما أنواع السراب؟



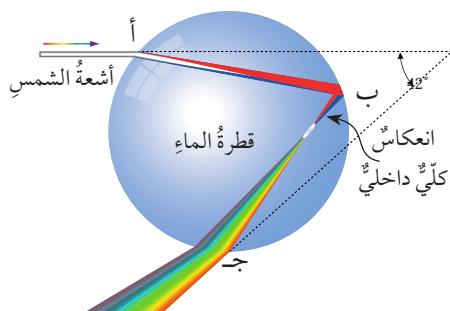
الشكل (9): مخطط يبيّن تشكّل السراب القطبي.

## قوس المطر Rainbow



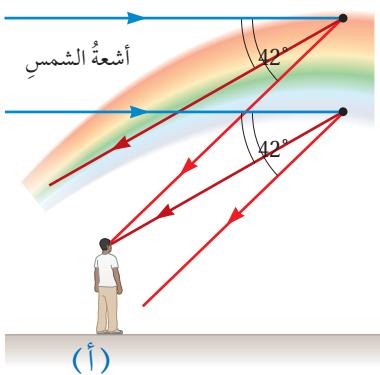
الشكل (10): تحليل الضوء الأبيض إلى ألوان الطيف السبعة باستخدام المنشور.

يتكون الضوء الأبيض (مثل ضوء الشمس أو ضوء مصباح التنفسون) من سبعة ألوان يطلق عليها عادةً ألوان الطيف المرئي، ويمكن رؤيتها باستخدام منشور زجاجي، بتوجيه أحد أوجه المنصور نحو الشمس، واستقبال ألوان الطيف على ورقة بيضاء توضع في الجهة المقابلة للشمس على نحو ما يظهر في الشكل (10).



الشكل (11): تحليل ضوء الشمس خلال قطرة مطر.

وتقوم فكرة تحليل المنصور لألوان الطيف على أن معامل انكسار المنصور (أو أي مادة شفافة) يتغير بتغير لون الضوء الساقط عليه، فكل لون من ألوان الطيف معامل انكسار مختلف عن الآخر، فأكبرها للون البنفسجي وأقلها للون الأحمر، لذا تكون زاوية انكسار اللون البنفسجي بحسب قانون سين أكبر ما يمكن، يليه النيجي، ... وهكذا دواليك. ولذا تظهر ألوان الطيف مرتبة بحسب معاملات الانكسار للمنصور أو أي مادة شفافة يعبرها الضوء. وهذا ما يحدث تماماً عند مرور ضوء الشمس عبر قطرات الماء المعلقة في الهواء في فصل الشتاء، فالشكل (11) يوضح سقوط أشعة ضوئية من الشمس على قطرة مطر معلقة في الهواء بزاوية تحقق شروط حدوث انعكاس كلي داخلي، حيث تنسكب عند النقطة (أ) من سطح القطرة مقتربة من العمود بزايا تختلف باختلاف لون الضوء، ثم تسقط على السطح الداخلي لل قطرة عند النقطة (ب)، فتنعكس انعكاساً كلياً داخل قطرة، إذ تكون زاوية سقوطها عند النقطة (ب) أكبر من الزاوية الحرجة للماء، ثم تسقط عند نقطة أخرى (ج) من السطح الداخلي لل قطرة، فتنكس مبتعدة عن العمود بزايا مختلفة، وتتابع مسيراًها خارج قطرة المطر. وتتكرر هذه العملية في قطرات المطر المجاورة، الشكل (12/أ)، لتشكل في النهاية حلقة دائرة من ألوان الطيف المرئي يظهر منها قوس فقط لمشاهد على سطح الأرض يقف متوجهاً لجهة معاكسة للشمس، وهذا القوس يُعرف باسم قوس المطر أو قوس قزح، على نحو ما يظهر في الشكل (12/ب).



الشكل (12):  
أ. مخطط يبين تشكيل قوس المطر على نحو ما يراه مشاهد على الأرض.  
ب. صورة لقوس المطر.

أتحقق: ما الألوان التي يتكون منها الضوء الأبيض؟

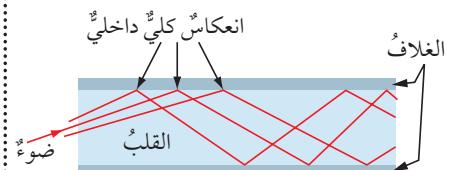
## الألياف الضوئية Optical Fibers

تُعدُّ الألياف الضوئية أحد أكثر التطبيقات شيوعاً على الانعكاس الكلّي الداخليّ التي تُستخدم على نطاقٍ واسع، لاسيما في الطبّ والاتصالات. والألياف الضوئية Optical Fibers عبارةً عن أنابيب رفيعة وشفافة، تُصنَّع عادةً

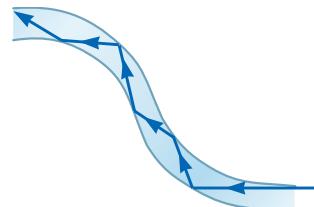
من الزجاج أو البلاستيك، وتُستخدم لنقل الضوء. ويتكوّن الليف الضوئي من أنبوبين متداخلين؛ القلب ويتراوح قطره من (10-50) ميكرومتر، والغلاف ويبلغ قطره نحو (125) ميكرومتر، وكلاهما من مادتين شفافتين مختلفتين، ويكون معامل انكسار مادة الغلاف أقل من مادة القلب ليقى الضوء داخل قلب الليف الضوئي. إذ عندما يدخل الضوء إلى قلب الليف الضوئي، ونظرًا إلى أن قطره صغير جدًا، فإن الضوء يسقط دائمًا على الحد الفاصل بين القلب والغلاف بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، فيحدث له انعكاسٌ كليٌّ داخليٌّ، على نحو ما يظهر في الشكل (13)، وبهذا يحافظ الليف الضوئي على الطاقة الضوئية وينقلها إلى مسافات بعيدة دون ضياع يُذكر للطاقة. وتمتاز الألياف الضوئية بمرنونتها العالية، إذ يمكن ثنيها، على نحو ما يظهر في الشكل (14) دون أن يؤثّر ذلك في كفاءتها على نقل الضوء.

وللألياف الضوئية تطبيقات عدّة في الطبّ والاتصالات. ففي الطب، أحدثت الألياف الضوئية ثورةً في التقنيات الجراحية وعمليات التقطير التشخيصية والعلاجية وتصوير الأجزاء الداخلية، إذ يُستخدم المنظار، الذي تُعدُّ الألياف الضوئية الجزء الرئيس منه، لاستكشاف الأعضاء الداخلية المختلفة بصرياً دون جراحة، إذ تسمح مرئية الألياف الضوئية للأطباء بالتنقل داخل مناطق مثل الأمعاء والقلب والأوعية الدموية والمفاصيل، على نحو ما يظهر في الشكل (15/أ). ويمكن أيضًا إجراء عملياتٍ جراحية، مثل الجراحة بالمنظار على مفصل الركبة أو الكتف، أو إزالة الزوائد اللحمية والأورام باستخدام أدوات القطع الملحقة بالمنظار على نحو ما يظهر في الشكل (15/ب). وفي مجال الاتصالات، تُستخدم الألياف الضوئية لنقل إشارات المحادثات الهاتفية واتصالات الإنترنت بكفاءةٍ عاليةٍ جدًا، من حيث الحفاظ على سرية البيانات، ومقاومة تأثيرها

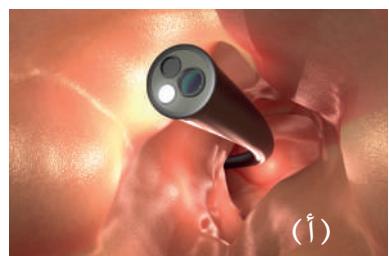
**أَفَكَرْ:** لماذا لا يُرى قوسُ المطر لشخصٍ يقف متوجّهاً نحو الشمس؟



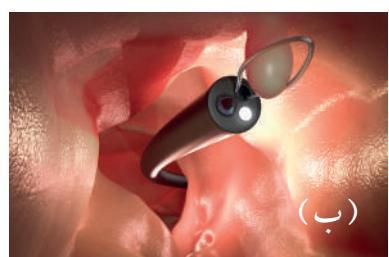
الشكل (13): مقطع لأحد الألياف الضوئية.



الشكل (14): انتقال الضوء في ليفٍ ضوئيٍّ منحنٍ.



(أ)



(ب)

الشكل (15):

- ـ تطوير القولون باستخدام منظارٍ ثلاثيًّا الأبعاد.
- ـ منظارٌ ثلاثيًّا الأبعاد يُزيل ورم القولون بحلقةٍ سلكية.

**أبْحُثُ** في مصادر المعرفة الموثوقة والمتحدة عن تطبيقات أخرى على ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي، وعلى الانكسار بوجه عام، وأشارك زملائي في ذلك.

للتشویش، وحجم المعلومات التي تنقل مقارنةً بالأسلال النحاسية. إذ يمكن لليف زجاجي واحد بسمك شعرة الإنسان أن ينقل معلومات صوتية أو فيديو تكافئ (32000) مكالمة صوتية في آن واحد.

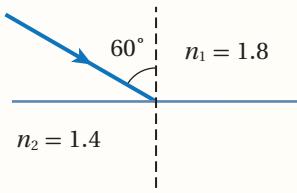
**أَتَحَقَّقُ**: ما المقصود بالألياف الضوئية؟

## مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية**: أوضح المقصود بالانعكاس الكلي الداخلي، وأذكر شروط حدوثه.

2. **أَصْفُ** موضحاً بالرسم الزاوية الحرجية وعلاقتها بالانعكاس الكلي الداخلي.

3. **أُقارِنُ** بين السراب الصحراوي والسراب القطبي.



4. **أُحلِّلُ**: سقط شعاع ضوئي على الحد الفاصل بين وسطين شفافين بزاوية (60°) على نحو ما يظهر في الشكل. أحسب الزاوية الحرجية، وأحدد ما إذا كان الشعاع الضوئي سينعكس كلياً داخل الوسيط الأول.

5. **أَحْسِبُ**: إذا كانت الزاوية الحرجية لللماس تساوي (24.4°)، فما معامل انكسار الماس.

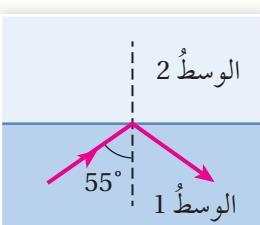


6. **أَحْسِبُ**: إذا كان معامل انكسار الوسيط الأول في الشكل المجاور يساوي (1.7)، فما معامل انكسار الوسيط الثاني.

7. **أُطْبِقُ**: سقط شعاع ضوئي على الحد الفاصل بين وسطين شفافين، فانعكس كلياً في الوسيط الأول، على نحو ما يظهر في الشكل المجاور. فما المعلومات التي يمكن معرفتها عن:

أ . العلاقة بين معامل انكسار الوسطين الشفافين؟

ب . الزاوية الحرجية؟



# العدسات الرقيقة

Thin Lenses

3

الدرس

درستُ في صفٍ سابقٍ تكوُّنَ الأخيلةِ للأجسامِ في المرايا (المستوية والكترونية) بوصفها تطبيقاً عملياً على ظاهرة انعكاسِ الضوء، وسأتعلّمُ في هذا الدرس تطبيقاً عملياً على ظاهرة انكسارِ الضوء، وهو تكوُّنُ الأخيلةِ في العدساتِ. فما المقصودُ بالعدسة؟ وهل تكوُّنُ الأخيلةِ في العدساتِ يشبهُ تكوُّنها في المرايا؟

**العدسات Lenses**  
 العدساتُ جمعُ **عدسة** **Lens**، وهي قطعةٌ بصريةٌ تتكونُ من وسطٍ شفافٍ يحدهُ سطحانٌ مُنحنيانِ، أو أحدهما مُستويٌ والأخرُ مُنحنيٌ. وكلمةُ "عدسةٌ" **lens** مشتقةٌ من الكلمةِ اللاتينية **lentil seed** التي تعني حبةَ العدسِ، فهي تشبهُ العدسةَ محدبةَ الوجهينِ. وُتُستخدمُ العدساتُ في كثيرٍ منَ الأدواتِ والأجهزةِ البصريةِ، مثلُ النظاراتِ، والمنظارِ، والمِجهرِ، ... وغيرها. والشكلُ (16) يبيّنُ بعضَ هذهِ الأدواتِ والأجهزةِ.



كاميرا



منظار



تلسكوب



نظاراتٌ



مجهرٌ

**القلمةُ الرئيسيةُ:**  
 تختلفُ صفاتُ الأخيلةِ المتكوّنةِ في العدساتِ باختلافِ نوعِ العدسةِ وبُعدِها البُؤريِّ وموقعِ الجسمِ بالنسبةِ إليها.

**نتائجُ التعلمِ:**

- أستقصي عملياً صفاتِ الخيالِ المتكوّنِ لجسمِ في العدساتِ المُقعرةِ والمُحدبةِ.
- أرسمُ مخطّطاتِ الأشعةِ المنكسرةِ لأتوصّلَ إلى صفاتِ الخيالِ في العدساتِ.
- أبحثُ في عيوبِ الإبصارِ التي قد تصيبُ الإنسانَ وأاليةِ معالجتها كُلّ منها.
- أصمّمُ أجهزةً بصريةً تساعدُ على رؤيةِ الأجسامِ البعيدةِ أو الأشياءِ الدقيقةِ.

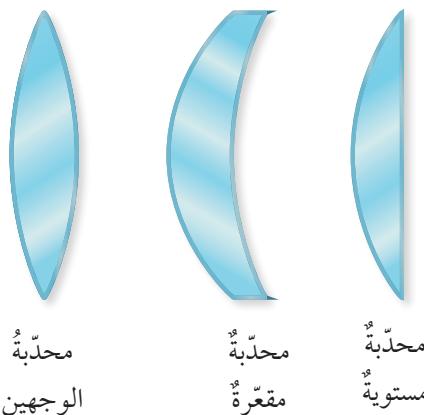
**المفاهيمُ والمصطلحاتُ:**

|           |             |
|-----------|-------------|
| Lens      | عدسةٌ       |
| Hyperopia | طولُ النظرِ |
| Myopia    | قصرُ النظرِ |

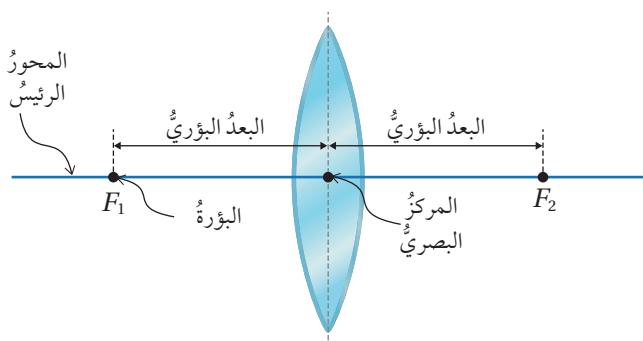
الشكلُ (1): بعضُ الأدواتِ  
 والأجهزةِ البصريةِ.

## أنواع العدسات Types of Lenses

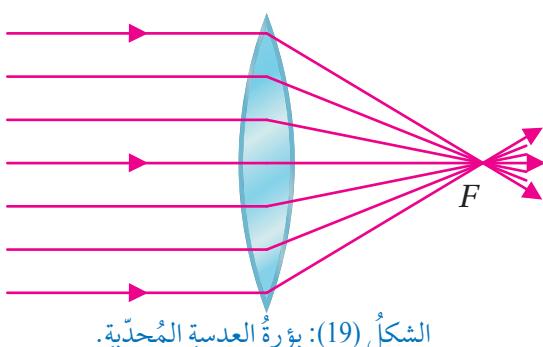
تصنَّف العدسات بحسب شكلها الهندسي إلى نوعين: مُحدبة، ومُقعرة. وتعمل العدسات بوجه عام على تغيير مسارات الأشعة الساقطة عليها بعَد لقانون الانكسار.



الشكل (17): أشكال العدسة المُحدبة.



الشكل (18): مصطلحات العدسة الرئيسية.



الشكل (19): بؤرة العدسة المُحدبة.

### أولاً: العدسات المُحدبة Convex Lenses

تكون سميكة من الوسط وأقل سمكًا عند الحافات، ولها ثلاثة أشكال مختلفة، على نحو ما يظهر في الشكل (17). وتُجمِّع العدسة المُحدبة الأشعة الضوئية الساقطة عليها، لذا يُطلق عليها اسم عدسة مُجمِّعة Converging lens. ولدراسة سلوك الأشعة الضوئية التي تُعبَّر العدسة، أتَمَّل الشكل (18)، حيث تمثل المصطلحات الواردة في الشكل ما يأتي:

**المركز البصري**: النقطة التي تتوسَّط العدسة.  
**البؤرة (F)**: نقطة التقاء الأشعة الضوئية المُنكسرة عن العدسة عندما تسقط موازية للمحور الرئيسي.  
**المحور الرئيسي**: الخط المستقيم المار ببؤرتين العدسة ومركزها البصري.  
**البعد البؤري**: المسافة بين البؤرة والمركز البصري.

الآن للعدسة بؤرتين ( $F_1, F_2$ ) تقعان على جانبي العدسة وعلى البُعد نفسه منها، ونظرًا إلى أن للعدسة وجهين، فعند سقوطِ أشعة ضوئية على أحد وجهي العدسة موازية للمحور الرئيسي فإنَّها تلتقي في البؤرة المقابلة للوجه الآخر للعدسة، على نحو ما يظهر في الشكل (19). وتوصَّف بؤرة العدسة المُحدبة بأنَّها حقيقة، لأنَّها ناتجة من التقاء الأشعة النافذة من العدسة.

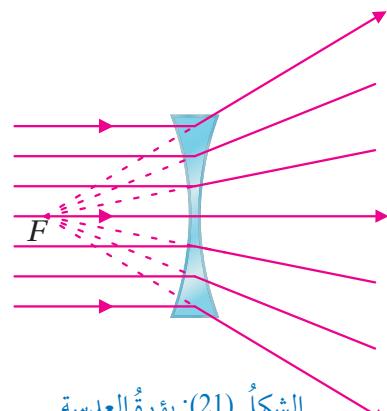


الشكل (20): أشكال العدسة المقعرة.

### ثانيًا: العدسات المقعرة Concave Lenses

تكون سميكة عند الحافات وأقل سمكًا عند الوسط، ولها ثلاثة أشكال مختلفة، على نحو ما يظهر في الشكل (20). وتعمل العدسة المقعرة على تفريق الأشعة الضوئية الساقطة عليها، لذا يطلق عليها اسم عدسة مفرقة Diverging lens. ومثلاً للعدسة المحدبة بؤرتان، فإن للعدسة المقعرة بؤرتين أيضًا، لكن بؤرة العدسة المقعرة وهمية لأنها ناتجة عن امتدادات الأشعة النافذة من العدسة، على نحو ما يظهر في الشكل (21).

أتحقق: ما أنواع العدسات؟ ✓



الشكل (21): بؤرة العدسة المقعرة.

**أَفَكَرْتُ:** عندما أوجّه أحد أوجه عدسة محدبة نحو الشمس فإن أشعة الشمس تجتمع في بقعة صغيرة شديدة الإضاءة، يمكنها أن تحرق ورقة رقيقة، فكيف تفسر ذلك؟



## تكوين الأختيال في العدسات | Images Formation by Lenses

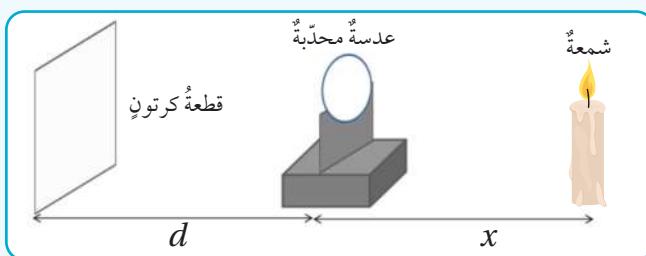
تكمّن أهميّة العدسات في أنّها تكوّن أختيالاً للأجسام التي توضع أمامها، وتختلف صفات الأختيال المتكوّنة باختلاف نوع العدسة وبعدها البؤريّ وموقع الجسم بالنسبة إليها. وسأعرّف صفات الأختيال المتكوّنة في العدسات من خلال النشاط الآتي، ومن خلال مخطّطات الأشعة التي تلي النشاط.

### التجربة 3

#### صفات الأختيال المتكوّنة في العدسات

**المواد والأدوات:** عدسة محدبة وأخرى مقعرة، حامل عدسات، شمعة، قطعة من الكرتون الأبيض، مسطّرة مترية، ورق أبيض (A4)، قلم.

**إرشادات السلامة:** الحذر من سقوط الأجسام والأدوات على القدمين، عدم تقرّب المواد القابلة للاشتعال من الشمعة.



| صفات الخيال المتكوّن | بعدّها البؤريّ           | نوع العدسة:              | رقم الحالة |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
|                      | بعد الخيال عن العدسة (d) | بعد الشمعة عن العدسة (x) |            |
|                      |                          | $x > 2F$                 | 1          |
|                      |                          | $x = 2F$                 | 2          |
|                      |                          | $F < x < 2F$             | 3          |
|                      |                          | $x = F$                  | 4          |
|                      |                          | $x < F$                  | 5          |

#### خطوات العمل:

1- أُشعّل الشمعة وأُثبتّها على سطح الطاولة ثم أُرتب الأدوات على نحو ما يظهر في الشكل، آخذًا في الحسبان أن يكون بعدها الشمعة عن العدسة المحدبة أكبر من مثلي بعدها البؤري.

2- أُحرّك قطعة الكرتون قربًا وبعدها من العدسة حتى يظهر عليها خيال واضح للشمعة، وأُسجّل صفات الخيال المتكوّن.

3- أُغيّر موقع العدسة عن الشمعة بحسب الأبعاد المبيّنة في الجدول المجاور، وأُسجّل صفات الخيال المتكوّن في كل مرّة.

4- أُستخدم العدسة المقعرة بدلاً من العدسة المحدبة، ثم أُحرّك قطعة الكرتون قربًا وبعدها من العدسة وألاحظ هل يتكون خيال للشمعة على قطعة الكرتون أم لا.

- 5- أنظر إلى الشمعة من خلال العدسة المقعرة، وألاحظ الخيال المتكوّن.
- 6- أحرّك العدسة قرباً وبعدًا من الشمعة ناظراً إليها من خلال العدسة، وألاحظ الخيال المتكوّن.

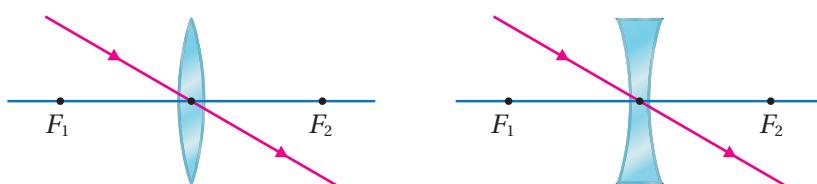
### التحليل والاستنتاج

- أُقارن بين بعد الشمعة عن العدسة ( $x$ ) وبعد الخيال عنها ( $d$ ) ونلاحظ ذلك بحجم الخيال المتكوّن مقارنة بحجم الجسم (الشمعة).
- أُحل بناءً على الحالات الواردة في الجدول، أتوصل إلى ما يأتي:
  - مدى البعد الذي توضع فيه الشمعة عن العدسة المحدبة ليتکوّن لها خيال حقيقي.
  - علاقة نوع الخيال المتكوّن ( حقيقي، وهمي ) بحالته (معتدل، مقلوب).
  - أي الحالات لا يتکوّن فيها خيال للشمعة.
- أُقارن بين الخيال الحقيقي والخيال الوهمي.
- أستنتج صفات الخيال المتكوّن في العدسة المقعرة.
- أتوقع مصادر الخطأ المحتملة في التجربة.

### المخطّطات الشعاعيّة المعياريّة Standard Ray Diagrams

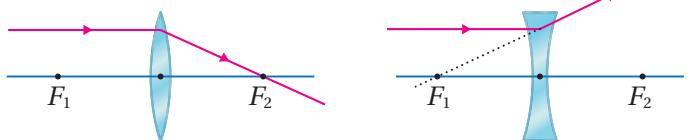
الشعاع المعياري هو الشعاع الذي نعرف مساره الكامل. وتوجد ثلاثة أشعة معياريّة يمكن استخدامها لتحديد موقع الخيال المتكوّن لجسم وصفاته وهي:

- الشعاع المار بالمركز البصري للعدسة المحدبة أو العدسة المقعرة، يستمر في مسار دون انحراف، على نحو ما يظهر في الشكل (22).



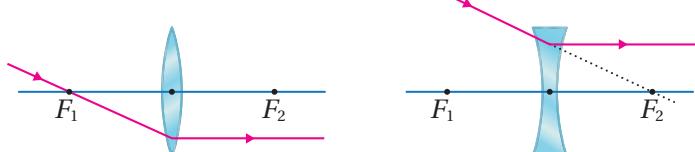
الشكل (22): الشعاع المعياري الأول.

2. الشعاع الموازي للمحور الرئيسي ينكسر في العدسة المحدبة مارًّا بالبؤرة، وفي العدسة المقعرة ينكسر بحيث يمُرُّ امتداده بالبؤرة، على نحوٍ ما يظهرُ في الشكل (23).



الشكل (23): الشعاع المعياري الثاني.

3. الشعاع المارٌ ببؤرة العدسة المحدبة، أو امتداده يمُرُّ ببؤرة العدسة المقعرة، ينكسر موازيًّا للمحور الرئيسي، على نحوٍ ما يظهرُ في الشكل (24).

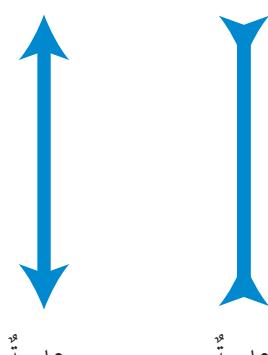


الشكل (24): الشعاع المعياري الثالث.

### لقد

أبَيَّنْ من خلالِ رسمِ المخطّطاتِ الشعاعيَّةِ المعياريَّةِ سبَبَ عدمِ تكونِ خيالٍ للحالةِ رقم (4) في التجربةِ (3) السابقةِ.

ولإيجادِ موقعِ وصفاتِ الخيالِ المتكوَّنِ في العدسةِ بالرسمِ، أَتَّبعُ الخطواتِ الآتيةَ:

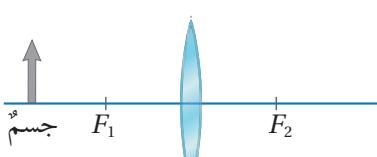


الشكل (25): رمزٌ كُلٌّ منَ العدسةِ المحدبةِ والعدسةِ المقعرةِ.

1. أَرْسِمْ رسمًا تخطيطيًّا يمثُّلُ العدسةَ، ويُمْكِنُ استخدامُ الرموزِ الموضَّحِينَ في الشكلِ (25) لِكُلِّ منَ العدسةِ المحدبةِ والعدسةِ المقعرةِ.

2. أَرْسِمْ خطًّا أَفقيًّا مستقيمًا باستخدامِ المسطرةِ يمُرُّ بمنتصفِ العدسةِ يمثُّلُ المحورَ الرئيسيَّ، ثُمَّ أُحدِّدُ نقطتينِ على جانبيِ العدسةِ تقعانِ على المحورِ الرئيسيِّ وعلى البعدِ نفسهِ منَ المركزِ البصريِّ (نقطةِ التقائهِ المحورِ الرئيسيِّ بالعدسةِ) لِتُمثَّلاً ببُورتيِ العدسةِ.

3. أَرْسِمْ مخطّطًا للجسمِ، أو سهَمًا ذيُّه يقعُ على المحورِ الرئيسيِّ يمثُّلُ الجسمَ المرادَ تحديدُ صفاتِ خيالِه، أَتَّمِّلُ الشكلَ (26).



الشكل (26): جسمٌ موضوعُ أمامَ عدسةِ محدبةِ.

4. أرسم مستخدماً المسطرة من رأسِ الجسم (السهم) مخطوطاتِ الأشعةِ المعياريةِ الثلاثةِ (1, 2, 3)، وألاحظُ أنها تلتقي جميعها أو امتداداتها، بعدَ نفاذها من العدسةِ في نقطةٍ واحدةٍ تمثلُ خيالَ رأسِ الجسم (يمكن تحديدُ الخيالِ بشعاعينِ فقطٍ من الأشعةِ المعياريةِ، وأرسمُ الشعاعَ الثالثَ للتحققِ من الدقةِ التي رسمتُ بها أولَ شعاعينِ). أمّا خيالُ الجزءِ السفليِّ للجسم، فإنه يتكونُ على المحورِ الرئيسِ.

5. أرسم مخططاً للخيالِ أو سهماً يكونُ ذيله على المحورِ الرئيسِ ورأسُه عندَ نقطةِ التقائهِ الأشعةِ المعياريةِ، وأقيسُ كلاً من طولِ الخيالِ وطولِ الجسمِ، مستخدماً المسطرةَ، وألاحظُ ما يأتي:

أ. إذا كانَ حجمُ (طولِ) الخيالِ أكبرَ من حجمِ (طولِ) الجسمِ فإنه يكونُ مُكِبِّراً، وإذا كانَ حجمُ الخيالِ أصغرَ من حجمِ الجسمِ فإنه يكونُ مُصغِّراً، وأمّا إذا كانَ غيرَ ذلكَ، فهو مساوٍ للجسمِ في الحجمِ.

ب. إذا كانَ الخيالُ ناتجاً عنِ التقائهِ الأشعةِ النافذةِ من العدسةِ فإنه يكونُ حقيقياً، وإذا كانَ ناتجاً عنِ التقائهِ امتداداتِ الأشعةِ النافذةِ من العدسةِ فإنه يكونُ وهمياً.

ج. إذا وقعَ خيالُ رأسِ الجسمِ فوقَ المحورِ الرئيسِ يكونُ معتدلاً، وإذا وقعَ أسفلَ المحورِ الرئيسِ يكونُ مقلوباً.

**أفَكَرْتَ:** لماذا يتكونُ خيالُ الجزءِ السفليِّ للجسمِ على المحورِ الرئيسِ؟

### الربطُ بعلمِ الفضاءِ

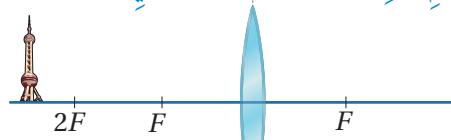
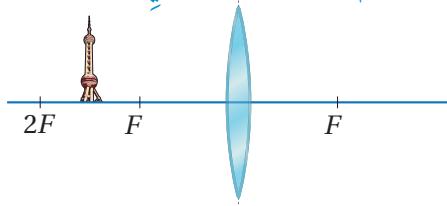
تتبّأ النظريّةُ النسبيّةُ العامّةُ لأنشتاين بأنَّ الضوءَ الذي يمرُ بالقربِ من الأجسامِ الثقيلةِ جداً مثلَ المجراتِ والثقوبِ السوداءِ والنجومِ الضخمةِ سوفَ ينحني. لذا تعملُ هذهُ الأجسامُ الضخمةُ عملَ نوعٍ من العدساتِ يُعرفُ باسمِ عدساتِ الجاذبيّةِ. Gravitational Lenses وتقومُ عدساتُ الجاذبيّةِ هذهُ بتشوييهِ المواقعِ الظاهريّةِ للنجومِ وتغييرِها.

## تكوينُ الأخيالِ في العدساتِ

لتحديدِ موقعِ الخيالِ المتكوّنِ في العدسةِ وصفاتِ نسبَ الخطواتِ السابقةَ، والأمثلةُ الآتيةُ توضحُ ذلكَ:

أُحدّد بالرسم موقع وصفات الخيال المتكوّن لجسم موضوع أمام عدسة محدّبة عندما يكون:

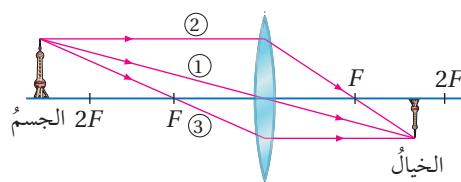
1. بعْدَ الجُسْمِ عن العدسة أكْبَرَ مِنْ مِثْلِي الْبُعْدِ الْبُؤْرِيِّ. 2. الجُسْمُ بَيْنَ الْبُؤْرَةِ وَمِثْلِي الْبُعْدِ الْبُؤْرِيِّ.



المُعْطَياتُ: جُسْمٌ مُوْضَعٌ أَمَامَ عَدْسَةً مَحْدُّبَةً.

الْمُطْلُوبُ: مَوْقِعُ الْخَيَالِ الْمُتَكَوّنِ لِلْجُسْمِ وَصَفَاتُهُ.

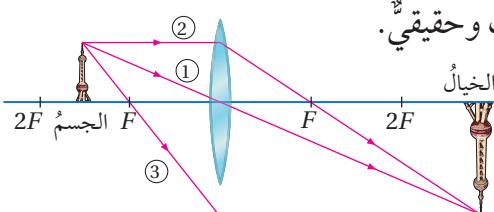
الحل:



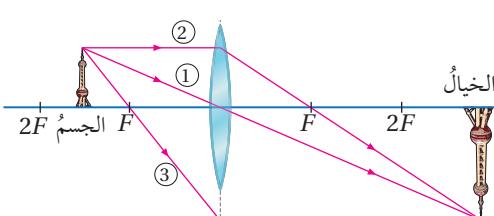
1. أَرْسِمْ مِنْ رَأْسِ الْجُسْمِ مَخْطُطَاتِ الأَشْعَةِ الْمُعَيَّرَيَّةِ (1, 2, 3)، مَسْتَخْدِمًا الْمَسْطَرَةَ، عَلَى نَحْوِ مَا يَظْهُرُ فِي الشَّكْلِ الْمَجَاوِرِ. وَأَلْاحِظُ مَا يَأْتِي:

أ. الْخَيَالُ الْمُتَكَوّنُ لِلْجُسْمِ يَقُعُ خَلْفَ الْعَدْسَةِ بَيْنَ الْبُؤْرَةِ وَمِثْلِي الْبُعْدِ الْبُؤْرِيِّ، وَحَجْمُهُ (طُولُهُ) أَصْغَرُ مِنْ حَجْمِ (طُولِ) الْجُسْمِ، وَمَقْلُوبٌ أَيْضًا.

ب. نَظَرًا إِلَى أَنَّ الْخَيَالَ نَاتِحٌ مِنَ التَّقَاءِ الأَشْعَةِ النَّافِذَةِ مِنَ الْعَدْسَةِ، فَهُوَ حَقِيقِيُّ. أيَّ أَنَّ صَفَاتِ الْخَيَالِ تَكُونُ عَلَى النَّحْوِ الْأَتَى: مَصْغُرٌ وَمَقْلُوبٌ وَحَقِيقِيُّ.



2. أَرْسِمْ مِنْ رَأْسِ الْجُسْمِ مَخْطُطَاتِ الأَشْعَةِ الْمُعَيَّرَيَّةِ (1, 2, 3)، مَسْتَخْدِمًا الْمَسْطَرَةَ، عَلَى نَحْوِ مَا يَظْهُرُ فِي الشَّكْلِ. وَأَلْاحِظُ مَا يَأْتِي:



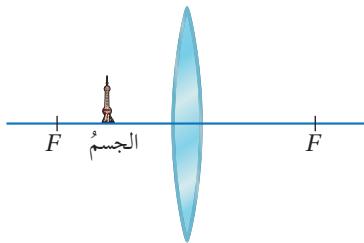
أ. الشَّعَاعُ الْمُعَيَّرُ الْثَالِثُ لَا يَلْتَقِي بِالْعَدْسَةِ، لَذَا يَمْكُنُ عَمُلُ امْتَدَادٍ لِلْعَدْسَةِ حَتَّى تَلْتَقِي بِالشَّعَاعِ وَتَكُمِلَةً مَسَارِ الشَّعَاعِ لِيَلْتَقِي بِالشَّعَاعِيْنِ الْآخَرِيْنِ، عَلَى نَحْوِ مَا يَظْهُرُ فِي الشَّكْلِ الْمَجَاوِرِ، أَوِ الْاِكْتِفَاءُ بِالشَّعَاعِيْنِ (2) فَقْطًا.

ب. الْخَيَالُ الْمُتَكَوّنُ لِلْجُسْمِ يَقُعُ خَلْفَ الْعَدْسَةِ عَلَى بُعْدٍ أَكْبَرَ مِنْ مِثْلِي الْبُعْدِ الْبُؤْرِيِّ، وَحَجْمُهُ أَكْبَرُ مِنْ حَجْمِ الْجُسْمِ، وَمَقْلُوبٌ أَيْضًا.

ج. نَظَرًا إِلَى أَنَّ الْخَيَالَ نَاتِحٌ مِنَ التَّقَاءِ الأَشْعَةِ النَّافِذَةِ مِنَ الْعَدْسَةِ، فَهُوَ حَقِيقِيُّ.

أَيَّ أَنَّ صَفَاتِ الْخَيَالِ تَكُونُ عَلَى النَّحْوِ الْأَتَى: مُكْبَرٌ وَمَقْلُوبٌ وَحَقِيقِيُّ.

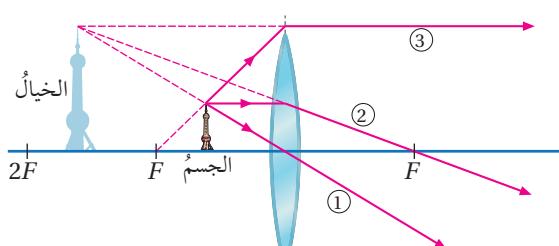
## المثال 10



أُحدّد بالرسم موقع وصفات الخيال المتكوّن لجسم موضعٍ بين عدسةٍ محدّبةٍ وبؤرتها.

**المعطيات**: جسمٌ موضعٌ أمامَ عدسةٍ محدّبةٍ بينَ البؤرة والعدسة.

**المطلوب**: موقعُ الخيال المتكوّن للجسم وصفاتُ.



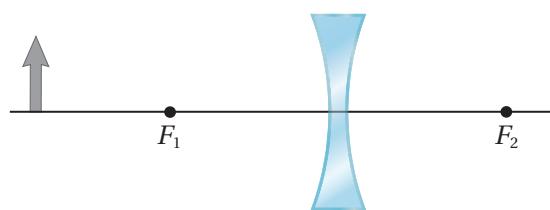
أرسمُ من رأسِ الجسم مخطوطاتِ الأشعةِ المعيارية (1, 2, 3)، مستخدّمًا المسطرةَ، على نحوٍ ما يظهرُ في الشكلِ المجاورِ. وألاحظُ ما يأتي:

أ . الخيال المتكوّن للجسم يقعُ في الجهةِ نفسِها التي يقعُ فيها الجسمُ بينَ البؤرةِ ومثلي البُعدِ البؤريِّ، وحجمُه أكبرُ من حجمِ الجسمِ ومتّدُّل أيضًا.

ب . لا تلتقي الأشعةُ النافذةُ من العدسةِ بل تلتقي امتداداتها، لذا يكونُ الخيال المتكوّن وهميًّا.

أيًّا أنَّ صفاتِ الخيال تكونُ على النحوِ الآتي: مكبّرٌ ومتّدُّلٌ ووهميٌّ.

## المثال 11

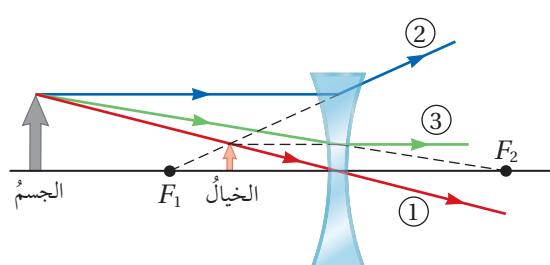


أُحدّد بالرسم موقع وصفاتِ الخيال المتكوّن لجسمٍ موضعٍ أمامَ عدسةٍ مقعرةٍ.

**المعطيات**: جسمٌ موضعٌ أمامَ عدسةٍ مقعرةٍ.

**المطلوب**: موقعُ الخيال المتكوّن للجسم وصفاتُ.

**الحلُّ**:



أرسمُ من رأسِ الجسم مخطوطاتِ الأشعةِ المعيارية (1, 2, 3)، مستخدّمًا المسطرةَ، على نحوٍ ما يظهرُ في الشكلِ المجاورِ. وألاحظُ ما يأتي:

أ . الخيال المتكوّن للجسم يقعُ في الجهةِ نفسها التي يقعُ فيها الجسمُ بينَ البؤرةِ والعدسةِ، وحجمُه أصغرُ من حجمِ الجسمِ، ومعتدلٌ أيضًا.

ب . لا تلتقي الأشعةُ النافذةُ من العدسةِ، ولكن تلتقي امتداداتها، لذا يكونُ الخيال المتكوّنُ وهميًّا، أي أنَّ صفاتِ الخيالِ تكونُ على النحوِ الآتي: مصغرٌ ومعتدلٌ ووهميٌّ.

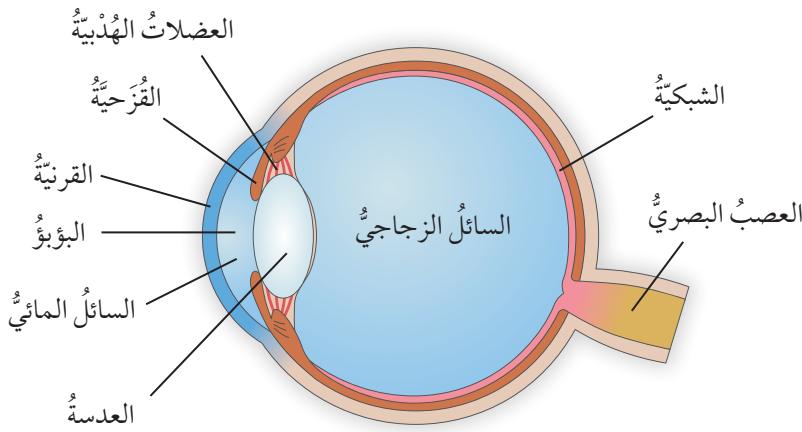
الاحظُ من خلال التجربةِ (3) والأمثلةِ السابقةِ أنَّ العدسةِ المحدبةِ يمكنُ أنْ تكونَ لجسمِ خيالًا حقيقيًّا أو وهميًّا، مقلوبًا أو معتمدًا، مصغًّرًا أو مساوًيًّا لحجمِ الجسمِ أو مكبًّرًا، ويعتمدُ ذلكُ على موقعِ الجسمِ بالنسبةِ إلى العدسةِ. أمَّا بالنسبةِ إلى العدسةِ المقعرةِ، فإنَّ الخيالَ يكونُ دائمًا مصغًّرًا ومعتمدًا ووهميًّا، بغضِّ النظرِ عن موقعِه من العدسةِ، ويقعُ دائمًا بينَ العدسةِ المقعرةِ وبؤرتها. ويمكنُ ملاحظةُ أنَّ الخيالَ الحقيقيَّ يكونُ دائمًا مقلوبًا، ويمكنُ تكوينُه على حاجزِ (جدار)، في حينِ أنَّ الخيالَ الوهميَّ يكونُ دائمًا معتمدًا، ولا يمكنُ تكوينُه على حاجزٍ.

أتحققُ: ما نوعُ العدسةِ التي يمكنُ أنْ تكونَ خيالًا حقيقيًّا لجسمِ؟

لتمرين

أحدَّدُ بالرسمِ موقعَ وصفاتِ الخيالِ المتكوّنِ لجسمِ موضوعٍ عندَ نقطةٍ تقعُ على بُعدٍ يساوي مثليِّ البُعدِ البؤريِّ لعدسةٍ إذا كانتِ العدسةُ:

- 1 . محدبةً.
- 2 . مقعرةً.



الشكل (27): الأجزاء الرئيسية للعين.

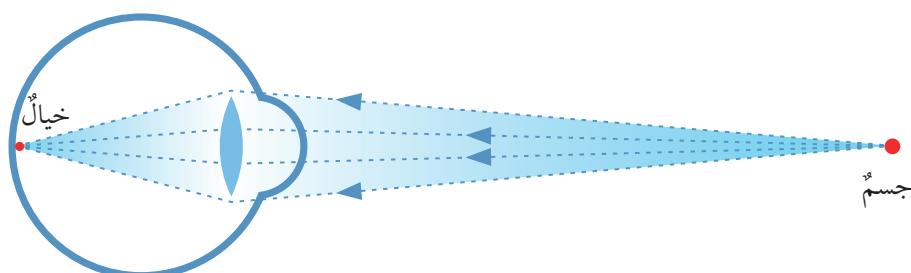
## تطبيقاتُ العدسات Applications of Lenses

### العين البشرية The Human Eye

هي العضوُ الخاصُّ بإبصارِ الأشياءِ وتمييزِ الألوانِ، وتتكوّنُ من أجزاءٍ خاصّةٍ باستقبالِ الأشعةِ الضوئيّةِ وتمريرِها وتكونِنَّ أختيَّةً واضحةً للأشياءِ، والشكلُ (27) يبيّنُ الأجزاءَ الرئيسيَّةَ للعينِ المتعلقةَ بعمليةِ الإبصارِ. وتتلخُّصُ عمليةُ الإبصارِ بدخولِ أشعةِ الضوءِ إلى العينِ عبرَ القرنيةِ (وهي طبقةٌ رقيقةٌ شفافَةٌ تقعُ في مقدمةِ العينِ)، ومنها إلى العدسةِ (وهي محدبةُ الوجهينِ) لتشكّلاً نظاماً يُجمِّعُ الأشعةَ الضوئيَّةَ القادمةَ من جسمٍ ما، ويوجِّهُها نحوَ الشبكيَّةِ فتتكوّنُ خيالاً للجسمِ، على نحوِ ما يظهرُ في الشكلِ (28)، التي تقومُ بتحويلِها إلى إشاراتٍ كهربائيَّةٍ ينقلُها العصبُ البصريُّ إلى مركزِ الإبصارِ في الدماغِ لتحليلِها، فتُحدَثُ الرؤيةُ.

### الربط بالطب

يُصَحِّحُ البصرُ عندَ بعضِ الأشخاصِ الذينَ يعانونَ من ضعفِ البصرِ عن طريقِ عملياتِ جراحيةٍ بتقنيةِ الليزك، التي تعني تصحيحَ تحدُّبِ القرنيةِ باستخدامِ الليزرِ الموضعِيِّ، وقد حَقَّقتُ هذهِ العملياتُ الجراحيةَ نجاحاتٍ جيدةً. ونادرًا ما تحدُثُ لها مضاعفاتٍ أو آثارٍ جانبيةٍ، وهي تغْنِي عن استخدامِ العدساتِ اللاصقةِ أو النظاراتِ، لكنَّها لا تتناسبُ مع الأشخاصَ المصابينَ جميعاً، لاسيما الذينَ لديهمُ قِصرُ نظرٍ أو طولُ نظرٍ شديدانِ.



الشكل (28): تكوينُ الخيال على شبكيَّةِ العينِ.

ويتحكم البؤبؤ (فتحة في وسط القرحية، وهي الجزء الملون من العين) في شدة الضوء الداخل إلى العين عن طريق زيادة اتساع الفتحة، لتمرير أكبر قدر من الأشعة الضوئية عندما يكون الضوء خافتًا، وإنقص اتساع الفتحة عندما يكون الضوء قويًا. في حين تحكم العضلات الهدبية في درجة انساط العدسة لتكوين أختيل للأجسام البعيدة أو انقباضها لتكوين أختيل للأجسام القريبة، فيما يُعرف بتكيف العين.

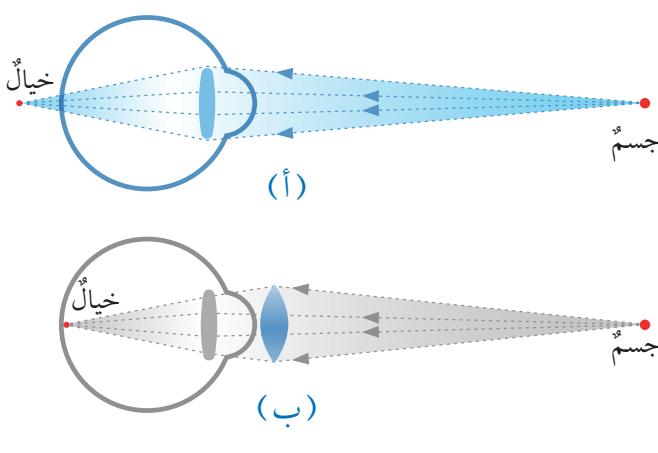
وتزداد أقرب مسافة للرؤيا واضحة عند الإنسان مع التقدم في العمر، إذ تبلغ نحو (18 cm) في سن (10) سنوات، وتصل (25 cm) عند الإنسان السليم في سن الشباب (20) سنة، في حين تصل إلى نحو (50 cm) في سن (40) سنة، وإلى (500 cm) أو أكثر في سن (60) سنة.

### العيوب التي تصيب العين

يوجد عيوب شائعة يُصيّبها كثيرون من الناس يتّجّ عنهم عدم قدرة العين على تكوين أختيل واضحة على شبكيّة العين، هما: **طول النظر Hyperopia** و**قصر النظر Myopia**، ويمكن تصحيحهما كليهما إلى حد كبير باستخدام العدسات - النظارات الطبيّة أو العدسات اللاصقة.

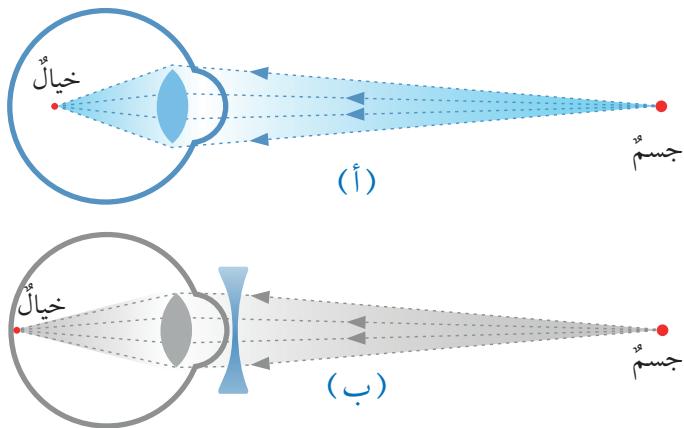
#### طول النظر (Hyperopia)

أقرب مسافة للرؤيا واضحة عند الشخص الذي يعاني طول النظر تكون أكبر من (25 cm)، فهو يرى الأجسام البعيدة بوضوح، أمّا الأجسام القريبة (التي يقل بعدها عن أصغر مسافة للرؤيا واضحة) فتكتون أختيلتها خلف الشبكيّة، على نحو ما يظهر في الشكل (29/أ) فلا يراها الشخص بوضوح. ويمكن معالجة هذه الحالة بوضع عدسة محدبة أمام العين، تكسر الأشعة نحو المحور الرئيسي قبل أن تدخل العين، ما يؤدي إلى تركيز هذه الأشعة على شبكيّة العين وتكون خيال واضح على شبكيّة، على نحو ما يظهر في الشكل (29/ب).



الشكل (29): أ. طول النظر.

ب. علاج طول النظر.



الشكل (30):

أ. قصر النظر.

ب. علاج قصر النظر.

### قصر النظر (Myopia)

الشخص الذي يعاني قصر النظر لا يرى الأجسام البعيدة بوضوح، حيث تكون أختيلتها أمام الشبكية، على نحو ما يظهر في الشكل (30/أ). ويمكن معالجة هذه الحالة بوضع عدسة م-curvaة أمام العين، تفرق الأشعة بعيدا عن المحور الرئيسي قبل أن تدخل العين، ما يؤدي إلى تركيز الأشعة على شبكية العين وتكوين خيال واضح على الشبكية، على نحو ما يظهر في الشكل (30/ب).



أبحث:

في مصادر المعرفة الموثوقة والمتحدة عن عيوب أخرى للعين، غير طول النظر وقصر النظر، وكيفية علاجهما.

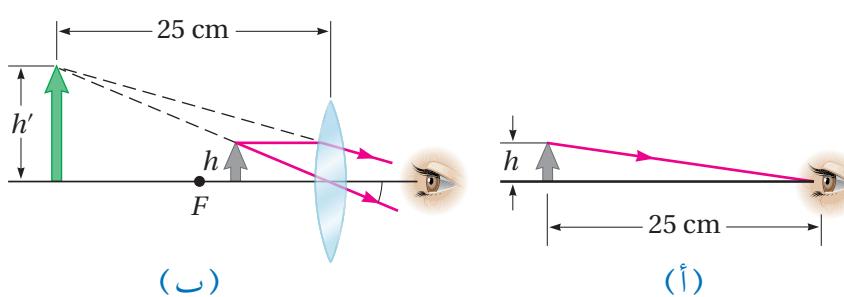


الشكل (31): النظر إلى حشرة من

خلال مجهر بسيط.

### المجهر البسيط (العدسة المكبرة)

يتكون من عدسة محدبة واحدة تكون أختيلاً مكبرة للأشياء، فيمكننا من خلالها رؤية الأشياء الصغيرة أو تفاصيلها بوضوح أكبر. فعندما نظر بالعين المجردة إلى حشرة صغيرة الحجم، على نحو ما هو مبين في الشكل (31) مثلاً، لن أتمكن من تمييز تفاصيلها. لذا فإن العدسة المكبرة تكون خيالاً وهماً مكبراً على بعد يساوي (25 cm) من العين، وهي أقرب مسافة للرؤية الواضحة عند الشخص السليم، أتأمل الشكل (32/أ، ب).



الشكل (32): النظر إلى جسم

أ. مباشراً.

ب. من خلال عدسة مكبرة.

## الربط بال التاريخ

إنَّ أولَ من اخترَعَ النظَارةَ الطَّبِيَّةَ هو العَالَمُ المُسْلِمُ الحَسْنُ بْنُ الْهَيْشَمِ، رَائِدُ عِلْمِ الْبَصَرِيَّاتِ، إِذْ عَنَّدَمَا ضَعُفَ بَصْرُهُ، أَجْرَى تَجَارِبَ عَدَّةً عَلَى الرِّجَاجِ لِيُصْنَعَ مِنْهُ نَظَارَةٌ تُعَيِّنُهُ عَلَى الْقِرَاءَةِ، وَتَوَصَّلَ إِلَى اخْتِرَاعِ عَدْسَةٍ مَحْدَبَةٍ كَانَتْ تُظَهِّرُ الْكَلَامَ وَالْأَشْكَالَ بِصُورَةٍ كَبِيرَةٍ وَوَاضِحَةٍ. وَقَدْ صُنِعَتْ أُولَى نَظَارَةٍ طَبِيَّةٍ دَقِيقَةٍ فِي إِيطَالِيَا سَنَةَ 1286 مِيَلَادِيَّةَ.

الشكل (33): النظر إلى أجزاء الساعة من خلال العدسة المكبرة.



وَتُعَدُّ الْعَدْسَةُ الْمُكَبِّرَةُ مِنَ الْأَدَوَاتِ الْأَسَاسِيَّةِ عِنْدَ طَبِيبِ الْأَسْنَانِ لِلنَّظَرِ مِنْ خَلَالِهَا إِلَى دَاخِلِ الْجَمْعِ فِي الْمَرِيضِ، وَأَنَّ فَنِّي إِصْلَاحِ السَّاعَاتِ سِيَجُدُّ صَعْوَبَةً فِي تَفْحُصِ الْأَجْزَاءِ الصَّغِيرَةِ لِلْسَّاعَةِ دُونَ الْاسْتِعَانَةِ بِالْعَدْسَةِ الْمُكَبِّرَةِ، أَتَأْمَلُ الشَّكَلَ (33).

## الربط بعلوم الحياة

يُسْتَخَدِّمُ الْمَجَهِرُ الْمَرْكَبُ لِرَؤْيَةِ الْمَكَوْنَاتِ الدَّقِيقَةِ لِلْخَلَائِيَا النَّبَاتِيَّةِ وَالْحَيْوَانِيَّةِ، وَلِتَمِيزِيْرَ بَيْنَ أَنْوَاعِ الْمَيْكَرُوبَاتِ وَغَيْرِ ذَلِكَ مِنَ الْمَكَوْنَاتِ الدَّقِيقَةِ لِلْأَجْزَاءِ الْحَيَّةِ.

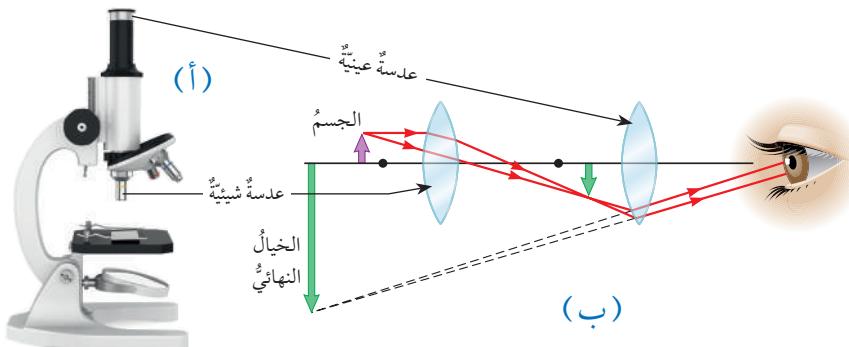
## المجهر المركب

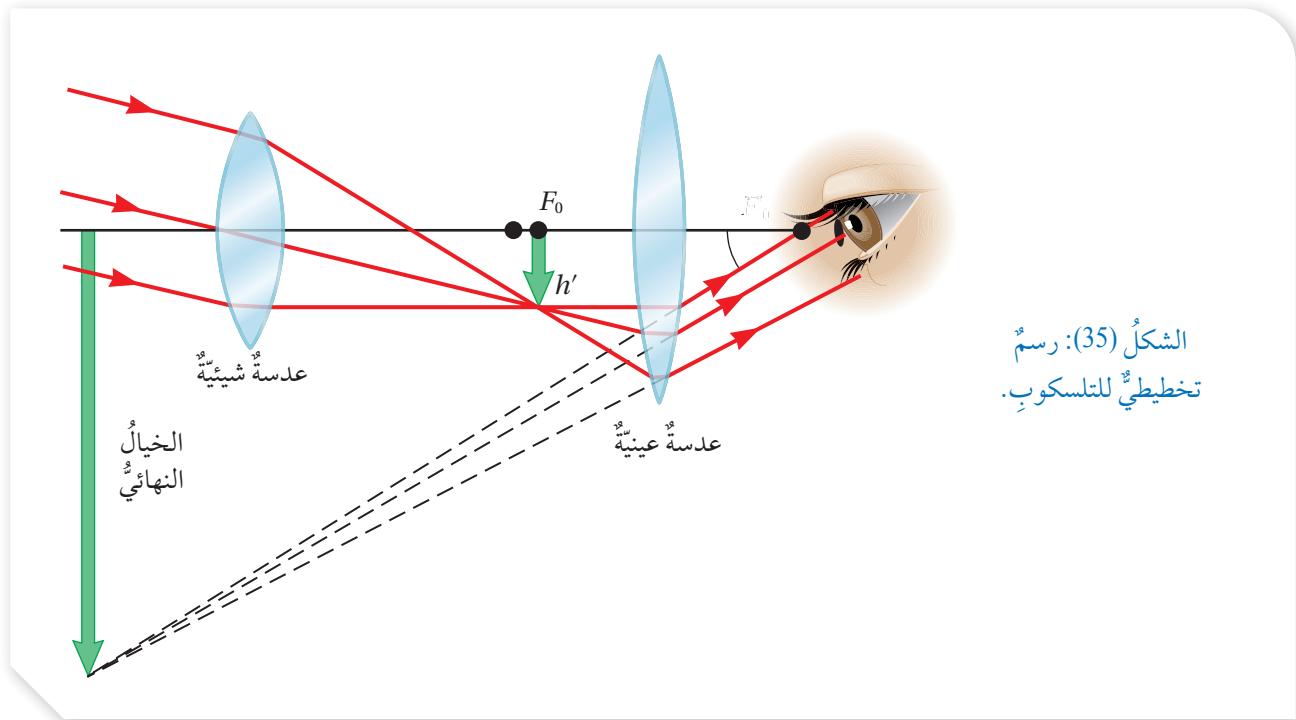
لِلْمَجَهِرِ الْبَسِيْطِ قَدْرَةٌ مَحْدُودَةٌ فِي إِظْهَارِ التَّفَاصِيلِ الدَّقِيقَةِ لِجَسْمٍ مَا، وَيُمْكِنُ تَحْقِيقُ تَكْبِيرٍ أَكْبَرَ مِنْ خَلَالِ الْجَمْعِ بَيْنَ عَدْسَتَيْنِ فِي جَهَازٍ يُسَمَّى الْمَجَهِرُ الْمَرْكَبُ عَلَى نَحْوِ مَا هُوَ مَبِينٌ فِي الشَّكَلِ (34/أُ)، الَّذِي يَتَكَوَّنُ مِنْ عَدْسَةٍ شَيْئِيَّةٍ (يَوْضِعُ أَمَامَهَا الْجَسْمُ الْمَرَادُ تَكْبِيرُهُ) بَعْدُهَا الْبَؤْرَيُّ صَغِيرٌ جَدًّا (أَقْلُّ مِنْ 1 cm)، وَعَدْسَةٍ عَيْنِيَّةٍ يَبْلُغُ بَعْدُهَا الْبَؤْرَيُّ بَضْعَةَ سَنِيمِترَاتٍ، وَيَفْصُلُ بَيْنَ الْعَدْسَتَيْنِ مَسَافَةً أَكْبَرُ بَكْثِيرٍ مِنْ بُعْدِيهِمَا الْبَؤْرَيِّيْنِ. تُكَوَّنُ الْعَدْسَةُ الشَّيْئِيَّةُ لِلْجَسْمِ خِيَالًا حَقِيقِيًّا مَقْلُوبًا يَقْعُدُ بَيْنَ الْعَدْسَةِ الْعَيْنِيَّةِ وَبَؤْرَتِهَا، وَالَّتِي تَعْمَلُ بِدُورِهَا عَمَلًا مَجَهِرِ بَسِيْطٍ، وَتُكَوَّنُ خِيَالًا وَهُمِيًّا مَكَبِّرًا، عَلَى نَحْوِ مَا يَظْهَرُ فِي الشَّكَلِ (34/بُ).

الشكل (34):

أ. المجهر المركب.

ب. رسم تخطيطي للمجهر المركب.





الشكل (35): رسم تخطيطي للتلسكوب.

## التلسكوب (المِقْرَابُ الفَلَكِيُّ) The Telescope

يُستخدم التلسكوب لتكوين أخيلةٍ واضحةٍ ومكِبَّرةٍ للأجسام البعيدة جداً، مثل النجوم والأجرام السماوية الأخرى، إذ عندما أنظر إليها بالعين المجردة فإنها تظهر صغيرة جداً. والتلسكوب يشبه المجهر المركب في أن له عدستين، عينيةٍ وشبيهٍ. وترتبط العدستان على أن تكون العدسة الشبيه للجسم البعيد خيالاً حقيقياً مقلوباً في مكان قريب جداً من بؤرة العدسة العينية، ونظراً إلى أن الجسم (النجم مثلاً) يقع في اللانهاية، فإن خياله سيتكون في بؤرة العدسة الشبيه، لذا تكون بؤرتا العدستان متجاورتين تماماً ومتداخلتين، أي أن بؤرة الشبيه تكون أقرب للعينية، وبؤرة العينية أقرب للشبيه. والشكل (35) يبيّن الرسم التخطيطي لتركيب التلسكوب وتكوين الخيال فيه.

لماذا يُصمم التلسكوب على أن تكون بؤرة العدسة قريبة جداً من بؤرة العدسة العينية؟

# مراجعةُ الدرسِ

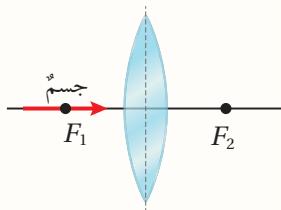
1. **الفكرةُ الرئيْسَةُ:** أُحدَّدُ العوامَال التي تعتمدُ عليها صفاتُ الأخيالِ المتكوّنةِ في العدساتِ.

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

أ. الخيالِ الحقيقِيُّ والخيالِ الوهْمِيُّ.

ب. البُؤرةِ الحقيقِيَّةِ والبُؤرةِ الوهْمِيَّةِ.

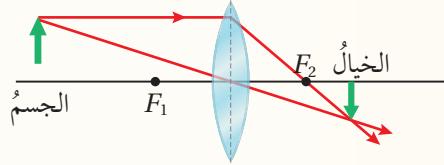
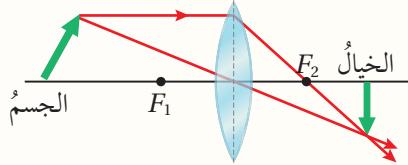
3. **أُفَارِنُ** بينَ العدساتِ المحدَّبةِ والعدساتِ المقوَّرةِ من حيثُ:



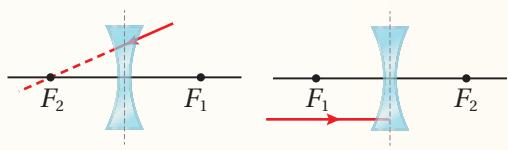
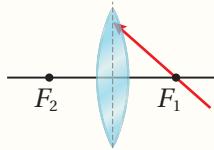
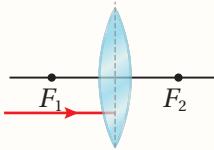
أ. الشكُلُ. ب. نوعُ البُؤرةِ. ج. نوعُ الخيالِ الذي تكوَّنُه.

4. **أُحلِّلُ:** في الشكُلِ جسمٌ موضَّعٌ أمامَ عدسةٍ محدَّبةٍ، أَصْفُ (دونَ رسمٍ تخطيطيٍّ) الخيالِ المتكوَّنَ للجسمِ.

5. **التفكِيرُ الناقِدُ:** في الشكُلِ رسمٌ طالبٌ رسمَ موضَّعًا تخطيطيًّا للتوصِّلِ إلى صفاتِ الخيالِ المتكوَّنِ لجسمٍ موضَّعٍ أمامَ عدسةٍ محدَّبةٍ في حالتَيْنِ مُخْتَلِفَتَيْنِ، أُبَيِّنُ مَا إِذَا كَانَتْ رسمُ الطالبِ صَحِيحةً أَمْ لَا.



6. **أُطْبِقُ:** أُكملُ مسَارَ كُلٍّ منَ الأشعَّةِ الضَّوئِيَّةِ في الأشكالِ الآتيةِ:



7. **أُفَارِنُ** بينَ طولِ النَّظَرِ وقِصْرِ النَّظَرِ من حيثُ:

أ. المفهومُ.

ب. العلاجُ.

# الإثراء والتوضيح

## الفيزياء والفضاء الهالة الشمسية



هالة قمرية.

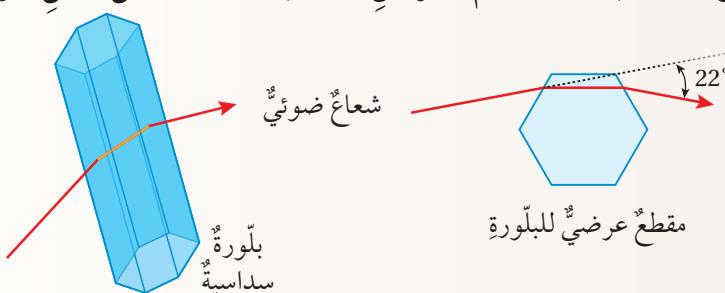


هالة شمسية.

الهالة هي ظاهرة شائعة في الغلاف الجوي، لها بعض أوجه التشابه مع قوس المطر، وتظهر على شكل حلقة مضيئة حول الشمس أو القمر، عندما ينكسر الضوء القادم من الشمس (أو القمر) عن طريق بلورات ثلاثية الأبعاد ذات قطر أقل من (20) ميكرومتر. ويوضح الشكل هالة شمسية، وأخرى قمرية. وتشكل الحالات على مدار السنة، من المناطق المدارية إلى القطبين، عن طريق بلورات الجليد الصغيرة التي تراكمت عادةً في غيوم رقيقة على ارتفاعات عالية، (10 - 5) فوق سطح الأرض، في طبقة التروبوسفير العليا الباردة دائمًا.

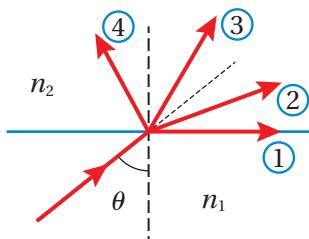
وأحياناً، تتشكل الهالة أيضاً، في الطقس الشديد البرودة، عن طريق بلورات الجليد القريبة من سطح الأرض.

فعندما يدخل الضوء الأبيض القادم من الشمس (أو القمر) أحد جوانب بلورات الجليد، فإنه ينكسر مرتين ليخرج من الجانب الآخر بانحراف زاوي يبلغ حده الأقصى نحو (22°)، على نحو ما يظهر في الشكل اللاحق، بمدى يتراوح بين (21.537°) للضوء الأحمر و (22.371°) للضوء الأزرق، إذ إن ضوء الشمس يتخلل نتيجة عبوره بلورة الجليد؛ لأن معامل انكسار البلورة يختلف باختلاف لون الضوء الساقط. وبتكرار هذه العملية في البلورات المجاورة، تكون حلقات ملونة مضيئة حلقيّة تشبه قوس المطر، لكن ترتيب الألوان في الهالة يكون معاكساً لترتيبها في قوس المطر، فيظهر الأزرق من الداخل والأحمر من الخارج. ويطلق على الهالة التي تتشكل بهذه الطريقة اسم: هالة 22 درجة، ويطلق على الحالات أحياناً اسم: أقواس الجليد، لأنها تتشكل بفعل بلورات الجليد.



**ابحث** مستعيناً بمصادر المعرفة المناسبة، أبحث عن ظواهر بصرية أخرى وتطبيقات على انكسار الضوء. ثم أكتب تقريراً عنها، وأقرؤه أمام زملائي / زميلاتي في غرفة الصف.

1. أَضْعُفْ دَائِرَةً حَوْلَ رَمْزِ الإِجَابَةِ الصَّحِيحَةِ لِكُلِّ جَمْلَةٍ مِمَّا يَأْتِي:



1. أَيُّ الْمَسَارَاتِ (1, 2, 3, 4) فِي الشَّكْلِ الْمُجَاوِرِ يَمْثُلُ أَقْرَبَ مَسَارٍ صَحِيحٍ لِشَعَاعٍ ضَوئِيٍّ يَنْتَقِلُ مِنْ وَسْطٍ شَفَافٍ مُعَامِلٌ انْكَسَارِهِ (n<sub>1</sub> = 1.4) إِلَى وَسْطٍ شَفَافٍ آخَرَ مُعَامِلٌ انْكَسَارِهِ (n<sub>2</sub> = 1.6)؟

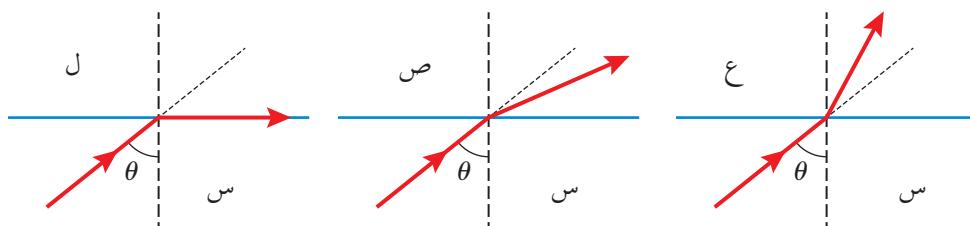
د . 4

ج . 3

ب . 2

أ . 1

\* تُبَيَّنُ الْأَشْكَالُ الْأَتَيَةُ انتِقَالَ شَعَاعٍ ضَوئِيٍّ مِنْ وَسْطٍ شَفَافٍ (س) إِلَى أَوْسَاطٍ شَفَافَةٍ مُخْتَلِفَةٍ (ص، ع، ل). أُجَيِّبُ عَنِ الْفَقْرَتَيْنِ (3، 2) الْأَتَيَتِيْنِ:



2. تَكُونُ سُرْعَةُ الضَّوْءِ أَكْبَرَ مَا يَمْكُنُ فِي الْوَسْطِ:

د . ل

ج . ع

ب . ص

أ . س

3. الْوَسْطُ ذُو مُعَامِلِ الْانْكَسَارِ الْأَكْبَرِ هُوَ:

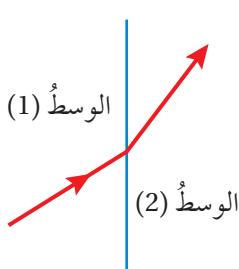
د . ل

ج . ع

ب . ص

أ . س

4. مِنْ تَبْيَعِ مَسَارِ الشَّعَاعِ الضَّوئِيِّ فِي الشَّكْلِ الْمُجَاوِرِ نَسْتَدِلُّ عَلَى أَنَّ:



أ . زَوْيَةُ السُّقُوطِ أَكْبَرُ مِنْ زَوْيَةِ الْانْكَسَارِ.

ب . زَوْيَةُ السُّقُوطِ أَكْبَرُ مِنْ الزَّوْيَةِ الْحَرْجَةِ.

ج . مَعَامِلُ انْكَسَارِ الْوَسْطِ الْأَوَّلِ أَكْبَرُ مِنْ مَعَامِلِ انْكَسَارِ الْوَسْطِ الثَّانِيِّ.

د . سُرْعَةُ الضَّوْءِ فِي الْوَسْطِ الْأَوَّلِ أَكْبَرُ مِنْ سُرْعَتِهِ فِي الْوَسْطِ الثَّانِيِّ.

5. يَنْتَقِلُ شَعَاعٌ ضَوئِيٌّ مِنْ وَسْطٍ شَفَافٍ مُعَامِلٌ انْكَسَارِهِ n<sub>1</sub> إِلَى وَسْطٍ آخَرَ مُعَامِلٌ انْكَسَارِهِ n<sub>2</sub>. يَحْدُثُ انْعِكَاسٌ كَلِّيٌّ دَاخِلِيٌّ لِلشَّعَاعِ الضَّوئِيِّ عِنْدَمَا يَكُونُ:

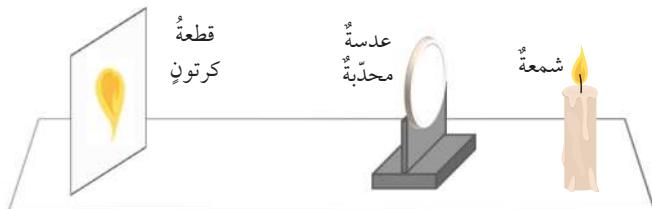
ب .  $\theta_c < \theta_1$  ،  $n_2 < n_1$

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

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

ج .  $\theta_c > \theta_1$  ،  $n_2 < n_1$

6. يبلغ معامل انكسار الماء نحو  $\frac{4}{3}$ . ماذا يحدث لشعاع ضوئي ينتقل من الهواء ( $n = 1$ ) إلى الماء؟
- تقل سرعته إلى  $(c \cdot \frac{3}{4})$ .
  - يزيد سرعته إلى  $(c \cdot \frac{4}{3})$ .
  - ينكسر بزاوية تساوي  $(\theta_1 - \frac{3}{4})$ .
  - ينكسر بزاوية تساوي  $(\theta_1 - \frac{4}{3})$ .



\* يمثل الشكل عمليّة تكون خيالٍ حقيقيٍّ مُكَبِّرٍ للهُب شمعةٍ موضوعةٍ أمام عدسةٍ محدبةٍ. مستعيناً بالشكل، أجب عن الفقرتين (8، 7) الآتتينِ:

7. موقع الشمعة بالنسبة إلى العدسة يكون:
- بين العدسة وبؤرتها.
  - على بُعد يساوي مثلي البُعد البؤري.
  - على بُعد أكبر من مثلي البُعد البؤري.
  - موقع الشمعة بالنسبة إلى العدسة يكون:
- قطعة الكرتون بعيداً عن العدسة.
  - قطعة الكرتون نحو العدسة.
  - العدسة نحو الشمعة.

8. الأخيالُ التي تكونُها العدسة المقعرة للأجسام الموضوعة أمامها تكون دائمًا:
- وهميةً ومتعدلةً ومُكَبِّرةً.
  - حقيقيةً ومقلوبةً ومُصغَّرةً.
  - وهميةً ومتعدلةً ومصغَّرةً.
  - حقيقيةً ومقلوبةً ومُكَبِّرةً.

9. أحد الأشكال الآتية يُبيّن المسار الصحيح لشعاع ضوئي بعد نفاذِه من العدسة:
4.

3.

2.

1.

10. أحد الأشكال الآتية يُبيّن المسار الصحيح لشعاع ضوئي بعد نفاذِه من العدسة:
- أ. الخيال

ب. العدسة

ج. قطعة الكرتون

د. العدسة نحو قطعة الكرتون.
11. أَسْتَخْدُمُ الْمُتَغَيِّرَاتِ: تتبع سامي مسار شعاع ضوئي سقطَ من الهواء على مكعبٍ مصنوعٍ من البلاستيك، فوجَدَ أنَّ زاوية السقوط  $(50^\circ)$  وزاوية الانكسار  $(21.7^\circ)$ . أَجِدُ:
- معامل انكسار المكعب.
  - الزاوية الحرجة للمادة المصنوع منها المكعب.

3. **أُفسِرُ:** تُصمَّمُ الأليافُ الضوئيَّةُ على أنْ تكونَ ضيقَةً جدًّا. آخذًا في الحسبان المسارات المختلفةَ التي يمكنُ أنْ يسلكُها الضوءُ في الأليافِ الضوئيَّة، فلماذا يجبُ ألا تكونَ الأليافُ الضوئيَّةُ واسعةً جدًّا؟

4. **أَحْسِبُ:** إذا كانتِ الزاويةُ الحرجةُ لقالبٍ من الزجاجِ تساوي  $(42^\circ)$ ، أَحسبُ الزاويةَ الحرجةَ للقالبِ إذا أُلقيَ في الماءِ، علمًاً أنَّ معاملَ انكسارِ الماءِ  $(1.33)$ .

| زاوية الانكسار | زاوية السقوط |
|----------------|--------------|
| $7.5^\circ$    | $10^\circ$   |
| $14.3^\circ$   | $20^\circ$   |
| $21.4^\circ$   | $30^\circ$   |
| $28.4^\circ$   | $40^\circ$   |
| $34.0^\circ$   | $50^\circ$   |
| $40.0^\circ$   | $60^\circ$   |

5. **التفكير الإبداعيُّ:** أجرتْ سلمى وآيةً استقصاءً لتحديدِ نوعِ سائلٍ غيرٍ معروفٍ، فقامتا بتسليطِ شعاعٍ ضوئيٍّ على سطحِ السائلِ بزاويةٍ معينةٍ وقياسِ زاويةِ الانكسارِ. وقد كررَتا هذهِ العمليةَ بتغييرِ زاويةِ السقوطِ، وتسجِّلِ نتائجهما في الجدولِ المجاورِ.

ب . أَكْتُبْ قائمةً بالأدواتِ جميعها التي استُخدِمتْ.

أ . أَكْتُبْ هدفًا لهذا الاستقصاءِ.

د . أُحدِّدُ الأخطاءَ المحتملةَ في التجربةِ.

ج. أُحدِّدُ نوعَ السائلِ.

6. **أَحْلَلُ:** وضعَ جسمٍ طولُه  $(15\text{ cm})$  أمامَ عدسةٍ فتكوِّنُ لهُ خيالٌ مقلوبٌ طولُه  $(5\text{ cm})$ . أُجِيبُ عَمَّا يَأْتِي:

أ . ما نوعُ العدسةِ الموضوعِ أمامَها الجسمُ؟

ب . هلُّ الخيالُ المتكوِّنُ حقيقيًّا أمَّ وهميًّا؟ أذكرُ السببَ.

ج. إذا قرَبَ الجسمُ من العدسةِ، فما زا يحدُثُ لطولِ الخيالِ؟

7. **أَسْتَنْجُ:** في الشكلِ المجاورِ، ينظرُ شخصٌ مصابٌ بأحدِ عيوبِ الإبصارِ إلى مكعبينِ، أحدهما قريبٌ (A) والآخرُ بعيدٌ (B). فما نوعُ العيوبِ البصريِّ الذي أُصِيبَ بهُ الشخصُ؟ وكيفَ يمكنُ علاجه؟



8. **أَحْلَلُ:** 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 العيوبِ البصريِّ الذي يعانيهُ الشخصُ؟

9. **أُقارِنُ بِالرَّسْمِ** بينَ الخيالِ الوهميِّ المتكوِّنِ في كُلِّ منَ العدسةِ المحدبةِ والعدسةِ المقعرةِ، مبيِّنًا ما يحدُثُ للخيالِ عندَ تقرِيبِ الجسمِ منَ العدسةِ في الحالتينِ.

## مسرُدُ المصطلحاتِ

- **الأنظمة الهيدروليكيّة (Hydraulic System):** أنظمةٌ تعتمدُ في عملِها على استخدامِ السوائلِ المحصورَة لنقلِ الحركة، عن طريقِ تعريضِ السائلِ إلى ضغطٍ خارجيٍّ فينتقلُ هذا الضغطُ إلى أجزاءِ السائلِ جميعِها..
- **انكسارُ الضوءِ (Refraction of light):** ظاهرةٌ تغييرُ مسارِ الضوءِ عندَ انتقالِه بينَ وسطينِ شفافينِ مختلفينِ.
- **الانعكاسُ الكليُّ الداخليُّ (Total Internal Reflection):** العمليةُ التي تتعكسُ فيها الأشعةُ الضوئيةُ كليًّا في الوسطِ الذي سقطَتْ فيه.
- **الأليافُ الضوئيةُ (Optical Fibers):** أنابيبٌ رفيعةٌ وشفافةٌ، تُصنَعُ عادةً من الزجاجِ أو البلاستيكِ، وتُستخدمُ لنقلِ الضوءِ.
- **الباروميترُ الزئبيُّ (Mercury Barometer):** جهازٌ يتكونُ من أنبوبٍ يحتوي على زئبقيٍّ يوضعُ مقلوبًا في وعاءٍ مملوءٍ بالزئبقيِّ، بحيثُ لا يُسمحُ بتسربِ الهواءِ إلى الأنبوبِ.
- **بؤرةُ حقيقيةٌ (Real Focus):** نقطةُ التقائهِ الأشعةُ الضوئيةُ المنكسرةُ عن العدسةِ المحدبةِ عندما تسقطُ موازيةً للمحورِ الرئيسيِّ.
- **بؤرةُ وهميَّةٌ (Virtual Focus):** نقطةُ التقائهِ امتداداتِ الأشعةُ الضوئيةُ المنكسرةُ عن العدسةِ المقعرةِ عندما تسقطُ موازيةً للمحورِ الرئيسيِّ.
- **البعدُ البؤريُّ (Focal Length):** المسافةُ بينَ البؤرةِ والمركزِ البصريِّ للعدسةِ.
- **الزاويةُ الحرجةُ (Critical Angle):** زاويةُ سقوطِ الشعاعِ الضوئيِّ في وسِطِ شفافٍ تقابلُها زاويةٌ انكسارٍ مقدارُها  $(90^\circ)$  في وسِطِ شفافٍ آخرَ ملمسٍ للأولِ.
- **السَّرَابُ (Mirage):** خداعٌ بصريٌّ يراهُ مراقبٌ نتيجةً الانكساراتِ المتتاليةِ للضوءِ في طبقاتِ الهواءِ القريبةِ من سطحِ الأرضِ.

- **الشعاع المعياري (Standard Ray):** هو الشعاع الذي يسقط على عدسة ونعرف مساره كله، ويُستخدم لتحديد موقع وصفات الخيال المتكوّن لجسم في العدسة.
- **الضغط (Pressure):** قوّة عموديّة تؤثّر في وحدة المساحة، ويُقاس بوحدة ( $N/m^2$ ) التي تُعرف بالباسكال.
- **الضغط الجوي (Atmospheric Pressure):** وزن عمود الهواء المؤثّر في وحدة المساحة عند منطقة ما على سطح الأرض.
- **طول النظر (Hyperopia):** أحد عيوب الإبصار التي تصيب العين البشرية، وينتُج عنه تكونُ أختيَّة للأجسام القريبة من العين خلف الشبكيَّة.
- **العدسة (Lens):** قطعة بصرية تتكون من وسط شفاف يحدُّ سطحان منحنيان، أو أحدهما مستوٰ والأخر منحنٍ.
- **قوس المطر (Rainbow):** حلقة دائريّة من ألوان الطيف المرئي تتكون عند مرور ضوء الشمس عبر قطرات الماء المعلقة في الهواء في فصل الشتاء، يظهر منها قوسٌ فقط لمشاهدٍ على سطح الأرض يقف متوجّهاً لجهة معاكسٍ للشمس.
- **قصر النظر (Myopia):** أحد عيوب الإبصار التي تصيب العين البشرية، وينتُج عنه تكونُ أختيَّة للأجسام بعيدة عن العين أمام الشبكيَّة.
- **الموائع (Fluids):** المواد التي لها القدرة على الانسياب، وتغيير شكلها وتشمل السوائل والغازات.
- **المانوميتر (Manometer):** أنبوب مفتوح من الطرفين على شكل حرف U، يحتوي على سائل مثل الزئبق أو الماء. و يُستخدم لقياس ضغط الغازات والسوائل المحصورة.
- **معامل الانكسار للوسط الشفاف (Refractive index):** النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ (c) إلى سرعته في الوسط الشفاف (v).

## قائمة المراجع (References)

1. Malcom Bradley and Susan Gardner, **Cambridge Igcse Physics**, Harper Collins Publishers Limited 2014.
2. Michael Smyth, Lynn Pharaoh, Richard Grimmer, Chris Bishop and Carol Davenport, **Cambridge International AS& A Level Physics**, Harper Collins Publishers Limited 2020.
3. Avijit Lahiri, **BASIC PHYSICS: PRINCIPLES AND CONCEPTS**, Avijit Lahiri, 2018
4. David Halliday, Robert Resnick , Jearl Walker, Fundamentals of Physics, Wiley; 11 edition 2018.
5. Douglas C. Giancoli, Physics: **Principles with Applications**, Addison Wesley, 6th edition, 2009.
6. Gurinder Chadha, **A Level Physics a for OCR**, A Level Physics a for OCR, 2015.
7. Hugh D. Young , Roger A. Freedman, **University Physics with Modern Physics**, Pearson; 14 edition (February 24, 2015)
8. Paul A. Tipler, Gene Mosca, **Physics for Scientists and Engineers**, W. H. Freeman; 6th edition, 2007.
9. Paul G. Hewitt, **Conceptual Physics**, Pearson; 14th edition, 2015.
10. R. Shankar, **Fundamentals of Physics I: Mechanics, Relativity, and Thermodynamics**, Yale University Press; Expanded Edition, 2019.
11. Raymond A. Serway , John W. Jewett, **Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics**, Cengage Learning; 009 edition, 2015.

12. Raymond A. Serway, Chris Vuille, **College Physics**, Cengage Learning; 11 edition, 2017.
13. Roger Muncaster, **A Level Physics**, Oxford University Press; 4th edition, 2014.
14. Steve Adams, **Advanced Physics**, Oxford University Press, USA; 2nd UK ed. Edition, 2013.

جدول الاقترانات المثلثية

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

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