المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

الفيزياء 1-3

التعليم الثانوي - نظام المسارات

السنة الثالثة

قام بالتأليف والمراجعة

فريق من المتخصصين

طبعة 1447-2025

يُوزع مجّاناً ولا يُباع

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ⓒ المركز الوطني للمناهج ، ١٤٤٦هـ

المركز الوطني للمناهج
الفيزياء ٣-١ - التعليم الثانوي - السنة الثالثة - نظام المسارات.
المركز الوطني للمناهج.- الرياض ، ١٤٤٦هـ
٣١٥ ص؛ ٢٧.٥ x ٢١ سم

رقم الإيداع : ١٤٤٦/١٦٤٩٠

ردمك : ٤ - ٠٢ - ٨٥٣٣ - ٦٠٣ - ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:

يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات حية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فورا.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فورا.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف ولا تلبسَ الملابس الفضفاضة (للطّالبات). اتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفاة الحريق إن وجدت.

سلامة العين
يجب دائماً ارتداء نظارة واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط اشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارة الواقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (2030) وهو: «إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية»، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

ويأتي كتاب الفيزياء 3 للتعليم الثانوي (نظام المسارات) داعماً لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم «عبر ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة»، بحيث يكون الطالب فيهما هو محور العملية التعليمية التعلمية.

والفيزياء فرع من العلوم الطبيعية يهتم بدراسة الظواهر الطبيعية واستنباط النظريات وصياغة القوانين الرياضية التي تحكم المادة والطاقة والفراغ والزمن، ويحاول تفسير وإيجاد علاقات لما يدور في الكون من خلال دراسة تركيب المادة ومكوناتها الأساسية، والقوى بين الجسيمات والأجسام المادية، ونتائج هذه القوى، إضافة إلى دراسة الطاقة والشحنة والكتلة. لذا يهتم علم الفيزياء بدراسة الجسيمات تحت الذرية مرورًا بسلوك المواد في العالم الكلاسيكي إلى حركة النجوم والمجرات.

وقد تم بناء محتوى الكتاب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وبما يعزز مبدأ رؤية (2030) «نتعلم لنعمل»، وقد جاء تنظيم المحتوى بأسلوب شائق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم، من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة، المبني والموجه والمفتوح. فقبل البدء في دراسة محتوى كل فصل من فصول الكتاب، يطلع الطالب على الأهداف العامة للفصل التي تقدم صورة شاملة عن محتواه، وكذلك الاطلاع على أهمية الفصل من خلال عرض ظاهرة أو تقنية ترتبط بمحتوى الفصل، إضافة إلى وجود سؤال فكِّر الذي يحفز الطالب على دراسة الفصل. ثم ينفِّذ أحد أشكال الاستقصاء المبني تحت عنوان «تجربة استهلالية» والتي تساعد أيضًا على تكوين نظرة شاملة عن محتوى الفصل. وتتيح التجربة الاستهلالية في نهايتها ممارسة شكل آخر من أشكال الاستقصاء الموجه من خلال سؤال الاستقصاء المطروح. وهناك أشكال أخرى من النشاطات الاستقصائية التي يمكن تنفيذها في أثناء دراسة المحتوى، ومنها التجربة العملية، ومختبر الفيزياء الذي يرد في نهاية كل فصل، ويتضمن استقصاءً مفتوحًا في نهايته.

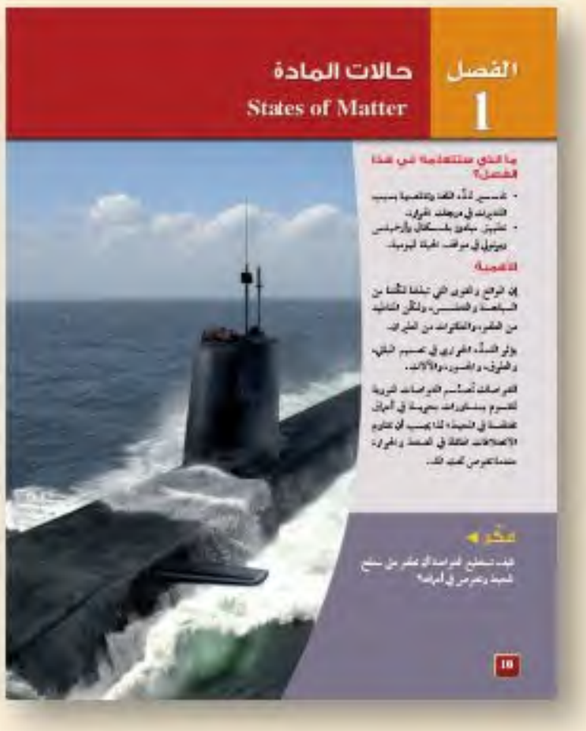
يبدأ محتوى الدراسة في كل قسم بعرض الأهداف الخاصة والمفردات الجديدة التي سيتعلمها الطالب. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى منها الروابط الرقمية بمنصة عين الإثرائية التعليمية، ومنها ربط المحتوى مع واقع الحياة من خلال تطبيق الفيزياء، والربط مع العلوم الأخرى، والربط مع محاور رؤية (2030) وأهدافها الاستراتيجية. وستجد شرحًا وتفسيرًا للمفردات الجديدة التي تظهر باللون الأسود الغامق والمظللة بالأصفر، وأمثلة محلولة يليها مسائل تدريبية تعمق معرفة الطالب بمحتوى المقرر واستيعاب المفاهيم والمبادئ العلمية الواردة فيه. كما ستجد أيضًا في كل فصل مسألة تحفيز تطبق فيها ما تعلمته في حالات جديدة. ويتضمن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في التقويم بمراحله وأغراضه المختلفة: القبلي، والتشخيصي، والتكويني (البنائي)، والختامي (التجميعي)؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية في كل فصل والأسئلة المطروحة في التجربة الاستهلالية بوصفها تقويمًا قبليًّا تشخيصيًّا لاستكشاف ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد تقويمًا خاصًّا بكل قسم من أقسام الفصل يتضمن أفكار المحتوى وأسئلة تساعد على تلمّس جوانب التعلم وتعزيزه، وما قد يرغب الطالب في تعلمه في الأقسام اللاحقة. وفي نهاية كل فصل يأتي دليل مراجعة الفصل متضمنًا تذكيرًا بالمفاهيم الرئيسة والمفردات الخاصة بكل قسم. يلي ذلك تقويم الفصل الذي يشمل أسئلة وفقرات متنوعة تهدف إلى تقويم تعلم الطالب في مجالات عدة، هي: إتقان المفاهيم، وحل المسائل، والتفكير الناقد، والمراجعة العامة، والمراجعة التراكمية، ومهارات الكتابة في الفيزياء. وفي نهاية كل فصل يجد الطالب اختبارًا مقننًا يهدف إلى تدريبه على حل المسائل وإعداده للتقدم للاختبارات الوطنية والدولية، إضافة إلى تقويم فهمه لموضوعات كان قد درسها من قبل.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

قائمة المحتويات

الفصل 1



حالات المادة 10

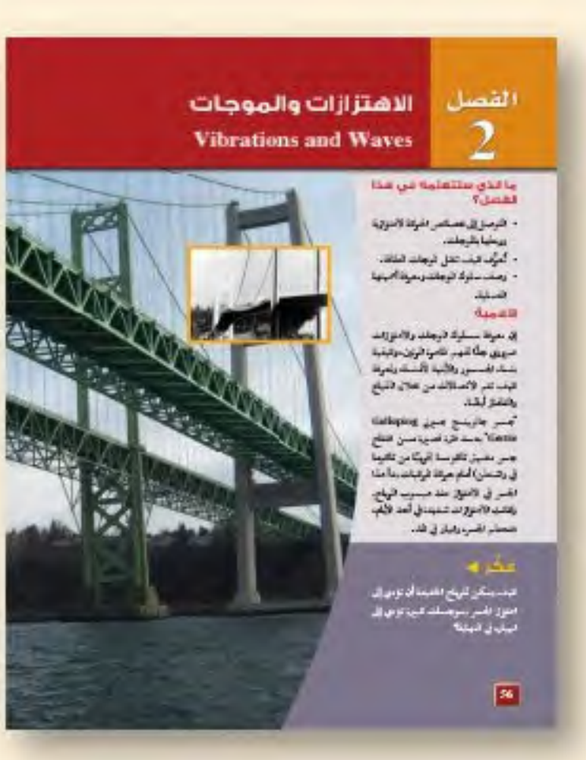
1-1 خصائص الموائع 11

1-2 القوى داخل السوائل 22

1-3 الموائع الساكنة والموائع المتحركة 26

1-4 المواد الصلبة 36

الفصل 2



الاهتزازات والموجات 56

2-1 الحركة الدورية 57

2-2 خصائص الموجات 63

2-3 سلوك الموجات 69

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قائمة المحتويات

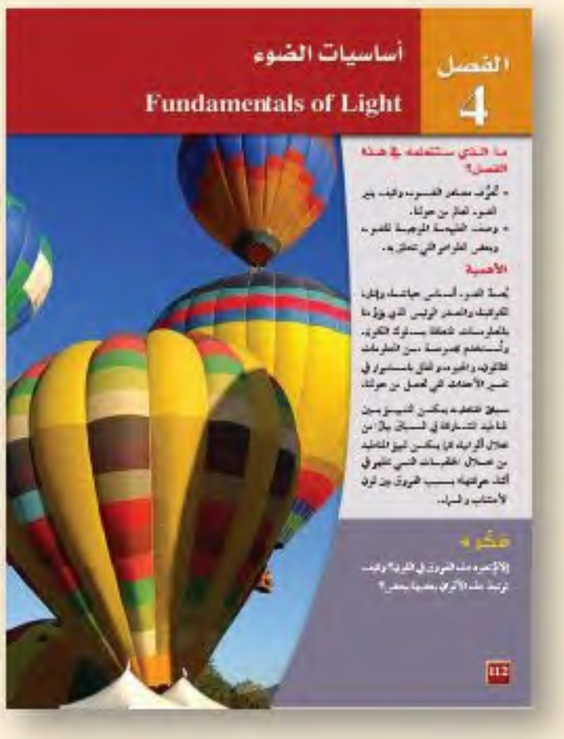
الفصل 3

الصوت 84

3-1 خصائص الصوت والكشف عنه 85

3-2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار 93

الفصل 4



أساسيات الضوء 112

4-1 الاستضاءة 113

4-2 الطبيعة الموجية للضوء 122

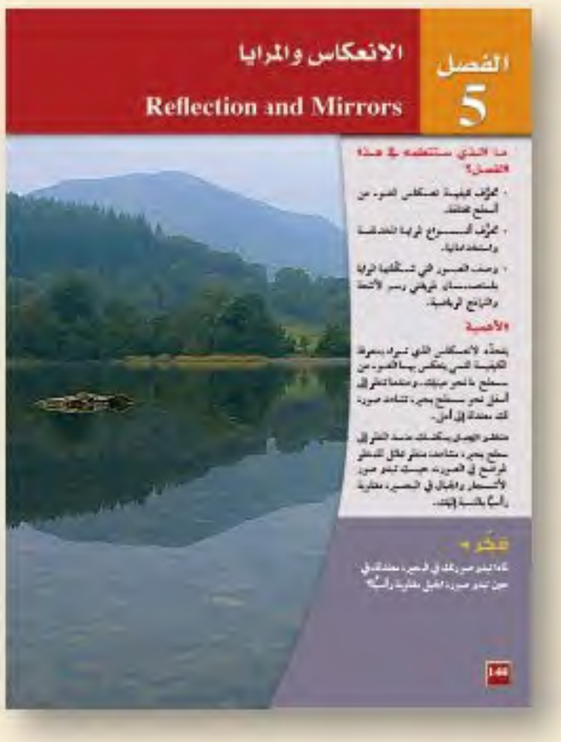
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5

الانعكاس والمرايا 144

5-1 الانعكاس عن المرايا المستوية 145

5-2 المرايا الكروية 152



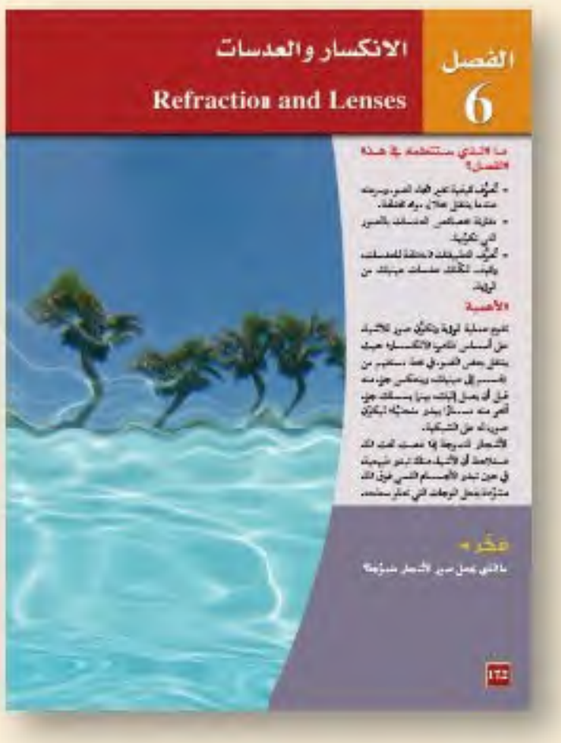
الفصل 6

الانكسار والعدسات 172

6-1 انكسار الضوء 173

6-2 العدسات المحدبة والمقعرة 182

6-3 تطبيقات العدسات 190



الفصل 7

التداخل والحيود 204

7-1 التداخل 205

7-2 الحيود 215

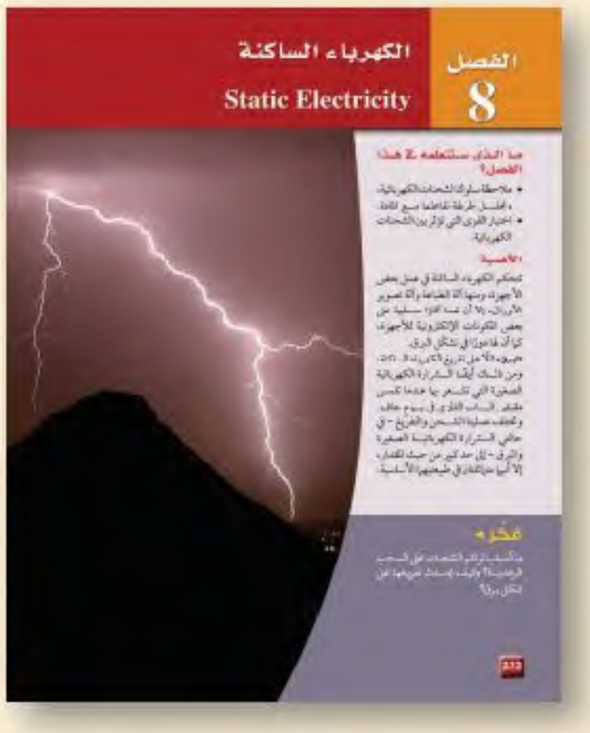
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 8

الكهرباء الساكنة 232

8-1 الشـــحنة الكهربائية 233

8-2 القوة الكهربائيـــة 239



الفصل 9

المجالات الكهربائية 260

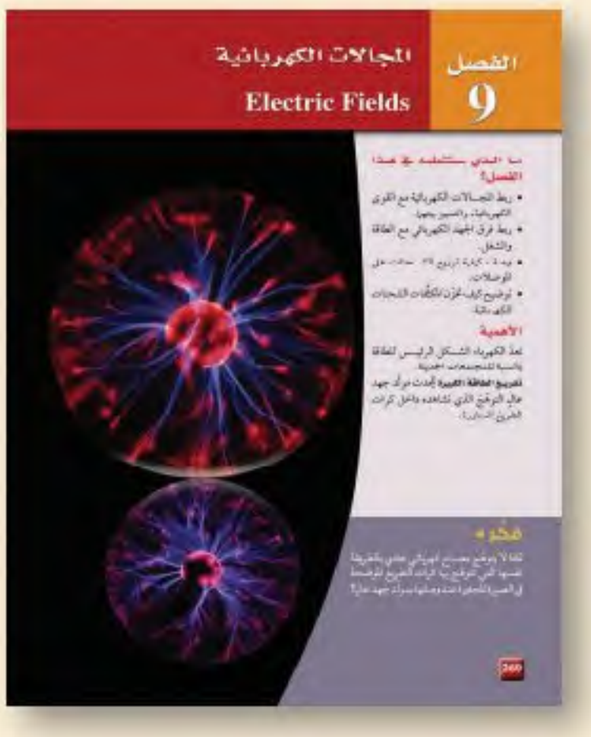
9-1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها 261

9-2 تطبيقات المجالات الكهربائية 269

دليل الرياضيات 297

الجداول 298

المصطلحات 302



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 1

حالات المادة
States of Matter

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تفسير تمدّد المادة وتقلصها بسبب التغيرات في درجات الحرارة.
- تطبيق مبادئ باسكال وأرخميدس وبرنولي في مواقف الحياة اليومية.

الأهمية

إن الموائع والقوى التي تبذلها تمكّننا من السباحة والغطس، وتمكّن المناطيد من الطفو، والطائرات من الطيران.

يؤثر التمدّد الحراري في تصميم المباني، والطرق، والجسور، والآلات.

الغواصات تُصمّم الغواصات النووية لتقوم بمناورات بحرية في أعماق مختلفة في المحيط؛ لذا يجب أن تقاوم الاختلافات الهائلة في الضغط والحرارة عندما تغوص تحت الماء.

فكّر ◄

كيف تستطيع الغواصة أن تطفو على سطح المحيط وتغوص في أعماقه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

هل تطفو أم تغطس؟

سؤال التجربة كيف تقيس طفو الأجسام؟

الخطوات

1. أحضر عبوة صغيرة (مرفقة بغطاء أو سدادة) ومخبار مدرج 500 ml، وصل شريطًا مطاطيًّا بالعبوة؛ لتعليقها بميزان نابضي.
2. استخدم الميزان النابضي لإيجاد وزن العبوة، ثم استخدم الأسطوانة المدرجة لإيجاد حجم الماء الذي أزيح عن طريق العبوة المغلقة عندما طفت. وسجّل كلتا القراءتين؛ وامسح أي سائل مسكوب.
3. ضع قطعة نيكل في العبوة ثم أغلقها جيدًا. كرّر الخطوة الثانية، ثم سجل وزن العبوة وقطعة النيكل، وحجم الماء المزاح. وسجل أيضًا هل طفت العبوة أم غطست.
4. كرّر الخطوتين 2 و 3، وأضف في كل مرة قطعة نيكل حتى تغطس العبوة، وعندما تغطس استخدم الميزان النابضي لإيجاد الوزن الظاهري لها. تأكد أن العبوة لا تلامس الأسطوانة المدرجة عندما تكون تحت سطح الماء.

التحليل

استخدم المعلومات التي دوّنتها في حساب كثافة نظام العبوة – قطعة النيكل، ثم احسب كتلة الماء المزاح عن طريق النظام في كل مرة. كيف ترتبط الكثافة بالطفو؟

التفكير الناقد كيف ترتبط كتلة نظام العبوة – قطعة النيكل مع كتلة الماء المزاح عن طريق النظام؟ وهل تستمرّ هذه العلاقة بغض النظر عن طفو النظام؟

1–1 خصائص الموائع Properties of Fluids

الماء والهواء من أكثر الموادّ شيوعًا في حياة الإنسان اليومية، ونشعر بتأثيرهما عندما نشرب، وعندما نستحم، ومع كل هواء نستنشقه.

في ضوء خبراتك اليومية، قد لا يبدو أن هناك خصائص مشتركة بين الماء والهواء، أما إذا فكّرت في طريقة أخرى فسوف تدرك أن لهما خصائص مشتركة؛ فكل من الماء والهواء يتدفقان وليس لأي منهما شكل محدد، على عكس الموادّ الصلبة. ولذرات المادة وجزيئاتها الغازية والسائلة حرية كبيرة لتتحرك.

سوف تستكشف في هذا الفصل حالات المادة، مبتدئًا بالغازات والسوائل، وتتعلم المفاهيم التي توضح كيف تستجيب المادة لتغيرات الحرارة والضغط، وكيف تستطيع الأنظمة الهيدروليكية مضاعفة القوى، وكيف تستطيع السفن المعدنية الضخمة الطفو على سطح الماء. وستتعرّف أيضًا خصائص الموادّ الصلبة، مكتشفًا كيف تتمدّد وتتقلص، ولماذا تكون بعض المواد الصلبة مرنة، ويكون بعضها كأنه في حالة بين الصلابة والسيولة.

الأهداف

- **تصف** كيف تُحدث الموائع الضغط.
- **تحسب** ضغط الغاز وحجمه وعدد مولاته.
- **تقارن** بين الغازات والبلازما.

المفردات

الموائع
الضغط
باسكال
القانون العام للغازات
قانون الغاز المثالي
التمدد الحراري
البلازما

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الضغط Pressure

■ **الشكل 1–1** مكعبات الجليد الصلبة لها شكل محدّد، في حين يأخذ الماء السائل (مائع) شكل الإناء الذي يحتويه. ما المائع الذي يملأ الفراغ فوق الماء؟

افترض أنك وضعت مكعبًا من الجليد في كوب فارغ ستلاحظ أن معكب الجليد له كتلة معينة وشكل محددٌ، ولا تعتمد هاتان الكميتان على حجم الكوب أو شكله. لكن ماذا يحدث عندما ينصهر مكعب الجليد؟ تبقى كتلته كما هي، ولكن شكله يتغير، ويتدفق الماء ليأخذ شكل الإناء الذي يحتويه، بحيث يتخذ السطح العلوي شكلاً محددًا ومستويًا، كما في **الشكل 1–1**. من جهة أخرى، إذا غليت الماء، فسوف يتحول إلى الحالة الغازية في صورة بخار ماء، وينتشر ليملأ الغرفة ولن يكون له سطح محدّد. وتشترك كل من السوائل والغازات في كونها **موائع**؛ حيث إنها موادّ تتدفق، وليس لها شكل محدد.

سنوجه اهتمامنا في الوقت الحالي لدراسة الموائع المثالية، التي يمكن التعامل معها على اعتبار أن جزيئاتها لا تشغل حيزًا ، وليس لها قوى تجاذب تربطها بعضها مع بعض.

الضغط في الموائع لقد طبقت قانون حفظ الطاقة على الأجسام الصلبة، فهل يمكن تطبيق هذا القانون على الموائع؟ يمكن أن نعرّف كلًّا من الشغل والطاقة باستخدام مفهوم **الضغط**، الذي يمثل القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح. ولأن الضغط قوة تؤثر في السطح فإن أي شيء يولد ضغطًا لابد أن يكون قادرًا على إحداث تغيير وإنجاز شغل.

$$\text{الضغط} \qquad P = \frac{F}{A}$$

الضغط يساوي القوة مقسومة على مساحة السطح.

ويعد الضغط P كمية قياسية (غير متجهة)، ويقاس الضغط وفقًا للنظام العالمي للمقاييس SI بوحدة **باسكال** (Pa) وهي تعادل $1\ N/m^2$. ولأن الباسكال وحدة صغيرة فإن الكيلو باسكال (kPa) الذي يُساوي 1000 Pa أكثر استخدامًا وشيوعًا.

ويُفترض عادة أن القوة F المؤثرة في سطح ما عمودية على مساحة ذلك السطح A، ما لم تتم الإشارة إلى غير ذلك. ويوضح **الشكل 2–1** العلاقات بين القوة، والمساحة والضغط، حيث يؤدي الضغط الناتج عن وزن المركبة الفضائية إلى إحداث حفرة صغيرة في سطح القمر، أما الضغط الناتج عن وزن رائد الفضاء، فيكون قليلاً جدًّا. ويوضح **الجدول 1–1** كيف يتغير الضغط في حالات مختلفة.

■ **الشكل 2–1** إن رائد الفضاء ومركبته يولدان ضغطًا على سطح القمر. إذا كانت كتلة المركبة 7300 kg تقريبًا، وتستقر على أربعة أقدام قطر كل منها 91 cm، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به على سطح القمر؟ وكيف تستطيع أن تقدر الضغط الذي يؤثر به رائد الفضاء.

المواد الصلبة والسوائل والضغط تخيل أنك تقف على سطح بحيرة متجمدة، إن القوى التى تؤثر بها قدماك في الجليد تتوزع على مساحة حذائك مولّدة ضغطًا على الجليد. إن الجليد مادة صلبة تتكون من جزيئات الماء المتذبذبة، والقوى التي تحافظ على جزيئات الماء في مكانها تجعل الجليد يؤثر بقوى رأسية في قدميك إلى أعلى تساوي وزنك، أما إذا انصهر الجليد فإن معظم الروابط بين جزيئات الماء تصبح ضعيفة. وعلى الرغم من أن الجزيئات ستستمر في التذبذب وتبقى قريبة كل منها من الأخرى، إلا أنها

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ســتصبح قادرة على الانزلاق بعضها فوق بعض، وتبعًا لذلك ستكون قادرًا على اختراق ســطح الماء. من جهة أخرى، ستستمر جزيئات الماء المتحركة في التأثير بقوى في جسمك.

جزيئات الغاز والضغط إن الضغط الذي تؤثر به الغازات يمكن فهمه بتطبيق نظرية الحركة الجزيئية للغازات التي توضح خصائص الغــاز المثالي. وعلى الرغم من أن جزيئات الغاز الحقيقــي تحتل حيزًا من الفراغ، ولها قوة تجاذب جزيئية، إلا أن الغاز المثالي (غير الحقيقي) عبارة عن نموذج جيد للغاز الحقيقي تحــت معظم الظروف، بحيث يمكن تطبيق قوانينه على الغازات الحقيقية، وتكون النتائج عالية الدقة.

بناءً على نظرية الحركة الجزيئية فإن جزيئات الغاز تتحرك عشوائيًّا وبسرعة عالية، وتخضع لتصادمات مرنة بعضها ببعض. وعندما يرتطم جزيء الغاز بســطح الإناء فإنه يرتد مغيرًا زخمه الخطي، أي أنه ينتج دفعًا، ويتولد ضغط للغاز عند السطح بفعل الدفع الذي تؤثر به التصادمات العديدة للجزيئات.

الضغـط الجوي في كل ســنتمتر مربع من ســطح الأرض يؤثر غــاز الغلاف الجوي بقوة مقدارها 10 N تقريبًا عند مســتوى ســطح البحر. وتعادل هذه القوة وزن جسم كتلته 1 kg. إن ضغط الغلاف الجوي على الجســم يتعادل بصورة جيدة مع قوى الجســم المتجهة إلى الخــارج، والتي نادرًا ما نلاحظها. ويثير هذا الضغط اهتمامنــا فقط عندما تؤلمنا آذاننا نتيجة تغيرات الضغط. فعندما نصعد مبنى شاهق الارتفاع بالمصعد مثلاً، أو عندما ننتقل بالطائرة فإننا نشعر بذلك. إن الضغط الجوي يساوي 10 N لكــــل cm^2، والذي يساوي $1.0\times 10^5\ N/m^2$ أو 100 kPa تقريبًا.

هناك كواكب أخرى في المجموعة الشمسية لها أيضًا غلاف غازي، ويتباين الضغط الناتج عن أغلفتها الغازية كثيرًا، فمثلاً الضغط الجوي على سطح كوكب الزهرة أكبر من الضغط الجوي على ســطــح الأرض 92 مرة تقريبًا، في حين أن الضغط الجوي على سطح المريخ أقــل مما على سطح الأرض بـ 1% .

الجدول 1–1

بعض قيم الضغط النموذجية

الموقع	الضغط (Pa)
مركز الشمس	2.44×10^{16}
مركز الأرض	4×10^{11}
أخدود المحيط الأكثر عمقًا	1.1×10^{8}
الضغط الجوي المعياري	1.01325×10^{5}
ضغط الدم	1.6×10^{4}
ضغط الهواء على قمة إفرست	3×10^{4}

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 1

حساب الضغط يجلس طفل وزنه 364 N على كرسي ثلاثي الأرجل يزن 41 N، بحيث تلامس قواعد الأرجل سطح الأرض على مساحة مقدارها $19.3\ cm^2$.

a. ما متوسط الضغط الذي يؤثر به الطفل والكرسي في سطح الأرض؟

b. كيف يتغير الضغط عندما يميل الطفل وتلامس رجلان فقط من أرجل الكرسيِّ الأرضَ؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الطفل والكرسي، وعيّن القوة الكلية التي يؤثران بها في سطح الأرض.
- حدد المتغيرات، متضمنة القوة التي يؤثر بها الطفل والكرسي في سطح الأرض والمساحة المرتبطة بكل من الحالة A حيث الارتكاز على ثلاث أرجل، والحالة B حيث الارتكاز على رجلين.

المجهول	المعلوم	
$P_A = ?$	$F_{g\ \text{الطفل}} = 364\ N$	$A_A = 19.3\ cm^2$
$P_B = ?$	$F_{g\ \text{الكرسي}} = 41\ N$	$A_B = \frac{2}{3} \times 19.3\ cm^2$
	$F_{g\ \text{الكلية}} = F_{g\ \text{الطفل}} + F_{g\ \text{الكرسي}}$	$= 12.9\ cm^2$
	$= 364\ N + 41\ N$	
	$= 405\ N$	

دليل الرياضيات

حسابات الوحدات

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد قيمة كل ضغط باستخدام العلاقة: $P = \frac{F}{A}$

a. عوّض مستخدمًا $F = F_{g\ \text{الكلية}} = 405\ N$، $A = A_A = 19.3\ cm^2$

$$P_A = \left(\frac{405\ N}{19.3\ cm^2}\right)\frac{(100\ cm)^2}{(1m)^2}$$
$$= 2.1 \times 10^2\ kPa$$

b. عوّض مستخدمًا $F = F_{g\ \text{الكلية}} = 405\ N$، $A = A_B = 12.9\ cm^2$

$$P_B = \left(\frac{405\ N}{12.9\ cm^2}\right)\frac{(100\ cm)^2}{(1m)^2}$$
$$= 3.14 \times 10^2\ kPa$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يجب أن تكون وحدات الضغط هي الباسكال Pa أو $1\ N/m^2 = 1\ Pa$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

1. إذا كان الضغط الجوي عند مستوى سطح البحر يساوي 1.0×10^5 Pa تقريبًا، فما مقدار القوة التي يؤثر بها الهواء عند مستوى سطح البحر في سطح مكتب طوله 152 cm وعرضه 76 cm؟
2. يلامس إطار سيارة سطح الأرض بمساحة مستطيلة عرضها 12 cm وطولها 18 cm، فإذا كانت كتلة السيارة 925 kg، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به السيارة في سطح الأرض إذا استقرت ساكنة على إطاراتها الأربعة؟
3. كتلة من الرصاص أبعادها $20.0\ \text{cm} \times 10.0\ \text{cm} \times 5.0\ \text{cm}$ تستقر على الأرض على أصغر وجه، فإذا علمت أن كثافة الرصاص $11.8\ \text{g/cm}^3$، فما مقدار الضغط الذي تؤثر به كتلة الرصاص في سطح الأرض؟
4. يمكن أن يصبح الضغط في أثناء الإعصار أقل 15% من الضغط الجوي المعياري، افترض أن الإعصار حدث خارج باب طوله 195 cm وعرضه 91 cm، فما مقدار القوة المحصلة التي تؤثر في الباب نتيجة هبوطٍ مقدارُه 15 % من الضغط الجوي المعياري؟ وفي أي اتجاه تؤثر القوة؟
5. يلجأ المهندسون في المباني الصناعية إلى وضع المعدات والآلات الثقيلة على ألواح فولاذية عريضة، بحيث يتوزع وزن هذه الآلات على مساحات أكبر. فإذا خطط مهندس لتركيب جهاز كتلته 454 kg على أرضية صُمِّمت لتتحمل ضغطًا إضافيًا مقداره 5.0×10^4 Pa، فما مساحة صفيحة الفولاذ الداعمة؟

قوانين الغاز The Gas Laws

عندما بدأ العلماء دراسة الغازات والضغط لاحظوا وجود بعض العلاقات المثيرة للاهتمام، وكانت أول علاقة يتم اكتشافها هي قانون بويل، نسبة للكيميائي والفيزيائي روبرت بويل، أحد أشهر علماء القرن السابع عشر. ينص قانون بويل على أن حجم عينة محددة من الغاز يتناسب عكسيًّا مع الضغط المؤثر عليه عند ثبوت درجة الحرارة، ولأن حاصل ضرب المتغيرات المتناسبة عكسيًّا ثابت، فيمكن كتابة قانون بويل على النحو الآتي:

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad \text{أو} \quad PV = \text{ثابت}$$

إن الرموز السفلية التي تلاحظها في قانون الغاز تساعدك على تحديد مسار المتغيرات المختلفة- ومنها الضغط والحجم- عندما تتغير في المسألة. ويمكن إعادة ترتيب هذه المتغيرات لحل المسألة بالنسبة لضغط أو حجم مجهول. وكما يتضح من **الشكل 3–1**، فإن هناك علاقة بين ضغط الغاز وحجمه تتمثل في حجم الفقاعات الخارجة من المنظّم، حيث يزداد حجم هذه الفقاعات في أثناء ارتفاعها في الماء؛ بسبب نقصان الضغط المؤثر فيها من الماء، مما قد يؤدي إلى انفجار كثير منها في أثناء ارتفاعها.

تم اكتشاف العلاقة الثانية بعد 100 سنة تقريبًا من اكتشاف بويل على يد العالم جاك شارلز Jacques C*h*arles. لاحظ العالم شارلز في أثناء تبريده للغاز أن حجمه يتقلص بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلي عند انخفاض درجة حرارته بمقدار درجة كلفن واحدة، أي أن العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته علاقة خطية. أراد العالم شارلز أن يعرف ما إذا كانت

الشكل 3–1 يكون الغاز ذا ضغط مرتفع في الأسطوانة المحمولة على ظهر الغوّاص؛ ويقوم منظّم بتخفيض هذا الضغط ليتساوى ضغط الغاز الذي يستنشقه الغوّاص مع ضغط الماء. وتستطيع أن ترى في الصورة، الفقاقيع الخارجة من المنظم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

هناك حدود دنيا لانخفاض درجات الحرارة، لكنه لم يستطع تبريد الغاز إلى درجات حرارة منخفضة جدًّا كما يحصل في المختبرات الحديثة الآن، ولذلك قام بمد المنحنى البياني لبياناته عند درجات الحرارة المنخفضة تلك، فتبين له من ذلك أنه إذا انخفضت درجة الحرارة إلى $-273\ ^\circ C$ فإن حجم الغاز يصبح صفرًا. وسميت درجة الحرارة التي يصبح عندها حجم الغاز يساوي صفرًا بالصفر المطلق، والتي تمثل الآن الصفر بمقياس كلفن الحراري.

تشـــير التجارب إلى أنه عند ثبـــوت الضغط فإن حجم عينة الغاز يتغـــيّر طرديًّا مع درجة حرارتها، وتسمى هذه النتيجة بقانون شارلز، ويمكن صياغة قانون شارلز على النحو الآتي:

$$\frac{V}{T} = \text{ثابت} \quad \text{أو} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

إن دمج كل من قانوني بويل وشارلز يربط بين الضغط، والحرارة، والحجم لكمية معينة من الغاز المثالي، والتي تقود إلى معادلة تسمى **القانون العام للغازات**.

القانون العام للغازات $\quad \frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \text{ثابت}$

لكمية معينة من الغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه مقســـومًا على درجة حرارته بوحدة الكلفن يساوي قيمة ثابتة.

وكما يتضح من **الشـــكل 4–1**، فإن القانون العام للغازات يُختزل لقانون بويل عند ثبات درجة الحرارة، ويختزل أيضًا لقانون شارلز عند ثبات الضغط.

قانـون الغـاز المثالي تستطيع اســـتخدام نظرية الحركة الجزيئية لتكتشف كيف أن الثابت في القانون العام للغازات يعتمد على عدد الجزيئات N. افترض أن حجم الغاز المثالي ودرجة حرارتـــه ثابتان، فإذا ازداد عدد الجزيئات فســـوف يزداد عـــدد التصادمات التي تؤثر بها الجزيئات في الإنـــاء؛ لذا يزداد الضغط، وفي المقابل تقلـــل إزالة بعض الجزيئات من عدد

تجـربة

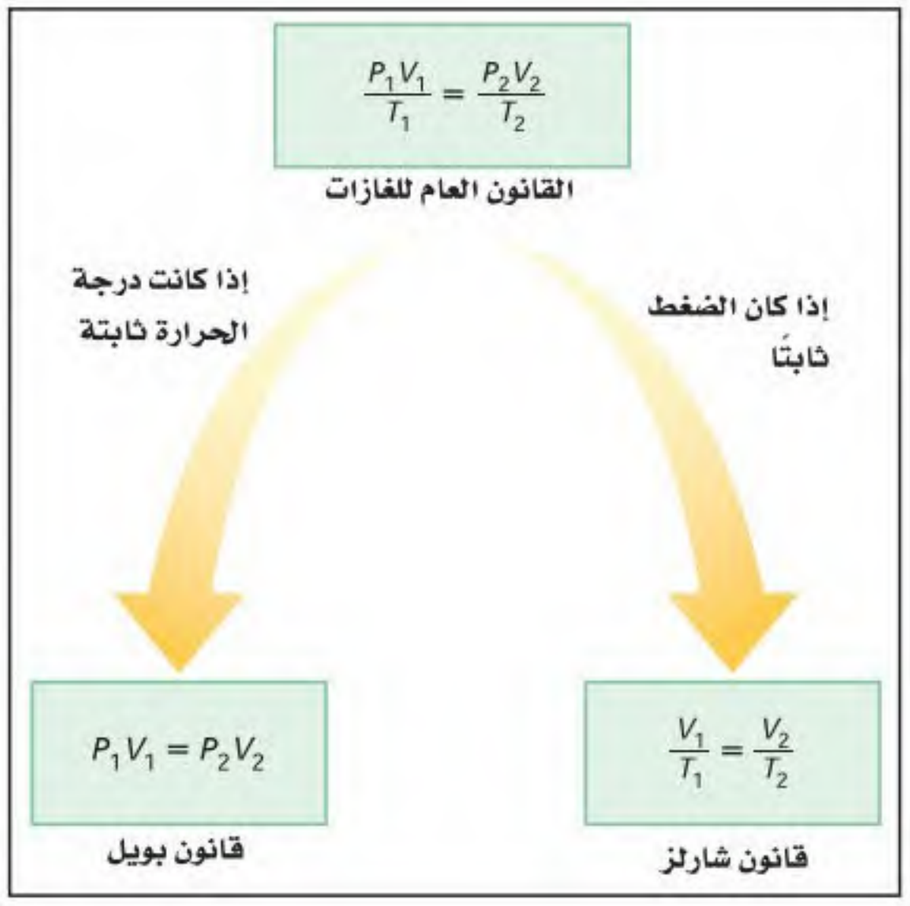
الضغط

ما مقدار الضغط الذي تؤثر به عندما تقف على أحدى رجليك؟ اطلب إلى زميلك رسم مخطط لقدمك، ثم استخدم ذلك المخطط لتقدير مساحة قدمك.

1. **حـدّد** وزنك بوحدة النيوتن ومساحة مخطط قدمك بوحدة cm^2.
2. **احسب** مقدار الضغط.
3. **قارن** بين الضغط الذي تؤثر به أنت في الأرض، والضغط الذي تؤثر به أجسام مختلفة. فمثلاً تستطيع أن تزن كتلة طوبة بناء، ثم تحسب الضغط الذي تؤثر به عندما تستقر على أوجه مختلفة.

التحليل والاستنتاج

4. كيف يؤثر الحذاء ذو الكعب العالي الرفيع في قيمة الضغط الذي يؤثر به شخص في الأرض؟



■ **الشكل 4–1** تستطيع أن تستخدم القانون العام للغازات لاشتقاق كل من قانوني بويل وشارلز، فماذا يحدث إذا حافظت على الحجم ثابتًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التصادمات؛ لذا يقل الضغط، كما تستطيع أن تستنتج أن الثابت في معادلة القانون العام للغازات يتناسب طرديًّا مع N.

$$\frac{PV}{T} = kN$$

ويسمى الثابت k بثابت بولتزمان، ويساوي 1.38×10^{-23} Pa.m^3 /K، وبالطبع فإن N الذي يمثل عدد الجزيئات هو عدد كبير جدًّا، لذلك بدلاً من استخدام N لجأ العلماء إلى استخدام وحدة تسمى المول (mole)، وتُختصر (mol) وتُمثل في المعادلات بالحرف (n)، والمول الواحد يساوي 6.022×10^{23} من الجزيئات، ويسمى هذا العدد بعدد أفوجادرو نسبة إلى العالم الإيطالي أميديو أفوجادرو.

يساوي عدد أفوجادرو عدد الجزيئات في عينة من المادة كتلتها تساوي الكتلة المولية (الكتلة الجزيئية) من المادة. وتستطيع أن تستخدم هذه العلاقة للتحويل بين الكتلة والعدد n (عدد المولات الموجودة). إن استخدام المولات عوضًا عن عدد الجزيئات يغير ثابت بولتزمان، ويختصر هذا الثابت بالحرف R، وقيمته تساوي 8.31 Pa.m^3 /mol.K. وبإعادة الترتيب تستطيع كتابة **قانون الغاز المثالي** بأكثر الصيغ شيوعًا.

قانون الغاز المثالي $PV = nRT$

للغاز المثالي، يكون حاصل ضرب ضغط الغاز في حجمه يساوي عدد المولات مضروبًا في الثابت R ودرجة حرارته بوحدة كلفن.

لاحظ أنه إذا كانت قيمة R معلومة فإن الحجم يجب أن يعبّر عنه بوحدة m^3، ودرجة الحرارة بوحدة K والضغط بوحدة Pa. يتوقع قانون الغاز المثالي عمليًّا سلوك الغازات بصورة جيدة، ما عدا الحالات التي تكون تحت ظروف الضغط العالي أو درجات الحرارة المنخفضة.

مثال 2

قوانين الغازات عينة من غاز الأرجون حجمها 20.0 L، ودرجة حرارتها 273 K عند ضغط جوي مقداره 101.3 kPa، فإذا انخفضت درجة الحرارة حتى 120 K، وازداد الضغط حتى 145 kPa،

a. فما الحجم الجديد لعينة الأرجون؟

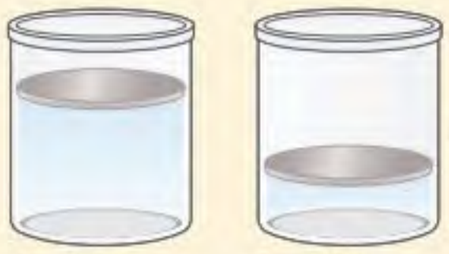
b. أوجد عدد مولات ذرات الأرجون في العينة؟

c. أوجد كتلة عينة الأرجون، إذا علمت أن الكتلة المولية M لغاز الأرجون 39.9 g /mol؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح الحالة بالرسم.
- حدّد الشروط في وعاء غاز الأرجون قبل التغير في درجة الحرارة والضغط وبعده.
- عيّن المتغيرات المعلومة والمجهولة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



المعلوم

$V_1 = 20.0\ L,\ P_1 = 101.3\ kPa$

$T_1 = 273\ K,\ P_2 = 145\ kPa$

$T_2 = 120\ K$

$R = 8.31\ Pa.m^3/mol.K$

$M_{\text{الأرجون}} = 39.9\ g/mol$

المجهول

$V_2 = ?$

عدد مولات الأرجون(n) = ?

$m_{\text{عينة الأرجون}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم القانون العام للغازات، وحل المعادلة بالنسبة للحجم V_2.

عوض مستخدمًا $P_1 = 101.3\ kPa,\ P_2 = 145\ kPa$

$V_1 = 20.0\ L,\ T_1 = 273\ K,\ T_2 = 120\ K$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$V_2 = \frac{P_1V_1T_2}{P_2T_1}$$

$$= \frac{(101.3\ kPa)\ (20.0\ L)\ (120\ K)}{(145\ kPa)\ (273\ K)}$$

$$= 6.1\ L$$

b. استخدم قانون الغاز المثالي، وحل المعادلة لحساب n

عوض مستخدمًا $P = 101.3\times10^3 Pa، V = 0.0200 m^3$

$R = 8.31\ Pa.m^3/mol.k، T = 273K$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{(101.3\times10^3\ Pa)(0.0200\ m^3)}{(8.31 Pa.m^3/mol.K)(273\ K)}$$

$$= 0.893\ mol$$

c. استخدم الكتلة المولية للتحويل من المولات لغاز الأرجون في العينة لكتلة العينة.

عوض مستخدمًا $M = 39.9\ g/mol ،n = 0.893\ mol$

$$m = Mn$$

$$m_{\text{عينة الأرجون}} = (39.9\ g/mol)\ (0.893\ mol)$$

$$= 35.6\ g$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الحجم V_2 بوحدة اللترات، وكتلة العينة بوحدة الجرامات.
- **هل الجواب منطقي؟** إن التغير في الحجم يتكافأ مع الزيادة في الضغط والانخفاض في درجة الحرارة. والكتلة المحسوبة لعينة الأرجون منطقية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

6. يُستخدم خزان من غاز الهيليوم ضغطه $15.5 \times 10^6\ Pa$، ودرجة حرارته 293K، لنفخ بالون على صورة دمية، فإذا كان حجم الخزان $0.020\ m^3$، فما حجم البالون إذا امتلأ عند 1.00 ضغط جوي، ودرجة حرارة 323 K؟
7. ما مقدار كتلة غاز الهيليوم في المسألة السابقة إذا علمت أن الكتلة المولية لغاز الهيليوم 4.00 g /mol؟
8. يحتوي خزان على 200.0 L من غاز الهيدروجين درجة حرارته 0.0 °C ومحفوظ عند ضغط مقداره 156 kPa، فإذا ارتفعت درجة الحرارة إلى 95 °C، وانخفض الحجم ليصبح 175 L، فما الضغط الجديد للغاز؟
9. إن معدل الكتلة المولية لمكونات الهواء (ذرات الأكسجين الثنائية وذرات غاز النيتروجين الثنائية بشكل رئيس) 29 g /mol تقريبًا. ما حجم 1.0 kg من الهواء عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 20.0 °C؟

التمدد الحراري Thermal Expansion

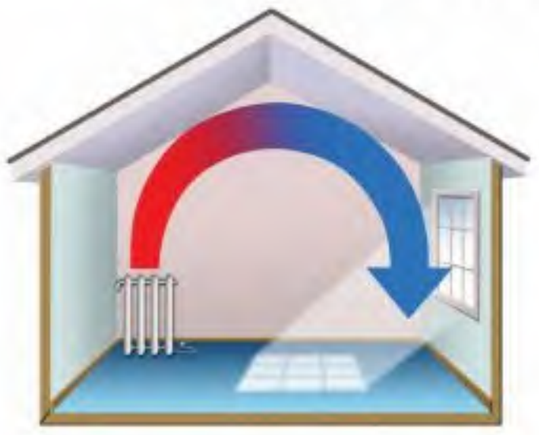
لعلك اكتشفت بعد تطبيق القانون العام للغازات أن الغازات تتمدّد كلّما ارتفعت درجة حرارتها. فعندما تسخن المادة في حالاتها الصلبة والسائلة والغازية تصبح أقل كثافة، وتتمدّد لتملأ حيزًا أكبر. وتسمى هذه الخاصية **التمدد الحراري**، ولها عدة تطبيقات مهمة، منها دوران الهواء في الغرفة.

عندما يُسخّن الهواء الملامس لأرضية الغرفة فإن قوة الجاذبية تسحب الهواء البارد الأكثر كثافة والملامس لسقف الغرفة إلى أسفل، فيدفع بدوره الهواء الأكثر سخونة إلى أعلى. ويُسمى دوران الهواء في الغرفة تيار الحمل. انظر **الشكل 5–1** الذي يوضح تيارات الحمل في الغرفة. وتستطيع أن تشاهد أيضًا تيارات الحمل في وعاء ماء ساخن، دون درجة الغليان؛ فعندما يسخّن الوعاء من القاع فإن الماء الأبرد ذا الكثافة الكبرى يهبط إلى أسفل، حيث يسخن، ثم يُدفع إلى أعلى عن طريق تدفق الماء الأبرد من أعلى.

يحدث التمدّد الحراري في معظم السوائل، وليس هناك نموذج مثالي ينطبق عليها جميعًا، ولكن من المفيد أن تفكر في السائل كما لو كان مسحوقًا ناعمًا لمادة صلبة، حيث تتحرك المجموعات المكونة من جسيمين أو ثلاثة جسيمات أو أكثر من ذلك معًا كما لو كانت قطعًا صغيرة جدًّا من المواد الصلبة. وعندما يسخن السائل، وتتمدد هذه المجموعات بفعل الحركة الجزيئية، تمامًا كما تُدفع الجسيمات في الموادّ الصلبة فيبتعد بعضها عن بعض في أجزاء متفرقة، كما تتزايد الفراغات بين المجموعات، ويتمدد السائل كله.

وعندما تتغير درجة الحرارة بصورة متساوية تتمدّد السوائل بصورة أكبر كثيرًا من المواد الصلبة، ولكن ليس بالقدر الذي تتمدّد به الغازات.

■ **الشكل 5–1** تيارات الحمل الحراري أداةً للتدفئة، إذ يرتفع الهواء الدافئ الأقل كثافة إلى أعلى ثم يبرد، وينخفض الهواء البارد الأعلى كثافة.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

لماذا يطفو الجليد؟ لأن المادة تتمدّد عند تسخينها فقد تتوقع أن الجليد أكثر كثافة من الماء، وفي ضوء توقعاتك لابد أن يغطس الجليد في الماء! لكن الحقيقة أنه عند رفع درجة حرارة الماء من $0\ ^\circ C$ إلى $4\ ^\circ C$ فإنه يتقلص بدلاً من أن يتمدد، وذلك بسبب تزايد قوى الترابط بين جزيئات الماء، وانهيار بلورات الجليد وضمورها. وهذه القوى التي بين جزيئات الماء قوى كبيرة والبلورات المكونة للجليد لها تركيب مفتوح بصورة كبيرة. عندما ينصهر الجليد تبقى بعض البلورات المتناهية في الصغر، ومع استمرار التسخين تأخذ البلورات المتبقية في الانصهار، ويتناقص حجم الماء حتى تصل إلى $4\ ^\circ C$. لكن بمجرد أن ترتفع درجة حرارة الماء فوق $4\ ^\circ C$ يتزايد حجمه بسبب تزايد الحركة الجزيئية. والنتيجة أن الماء يكون أكبر كثافة عند $4\ ^\circ C$؛ لذا يطفو الجليد فوق الماء. وهذه الحقيقة مهمة جدًّا في حياتنا وفي البيئة من حولنا؛ فلو كان الجليد يغطس تحت الماء لبدأ تجمد البحيرات عند قيعانها بدلًا من سطوحها، وما انصهر العديد من البحيرات تمامًا في فصل الصيف.

البلازما Plasma

إذا سخّنت مادة صلبة فإنها تنصهر لتكوّن سائلاً. ومع استمرار التسخين يتحول السائل إلى غاز، فماذا يحدث إذا استمر تسخين الغاز؟ تصبح التصادمات بين الجزيئات كبيرة إلى حدّ يكفي لانتزاع الإلكترونات من الذرات، وتنتج أيونات موجبة الشحنة. إن الحالة شبه الغازية للإلكترونات السالبة الشحنة والأيونات الموجبة الشحنة تسمى **البلازما**. وتعد البلازما حالة أخرى من حالات الموائع للمادة.

■ **الشكل 6–1** تنتج التأثيرات الضوئية الملونة في إشارات النيون عن البلازما المضيئة المتكوّنة في الأنابيب الزجاجية.

قد يبدو أن البلازما حالة غير شائعة، رغم أن معظم الموادّ في الكون في حالة البلازما؛ فمعظم مكونات النجوم بلازما في درجات حرارة عالية جدًّا، كما أن أكثر المواد الموجودة بين النجوم والمجرات تتكون من ذرات الهيدروجين الفعّالة النشطة التي لا تحتوي على إلكترونات، ويكون غاز الهيدروجين في حالة البلازما.

والفرق المبدئي بين الغاز والبلازما أن البلازما لها قدرة على التوصيل الكهربائي، في حين أن الغازات ليس لها هذه القدرة، والصواعق المضيئة تكون أيضًا في حالة البلازما. وإشارات النيون كما في **الشكل 6–1** أعلاه، ومصابيح الفلورسنت، ومصابيح غاز الصوديوم تحتوي جميعها البلازما المتوهجة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

1–1 مراجعة

10. **الضغط والقوة** افترض أن لديك صندوقين، أبعاد الأول 20 cm × 20 cm × 20 cm، وأبعاد الثاني 20 cm × 20 cm × 40 cm . قارن بين:

a. ضغطي الهواء في المحيط الخارجي لكل من الصندوقين.

b. مقداري القوة الكلية للهواء المؤثرة في كل من الصندوقين.

11. **علم الأرصاد الجوية** يتكون منطاد الطقس الذي يستخدمه الراصد الجوي من كيس مرن يسمح للغاز في داخله بالتمدد بحرية. إذا كان المنطاد يحتوي على $25.0\ m^3$ من غاز الهيليوم وأطلق من منطقة عند مستوى سطح البحر، فما حجم الغاز عندما يصل المنطاد ارتفاع 2100 m، حيث الضغط عند ذلك الارتفاع $0.82 \times 10^5\ Pa$؟ افترض أن درجة الحرارة ثابتة لا تتغير.

12. **انضغاط الغاز** تحصر آلة احتراق داخلي في محرك كمية من الهواء حجمها $0.0021\ m^3$ عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة 303 K، ثم تضغط الهواء بسرعة ليصل إلى ضغط مقداره $20.1 \times 10^5\ Pa$ وحجم $0.0003\ m^3$، ما درجة الحرارة النهائية للهواء المضغوط؟

13. **الكثافة ودرجة الحرارة** إذا كانت درجة الحرارة الابتدائية للماء 0 °C، فكيف تتغير كثافة الماء إذا سُخّن إلى 4 °C، وإلى 8 °C؟

14. **الكتلة المولية المعيارية** ما حجم 1.00 mol من الغاز عند ضغط يعادل الضغط الجوي ودرجة حرارة تساوي 273 K؟

15. **الهواء في الثلاجة** ما عدد مولات الهواء الموجودة في ثلاجة سعتها $0.635\ m^3$ عند 2.00 °C؟ وما مقدار كتلة الهواء في ثلاجة إذا كان متوسط الكتلة المولية للهواء 29 g/mol؟

16. **التفكير الناقد** الجزيئات المكونة لغاز الهيليوم صغيرة جدًّا مقارنة بالجزيئات المكونة لغاز ثاني أكسيد الكربون. ماذا يمكن أن تستنتج حول عدد الجزيئات في عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 2.0 L مقارنة بعدد الجزيئات في عينة من غاز الهيليوم حجمها 2.0 L إذا تساوت العينتان في درجة الحرارة والضغط؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–2 القوى داخل السوائل Forces within Liquids

الأهداف

- **توضح** كيف تسبب قوى التماسك التوترَ السطحي.
- **توضح** كيف تسبب قوى التلاصق الخاصيةَ الشعرية.
- **تناقش** التبريد التبخري ودور التكثف في تكوّن السحب.

المفردات

قوى التماسك

قوى التلاصق

تعاملنا مع السوائل، حتى الآن، باعتبارها سوائل مثالية تمتاز جميع جزيئاتها بحرية الحركة، والانزلاق بعضها فوق بعض. ولكن خصوصية الماء في تمدّده بين درجتي حرارة 0 °C و4 °C تبين أنه في حالة السوائل الحقيقية تؤثر الجزيئات بعضها في بعض بقوى تجاذب كهرومغناطيسية تسمى **قوى التماسك**، تؤثر هذه القوى وغيرها في سلوك الموائع.

قوى التماسك Cohesive Forces

هل سبق أن لاحظت أن قطرات الندى على خيوط العنكبوت -وكذلك قطرات الزيت الساقطة- تتخذ شكلاً كرويًّا تقريبًا؟ ماذا يحدث عندما يسقط المطر على سيارة مغسولة حديثًا ومشمعة؟ تتكوّر قطرات الماء وتتخذ أشكالًا كرويةً، كما في شبكة العنكبوت في **الشكل 7–1**.

تعد جميع الظواهر السابقة أمثلة على التوتر السطحي، وهي الخاصية المتمثلة في ميل سطح السائل إلى التقلص لأقل مساحة ممكنة. وخاصية التوتر السطحي ناجمة عن **قوى التماسك** بين جزيئات المائع.

لاحظ أن جميع جزيئات السائل الموجودة تحت سطحه تتأثر بقوى جذب متساوية المقدار تشدها إلى جميع الاتجاهات عن طريق الجزيئات المجاورة لها، كما تنجذب أيضًا إلى الجزيئات المكونة لجدار الإناء الذي يحتوي السائل كما في **الشكل 8a–1**، ونتيجة لذلك ليس هناك قوة محصلة تؤثر في أي من الجزيئات تحت سطح السائل. أما عند السطح فتنجذب الجزيئات إلى أسفل وفي اتجاه الجوانب، ولكن ليس إلى أعلى؛ لذا يكون هناك قوة محصلة إلى أسفل تؤثر في الطبقات العلوية، مما يؤدي إلى ضغط الطبقة العلوية قليلاً. وتعمل الطبقة السطحية في السائل كغشاء مطاطي مشدود، قوي بما يكفي لحمل الأجسام الخفيفة جدًّا ومنها صرصور الماء كما في **الشكل 8b–1**. ويكون التوتر السطحي للماء كبيرًا بحيث يحمل مشبك ورق فولاذيًّا على الرغم من أن كثافة الفولاذ أكبر تسع مرات من كثافة الماء. جرّب ذلك.

لماذا يكوّن التوتر السطحي قطرات كروية؟ تدفع القوة الجزيئات السطحية بحيث يصبح السطح صغيرًا قدر الإمكان، كما أن الشكل الكروي هو الشكل الذي له أقل مساحة سطح لحجم معين. وكلما زاد التوتر السطحي للسائل زادت ممانعة السائل لتحطم سطحه، فلسائل الزئبق مثلاً قوة تماسك أكبر من قوة تماسك الماء، ولهذا يشكّل الزئبق السائل قطرات كروية حتى عندما يوضع على سطح مصقول. وفي المقابل، بعض السوائل - ومنها الكحول والإيثر - لها قوى تماسك ضعيفة، ولذلك تتسطح قطراتها على السطح المصقول.

الشكل 7–1 تصطف قطرات صغيرة من مياه الأمطار على شبكة العنكبوت؛ لأن قطرات الماء لها خاصية التوتر السطحي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اللزوجة تسبب قوى التماسك والتصادمات بين جزيئات المائع في الموائع غير المثالية احتكاكًا داخليًّا يعمل على إبطاء تدفق السائل، وتبديد الطاقة الميكانيكية. وتعد لزوجة السائل مقياسًا للاحتكاك الداخلي للسائل. ولزوجة الماء منخفضة ، في حين أن زيت المحرك عالي اللزوجة؛ إذ يتدفق ببطء على الأجزاء المعدنية للمحرك، فيقلل من احتكاكها بعضها ببعض.

وتعد اللابة والصخور المنصهرة التي تتدفق من البركان وتتصاعد نحو سطح الأرض واحدة من أشد الموائع لزوجة، ولأنواع اللابة المتعددة لزوجات تتباين وفق تركيبها ودرجة حرارتها.

الربط مع علم الأرض

■ **الشكل 8–1** تنجذب الجزيئات في داخل السائل إلى كل الاتجاهات (**a**). يتمكن صرصور الماء من السير على سطح الماء؛ لأن جزيئات الماء عند السطح لها قوة تجاذب محصلة في اتجاه الداخل تولد التوتر السطحي (**b**).

قوى التلاصق Adhesive Forces

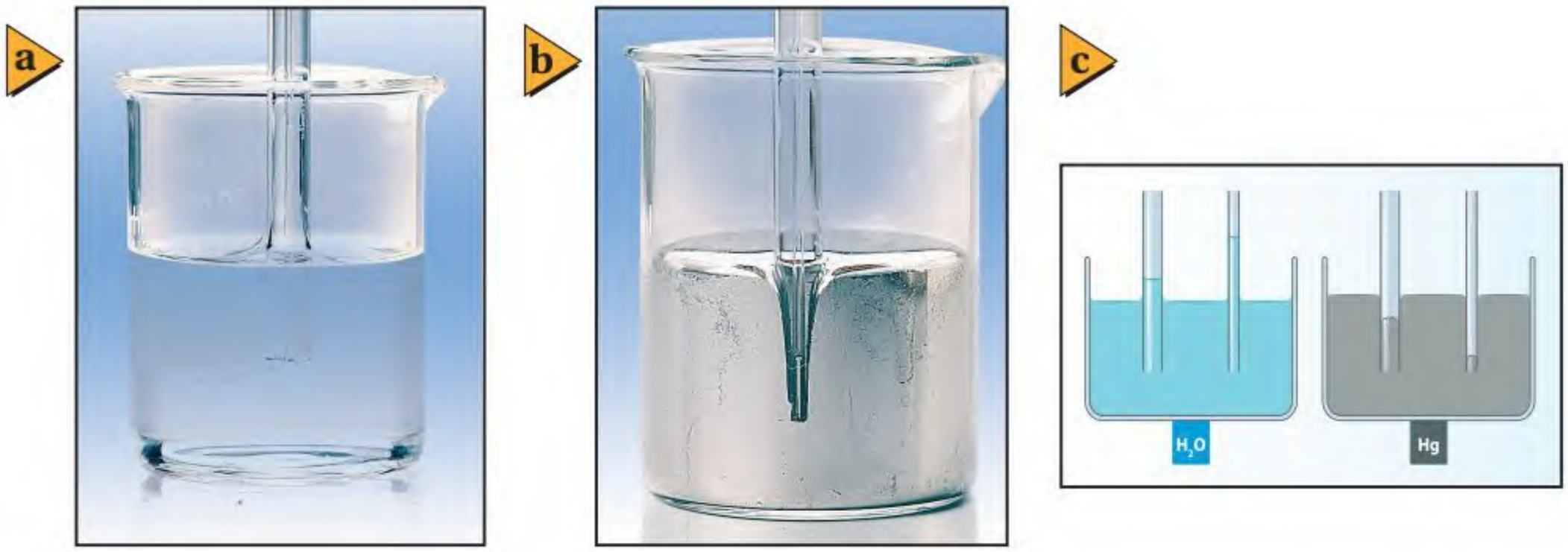
قوى التلاصق تشبه قوى التماسك؛ فهي عبارة عن قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بين جزيئات المواد المختلفة. فإذا وضع أنبوب زجاجي نصف قطره الداخلي صغير في الماء فسيرتفع الماء داخل الأنبوب؛ لأن قوى التلاصق بين سطح الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء.

وتعرف هذه الخاصية بالخاصية الشعرية، ويستمرّ الماء في الارتفاع حتى يتوازن وزن الماء الذي ارتفع مع قوة التلاصق الكلية بين سطح الزجاج وجزيئات الماء. وإذا ازداد نصف قطر الأنبوب فإن كلًّا من حجم الماء ووزنه سيتزايد طرديًّا وبمقدار أسرع من المساحة السطحية للأنبوب. وعليه، فسيرتفع الماء في الأنبوب الضيّق أكثر من ارتفاعه في الأنبوب الأكثر اتساعًا.

إن الخاصية الشعرية هي التي تسبب ارتفاع الوقود في فتيلة القنديل، كما تسبب أيضًا ارتفاع الماء من أسفل التربة إلى أعلاها وارتفاعه أيضًا في جذور النبات.

عندما يوضع أنبوب في وعاء من الماء يرتفع سطح الماء على السطح الخارجي للأنبوب كما في **الشكل 9a–1**؛ لأن قوى التلاصق بين جزيئات الزجاج وجزيئات الماء أكبر من قوى التماسك بين جزيئات الماء. وفي المقابل، فإن قوى التماسك بين جزيئات الزئبق أكبر من قوى التلاصق بين الزئبق وسطح الزجاج؛ لذا لا يرتفع الزئبق في الأنبوب، وتسبب هذه القوى أيضًا انخفاضًا في سطح الزئبق حول الأنبوب الزجاجي كما في **الشكل 9b–1**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 9–1** يصعد الماء على جدار الأنبوب الزجاجي من الخارج (a)، في حين ينخفض سطح الزئبق حول الأنبوب (b)، إن قوى التجاذب بين ذرات الزئبق أقوى من قوى التلاصق بين الزئبق والزجاج (c).

التبخر والتكثّف Evaporation and Condensation

لماذا يختفي الماء من بركة صغيرة في يوم حار وجاف؟ تتحرك جزيئات السائل بسرعات عشوائية، كما تعلمت سابقًا. وإذا استطاعت الجزيئات المتحركة بسرعة كبيرة أن تنفذ خلال الطبقة السطحية، فإنها سَتنفذ من السائل، لكن وجود قوة تماسك محصلة إلى أسفل على السطح يعيق ذلك؛ لذا لا تفلت من السطح إلا الجزيئات التي لها طاقة كبيرة، ويسمى هروب الجزيئات التبخر.

التبريد بالتبخر لعملية التبخر أثر في خفض الحرارة (التبريد)؛ ففي الأيام الحارة يفرز الجسم عرقًا، وتبخر العرق يجعلك تشعر بالبرودة. ويؤدي التبخر في بركة الماء الصغيرة إلى تبريد الماء المتبقي. وكلما كانت الطاقة الحركية لجزيء ما أكبر من متوسط الطاقة الحركية لمجموع الجزيئات كانت فرصته في التحرر من الماء أكبر. وعند تحرره ينخفض متوسط الطاقة الحركية للجزيئات المتبقية. وكما تعلمت سابقًا، فإن الانخفاض في متوسط الطاقة الحركية يؤدي إلى انخفاض درجة الحرارة. وتستطيع أن تختبر أثر التبريد عند سكب كمية قليلة من الكحول وفركها براحة يديك؛ إذ تتبخر جزيئات الكحول بسهولة؛ لأن قوى التماسك بينها قليلة جدًّا. وعندما تتبخر الجزيئات يمكن ملاحظة أثر التبريد، وتُسمى السوائل التي تتبخر بسرعة السوائل المتطايرة.

لماذا تشعر أن الجو في الأيام الرطبة أكثر دفئًا منه في الأيام الجافة عند درجة الحرارة نفسها؟ في اليوم الرطب تكون كمية بخار الماء في الهواء مرتفعة، بسبب وجود الكثير من جزيئات الماء في الهواء، ويقل تبعًا لذلك احتمال تبخر جزيئات الماء في العرق. ويعد التعرق ميكانيكية التبريد الرئيسة في جسم الإنسان؛ لذا فإن الجسم لا يكون قادرًا على تبريد نفسه بصورة فعّالة في اليوم الرطب.

تطبيق الفيزياء

النباتات

تسمح قوى التماسك في السوائل بتمددها كما لو كانت شريطًا مطاطيًا مرنًا. ومن الصعب تحقيق حالة التمدد هذه في المختبر، ولكنها شائعة في النباتات.

وتحفظ شدة قوى التماسك الماء من أن ينقطع اتصاله بعضه ببعض، أو يشكل فقاقيع، عندما ينتقل إلى الأوراق عبر أنسجة النبات. ولولا هذه القوى ما تمكنت الأشجار من النمو أكثر من 10 أمتار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إن جزيئات السـائل التي تبخرت في الهواء تسـتطيع العودة أيضًا إلى الحالة السـائلة إذا انخفضت طاقتها الحركية أو درجة حرارتها، وتسمى هذه العملية التكثّف.

ماذا يحدث عندما تحمل كأسًـا باردة في منطقة حارة ورطبة؟ سـيُغطى السطح الخارجي للكأس بالماء المتكثّف، وستتحرك جزيئات الماء عشوائيًّا في الهواء المحيط بالكأس وترتطم بالسطح البارد، وإذا فقدت طاقة كافية فإن قوى التماسك تصبح قوية إلى درجة تمنعها من الإفلات.

يحتوي الهواء الواقع فوق أي مسـطح مائي- كما موضح في **الشـكل 10–1** -على بخار مـاء؛ فهو إذن ماء في الحالة الغازية. وإذا انخفضت درجة الحرارة يتكاثف بخار الماء حول جزيئات الغبار المتناهيـة في الصغر الموجودة في الهواء، ويكـوّن قطيرات من الماء قطرها 0.01 mm. وتسـمى السـحابة المتكوّنة من هذه القطيرات الضباب. ويتكون الضباب غالبًا عندما يبرد الهواء الرطب عن طريق سطح الأرض البارد. ويمكن أن يتكون الضباب داخل المنزل؛ فعندما تفتح زجاجـة مياه غازي يحدث انخفاض مفاجئ في الضغط يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الغاز في الزجاجة، مما يُكثّف بخار الماء المذاب في ذلك الغاز.

الشـكل 10–1 يرتفع الهواء الدافئ والرطب القريب من سطح الأرض حتى يصل إلى ارتفاع تكون درجة الحرارة عنده مساوية لدرجة تكثّف بخار الماء، فتتشكل الغيوم عند هذا الارتفاع.

2–1 مراجعة

17. **التبخر والتبريد** في الماضي، عندما يصاب طفل بالحمى كان الطبيب يقترح أن يُمسح الطفل بقطعة إسفنج مبللة بالكحول. كيف يمكن أن يُساعد هذا الإجراء؟
18. **التوتر السطحي** لمشبك الورق كثافة أكبر من كثافة الماء، ومع ذلك يمكن أن يطفو على سـطح الماء. فما الخطوات التي يجب أن تتبعها لتحقيق ذلك؟ وضح إجابتك.
19. **اللغة والفيزياء** نستخدم في لغتنا العربية مصطلحات، منها "الشريط اللاصق" و "العمل كمجموعة متماسكة"، فهل استخدام المفردتين (التلاصق والتماسك) في سياق كلامنا مطابقٌ لمعانيهما في الفيزياء؟
20. **التلاصق والتماسك** وضح لمـاذا يلتصق الكحول بسطح الأنبوب الزجاجي في حين لا يلتصق الزئبق.
21. **الطفو** كيف يمكن لمشبك الورق في المسألة 17 ألا يطفو؟
22. **التفكير الناقد** تجلس فاطمة في يوم حار ورطب في باحة منزلها، وتحمل كأسًا من الماء البارد، وكان السطح الخارجي للـكأس مغطى بطبقة من الماء، فاعتقدت أختها أن الماء يتسرب من خلال الزجاج من الداخل إلى الخارج. اقترح تجربة يمكن لفاطمة أن تجريها لتوضح لأختها من أين يأتي الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1–3 الموائع الساكنة و الموائع المتحركة Fluids at Rest and in Motion

تعلمت سابقًا أن الموائع تولد ضغطًا، هوالقوة المؤثرة في وحدة المساحة. وتعلمت أيضًا أن الضغط الذي تولده الموائع يتغير، فمثلاً ينخفض الضغط الجوي كلما زاد ارتفاعك في أثناء تسلقك جبلاً. وستدرس في هذا الفصل القوى الناتجة عن الموائع الساكنة والموائع المتحركة.

الأهداف

- **تربط** مبدأ باسكال بالآلات البسيطة وحالاتها.
- **تطبّق** مبدأ أرخميدس للطفو.
- **تطبّق** مبدأ برنولي لتدفق الهواء.

المفردات

مبدأ باسكال
قوة الطفو
مبدأ أرخميدس
مبدأ برنولي
خطوط الانسياب

الموائع الساكنة Fluids at Rest

إذا غطست في بركة سباحة أو بحيرة إلى عمق معين فستدرك عندئذٍ أن جسمك – وخصوصًا أذنيك – حساس جدًّا لتغيرات الضغط. ومن المحتمل أنك لاحظت أن الضغط الذي شعرت به على أذنيك لا يعتمد على وضع رأسك إذا كان مرفوعًا أو مائلاً إلى أسفل، ولكن يزداد الضغط إذا غطست إلى أعماق كبيرة.

مبدأ باسكال لاحظ عالم الفيزياء الفرنسي بليز باسكال أن الضغط في المائع يعتمد على عمق المائع، ولا علاقة له بشكل الوعاء الذي يحوي المائع، وقد اكتشف أيضًا أن أي تغير في الضغط المؤثر في أي نقطة في المائع المحصور ينتقل إلى جميع نقاط المائع بالتساوي، وتُعرف هذه الحقيقة **بمبدأ باسكال**.

ويظهر مبدأ باسكال في كل مرة تعصر فيها أنبوب معجون الأسنان، إذ ينتقل الضغط الذي تؤثر به أصابعك في مؤخرة الأنبوب إلى معجون الأسنان، بحيث يندفع المعجون خارجًا من مقدمة الأنبوب.وبطريقة مماثلة، إذا عصرت إحدى نهايتي بالون غاز الهيليوم فإن نهايته الأخرى تنتفخ.

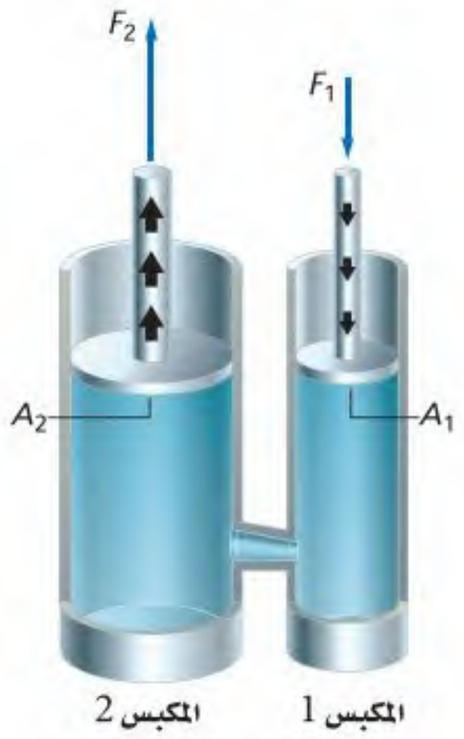
وعندما تستخدم الموائع في الآلات بهدف مضاعفة القوى فإنك في هذه الحالة تطبق مبدأ باسكال، ففي النظام الهيدروليكي عمومًا، يُحصر المائع في حجرتين متصلتين معًا، كما في **الشكل 11–1**، حيث يوجد في كل حجرة مكبس حر الحركة، ولكل من المكبسين مساحة سطح مختلفة، فإذا أثرت القوة F_1 في المكبس الأول الذي مساحة سطحه A_1 أمكن حساب الضغط P_1، المؤثر في المائع باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1}$$

والتي تمثل تعريف الضغط، حيث الضغط يساوي القوة المؤثرة في وحدة المساحة. ويمكن حساب الضغط الناتج عن المائع في المكبس الثاني الذي مساحة سطحه A_2 باستخدام المعادلة الآتية:

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2}$$

الشكل 11–1 ينتقل الضغط الناشئ عن تأثير القوة في المكبس الصغير خلال المائع، بحيث ينتج كقوة مضاعفة في المكبس الكبير.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

واعتمادًا على مبدأ باسكال، ينتقل الضغط دون تغيير خلال المائع؛ لذا فإن مقدار P_2 يساوي مقدار P_1، وتستطيع أن تحسب القوة المؤثرة في المكبس الثاني باستخدام العلاقة:

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

وبحل المعادلة بالنسبة للقوة F_2، يمكن تحديد هذه القوة باستخدام المعادلة الآتية:

القوة الناتجة عن الرافعة الهيدروليكية $F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$

القوة المؤثرة في المكبس الثاني تساوي القوة التي يؤثر بها المكبس الأول مضروبة في نسبة مساحة المكبس الثاني إلى مساحة المكبس الأول.

مسائل تدريبية

23. تُعد كراسي أطباء الأسنان أمثلة على أنظمة الرفع الهيدروليكية. فإذا كان الكرسي يزن 1600 N ويرتكز على مكبس مساحة مقطعه العرضي $1440\ cm^2$، فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير الذي مساحة مقطعه العرضي $72\ cm^2$ لرفع الكرسي؟

24. تؤثر آلة بقوة مقدارها 55 N في مكبس هيدروليكي مساحة مقطعه العرضي $0.015\ m^2$ ، فترفع سيارة صغيرة. فإذا كانت مساحة المقطع العرضي للمكبس الذي ترتكز عليه السيارة $2.4\ m^2$، فما وزن السيارة؟

25. يحقق النظام الهيدروليكي الهدف نفسه تقريبًا الذي تحققه الرافعة ولعبة الميزان، وهو مضاعفة القوة. فإذا وقف طفل وزنه 400 N على أحد المكبسين بحيث يتزن مع شخص بالغ وزنه 1100 N يقف على المكبس الثاني، فما النسبة بين مساحتي مقطعي المكبسين العرضيين؟

26. تستخدم في محل صيانة للآلات رافعة هيدروليكية لرفع آلات ثقيلة لصيانتها. ويحتوي نظام الرافعة مكبسًا صغيرًا مساحة مقطعه العرضي $7.0 \times 10^{-2}\ m^2$، ومكبسًا كبيرًا مساحة مقطعه العرضي $2.1 \times 10^{-1}\ m^2$، وقد وضع على المكبس الكبير محرك يزن $2.7 \times 10^3\ N$.

a. ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع المحرك؟

b. إذا ارتفع المحرك 0.20 m، فما المسافة التي تحركها المكبس الصغير؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

السباحة تحت الضغط swimming under pressure

عندما تسبح تشعر أن ضغط الماء يتزايد كلما غطست إلى مسافة أعمق، وينشأ هذا الضغط حقيقة عن قوة الجاذبية الأرضية، التي ترتبط مع وزن الماء فوق الجسم. فإذا غطست إلى أعماق كبيرة فستكون كمية أكبر من الماء فوق جسمك؛ لذا سيكون الضغط عليك أكبر. إن ضغط الماء يساوي وزن عمود الماء F_g فوقك مقسومًا على مساحة المقطع العرضي لعمود الماء A. وعلى الرغم من أن قوة الجاذبية الأرضية تسحب فقط في الاتجاه الرأسي إلى أسفل فإن المائع ينقل الضغط في الاتجاهات جميعها، إلى أعلى وإلى أسفل وإلى الجوانب. وتستطيع أن تجد ضغط الماء بتطبيق العلاقة الآتية:

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

وزن عمود الماء $F_g = mg$، والكتلة تساوي كثافة الماء ρ مضروبة في حجمه، $m = \rho V$. وتعلم أيضًا أن حجم الماء يساوي مساحة قاعدة عمود الماء مضروبة في ارتفاعه $V = Ah$؛ لذا فإن $F_g = \rho Ahg$. عوض بـ ρAhg بدلاً من F_g في معادلة ضغط الماء فستجد أن $P = \frac{F_g}{A} = \frac{\rho Ahg}{A}$، ثم اختزل A من البسط والمقام للوصول إلى الصورة المبسطة لمعادلة الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في جسم الغطّاس.

ضغط الماء على الجسم $P = \rho hg$

الضغط الذي يؤثر به عمود الماء في الجسم يساوي حاصل ضرب كثافة الماء في ارتفاع عمود الماء في تسارع الجاذبية الأرضية.

تطبق هذه المعادلة على الموائع جميعها، وليس فقط على حالة الماء. ويعتمد ضغط المائع الذي يؤثر في الجسم على كثافة المائع، وعمقه، و g. وإذا كان هناك ماء على سطح القمر فإن قيمة ضغطه عند أي عمق ستكون سُدس قيمته على الأرض. يوضح **الشكل 12–1** غواصة تنتقل في أخاديد المحيط العميقة، وتتعرض لضغوطٍ تزيد 1000 مرة على مقدار ضغط الهواء المعياري.

الشكل 12–1 في عام 1960 م نزل طاقم الغطس تريست (Triste) إلى أعماق الأخدود ماريانس (Marianas) الذي يزيد عمقه على 10500 m. وتمكن أحد الغواصين من الغطس بأمان إلى عمق 4500 m في مياه المحيط.

قوة الطفو ما الذي يولد القوة الرأسية إلى أعلى التي تسمح لك بالسباحة؟ إن زيادة الضغط الناجمة عن زيادة العمق تولد قوة رأسية إلى أعلى تسمى **قوة الطفو**. وبالمقارنة بين قوة الطفو المؤثرة في جسم ووزنه نستطيع أن نتوقع ما إذا كان الجسم سيغوص أم يطفو.

افترض أن صندوقًا ارتفاعه l ومساحة سطحيه العلوي والسفلي A غُمر في الماء، فيكون حجم الصندوق $V = lA$، ويؤثر ضغط الماء بقوى في كل جوانبه، كما هو موضّح في **الشكل 13–1**. هل يغوص الصندوق أم يطفو؟ كما تعلم، يعتمد الضغط المؤثر في الصندوق على عمقه h. ولتعرف ما إذا كان الصندوق سيطفو على سطح الماء أم لا فإنك تحتاج أن تعيّن مقدار الضغط المؤثر في السطح العلوي للصندوق مقارنة بالضغط المؤثر في

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قاع الصندوق. قارن بين المعادلتين الآتيتين:

$$F_{\text{العلوية}} = P_{\text{العلوي}} A = \rho h g A$$

$$F_{\text{السفلية}} = P_{\text{السفلي}} A = \rho (l+h) g A$$

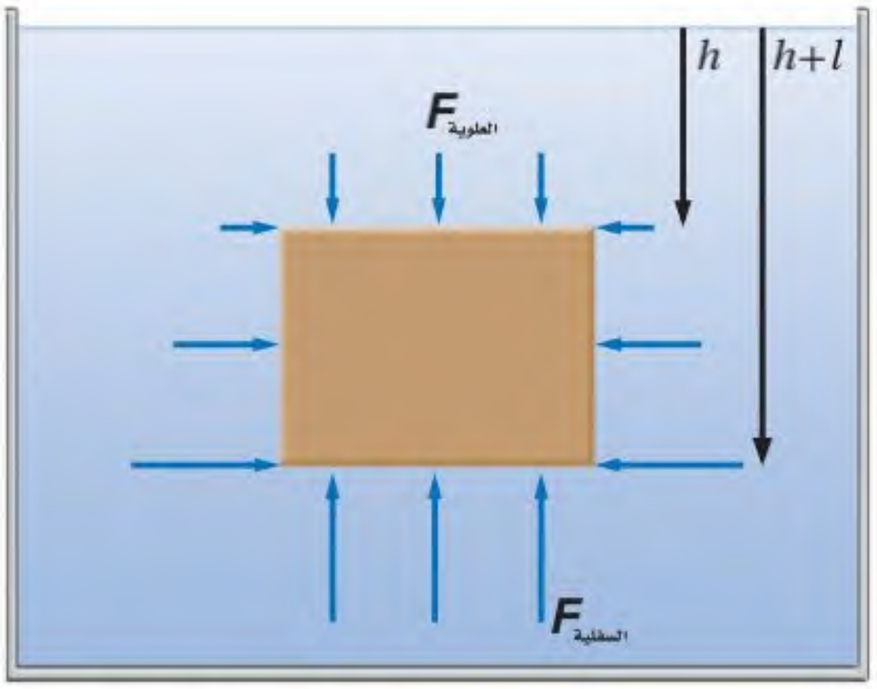
إن القــوى المؤثرة في الجوانب الأربعة الرأســية متســاوية في جميع الاتجاهات؛ لذا ليس هناك قوة محصلة أفقية. والقوة الرأسية إلى أعلى المؤثرة في قاع الصندوق أكبر من القوة الرأســية إلى أسفل المؤثرة في سطحه العلوي؛ لذا فهناك قوة محصلة رأسية. ويمكن الآن حساب مقدار قوة الطفو.

$$\begin{aligned} F_{\text{الطفو}} &= F_{\text{السفلية}} - F_{\text{العلوية}} \\ &= \rho (l + h) g A - \rho h g A \\ &= \rho l g A = \rho V g \end{aligned}$$

وتبين هذه الحسابات أن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى تتناسب طرديًّا مع حجم الصندوق، وهذا الحجم يســاوي حجم المائع المزاح أو المدفوع خارجًا عن طريق الصندوق؛ لذا فإن مقدار قوة الطفو $\rho V g$ تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم.

قوة الطفو $F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} V g$

قوة الطفو المؤثرة في الجســم تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم، والتي تساوي كثافة المائع المغمور فيه الجسم مضروبًا في حجم الجسم وفي تسارع الجاذبية الأرضية.



الشكل 13–1 يؤثر المائع بقوة إلى أعلى في قاع الجسم المغمور أكبر من القوة المؤثرة إلى أسفل في السطح العلوي للجسم. وتسمى محصلة القوة إلى أعلى بقوة الطفو.

تجربة عملية

لماذا تبدو الصخرة خفيفة في الماء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

اكتشــف هذه العلاقة في القرن الثالث قبل الميلاد العالم الإغريقي أرخميدس، وينص **مبدأ أرخميدس** على أن الجســم المغمور في مائع تؤثر فيه قوة رأســية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجســم. ولا تعتمد القوة على وزن الجســم، ولكن تعتمد فقط على وزن المائع المزاح.

هل يغوص الجسم أم يطفو؟ إذا أردت أن تعرف ما إذا كان الجســم سيطفو أم يغوص فإنه يجب أن تأخذ بعين الاعتبار كل القوى المؤثرة في الجسم. فقوة الطفو تدفع الجسم إلى أعلى، ولكن وزن الجسم يسحبه إلى أسفل، ويحدّد الفرق بين قوة الطفو ووزن الجسم ما إذا كان الجسم سيغوص أم يطفو.

افترض أنك غمرت ثلاثة أجســام في خزان مملوء بالمــاء ($\rho_{\text{ماء}} = 1.00 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$)، وكان حجم كل جســم منها $100\ \text{cm}^3$ أو $1.00 \times 10^{-4}\ \text{m}^3$. فإذا كان الجسم الأول قالبًا فولاذيًّا كتلته 0.90 kg، والجســم الثاني عبوة صودا مــن الألومنيوم كتلتها 0.10 kg، أما الجسم الثالث فمكعب من الجليد كتلته 0.090 kg، فكيف يتحرك كل من الأجسام الثلاثة عندما تغمر في الماء؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إن القوة الرأسية على الأجسام الثلاثة متساوية، انظر إلى **الشكل 14–1** ، لأن كلًّا منها قد أزاح الوزن نفسه من الماء، ويمكن حساب قوة الطفو على النحو الآتي:

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{ماء}} Vg$$

$$= (1.00 \times 10^{3}\ \text{kg}/\text{m}^3)\,(1.00 \times 10^{-4}\ \text{m}^3)\,(9.80\ \text{m}/\text{s}^2)$$

$$= 0.980\ \text{N}$$

إن وزن قالب الفولاذ يساوي 8.8 N وهو أكبر كثيرًا من قوة الطفو. وتبعًا لذلك تكون القوة المحصلة الرأسية المؤثرة فيه إلى أسفل؛ لذا يغوص القالب. لاحظ أن القوة المحصلة الرأسية إلى أسفل هي وزن الجسم الظاهري، وهي أقل من وزنه الحقيقي، وكل الأجسام التي في سائل، – ومنها تلك التي تغوص – لها وزن ظاهري أقل من وزنها عندما تكون في الهواء. ويمكن التعبير عن الوزن الظاهري بالمعادلة الآتية:

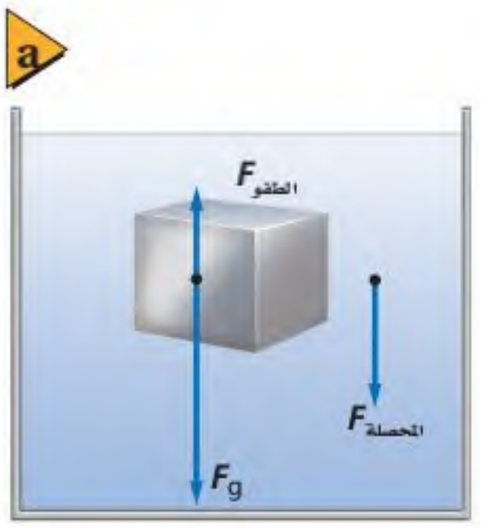
$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

وبالنسبة لقالب الفولاذ فإن وزنه الظاهري يساوي (8.8 N – 0.98 N) أو 7.8 N.

ووزن علبة الصودا يساوي 0.980 N، وهذا يماثل وزن الماء المزاح؛ لذا لا توجد قوة محصلة تؤثر في العبوة، ولذلك تبقى العبوة حيث توضع في الماء ولها قوة طفو متعادلة. وتوصف الأجسام ذات قوة الطفو المتعادلة بالأجسام العديمة الوزن، أيْ أن وزنها الظاهري صفر. إن هذه الخاصية مماثلة لتلك التي يعاني منها روّاد الفضاء في الفضاء. وهذا يفسر تدرب رواد الفضاء أحيانًا في برك السباحة.

أما وزن مكعب الجليد فيساوي 0.88 N، وهو أقل من قوة الطفو، ولذلك توجد قوة محصلة رأسية إلى أعلى؛ لذا يرتفع مكعب الجليد إلى أعلى. إن القوة المحصلة الرأسية إلى أعلى ستجعل جزءًا من مكعب الجليد خارج الماء. ونتيجة لذلك، تزاح كمية أقل من الماء وتقل القوة الرأسية إلى أعلى، ويطفو مكعب الجليد في الماء ويكون جزء منه داخل الماء والآخر خارجه حتى يتساوى وزن الماء المزاح مع وزن مكعب الجليد. وعمومًا يطفو الجسم إذا كانت كثافته أقل من كثافة المائع المغمور فيه.

السفن يفسر مبدأ أرخميدس كيف يمكن للسفن المصنوعة من الفولاذ أن تطفو على سطح الماء، فإذا كان جسم السفينة مفرغًا وكبيرًا بما يكفي فإن معدل كثافة السفينة يكون أقل من كثافة الماء، ولذلك تطفو.



الشكل 14 – 1 قالب من الفولاذ (a)، عبوة ألومنيوم لمشروب الصودا (b) ومكعب جليد (c) لكل منها الحجم نفسه، تزيح كمية متساوية من الماء، وتخضع لتأثير قوى طفو متماثلة. ولأن أوزانها مختلفة فإن محصلة القوى المؤثرة في الأجسام الثلاثة مختلفة أيضًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ويمكن أن تلاحظ أنّ السفينة المحملة بالبضائع تبحر بحيث تنخفض في الماء أكثر من السفينة الفارغة. وتستطيع توضيح هذا من خلال صنع قارب صغير من رقائق الألومنيوم، حيث يطفو هذا القارب بسهولة، وينغمر جزءٌ أكبر منه في الماء إذا أضيف إليه حمولة من مشابك الورق. وإذا حطمت القارب وجمعت رقائق الألومنيوم التي تكونه على شكل كرة مصمتة، فإنها في هذه الحالة تغطس بسبب زيادة كثافتها.

الربط مع علم الأرض

وبطريقة مماثلة، تطفو القارات الأرضية فوق مواد ذات كثافة كبيرة تحت السطح، وحركة الانجراف للصفائح القاريّة هي المسؤولة عن الأشكال والمواقع الحالية للقارات.

وهناك أمثلة تطبيقية أخرى على مبدأ أرخميدس، منها الغواصات البحرية والأسماك؛ إذ توظف الغواصات مبدأ أرخميدس في عملها، فكلما ضُخ الماء داخل عدد من الحجرات المختلفة وخارجها يتغير متوسط كثافة الغواصة، مما يجعلها تطفو أو تغطس. أما بالنسبة للأسماك، فلدى بعضها انتفاخ غشائي للسباحة يسمى مثانة العوم، وهي تطبق مبدأ أرخميدس لتتحكم في العمق الذي توجد فيه، فالأسماك تنفخ مثانة العوم أو تقلّصها كما ينفخ الإنسان خديه. فتنفخه لإزاحة كمية أكبر من الماء، وبذلك تزيد من قوة الطفو فترتفع، وفي المقابل تنزل إلى أسفل في الماء بتقليص حجم مثانة العوم.

تجربة عملية

لماذا تؤلمك أذناك عندما تغوص في الماء؟

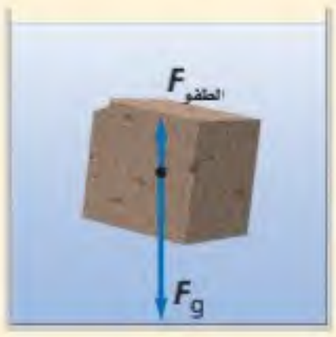
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

مثال 3

مبدأ أرخميدس ينغمر قالب بناء من الجرانيت حجمه ($1.00 \times 10^{-3}\ m^3$)، في الماء، فإذا كانت كثافة الجرانيت $2.7 \times 10^3\ kg/m^3$، فما مقدار:

a. قوة الطفو المؤثرة في قالب الجرانيت؟

b. الوزن الظاهري لقالب الجرانيت؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم قالب جرانيت مغمورًا في الماء.
- بين قوة الطفو الرأسية إلى أعلى وقوة الجاذبية الأرضية الرأسية إلى أسفل اللتين تؤثران في القالب.

المعلوم

$V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$

$\rho_{\text{الجرانيت}} = 2.70 \times 10^3\ kg/m^3$

$\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3\ kg/m^3$

المجهول

$F_{\text{الطفو}} = ?$

$F_{\text{الظاهري}} = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. احسب قوة الطفو على قالب الجرانيت.

عوض مستخدمًا $\rho_{\text{الماء}} = 1.00 \times 10^3\ kg/m^3$

و $V = 1.00 \times 10^{-3}\ m^3$ و $g = 9.80\ m/s^2$

$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{الماء}} Vg$

$= (1.00 \times 10^3\ kg/m^3)(1.00 \times 10^{-3}\ m^3)(9.80\ m/s^2)$

$= 9.80\ N$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

b. احسب وزن قالب الجرانيت، ثم أوجد وزنه الظاهري.

عوض مستخدمًا $\rho_{\text{جرانيت}} = 2.70 \times 10^3\ \text{kg/m}^3$

$V = 1.00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$ و $g = 9.80\ \text{m/s}^2$

$$F_g = \rho_{\text{الجرانيت}} Vg$$

$$= (2.70 \times 10^3\ \text{kg/m}^3)(1.00 \times 10^{-3}\ \text{m}^3)(9.80\ \text{m/s}^2)$$

$$= 26.5\ \text{N}$$

عوض مستخدمًا $n = 0.893\ \text{mol}$ ، $M = 39.9\ \text{g/mol}$

$$F_{\text{الظاهري}} = F_g - F_{\text{الطفو}}$$

$$= 26.5\ \text{N} - 9.80\ \text{N}$$

$$= 16.7\ \text{N}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تقاس كل من القوى والوزن الظاهري بوحدة النيوتن، كما هو متوقع.
- **هل الجواب منطقي؟** قوة الطفو تساوي تقريبًا ثلث وزن قالب الجرانيت، وهذه إجابة منطقية؛ لأن كثافة الماء تساوي ثلث كثافة الجرانيت تقريبًا.

مسائل تدريبية

27. إن كثافة القرميد الشائع الاستخدام أكبر 1.8 مرة من كثافة الماء. ما الوزن الظاهري لقالب من القرميد حجمه $0.20\ \text{m}^3$ مغمور تحت الماء؟

28. يطفو سباح في بركة ماء، بحيث يعلو رأسه قليلاً فوق سطح الماء. فإذا كان وزنه 610 N فما حجم الجزء المغمور من جسمه؟

29. ما مقدار قوة الشد في حبل يحمل كاميرا وزنها 1250 N مغمورة في الماء، إذا علمت أن حجم الكاميرا $16.5 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$؟

30. لوح من الفلين الصناعي كثافته تساوي 0.10 مرة من كثافة الماء تقريبًا. ما أكبر وزن من قوالب القرميد تستطيع وضعها على لوح الفلين الصناعي الذي أبعاده $1.0\ \text{m} \times 1.0\ \text{m} \times 0.10\ \text{m}$ ، بحيث يطفو اللوح على سطح الماء، وتبقى قوالب القرميد جافة؟

31. يوجد عادة في الزوارق الصغيرة قوالب من الفلين الصناعي تحت المقاعد؛ لتساعدها على الطفو في حال امتلأ الزورق بالماء. ما أقل حجم تقريبي من قوالب الفلين اللازمة ليطفو قارب وزنه 480 N؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الموائع المتحركة : مبدأ برنولي

Fluids in Motion: Bernoulli's Principle

حاول تنفيذ التجربة الموضحة في **الشكل 15–1**. ضع قطعة من ورق دفتر ملاحظاتك أسفل شفتك السفلى قليلاً، ثم انفخ بقوة فوق سطحها العلوي. لماذا ترتفع قطعة الورق؟ يقلل نفخ الهواء الضغط فوق الورقة. وبسبب انخفاض الضغط أعلى الورقة فإن ضغط الهواء الساكن نسبيًّا أسفل الورقة يدفع الورقة إلى أعلى. إن العلاقة بين السرعة والضغط المؤثر عن طريق الموائع المتحركة يسمى مبدأ برنولي نسبة إلى العالم السويسري دانييل برنولي.

■ **الشكل 15–1** يوضح النفخ فوق سطح صفيحة من الورق مبدأ برنولي.

ينص **مبدأ برنولي** على أنه عندما تزداد سرعة المائع يقل ضغطه. وهذا المبدأ تمثيل لمبدأ حفظ الشغل والطاقة عند تطبيقه على الموائع. ويعتبر تدفق المائع عبر مقطع ضيق حالة من الحالات التي تزداد فيها سرعة المائع. فصنابير الماء في بعض خراطيم الحدائق يمكن أن تتسع أو تضيق؛ لذا تتغير سرعة تدفق الماء.

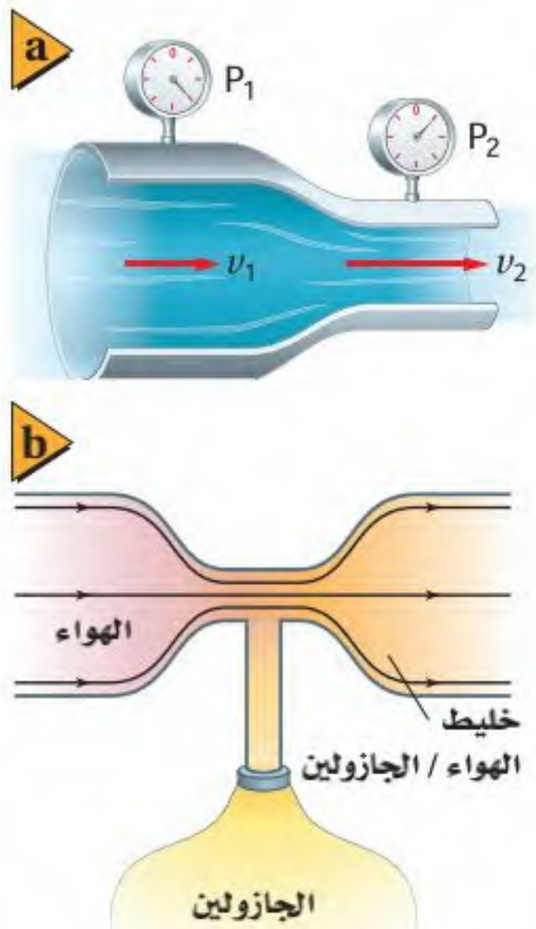
ولعلك لاحظت أنّ سرعة الماء تتزايد في جدول الماء (الوادي) عندما يمر عبر مقطع ضيّق في مجرى الجدول، وعمومًا يغير اتساع أو ضيق مجرى المائع - كخرطوم الماء أو قناة جدول الماء- من سرعة المائع، بحيث يبقى معدل التدفق للمائع محفوظًا. وبالإضافة إلى الجداول وخراطيم الماء فإن ضغط الدم في دورتنا الدموية يعتمد جزئيًّا على مبدأ برنولي. كما تتضمن معالجة أمراض القلب إزالة الانسداد في الشرايين والأوردة، وتجنب حدوث تخثرات في الدم.

لنأخذ حالة أنبوب أفقي مملوء بمائع مثالي يتدفق بسهولة؛ فإذا عبرت كمية معينة من المائع في أحد طرفي الأنبوب، فإن الكمية نفسها يجب أن تخرج من الطرف الآخر. افترض الآن أن المقطع العرضي أصبح أضيق، كما في **الشكل a 16–1**، فيجب أن تزداد سرعة تدفق المائع للحفاظ على كتلته المنتقلة عبر المقطع الضيّق خلال فترة زمنية ثابتة. لكن كلما ازدادت سرعة المائع ازدادت طاقته الحركية، وهذا يعني أن هناك محصلة شغل بُذلت على المائع السريع الحركة، وينتج هذا الشغل المحصل عن الفرق بين الشغل الذي بُذل لانتقال كمية من المائع داخل الأنبوب والشغل الذي بذل عن طريق المائع لدفع الكمية نفسها من المائع خارج الأنبوب. ويتناسب الشغل طرديًّا مع القوة المؤثرة في المائع، والتي تعتمد بدورها على الضغط. فإذا كانت محصلة الشغل موجبة وجب أن يكون ضغط المائع في المدخل عند بداية المقطع (حيث تكون سرعة المائع أقل) أكبر من الضغط في المخرج عند نهاية المقطع، حيث تكون سرعة المائع أكبر.

تطبيقات على مبدأ برنولي هناك بعض التطبيقات العملية الشائعة على مبدأ برنولي، ومنها مرش (بخّاخ) الطلاء، ومرذاذ العطر. ويعمل المرذاذ البسيط في زجاجة العطر بنفخ الهواء عبر الجزء العلوي من الأنبوب المغمور في العطر، فينخفض الضغط عند قمة الأنبوب، بحيث يصبح أقل من الضغط داخل الزجاجة، ونتيجة لذلك، يندفع العطر عبر تيار الهواء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

يعد المـــازج (Carburetor) في محرك الجازولين، حيث يختلط الهواء بالجازولين، ، تطبيقًا شـــائعًا آخر على مبدأ برنولي. إن أحد أجزاء المازج عبارة عـــن أنبوب فيه ضيق في منطقة معينـــة، كما في **الشـــكل 16b–1** ، ويكون الضغط على الجازولين في خـــزان الوقود مماثلاً للضغط في الجزء الأكثر اتســـاعًا في الأنبـــوب. لكنّ تدفق الهواء عـــبر المقطع الضيّق من الأنبـــوب والموصول بخزان الوقود يجعل الضغط منخفضًا؛ لـــذا يندفع الوقود في منطقة تدفق الهـــواء. وتتغير كمية الوقود الممزوجة بالهواء في الأنبـــوب تبعًا لتنظيم هذا التدفق. تتجه السيارات الحديثة إلى اســـتخدام محقنة الوقود أو نفثه بدلاً من نظام المازج، ولكن لا تزال أنظمة المازج شائعة الاســـتخدام في السيارات القديمة، وفي الآلات ذات المحركات التي تدار بالجازولين ومنها آلات جز العشب.



■ **الشـكل 16–1 يكون الضغط P_1 أكبر من P_2؛ لأن v_1 أقل من v_2 (a). يعمل الضغط المنخفض في الجزء الضيق من أنبوب المـازج (carburetor) على سحب الوقود إلى مجرى الهواء (b).**

خطـوط الانسـياب يســـتنفد صانعو الســـيارات والطائرات الكثير من الوقت والجهد في اختبار تصاميم جديدة للســـيارات والطائرات داخل أنفاق هوائية للتحقق من قدرتها على العمـــل بكفاءة عظمى في أثناء حركتها خلال الهواء. ويُمثَّل تدفق الموائع حول الأجســـام **بخطوط الانســـياب** الموضحة في **الشـــكل 17–1**. وتحتاج الأجسام إلى طاقة أقل لتتحرك عبر تدفق منتظم من خطوط الانسياب.

يمكن توضيح خطوط الانســـياب بصورة أفضل من خلال التمثيل البســـيط الآتي: تخيل أنك تضيف بعناية قطرات صغيرة من صبغة الطعام داخل مائع ينســـاب بشـــكل منتظم، فإذا بقيت الخطوط الملونة التي تشـــكلت دقيقة ومحددة قيل عندئذ؛ إن التدفق انســـيابيٌّ. لاحظ أنه إذا ضاق مجرى التدفق فإن خطوط الانسياب تتحرك مقتربة بعضها من بعض. وتشـــير خطوط الانسياب التي تفصلها مسافات قليلة إلى سرعة انسياب كبيرة؛ لذا يكون الضغـــط منخفضًا. من جهة أخرى إذا تحركت خطوط الانســـياب حركة ملتفة كالدوّامة بحيث أصبحت منتشرة، فعندئذ يقال: إن المائع مضطرب. ولا يطبق مبدأ برنولي في حالة التدفق المضطرب للموائع.

■ **الشـكل 17–1 تدفق خطوط للهواء فوق سيارة جرى اختبارها في نفق رياح.**

3–1 مراجعة

32. الطفو والغطس هل تطفو علبة شراب الصودا في الماء أم تغوص فيه؟ جرّب ذلك. وهل يتأثر ذلك بكون الشراب خاليًا من السكر أم لا؟ تحتوي بعض علب شراب الصودا على الحجم نفسه من السائل 354 ml، وتزيح الحجم نفسه من الماء، فما الفرق بين العلبة التي تغوص والأخرى التي تطفو؟

33. الطفو والكثافة تُزوَّد صنارة الصيد بقطعة فلين تطفو بحيث يكون عشر حجمها تحت سطح الماء. ما كثافة الفلين؟

34. الطفو في الهواء يرتفع منطاد الهيليوم؛ لأن قوة طفو الهواء تحمله، فإذا كانت كثافة غاز الهيليوم $0.18\ kg/m^3$ وكثافة الهواء $1.3\ kg/m^3$، فما حجم منطاد الهيليوم اللازم لرفع قالب من الرصاص وزنه 10 N؟

35. انتقال الضغط صُمّمت لعبة قاذفة للصواريخ بحيث يدوس الطفل على أسطوانة من المطاط، مما يزيد من ضغط الهواء في أنبوب القاذف فيدفع صاروخًا خفيفًا من الرغاوي الصناعية في السماء، فإذا داس الطفل بقوة 150 N على مكبس مساحته $2.5\times10^{-3}\ m^2$، فما القوة المنتقلة إلى أنبوب القذف الذي مساحة مقطعه $4.0\times10^{-4}\ m^2$؟

36. الضغط والقوة رُفعت سيارة تزن $2.3\times10^4\ N$ عن طريق أسطوانة هيدروليكية مساحتها $0.15\ m^2$.

a. ما مقدار الضغط في الأسطوانة الهيدروليكية؟

b. ينتج الضغط في أسطوانة الرفع عن طريق التأثير بقوة في أسطوانة مساحتها $0.0082\ m^2$، ما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في هذه الأسطوانة الصغيرة لرفع السيارة؟

37. الإزاحة أيّ مما يلي يزيح ماءً أكثر عندما يوضع في حوض مائي؟

a. قالب ألومنيوم كتلته 1.0 kg، أم قالب رصاص كتلته 1.0 kg؟

b. قالب ألومنيوم حجمه $10\ cm^3$، أم قالب رصاص حجمه $10\ cm^3$؟

38. التفكير الناقد اكتشفت في المسألة التدريبية رقم 4، أنه عندما يمر إعصار فوق منزل فإنّ المنزل ينهار أحيانًا من الداخل إلى الخارج. فكيف يفسر مبدأ برنولي هذه الظاهرة؟ وماذا يمكن أن نفعل لتقليل خطر اندفاع الباب أو الشباك إلى الخارج وتحطمه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–1 المواد الصلبة Solids

الأهداف

- **تربط** خصائص المواد الصلبة بتراكيبها.
- **تفسر** لماذا تتمدّد المواد الصلبة وتتقلص عندما تتغير درجة الحرارة.
- **تحسب** تمدّد المواد الصلبة.
- **توضح** أهمية تمدّد المواد بالحرارة.

المفردات

الشبكة البلورية
المواد الصلبة غير البلورية
معامل التمدّد الطولي
معامل التمدّد الحجمي

كيف تختلف الموادّ الصلبة عن السائلة؟ المواد الصلبة قاسية، ويمكن أن تُقطّع عدة قطع، وتحتفظ بشكلها، كما يمكنك دفع المادة الصلبة. أمّا السوائل فتتدفق، وإذا دفعت سائلاً، كالماء مثلاً، بإصبعك، فإن إصبعك يتحرك خلاله، فخصائص المواد الصلبة تختلف عن خصائص المواد السائلة، لكنك إذا شاهدت قطعة من الزبد تُسخّن، وتفقد شكلها، فقد تتساءل عما إذا كان الحد الفاصل بين حالتي الصلابة والسيولة واضحًا ومحددًا دائمًا.

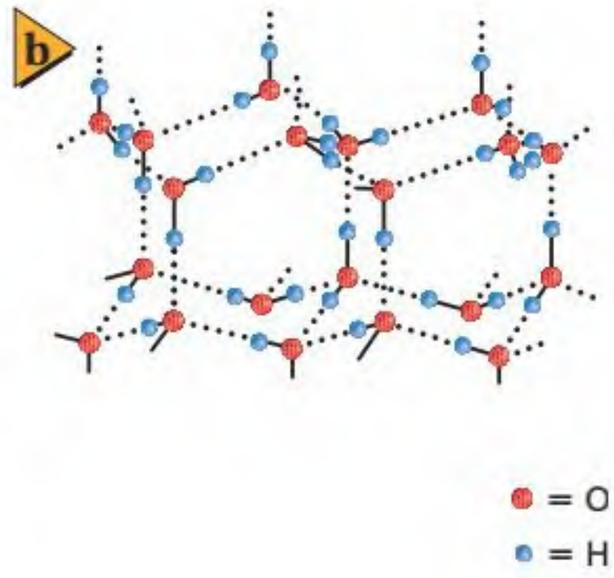
الأجسام الصلبة Solid Bodies

يصعب التفريق بين المواد الصلبة والسائلة تحت ظروف معينة ، فمثلاً في أثناء تسخين عبوة زجاجية لصهرها، يتم التغير من حالة الصلابة إلى حالة السيولة بشكل تدريجي، بحيث يصعب معرفة الحالة في لحظة ما. وبعض الموادّ الصلبة (ومنها الكوارتز البلوري) يتكون من جزيئات مصطفة بأنماط مرتبة ومنظمة، وبعض المواد الصلبة الأخرى (ومنها الزجاج) مكونة من جزيئات ليس لها ترتيب منتظم، وحالها في ذلك مشابه للسوائل. وكما ترى في **الشكل 18–1**، فالكوارتز والكوارتز غير البلوري (ويسمى أيضًا الكوارتز الزجاجي) متماثلان كيميائيًّا، ولكن خصائصهما الفيزيائية مختلفة تمامًا.

فعندما تنخفض درجة حرارة السائل ينخفض متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وعندما تبدأ الجزيئات في التباطؤ تؤثر قوة التماسك بصورة أكبر. وتصبح جزيئات بعض المواد الصلبة متجمدة على نمط ثابت يُسمى **الشبكة البلّورية**، الموضحة في **الشكل 19–1**. وعلى الرغم من أن قوة التماسك تحجز الجزيئات في مكانها إلا أن الجزيئات في المواد الصلبة البلورية لا تتوقف عن الحركة تمامًا، بل تتذبذب حول أماكن ثابتة. وهناك مواد أخرى – منها الزبدة والزجاج – لا تشكّل جزيئاتها نمطًا بلوريًّا ثابتًا ومحددًا.وهذه المواد التي ليس لها تركيب بلوري منتظم ولكن لها حجم وشكل محددان تُسمى **المواد الصلبة غير البلورية**، كما تصنّف أيضًا على أنها سوائل لزجة أو بطيئة التدفق.

الشكل 18–1 تترتب الجزيئات في الشبكة البلورية في نمط منظم (a). تنصهر المواد الصلبة البلورية عند درجة حرارة معينة. الكوارتز غير البلوري متماثل كيميائيًا مع الكوارتز البلوري، ولكن جزيئاته عشوائية الترتيب. وعندما ينصهر الكوارتز غير البلوري تتغير خصائصه ببطء على مدى معين من درجات الحرارة، مما يسمح بتشكيله بطريقة مشابهة للزجاج المعروف (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 19 – 1** الجليد هو الشكل الصلب للماء، وله حجم أكبر من الشكل السائل للكتلة نفسها من الماء (**a**)، التركيب البلوري للجليد على شكل شبكة بلورية (**b**).

الضغط والتجمد عندما يتحول سائل إلى مادة صلبة فإن جزيئاته عادة تُعيد ترتيب نفسها لتصبح قريبة من بعضها البعض أكثر ممّا كانت عليه في الحالة السائلة، مما تجعل المواد الصلبة أكثر كثافة من السوائل. وكما تعلمت سابقًا، فإن للماء حالة خاصة في تمدّده؛ حيث تكون كثافته أكبر ما يمكن عند $4C^{\circ}$، مما يجعله يتمدد عند تجمده، فإن الزيادة في الضغط تجبر الجزيئات على الاقتراب من بعضها البعض لتقاوم التجمد؛ لذا فإنه عند التعرض لضغط أكبر تنخفض درجة تجمد الماء على نحو طفيف.

كانت هناك فرضية مقترحة لتفسير تكوُّن طبقة رقيقة من الماء السائل بين الزلاجات والجليد. تزعم الفرضية أن الضغط الناجم عن الزلاجات فوق سطح الجليد يخفض درجة التجمد، مما يؤدي إلى صهر بعض الجليد. لكن الحسابات الفعلية لمقدار الضغط الناتج عن الزلاجات (حتى الرفيعة منها) لا يكفي لصهر الجليد بسبب درجة حرارته المنخفضة جدًّا، وقد بينت القياسات الحديثة أن الاحتكاك بين الشفرات والجليد يولد طاقة حرارية كافية لصهر الجليد وتشكيل طبقة رقيقة من الماء. وقد عُزّز هذا التفسير عن طريق بعض القياسات التي بينت أن درجة حرارة رذاذ الجليد المتطاير أعلى بشكل ملحوظ من درجة حرارة الجليد نفسه، وعملية انصهار الجليد بالطريقة نفسها هي التي تحدث خلال التزلج على الثلج.

مرونة المواد الصلبة من الممكن أن تؤدي القوى الخارجية المؤثرة في الأجسام الصلبة إلى انحناء هذه الأجسام. وتسمى قدرة الأجسام الصلبة على العودة إلى شكلها الأصلي عندما يزول تأثير القوى الخارجية بمرونة المواد الصلبة. أمّا إذا حدث تشوه كبير جدًّا فإن الجسم لا يعود إلى شكله الأصلي؛ لأنه قد تجاوز حد مرونته. وتعتمد المرونة على القوى الكهرومغناطيسية التي تحافظ على بقاء جزيئات المادة معًا.

إن قابلية الطرق وقابلية السحب خاصيتان تعتمدان على تركيب المادة ومرونتها؛ فالذهب يمكن تشكيله على صورة رقائق دقيقة جدًّا، ولذلك يُقال: إنه قابل للطرق. والنحاس يمكن سحبه على شكل سلك، ولذلك يقال: إنه قابل للسحب.

King Faisal PRIZE

مُنح البروفيسور كارل وايمان جائزة الملك فيصل لعام 1417هـ/ 1997م لنجاحه، مع زميله الدكتور إريك كورنل، في اكتشاف أنَّ للمادة حالة جديدة لم تسبق مشاهدتُها هي حالة التكاثف التي تحدث إذا انخفضت درجة حرارتها تحت مستوى معين.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التمـدد الحراري للمواد الصلبة Thermal Expansion of Solids

من الإجراءات المعتادة عند تصميم الجسور الخرسانية والفولاذية على الطرق السريعة، أن يترك المهندسون فجوات صغيرة (فواصل)، تسمى وصلات التمدد، بين أجزاء الجسور، وذلك للسماح بتمدد أجزاء الجسر في أيام الصيف الحارة. تتمدد الأجسام بمقدار يسير فقط عندما تتعرض للتسخين، ولكن هذا المقدار اليسير قد يكون عدة سنتمترات في حالة جسر طوله 100 m، وإذا أُغفلت فجوات التمدد هذه في التصميم فقد يتقوس الجسر أو تتحطم أجزاؤه. وقد تحطم درجات الحرارة العالية كذلك مسارات السكك الحديدية التي تُغفل فيها وصلات التمدد، انظر **الشكل 20–1**. وتصمم بعض المواد -ومنها زجاج الأفران التي تستخدم في الطبخ في التجارب المختبرية لتتمدّد بأقل ما يمكن. وتصنع مرايا التلسكوبات الكبيرة من مادة السيراميك، والتي تصمّم لتعمل دون تمدد حراري يذكر.

الشكل 20–1 لقد تسببت درجات الحرارة العالية أيام الصيف الحارة في تقوس مسارات سكة الحديد.

ولكي تفهم تمدد الموادّ الصلبة المسخنة، تصور المواد الصلبة مجموعة من الجزيئات المتصلة معًا من خلال نوابض، حيث تمثل النوابض قوى التجاذب بين الجزيئات؛ فعندما تصبح الجزيئات قريبة جدًّا بعضها من بعض فإن النابض يدفعها بعيدًا. وعندما تسخّن المادة الصلبة تزداد الطاقة الحركية لجزيئاتها وتبدأ في الاهتزاز السريع، وتتحرك مبتعدة بعضها عن بعض، مما يُضعف قوى التجاذب بين الجزيئات فتهتز باضطراب أكثر من السابق؛ بسبب زيادة درجة الحرارة، ويزداد متوسط التباعد بين الجزيئات، فتتمدد المادة الصلبة.

يتناسب التغير في طول المادة الصلبة طرديًّا مع التغير في درجة حرارتها، كما هو موضّح في **الشكل 21–1**. فإذا ازدادت درجة حرارة جسم صلب بمقدار $20\ ^\circ C$ فإن تمدده يساوي ضعف تمدده عندما تكون الزيادة في درجات حرارته بمقدار $10\ ^\circ C$. ويتناسب التمدّد أيضًا طرديًّا مع طول الجسم؛ لذا يتمدّد قضيب طوله 2 m ضعف تمدد قضيب طوله 1 m عند التغير نفسه في درجة الحرارة. ويمكن إيجاد الطول الجديد L_2 للمادة الصلبة عند درجة حرارة T_2 باستخدام المعادلة الآتية، حيث L_1 الطول عند درجة الحرارة T_1 ؛ أمّا ألفا α، فتمثل **معامل التمدد الطولي للمادة**.

$$L_2 = L_1 + \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

باستخدام مبادئ الجبر البسيطة، يمكنك حل المعادلة بالنسبة للمعامل α.

$$L_2 - L_1 = \alpha L_1 (T_2 - T_1)$$

$$\Delta L = \alpha L_1 \Delta T$$

معامل التمدد الطولي $\alpha = \dfrac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$

معامل التمدد الطولي يســاوي التغير في الطول مقسومًا على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

ووحــدة معامل التمدد الطولي هــي ($^\circ C^{-1}$ أو $\frac{1}{^\circ C}$). ولأن الموادّ الصلبة تتمدد في ثلاثة أبعاد فإن **معامل التمدد الحجمي** β، يعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدّد الطولي.

معامل التمدّد الحجمي $\beta = \dfrac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$

معامل التمدّد الحجمي يساوي التغير في الحجم مقسومًا على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة.

إن وحــدة المعامل β هــي ($\frac{1}{^\circ C}$ أو $^\circ C^{-1}$). ويبين **الجــدول 2–1** معاملي التمدد الحراري لمجموعة من المواد المختلفة.

■ **الشكل 21–1 يتناسب التغير في طول المادة طرديًا مع الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.**

الجدول 2–1

		معامل التمدد الحراري عند 20 °C	
	المادة	معامل التمدد الطولي $(^\circ C^{-1})\ \alpha$	معامل التمدد الحجمي $(^\circ C^{-1})\ \beta$
المواد الصلبة	الألومنيوم	25×10^{-6}	75×10^{-6}
	الزجاج (الناعم)	9×10^{-6}	27×10^{-6}
	الزجاج (واقي الفرن)	3×10^{-6}	9×10^{-6}
	الأسمنت	12×10^{-6}	36×10^{-6}
	النحاس	16×10^{-6}	48×10^{-6}
السوائل	الميثانول		1200×10^{-6}
	البنزين		950×10^{-6}
	الماء		210×10^{-6}

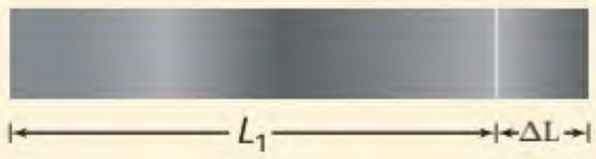
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 4

التمدّد الطولي قضيب معدني طوله 1.60 m عند 21 °C، فإذا وضع هذا القضيب في فرن وسُخّن إلى درجة حرارة 84 °C، وقيس طوله فوجد أنه ازداد بمقدار 1.7 mm، فما معامل التمدد الطولي للمادة المصنوع منها القضيب؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- وضح بالرسم القضيب الذي ازداد طوله بمقدار 1.7 mm عند درجة حرارة 84 °C وأصبح طوله أكبر مما كان عليه عند درجة حرارة 21 °C.
- حدد الطول المبدئي للقضيب L_1، والتغير في الطول ΔL.



المعلوم	المجهول
$L_1 = 1.60\ m$	$\alpha = ?$
$\Delta L = 1.7 \times 10^{-3}\ m$	
$T_1 = 21\ ^\circ C$	
$T_2 = 84\ ^\circ C$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

احسب معامل التمدّد الطولي مستخدمًا الطول المعلوم، والتغير في كل من الطول ودرجة الحرارة.

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T}$$

عوّض مستخدمًا $\Delta T = (T_2 - T_1) = 84\ ^\circ C - 21\ ^\circ C$، $L_1 = 1.60\ m$، $\Delta L = 1.7 \times 10^{-3}\ m$

$$\alpha = \frac{1.7 \times 10^{-3}\ m}{(1.60\ m)\ (84\ ^\circ C - 21\ ^\circ C)}$$

$$= 1.7 \times 10^{-5}\ ^\circ C^{-1}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** تم التعبير عن الوحدات بطريقة صحيحة بوحدة $^\circ C^{-1}$.
- **هل الجواب منطقي؟** إن مقدار المعامل قريب من القيمة المقبولة للنحاس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

39. قطعة من الألومنيوم طولها 3.66 m عند درجة حرارة 28 °C-. كم يزداد طول القطعة عندما تصبح درجة حرارتها 39 °C؟

40. قطعة من الفولاذ طولها 11.5 cm عند 22 °C، فإذا سُـخّنت حتى أصبحت درجة حرارتها 1221 °C، وهي قريبة من درجة حرارة انصهارها، فكم يبلغ طولها بعد التسخين؟(معامل التمدد الطولي للفولاذ $12 \times 10^{-6}\ ^{\circ}C^{-1}$)

41. مُلئ وعاء زجاجي سعته 400 ml عند درجة حرارة الغرفة بماء بارد درجة حرارته 4.4 °C. ما مقدار الماء المسكوب من الوعاء عندما يسخن الماء إلى 30.0 °C ؟

42. مُلئ خزان شاحنة لنقل البنزين سـعته 45,725 L بالبنزين لينقله من مدينة الدمام نهارًا حيث كانت درجة الحرارة 38.0 °C، إلى مدينة تبوك ليلاً حيث درجة الحرارة 2.0 °C -.

a. كم لترًا من البنزين سيكون في خزان الشاحنة في تبوك؟

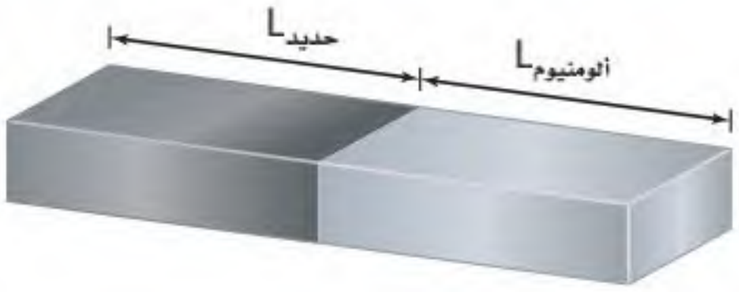
b. ماذا حدث للبنزين؟

43. حُفر ثقب قطره 0.85 cm في صفيحة من الفولاذ عند 30.0 °C فكان الثقب يتسع بالضبط لقضيب من الألومنيوم له القطر نفسه. ما مقدار الفراغ بين الصفيحة والقضيب عندما يبردان لدرجة حرارة 0.0 °C؟

44. دُرِّجت مسطرة من الفولاذ بوحدة الملمترات، بحيث تكون دقيقة بصورة مطلقة عند 30.0 °C. فما النسبة المئوية التي تمثل عدم دقة المسطرة عند 30.0 °C - ؟

مسـألة تحفيز

تحتـاج إلى صنع قضيب طولـه 1.00 m يتمـدّد بازدياد الحرارة بالطريقة نفسها التي يتمدد بها قضيب من النحاس طوله 1.00 m. يشـترط في القضيب المطلـوب أن يكون مصنوعًـا من جزأين، أحدهما مـن الفولاذ والآخر من الألومنيـوم موصولين معًا، كما يبين الشكل. فكم يجب أن يكون طول كل منهما؟



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تطبيقات التمدّد الحراري تتمدّد المواد المختلفة بمعدلات مختلفة، كما أشير إليها بمعاملات التمدّد المختلفة الموضحة في **الجدول 2–1**. وعلى المهندسين الأخذ بعين الاعتبار معدلات التمـدّد المختلفة هذه عند تصميم المباني. فمثلاً تسـتخدم القضبان الفولاذية غالبًا لتقوية الأسمنت؛ لذا يجب أن يكون للفولاذ والأسمنت معامل التمدد نفسه، وإذا لم يكن كذلك فإن المبنى سـيتصدع في الأيام الحارّة. وبطريقة مماثلة، يكون على طبيب الأسنان استخدام الموادّ التي يحشو بها الأسنان بحيث تتمدد وتتقلص بالمعدل نفسه لتمدد مينا الأسنان.

إنّ المعـدلات المتباينة للتمدد لهـا تطبيقات مهمة؛ فمثلاً يسـتفيد المهندسـون من هذه الاختلافات في صنع أداة مفيدة تُسـمى المزدوج الحراري، وهـي عبارة عن شريحة ثنائية الفلز تستخدم في منظمات الحرارة (أجهزة الثرموستات).

يتكون المزدوج الحراري من شريحتين من فلزيـن مختلفين، ملحومتين أو مثبتتين إحداهما إلى جـوار الأخرى، وتكون إحداهما عادة من النحـاس الأصفر، والأخرى من الحديد، وعند تسـخينهما يتمدد النحاس الأصفر أكثر من الحديد. وعندما يُسخّن الشريط الثنائي الفلز (النحاس الأصفر والحديد)، يصبـح جزء النحاس أطول من جزء الحديد، ونتيجة لذلك ينحني الشريط الثنائي الفلز بحيث يكون النحاس على السطح الخارجي للمنحنى، وعندما يبرد ينحني في الاتجاه العكسي، حيث يكون النحاس في الجزء الداخلي للمنحنى.

يُركَّب الشريط الثنائي الفلز في منظم الحرارة (الثرموستات) في أجهزة التدفئة المنزلية، كما في **الشـكل 22–1**، بحيث ينحني في اتجاه نقطة التوصيـل الكهربائي عندما تبرد الغرفة؛ فعندما تنخفض درجة حرارة الغرفة أقل من درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموستات ينحني الشريط الثنائـي الفلز بمقدار يكون كافيًا لإحداث توصيـل كهربائي مع المفتاح حيث يُشغِّل المُسخِّن، وحينما تصل درجة حرارة الغرفة إلى درجة الحرارة المحددة في جهاز الثرموسـتات تفتح الدائرة الكهربائية، ويتوقف المسخِّن عن العمل. أما في أجهزة التبريد فيصمم الشريـط الثنائي الفلز بحيث ينحني لإحداث توصيل كهربائي يشـغل المبرد إذا ارتفعت درجة الحرارة إلى حد معين في جهاز الثيرموستات، وعندما تنخفض الحرارة عن حد معين ينحني في الاتجاه المعاكس، فيوقف عمل المبرد.

■ **الشكل 22–1** في منظم الحرارة (الثيرموستات) المبين هنا، يتحكم شريط حلزوني الشكل مصنوع من فلزين (مزدوج حراري) في تدفق الزئبق لفتح الدوائر الكهربائية وإغلاقها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

4–1 مراجعة

45. **التقلص الحراري النسبي** إذا ركَّبت بابًا من الألومنيوم في يوم حار على إطار باب من الأسمنت، وأردت أن يكون الباب محكم الإغلاق تمامًا في أيام الشتاء الباردة، فهل ينبغي أن تجعل الباب محكمًا في الإطار أم تترك فراغًا إضافيًّا؟

46. **حالات المادة** لماذا يعد الشمع مادة صلبة؟ ولماذا يُعد أيضًا سائلاً لزجًا؟

47. **التمدد الحراري** هل يمكنك تسخين قطعة من النحاس بحيث يتضاعف طولها؟

48. **حالات المادة** هل يزودنا **الجدول 2–1** بطريقة للتمييز بين الموادّ الصلبة والسوائل؟

49. **المواد الصلبة والسوائل** يمكن تعريف المادة الصلبة على أنها تلك المادة التي يمكن ثنيها على الرغم من أنها تقاوم الانحناء. فسر كيف ترتبط هذه الخصائص مع ترابط الذرات في المواد الصلبة لكنها لا تنطبق على السوائل؟

50. **التفكير الناقد** قُطع من الحلقة الحديدية الصلبة في **الشكل 23–1** قطعة صغيرة. فإذا سُخِّنت الحلقة التي في الشكل، فهل تصبح الفجوة أكبر أم أصغر؟ وضح إجابتك.

الشكل 23–1

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

التبريد بالتبخر

هل سبق أن سكبت كمية صغيرة من الكحول على جلدك؟ من المحتمل أنك قد شعرت بالبرودة. وقد تعلمت سابقًا أن هذه البرودة تكون نتيجة التبخر. ستختبر في هذه التجربة المعدلات التي تتبخر بها أنواع مختلفة من الكحول. إن الكحول مادة مكونة من مجموعة الهيدروكسيل الوظيفية (OH-) مرتبطة مع الكربون أو مع سلسلة كربونية. وستستنتج من خلال ملاحظاتك عن التبريد بالتبخر الشدة النسبية لقوى التماسك في الكحول الخاضع للاختبار.

سؤال التجربة

ما الفرق بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول؟ وما أوجه الشبه بينها؟

الأهداف

- **تجمع** البيانات حول تبخر أنواع مختلفة من الكحول وتنظمها.
- **تقارن** بين معدلات تبخر أنواع مختلفة من الكحول.
- **تحلّل** سبب تبخر بعض أنواع الكحول بمعدل أكبر مقارنة بالأنواع الأخرى.
- **تستنتج** العلاقة بين قوى التماسك ومعدلات التبخر.

احتياطات السلامة

- **الموادّ الكيميائية المستخدمة في هذه التجربة قابلة للاشتعال وسامّة، فلا تستنشق الأبخرة المتصاعدة من هذه الكيماويات، ولا تترك مصدرًا مشتعلاً بالقرب من هذه المواد، واستخدم هذه المواد في غرفة جيدة التهوية أو تحتوي على جهاز طرد الغازات.**
- **احذر ملامسة هذه المواد لجلدك أو ملابسك، وأخبر معلمك فورًا إذا وقع حادث أو انسكبت إحدى هذه الموادّ.**
- **اغسل يديك جيدًا بعد إنهاء التجربة.**

المواد والأدوات

ميثانول (كحول الميثيل)
إيثانول (كحول إيثيلي)
2-بروبانول (كحول إيزوبروبيلي)
شريط لاصق (قطعتان)
مقياس حرارة (غير زئبقي)
ورق ترشيح (ثلاث قطع $2.5\ cm \times 2.5\ cm$)
رباطات مطاطية صغيرة

الخطوات

1. غلّف مقياس الحرارة بقطعة مربعة من ورق الترشيح، وثبتها جيدًا برباط مطاطي صغير. ولتنفيذ ذلك ضع الرباط المطاطي أولاً على مقياس الحرارة، ثم لف الورقة حول مقياس الحرارة، ولف الرباط المطاطي حول الورقة، واحرص على أن تكون الورقة ملفوفة بإحكام حول نهاية مقياس الحرارة.
2. أحضر إناءً صغيرًا فيه ميثانول، وضع نهاية مقياس الحرارة المغطاة بالورقة فيه . ولا تدع الإناء ينقص، واترك مقياس الحرارة في الإناء دقيقة واحدة.
3. سجّل بعد دقيقة واحدة درجة الحرارة التي يقرؤها مقياس الحرارة في جدول البيانات في العمود T_1. حيث تمثل هذه القراءة درجة الحرارة الابتدائية للميثانول.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات			
سائل	T_2 (°C)	T_1 (°C)	ΔT (°C)
الكحول الميثيلي			
الكحول الإيثيلي			
الكحول الأيزوبروبيلي			

4. أزل مقياس الحرارة مـــن الميثانول وضعه على حافة الطاولة بحيث يمتد طرف مقياس الحرارة 5 cm تقريبًا خلف الحافة. واستخدم الشريط اللاصق لتثبيت مقياس الحرارة في مكانه.
5. راقب درجة الحرارة خلال التجربة، وبعد مضي أربع دقائق راقب، ثم سجل درجة الحرارة في البيانات في العمود T_2.
6. أزل الرباط المطاطي من مقياس الحرارة، وتخلص من ورقة الترشيح حسب تعليمات المعلم.
7. كرر الخطوات من 1 إلى 6، متخذًا الإيثانول ســائلاً في هذه الحالة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.
8. كرر الخطوات من 1 إلى 6، متخذًا كحول الأيزوبروبيل سائلاً في هذه الحالة، وسجّل النتائج في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسر النتائج** هل أظهر مقياس الحرارة في أثناء محاولاتك ارتفاعًا في درجة الحرارة أم انخفاضًا؟ ولماذا؟
2. احسب ΔT لكل من السوائل، وذلك بإيجاد الفرق بين درجة الحرارة النهائية ودرجة الحرارة الابتدائية للسوائل ($T_2 - T_1$).
3. استخدم الصيغ الكيميائية للميثانول (CH_3OH)، والإيثانول (C_2H_5OH)، وكحــول الأيزوبروبيل (C_3H_7OH)؛ لتحديد الكتلة المولية لكل من المحاليل التي تم اختبارها. ستحتاج إلى الرجوع للجدول الدوري لحساب الكتلة المولية.
4. **استنتج** ماذا تستنتج من قيمة ΔT في كل محاولة بالنسبة لمعدل التبخر للأنواع المختلفة من الكحول؟
5. **التفكير الناقد** لماذا وُضع الورق على مقياس الحرارة بدلاً من استخدام مقياس الحرارة وحده؟

الاستنتاج والتطبيق

1. استخدم معدلات التبخر للكحول التي درستها، كيف يمكن أن تحدد أي أنواع الكحول قوة تماسكه أكبر؟
2. أي أنواع الكحول قوة تماسكه أقل؟
3. ما العلاقة العامة التــي وجدتها بين التغير في درجة الحرارة (ΔT) والكتلة المولية للكحول؟
4. **كوّن فرضية** هل يؤدي تشغيل مروحة في المختبر إلى تغيير درجة حرارة الغرفة؟ وهل يغير قيمة ΔT التي راقبتها؟ وضح ذلك.

التوسع في البحث

توقع مقدار ΔT لكحول 1- بيوتانول الذي صيغته الكيميائية C_4H_9OH بالنسبة إلى قيم ΔT لأنواع الكحول التي اختبرتها.

الفيزياء في الحياة

بدأت دائرة الأرصاد الجوية الأمريكية في اســتخدام دليل برودة الرياح عام 2001م، وكانت خرائــط الطقس القديمة تعتمد على البيانات المســتخلصة من تجارب تجمد الماء التي أُجريت في منطقة القطب الجنوبي سنة 1940م. وضح كيف ترتبط برودة الرياح مع التبريد بالتبخر؟ ولماذا تعد هذه الظاهرة مهمة في الطقس البارد؟ وما التعديل الذي أضافته الخرائط الحديثة للخرائط القديمة؟

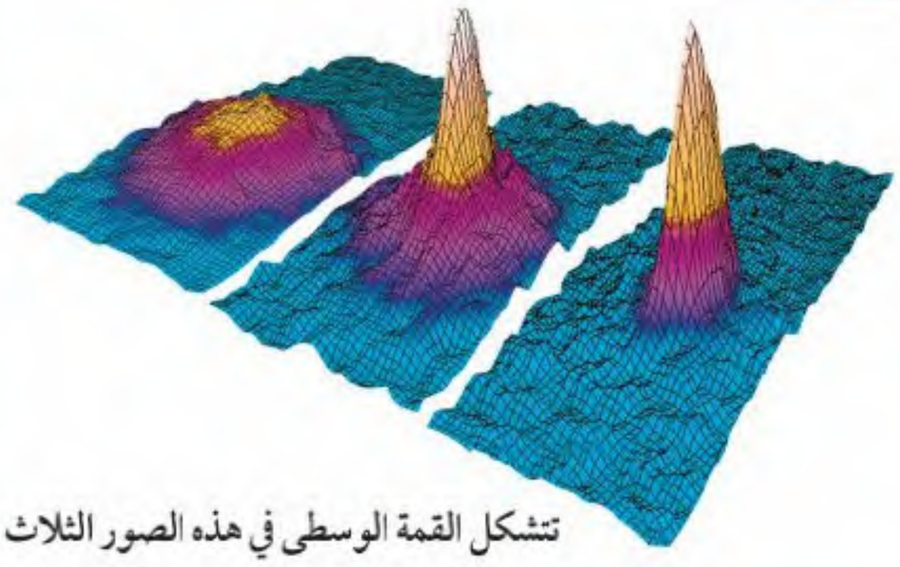
المادة العجيبة A Strange Matter

أصبحت حالات المادة الأربع الأكثر شيوعًا (الصلبة، والسائلة، والغازية، والبلازما) مألوفة لديك، ولكن هل علمت أن هناك حالة خامسة للمادة؟ تَعرَّفْ تكثّف بوز - أينشتاين (BEC).

ما تكثّف بوز - أينشتاين؟ إن بدايات BEC كانت عام 1920م من خلال الدراسات التي قام بها ستندراناث بوز على قوانين فيزياء الكم التي تخضع لها طاقات الفوتونات. فقد طبّق أينشتاين معادلات بوز على الذرات، وأظهرت المعادلات أنه إذا كانت درجة الحرارة لذرات معينة منخفضة فإن معظم الذرات ستكون في مستوى الطاقة الكمي نفسه. وبتعبير آخر، عند درجات الحرارة المنخفضة جدًّا تهبط الذرات التي تحتل مستويات مختلفة للطاقة فجأة إلى أقل مستوى ممكن للطاقة. وعند درجات الحرارة هذه - والتي لا توجد في الطبيعة، ولكن يمكن إيجادها في المختبر باستخدام تقنية متقدمة جدًّا - لا يمكن التمييز بين ذرات BEC كما تكون مواقعها متماثلة.

كيف نشأت BEC؟ تمكن العالمان إيرك كورنيل وكارل وايمن من التوصل إلى أول حالة BEC في عام 1995م، ولإيجاد BEC استخدم العالمان ذرات عنصر الروبيديوم. وكان عليهما أن يقررا كيفية تبريد هذه الذرات إلى درجة حرارة أخفض من أي درجة تم الوصول إليها حتى تلك اللحظة.

وقد تندهش عندما تعلم أن إحدى الخطوات المهمة للوصول إلى درجات حرارة منخفضة جدًّا هي استخدام أشعة الليزر لتبريد ذرات الروبيديوم. يمكن لليزر صهر الفلز، ويمكنه أيضًا تبريد عينة من الذرات إذا ضُبط؛ لكي ترتد فوتوناته عن الذرات، وفي هذه الحالة ستحمل الفوتونات جزءًا من طاقة الذرات ممّا يؤدي إلى انخفاض



تتشكل القمة الوسطى في هذه الصور الثلاث عند تكثف الذرات لتكوين BEC.

درجة حرارة العينة، ولكن أشعة الليزر لن تُبرّد العينة إذا لم يتم ضبطها بدقة عالية.

وعندما تُضبط أشعة الليزر عند التردّد المناسب فإن النتيجة تكون عبارة عن عينة ذراتها باردة جدًّا.

تُحفظ هذه الماده المتكوّنة في حيّزٍ يحدده شعاع الليزر مع المجال المغناطيسي، ولا تُحفظ في وعاء ماديّ لمنع حدوث تماسٍّ حراري يكسبها حرارة.

تُبرّد هذه العينة عن طريق الليزر إلى درجة حرارة ($\frac{1}{10000}$K) تقريبًا)، لكنها بذلك لن تكون باردة بما يكفي لتكوين BEC؛ لذا يستخدم العلماء التبريد بالتبخير لإنجاز الخطوة النهائية للوصول إلى درجة الحرارة المطلوبة. وتتم عملية التبريد بالتبخير كالآتي:

يتم احتجاز الذرات في وعاء ثم يطبق عليه مجال مغناطيسي قوي جداً، يؤثر هذا المجال عليها بقوة فيسمح للذرات ذات الطاقة الأعلى بالانطلاق تاركة الذرات ذات الطاقة المتدنية جداً، وهذه هي الذرات التي تتكثف فجأة لتكوين BEC.

التوسع

1. **قوّم** الصعوبات التي يمكن أن تواجه العلماء للتغلب على إيجاد تطبيقات لحالة BEC.
2. **قارن** هل عملية التبريد بالتبخير التي توجِد حالة BEC هي العملية نفسها التي تساعدك على الحفاظ على برودتك في يوم حار؟ وضح ذلك

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

1–1 خصائص الموائع Properties of fluids

المفردات

- الموائع
- الضغط
- باسكال
- القانون العام للغازات
- قانون الغاز المثالي
- التمدد الحراري
- البلازما

المفاهيم الرئيسة

- من خصائص المواد في الحالة السائلة القدرة على التدفق وعدم ثبات الشكل.
- الضغط يساوي القوة مقسومة على المساحة التي تؤثر فيها القوة. $P = \frac{F}{A}$
- يمكن استخدام القانون العام للغازات لحساب التغير في الحجم، ودرجة الحرارة، وضغط الغاز المثالي.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

- يمكن كتابة قانون الغاز المثالي على النحو الآتي: $PV = nRT$

1–2 القوى داخل السوائل Forces within Liquids

المفردات

- قوى التماسك
- قوى التلاصق

المفاهيم الرئيسة

- قوى التماسك هي قوى التجاذب التي تؤثر بها الجزيئات المتماثلة بعضها في بعض، ويَنتج كلٌّ من التوتر السطحي واللزوجة عن قوى التماسك.
- قوى التلاصق هي قوى تجاذب تؤثر بها جزيئات المواد المختلفة بعضها في بعض، وتنتج الخاصية الشعرية عن قوى التلاصق.

1–3 الموائع الساكنة و الموائع المتحركة Fluids at Rest and in Motion

المفردات

- مبدأ باسكال
- قوة الطفو
- مبدأ أرخميدس
- مبدأ برنولي
- خطوط الانسياب

المفاهيم الرئيسة

- ينتقل التغير في الضغط، دون نقصان، خلال السائل اعتمادًا على مبدأ باسكال. $F_2 = \frac{F_1 A_2}{A_1}$
- يتناسب الضغط عند عمق معين طرديًّا مع وزن المائع عند ذلك العمق. $P = \rho hg$
- قوة الطفو تساوي وزن المائع المزاح عن طريق جسم اعتمادًا على مبدأ أرخميدس.

$$F_{\text{الطفو}} = \rho_{\text{المائع}} Vg$$

- ينص مبدأ برنولي على أن ضغط المائع ينخفض كلّما ازدادت سرعته.

1–4 المواد الصلبة Solids

المفردات

- الشبكة البلورية
- الموادّ الصلبة غير البلورية
- معامل التمدد الطولي
- معامل التمدد الحجمي

المفاهيم الرئيسة

- تترتب الجزيئات في المواد الصلبة البلورية وفق نمط منتظم، أما المواد الصلبة غير البلورية فلا يوجد لجزيئاتها نمط منتظم.
- يتناسب التمدد الحراري طرديًّا مع التغير في درجة الحرارة والحجم الأصلي، ويعتمد ذلك على نوع المادة.

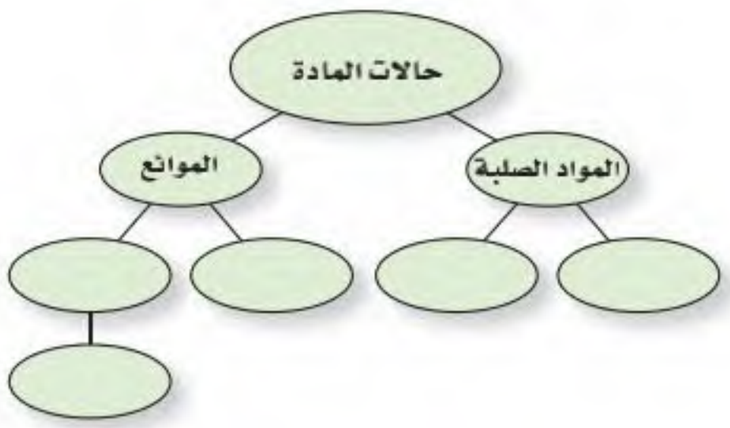
$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_1 \Delta T} \qquad \beta = \frac{\Delta V}{V_1 \Delta T}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 1
التقويم

خريطة المفاهيم

51. أكمل خريطة المفاهيم أدناه مستخدمًا المصطلحات الآتية: الكثافة، اللزوجة، المرونة، الضغط. ويمكن استخدام المفهوم الواحد أكثر من مرة.



إتقان المفاهيم

52. كيف تختلف القوة عن الضغط؟

53. حُصِر غاز في وعاء مغلق بإحكام، ووضع سائل في وعاء له الحجم نفسه وكان لكل من الغاز والسائل حجم محدد، فكيف يختلف أحدهما عن الآخر؟

54. ما أوجه التشابه والاختلاف بين الغازات والبلازما؟

55. تتكون الشمس من البلازما، فكيف تختلف بلازما الشمس عن تلك التي على الأرض؟

56. **البحيرات** تنصهر البحيرات المتجمدة خلال فصل الربيع، فما تأثير ذلك في درجة حرارة الهواء فوق البحيرة؟

57. **الكشافة** تُغطي المطّارات التي يستخدمها الكشافة أحيانًا بكيس من قماش الكتّان. إذا رطّبت الكيس الذي يغطي المطرة فإن الماء في المطرة سيبرد. فسر ذلك.

58. ماذا يحدث للضغط عند قمة الإناء إذا ازداد الضغط عند قاعه اعتمادًا على مبدأ باسكال؟

59. ينتقل تيار مائي خلال خرطوم ويخرج من فوهته. فماذا يحدث لضغط الماء عندما تزداد سرعته؟

60. بم تخبرك الأواني المستطرقة الموضحة في **الشكل 24-1** عن الضغط المؤثر بواسطة السائل؟

الشكل 24-1

61. قارن بين ضغط الماء على عمق 1 m تحت سطح بركة صغيرة وضغط الماء عند العمق نفسه تحت سطح بحيرة؟

62. كيف يختلف ترتيب الذرات في المادة البلورية عن ترتيبها في المادة غير البلورية؟

63. هل يعتمد معامل التمدد الطولي على وحدة الطول المستخدمة؟ فسر ذلك.

تطبيق المفاهيم

64. يستقر صندوق على شكل متوازي مستطيلات على وجهه الأكبر على طاولة. فإذا أُدير الصندوق بحيث أصبح يستقر على وجهه الأصغر، فهل يزداد الضغط على الطاولة، أم ينقص أم يبقى دون تغيير؟

65. بَيّن أن وحدة الباسكال تكافئ وحدة $kg/m.s^2$.

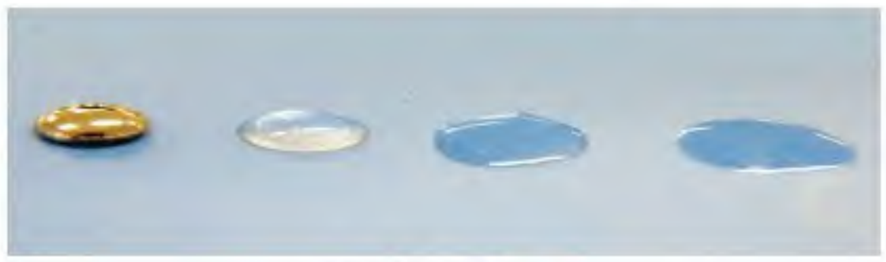
66. **شحن البضائع** أيهما تغطس لمسافة أعمق في الماء: باخرة مملوءة بكرات تنس الطاولة أم باخرة فارغة مماثلة لها؟ فسر إجابتك.

67. ما عمق وعاء من الماء الضغط عند قاعه يساوي قيمة الضغط في قاع وعاء مملوء بالزئبق، وعمقه 10.0 cm ، علمًا بأن كثافة الزئبق تزيد 13.55 مرة على كثافة الماء؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 1

68. وضعت قطرات من الزئبق، والماء، والإيثانول والأسيتون على سطح مستو أملس، كما في **الشكل 25-1**. ماذا تستنتج عن قوى التماسك في هذه السوائل من خلال هذا الشكل ؟



■ الشكل 25-1

69. يتبخر الكحول بمعدل أسرع من تبخر الماء عند درجة الحرارة نفسها، ماذا تستنتج من هذه الملاحظة عن خصائص الجزيئات في كلا السائلين؟

70. افترض أنك استخدمت مثقبًا لإحداث ثقب دائري في صفيحة من الألومنيوم. إذا سخنت الصفيحة، فهل يزداد حجم الثقب أم يقل؟ فسر ذلك.

71. وضعت خمسة أجسام في خزان من الماء كثافاتها على النحو الآتي:

a. $0.85\ g/cm^3$ **d.** $1.15\ g/cm^3$

b. $0.95\ g/cm^3$ **e.** $1.25\ g/cm^3$

c. $1.05\ g/cm^3$

وكثافة الماء $1.00\ g/cm^3$. ويوضح **الشكل 26-1** ستة مواقع محتملة لهذه الأجسام، اختر المواقع من 1 إلى 6 لكل من الأجسام الخمسة. (ليس من الضروري اختيار المواقع كلها)

■ الشكل 26-1

72. تم تسخين حجمين متساويين من الماء في أنبوبين ضيقين ومتماثلين، إلا أن الأنبوب A مصنوع من الزجاج العادي، والأنبوب B مصنوع من الزجاج القابل للتسخين في الأفران. وعندما ارتفعت درجة الحرارة، ارتفع مستوى الماء في الأنبوب B أكثر من الأنبوب A. فسر ذلك.

إتقان حلّ المسائل

1-1 خصائص الموائع

73. **الكتاب المقرر** كتاب فيزياء كتلته 0.85 kg، وأبعاد سطحه $20.0\ cm \times 24.0\ cm$، يستقر على سطح طاولة.

a. ما القوة التي يؤثر بها الكتاب في الطاولة؟

b. ما الضغط الذي يؤثر به الكتاب؟

74. أسطوانة مصمتة كتلتها 75 kg وطولها 2.5 m ونصف قطر قاعدتها 7.0 cm تستقر على إحدى قاعدتيها. ما مقدار الضغط الذي تؤثر به؟

75. ما مقدار القوة الرأسية الكلية أسفل الغلاف الجوي التي تؤثر في قمة رأسك الآن؟ افترض أن مساحة قمة رأسك $0.025\ m^2$ تقريبًا.

76. **المشروبات الغازية** إن غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) المذاب في شراب الصودا يجعله يفور، وتتم عادة إذابة كمية من غاز ثاني أكسيد الكربون تساوي 8.0 L تقريبًا عند ضغط يساوي الضغط الجوي ودرجة حرارة 300.0 K في زجاجة مشروبات غازية سعتها 2 L. إذا كانت الكتلة المولية للغاز CO_2 تساوي 44 g/mol.

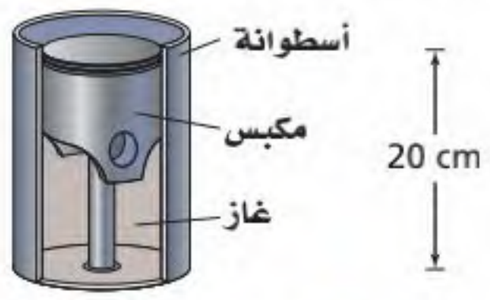
a. فما عدد المولات من غاز ثاني أكسيد الكربون في زجاجة سعتها 2 L؟

b. وما كتلة غاز ثاني أكسيد الكربون الموجودة في زجاجة صودا سعتها 2 L؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 1

77. كـما هو موضّح في **الشـكل 27–1**، يتكوّن مقياس الحرارة ذو الضغط الثابت من أسطوانة تحتوي على مكبس يتحرك بحرية داخل الأسطوانة، ويبقى كل من الضغط وكمية الغاز داخل الأسطوانة ثابتين. وعندما ترتفع درجة الحرارة أو تنخفض يتحرك المكبس إلى أعلى الأسطوانة أو إلى أسفلها. إذا كان ارتفاع المكبس في الأسطوانة 20 cm عند 0 °C، فما ارتفاع المكبس عندما تكون درجة الحرارة 100 °C؟

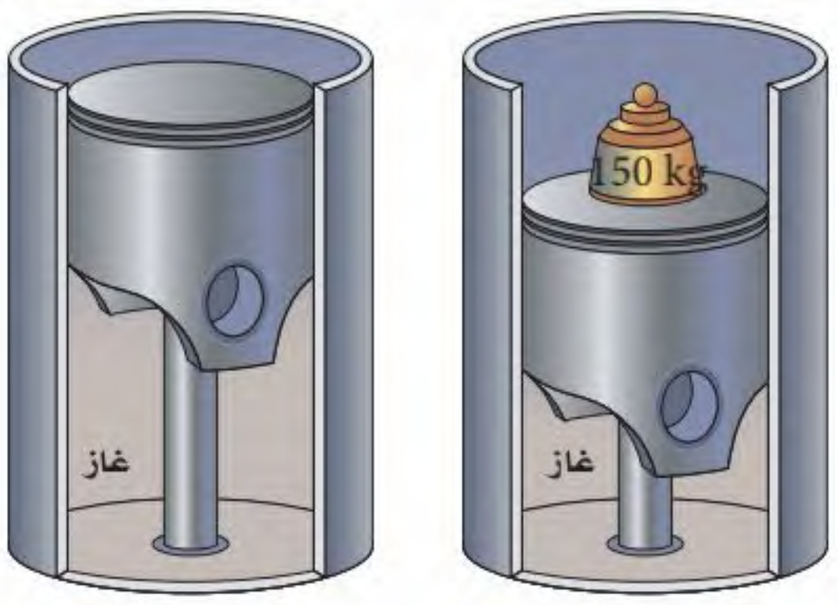


■ الشكل 27–1

78. يَحصر مكبس مساحته $0.015\ m^2$ كمية ثابتة من الغاز في أسطوانة حجمها $0.23\ m^3$. فإذا كان الضغط الابتدائي للغاز $1.5\times10^5\ Pa$، ووضع جسم كتلتـــه 150 kg على المكبس، فتحرك المكبس في اتجاه الأسفل إلى موقع جديد كما موضّح في **الشكل 28–1**، فما الحجم الجديد للغاز داخل الأسطوانة؟، علمًا بأن درجة الحرارة ثابتة؟

الحجم = ؟ — الحجم = $0.23\ m^3$

مساحة المكبس = $0.015\ m^2$



■ الشكل 28–1

79. **المركبات** يصمم إطار سيارة معينة ليستخدم عند ضغط معاير مقداره 30.0 psi، أو 30.0 باوند لكل إنش مربع (واحد باوند لكل إنش مربع يساوي $6.90\times10^3\ Pa$) ومصطلح ضغط معاير يعني الضغط الأعلى من الضغط الجوي. إن الضغط الحقيقي داخل الإطار يســاوي $1.01\times10^5 Pa + (30.0 psi)(6.90\times10^3\ Pa/psi) =$ $3.08\times10^5\ Pa$، وعندما تتحرك السيارة تزداد درجة حرارة الإطار ويزداد الضغط والحجم كذلك. افترض أنك ملأت إطار السيارة للحجم $0.55\ m^3$ عند درجة حـــرارة 280 K وكان الضغط الابتدائي 30.0 psi، ولكـــن ازدادت درجة حرارة الإطار في أثناء القيادة لغايـــة 310 K وازداد الحجم ليصبح $0.58\ m^3$.

a. ما مقدار الضغط الجديد في الإطار؟

b. ما الضغط المعاير الجديد؟

3–1 الموائع الساكنة والموائع المتحركة

80. **الخزان** إذا كان عمق الماء خلف سد 17m، فما ضغط الماء عند المواقع المختلفة الآتية؟

a. عند قاعدة السد.

b. على عمق 4.0 m من سطح الماء.

81. يستقر أنبوب اختبار رأسيًّا على حامل أنابيب اختبار، ويحتوي على زيت ارتفاعه 2.5cm وكثافته $0.81\ g/cm^3$، وماء ارتفاعـه 6.5 cm. ما مقدار الضغط المؤثر للسائلين عند قاع أنبوب الاختبار؟

82. **الأثريـات** تمثال طائر أثري مصنوع من معدن أصفر مُعلق بميزان نابضي، تشير قراءة الميزان النابضي إلى 11.81 N عندما يُعلق التمثال في الهواء، وتشـــير إلى 11.19 N عندما يُغمر التمثال كليًّا في الماء.

a. أوجد حجم التمثال.

b. هل تمثال الطائـر مصنوع مـــن الذهب $(\rho = 19.3\times10^3\ kg/m^3)$ أم مصنوع من الألومنيوم المطـــلي بالذهـــب $(\rho = 2.7\times10^3\ kg/m^3)$؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 1

83. خلال تجربة في علم البيئة وضع حوض لتربية الأسماك مملوء حتى منتصفه بالمـــاء على ميزان، فكانت قراءة الميزان 195 N.

a. أُضيف حجر وزنه 8 N إلى الحوض، فإذا غطس الحجر إلى قاع الحوض، فما قراءة الميزان؟

b. أُزيل الحجر من الحوض، وعدّلت كمية الماء حتى عادت قراءة الميزان ثانيـــة 195 N، فإذا أضيفت ســـمكة تزن 2 N إلى الحوض، فما قراءة الميزان في حالة وجود السمكة في الحوض؟

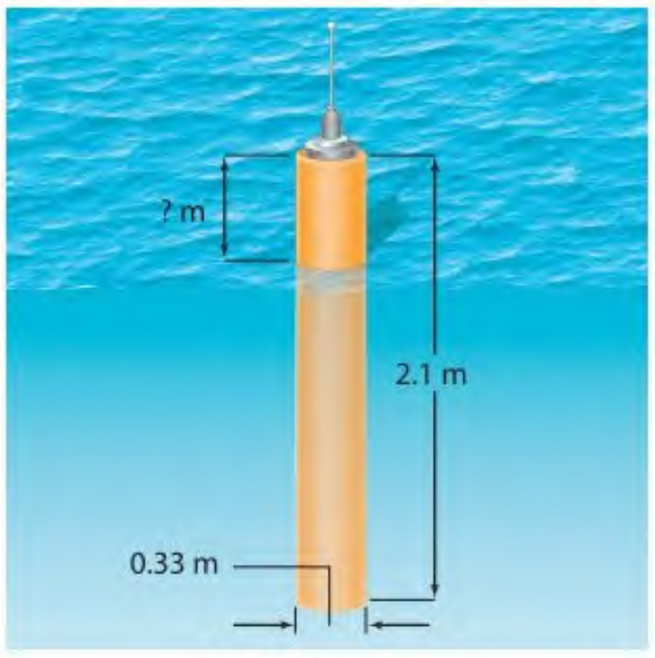
84. ما مقدار قوة الطفو المؤثرة في كرة وزنها 26.0 N إذا كانت تطفو على سطح ماء عذب؟

85. ما مقدار أقصى وزن يستطيع أن يرفعه في الهواء بالون مملوء بحجم $1.00\ m^3$ من غاز الهيليوم؟ افترض أن كثافة الهواء $1.20\ kg/m^3$ وكثافة غاز الهيليوم $0.177\ kg/m^3$، وأهمل كتلة البالون.

86. تزن صخرة 54 N في الهواء، وعندما غمرت في سائل كثافته ضعف كثافة الماء أصبح وزنها الظاهري 46 N. ما وزنها الظاهري عندما تُغمر في الماء؟

87. **جغرافية المحيطات** انظر إلى **الشكل 29–1**، تستخدم عوّامة كبيرة لحمل جهاز يستخدم في دراسة جغرافية المحيطات، وكانـــت العوّامة مصنوعـــة من خزان أسطواني مجوف. فإذا كان ارتفاع الخـــزان 2.1 m، ونصف قطـــره 0.33 m، والكتلـــة الكلية للعوّامة وجهاز البحث 120 kg تقريبًا. ويجب على العوّامة أن تطفو بحيث يكون أحد طرفيها فوق سطح الماء؛ وذلك لحمل جهاز بث راديوي.

افترض أن العوّامة تحوي الجهاز، وأن كتلتها موزعة بانتظام، فكم يكون ارتفاع العوّامة فوق سطح الماء عندما تطفو؟



■ الشكل 29–1

4–1 المواد الصلبة

88. إذا كان طول قضيب مصنوع من معدن مجهـول 0.975 m عند 45 °C، وتناقص طولـــه ليصبح 0.972 m عند 23 °C، فما معامل تمدده الطولي؟

89. صمّم مخترع مقياس حرارة من قضيب ألومنيوم طوله 0.500 m عند درجة حرارة 273 K. واعتمد المخترع قياس طول قضيب الألومنيوم لتحديد درجة الحرارة. فإذا أراد المخترع أن يقيس تغيرًا في درجة الحرارة مقداره 1.0 K ، فكم يجب أن تكون دقة قياس طول القضيب؟

90. **الجسور** جسر أسمنتي طوله 300 m في شهر أغسطس عندما كانت درجة الحرارة 50 °C، فكم يكون مقدار الفرق في الطول في إحدى ليالي شهر يناير إذا كانت درجة الحرارة 10 °C؟

91. أنبـــوب من النحاس طوله 2.00 m عند 23 °C. ما مقدار التغير في طوله إذا ارتفعت درجة حرارته إلى 978 °C؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 1

92. مـا التغير في حجـم قالب من الأسـمنت حجمه $1.0\ m^3$ إذا ارتفعت درجة حرارته بمقدار $45\ ^\circ C$؟

93. **الجسور** يسـتخدم عمال بناء الجسور عادة مسامير فولاذية بحيث تكون أكبر من ثقب المسمار؛ وذلك لجعل الوصلة مشدودة أكثر. ويُبرّد المسمار قبل وضعه في الثقب. افترض أن العامل حفر ثقبًا نصف قطره $1.2230\ cm$ لمسمار نصف قطره $1.2250\ cm$، فلأي درجة حرارة يجب أن يُبرّد المسمار ليدخل في الثقب بشكل محكم إذا كانت درجة حرارته الابتدائية $20.0\ ^\circ C$؟

94. خزان مصنـوع من الفولاذ نصف قطره $2.000\ m$ وارتفاعه $5.000\ m$ مُلئ بالميثانول عند درجة حرارة $10\ ^\circ C$. فإذا ارتفعت درجة الحرارة حتى $40.0\ ^\circ C$، فما مقدار الميثانول الذي سـيتدفق خارج الخزان إذا تمدّد كل من الخزان والميثانول؟

95. سُـخّنت كرة من الألومنيوم حتى أصبحت درجة حرارتها $580\ ^\circ C$، فإذا كان حجم الكرة $1.78\ cm^3$ عند درجة حرارة $11\ ^\circ C$، فما مقدار الزيادة في حجم الكرة عند $580\ ^\circ C$؟

96. إذا أصبح حجم كـرة من النحاس $2.56\ cm^3$ بعد تسـخينها من $12\ ^\circ C$ إلى $984\ ^\circ C$، فما حجم الكرة عند $12\ ^\circ C$ ؟

97. صفيحة من الفولاذ مربعة الشكل طول ضلعهـا $0.330\ m$، سُخنت من $0\ ^\circ C$ حتى أصبحت درجة حرارتها $95\ ^\circ C$.

a. ما مقدار تغير طول جوانب المربع؟

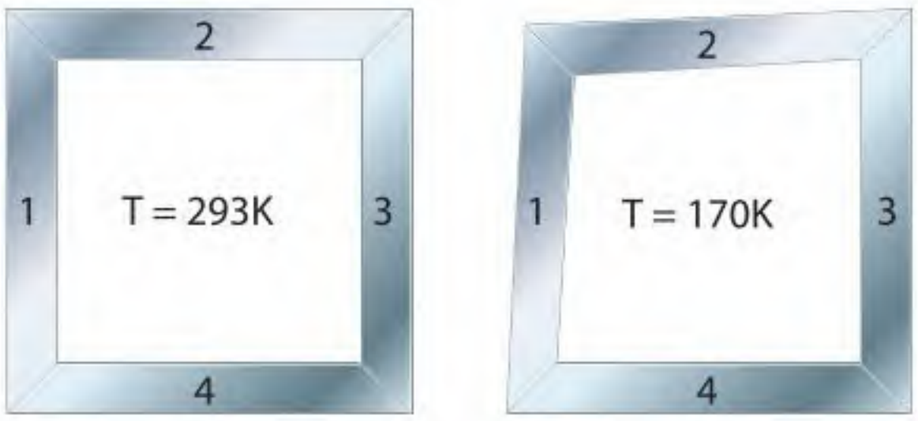
b. ما نسبة التغير في مساحة المربع؟

98. مكعب من الألومنيوم حجمه $0.350\ cm^3$ عند درجة حرارة $350.0\ K$، فإذا بُرّد إلى $270.0\ k$ فما مقدار:

a. حجمه عند درجة $270.0\ K$؟

b. طول ضلع المكعب عند درجة $270.0\ K$؟

99. **الصناعة** صمّم مهندس قطعة ميكانيكية مربعة الشكل لنظام تبريد خاص. تتألف القطعة الميكانيكية من قطعتين مسـتطيلتين من الألومنيوم، وقطعتين مستطيلتين من الفـولاذ، وكانت القطعة المصممة مربعـة تمامًا عند درجة $293\ K$، ولكن عند درجـة $170\ K$ أصبحت القطعة مفتولة كما في **الشـكل 30–1**. حدد أي القطع المبينة في الشكل مصنوعة من الفولاذ، وأيها مصنوعة من الألومنيوم؟



■ الشكل 30–1

مراجعة عامة

100. ما مقدار الضغط المؤثر في جسم الغواصة عند عمق $65\ m$؟

101. **جهاز الغطس** يسبح غطّاس مستخدمًا جهاز الغطس على عمـق $5.0\ m$ تحت الماء مطلقًا $4.2 \times 10^{-6}\ m^3$ من فقاقيع الهواء. ما حجم تلك الفقاقيع قبل وصولها إلى سطح الماء تمامًا؟

102. تطفو كرة بولنج وزنهـا $18\ N$ بحيث ينغمر نصفها فقط في الماء.

a. ما مقدار قطر كرة البولينج؟

b. ما الوزن الظاهري تقريبًا لكرة بولنج تزن $36\ N$؟

103. يطفو قضيب من الألومنيوم في حوض زئبق. فهل يطفو القضيب إلى أعلى أكثر أم أن جزءًا أكبر منه سـينغمر عند تسخين الزئبق والألومنيوم معًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 1

104. وضع 100.0 ml من الماء في وعاء من الزجاج العادي سعته 800.0 ml عند 15.0 °C. كم سيرتفع مستوى الماء أو ينخفض عندما يُسخن كل من الإناء والماء إلى 50.0 °C؟

105. **صيانة السيارات** تُستخدم رافعة هيدروليكية لرفع السيارات لصيانتها، وتسمى رافعة الأطنان الثلاثة. فإذا كان قطر المكبس الكبير 22 mm، وقطر المكبس الصغير 6.3 mm. افترض أن قوة ثلاثة أطنان تعادل 3.0×10^4 N.

a. فما مقدار القوة التي يجب أن تؤثر في المكبس الصغير لرفع وزن مقداره ثلاثة أطنان؟

b. تستخدم معظم رافعات السيارات رافعة لتقليل القوة اللازمة للتأثير فيها في المكبس الصغير. فإذا كان طول ذراع المقاومة 3.0 cm، فكم يجب أن يكون طول ذراع القوة لرافعة مثالية لتقليل القوة إلى 100.0 N؟

106. **المنطاد** يحتوي منطاد الهواء الساخن على حجم ثابت من الغاز. عندما يُسخَّن الغاز يتمدد ويطرد بعض الغاز خارجًا من النهاية السفلى المفتوحة، لذلك تنخفض كتلة الغاز في المنطاد. فلماذا ينبغي أن يكون الغاز في المنطاد أكثر سخونة لرفع حمولة من الأشخاص إلى قمة ارتفاعها 2400 m عن سطح البحر، مقارنة بمنطاد مهمته رفع الحمولة ذاتها من الأشخاص إلى ارتفاع 6 m عن مستوى سطح البحر؟

107. **عالم الأحياء** تستطيع بعض النباتات والحيوانات العيش تحت ضغط مرتفع جدًّا.

a. ما مقدار الضغط المؤثر بوساطة الماء في جسم سمكة أو دودة تعيش بالقرب من قاع أخدود مائي في منطقة بورتوريكو الذي يبلغ عمقه 8600 m تحت سطح المحيط الأطلنطي؟ افترض أن كثافة مياه البحر $1030\ kg/m^3$.

b. ما كثافة الهواء عند ذلك الضغط بالنسبة لكثافته فوق سطح المحيط؟

التفكير الناقد

108. **تطبيق المفاهيم** إذا كنت تغسل الأواني في حوض، فطفا أحد الأواني، فملأته بماء الحوض فغطس إلى القاع، فهل ارتفع مستوى الماء في الحوض أم انخفض عندما انغمر الإناء؟

109. **تطبيق المفاهيم** إن الأشخاص الملازمين للسرير أقل احتمالاً للإصابة بمرض تَقَرُّح الفراش إذا استخدموا فرشة الماء بدلاً من الفرشات العادية. فسّر ذلك.

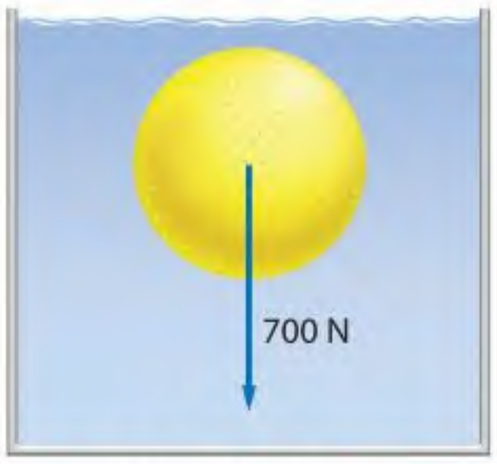
110. **حلّل** تعتمد إحدى طرائق قياس النسبة المئوية لمحتوى الدهون في الجسم على حقيقة أن الأنسجة الدهنية أقل كثافة من الأنسجة العضلية. كيف يمكن تقدير معدل كثافة شخص باستخدام ميزان وبركة سباحة؟ وما القياسات التي يحتاج الطبيب إلى تدوينها لإيجاد معدل النسبة المئوية للدهون في جسم شخص ما؟

111. **حلّل واستنتج** يلزم قوة رأسية إلى أسفل مقدارها 700 N لغمر كرة من البلاستيك كليًّا كما في **الشكل 31-1**. إذا علمت أن كثافة البلاستيك $95\ kg/m^3$، فما مقدار:

a. النسبة المئوية للجزء المغمور من الكرة إذا تُركت تطفو بحرية؟

b. وزن الكرة في الهواء؟

c. حجم الكرة؟



الشكل 31-1

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 1

112. تطبيق المفاهيم تُوضع الأسماك الاستوائية التي تُربى في أحواض السمك المنزلية عند شرائها في أكياس بلاستيكية شفافة مملوءة جزئيًّا بالماء. إذا وضعت سمكة في كيس مغلق داخل الحوض، فأي الحالات المبينة في **الشكل 32-1** تمثل أفضل ما يمكن أن يحدث؟ فسر استدلالك.

الشكل 32-1

الكتابة في الفيزياء

113. تتمدد بعض المواد الصلبة عندما تبرد، ومن أكثر الأمثلة شيوعًا تمدد الماء عند انخفاض درجة حرارته بين $4\ ^\circ C$ و $0\ ^\circ C$، ولكن تتمدد الأربطة المطاطية أيضًا عند تبريدها، ابحث عن سبب هذا التمدد.

114. بحث العالم جاي-لوساك في قوانين الغاز، فكيف ساهم إنجاز جاي-لوساك في اكتشاف صيغة الماء؟

مراجعة تراكمية

115. تتحرك سيارة كتلتها 875 kg في اتجاه الجنوب بسرعة 15 m/s فتصطدم بسيارة أخرى كبيرة كتلتها 1584 kg وتتحرك في اتجاه الشرق بسرعة 12 m/s، فتلتصقان معًا بعد التصادم، بحيث يكون الزخم الخطي محفوظًا.

a. مثّل الحالة بالرسم، معينًا محاور الإحداثيات ومحددًا الحالة قبل التصادم وبعده.

b. أوجد سرعة حطام السيارتين مقدارًا واتجاهًا بعد التصادم مباشرة، وتذكّر أن الزخم كمية متجهة.

c. ينزلق الحطام على سطح الأرض ثم يتوقف، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي عندما كان الحطام ينزلق 0.55. ومع افتراض أن التسارع ثابت، فما مقدار مسافة الانزلاق بعد التصادم؟

116. يرفع محرك قدرته 188 W حملاً بمعدل (سرعة) 6.50 cm/s. ما مقدار أكبر حمل يمكن للمحرك أن يرفعه عند هذا المعدل؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. غاز حجمه 10.0 L محصور في أسطوانة قابلة للتمدد، فإذا تضاعف الضغط ثلاث مرات وازدادت درجة الحرارة 80.0 % عند قياسها بمقياس كلفن، فما الحجم الجديد للغاز؟

(A) 2.70 L (C) 16.7 L

(B) 6.00 L (D) 54.0 L

2. حجم عينة من غاز النيتروجين يساوي $0.080\ m^3$ عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa، فإذا كان يوجد 3.6 mol من الغاز، فما مقدار درجة الحرارة؟

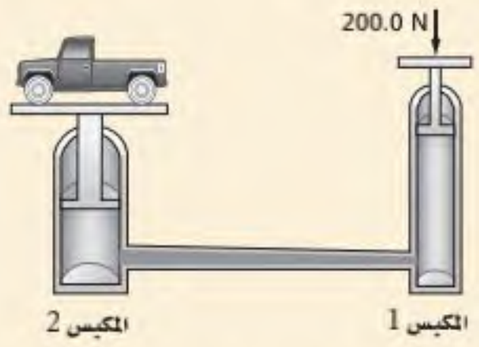
(A) 0.27 K (C) 0.27 °C

(B) 270 K (D) 270 °C

3. يؤثر عامل بقوة مقدارها 200.0 N في مكبس مساحته $5.4\ cm^2$، فإذا كان هذا المكبس هو المكبس الأول لرافعة هيدروليكية، كما هو موضح في الرسم أدناه، فما مقدار الضغط المؤثر في المائع الهيدروليكي؟

(A) 3.7×10^1 Pa (C) 3.7×10^3 Pa

(B) 2.0×10^3 Pa (D) 3.7×10^5 Pa



4. إذا كان المكبس الثاني في الرسم أعلاه يؤثر بقوة مقدارها 41000 N، فما مساحة المكبس الثاني؟

(A) $0.0049\ m^2$ (C) $0.11\ m^2$

(B) $0.026\ m^2$ (D) $11\ m^2$

5. ما مقدار الوزن الظاهري لنموذج مصنوع من خشب خاص كثافته $1.10\ g/cm^3$، إذا أزاح 786 ml ماءً، عندما غُمر في بحيرة من الماء العذب؟

(A) 0.770 N (C) 7.70 N

(B) 0.865 N (D) 8.47 N

6. ما مقدار قوة الطفو لجسم كتلته 17 kg إذا أزاح 85 L من الماء؟

(A) 1.7×10^2 N (C) 1.7×10^5N

(B) 8.3×10^2 N (D) 8.3×10^5N

7. أي الأجسام الآتية لا يحتوي على مادة في حالة البلازما؟

(A) إضاءة النيون (C) البرق

(B) النجوم (D) المصابيح العادية

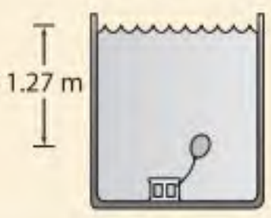
8. ما كتلة عينة من غاز ثاني أكسيد الكربون حجمها 365 ml عند 3.0 ضغط جوي (1 atm = 101.3 kPa) ودرجة حرارة 24 °C، إذا علمت أن الكتلة المولية لثاني أكسيد الكربون 44.0 g /mol؟

(A) 0.045 g (C) 45 g

(B) 2.0 g (D) 2.0 kg

الأسئلة الممتدة

9. بالون مملوء بالهواء حجمه 125 ml عند ضغط جوي معياري 101.3 kPa. فإذا استقر البالون على عمق 1.27 m تحت سطح الماء في بركة سباحة، كما في الشكل، فما الحجم الجديد للبالون؟



إرشاد

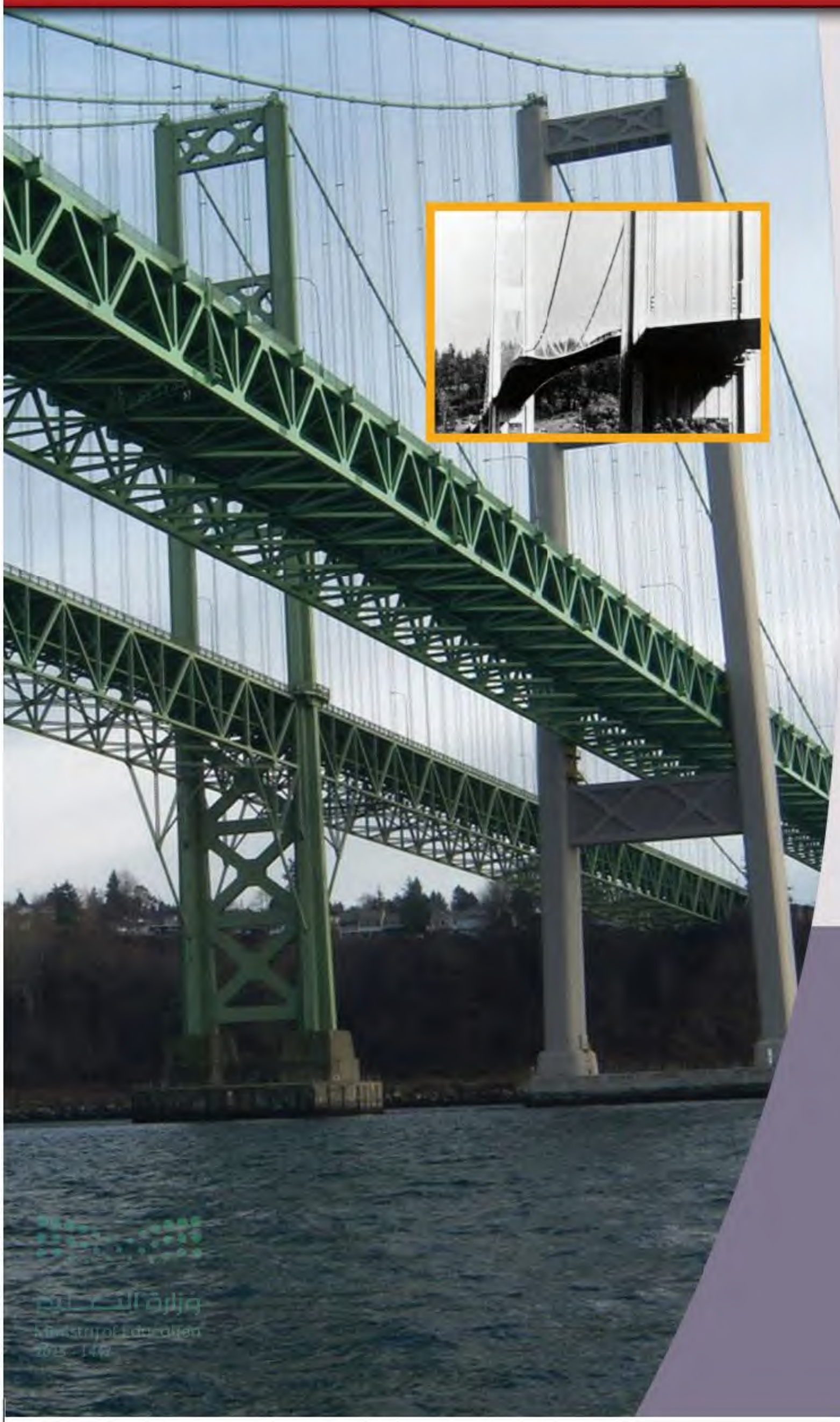
مرّن العضلة الضعيفة، وحافظ على العضلة القوية

إذا كنت تحضّر لاختبار نهائي، فقد يكون من الصعب أحيانًا أن تركز على الموضوعات كلها؛ لذا ركّز معظم طاقتك على المواضيع التي تكون فيها ضعيفًا، وراجع المواضيع التي تكون فيها قويًّا باستمرار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 2

الاهتزازات والموجات
Vibrations and Waves



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- التوصل إلى خصائص الحركة الاهتزازية وربطها بالموجات.
- تَعرُّف كيف تنقل الموجات الطاقة.
- وصف سلوك الموجات ومعرفة أهميتها العملية.

الأهمية

إن معرفة سلوك الموجات والاهتزازات ضروري جدًّا لفهم ظاهرة الرنين، وكيفية بناء الجسور والأبنية الآمنة، ولمعرفة كيف تتم الاتصالات من خلال المذياع والتلفاز أيضًا.

"جسر جالوبينج جيرتي Galloping Gertie" بعد فترة قصيرة من افتتاح جسر مضيق تاكوما (قريبًا من تاكوما في واشنطن) أمام حركة المركبات بدأ هذا الجسر في الاهتزاز عند هبوب الرياح. وكانت الاهتزازات شديدة في أحد الأيام، فتحطم الجسر، وانهار في الماء.

فكِّر ◄

كيف يمكن للرياح الخفيفة أن تؤدي إلى اهتزاز الجسر بموجات كبيرة تؤدي إلى انهياره في النهاية؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تنتقل الموجات في نابض؟

سؤال التجربة كيف تنتقل النبضات التي ترسل عبر نابض عندما يكون طرفه الآخر ثابتًا؟

الخطوات

1. شدَّ نابضًا لولبيًّا دون مبالغة في ذلك، ثم اطلب إلى أحد زملائك تثبيت أحد طرفي النابض، بينما يحرك زميل آخر الطرف الحر للنابض باتجاه طوله وبالعكس ليولّد نبضات فيه. راقب النبضات خلال انتقالها في النابض إلى أن تصل الطرف المثبت، وسجل ملاحظاتك.
2. كرّر الخطوة 1، بتوليد نبضات أكبر، وسجل ملاحظاتك.
3. ولّد نبضات مختلفة في النابض بتحريكه جانبيًا من أحد طرفيه، وسجل ملاحظاتك.
4. ولّد نوعًا ثالثًا من النبضات عن طريق ليّ (لف) أحد طرفي النابض، ثم تركه، وسجّل ملاحظاتك.

التحليل

ماذا يحدث للنبضات في أثناء انتقالها خلال النابض؟ وماذا يحدث عندما ضربت النبضات الطرف الثابت من النابض؟ وكيف كانت النبضة المتولّدة في الخطوة 1 مقارنة بالنبضة المتولّدة في الخطوة 2؟

التفكير الناقد اذكر بعض الخصائص التي تبدو أنها تتحكم في حركة النبضة خلال النابض.

2–1 الحركة الدورية Periodic Motion

لعلك شاهدت بندول ساعة يتأرجح ذهابًا وإيابًا، ولاحظت أن كل تأرجح يتبع المسار نفسه، وتحتاج كل رحلة ذهاب وإياب إلى المقدار نفسه من الزمن. تعتبر هذه الحركة مثالاً على الحركة الاهتزازية. ومن الأمثلة الأخرى على ذلك تذبذب جسم فلزي مثبت بنابض إلى أعلى وإلى أسفل. هذه الحركات التي تتكرّر في دورة منتظمة أمثلة على **الحركة الاهتزازية (الدورية)**.

ويكون للجسم في تلك الأمثلة كلها موضع واحد، تكون عنده القوة المحصلة المؤثرة في الجسم تساوي صفرًا، ويكون الجسم في ذلك الموضع في حالة اتزان. وعند سحب الجسم بعيدًا عن موضع اتزانه تصبح القوة المحصلة المؤثرة في النظام لا تساوي صفرًا، وتعمل هذه القوة المحصلة على إعادة الجسم في اتجاه موضع الاتزان. وإذا كانت القوة التي تعيد الجسم إلى موضع اتزانه تتناسب طرديًا مع إزاحة الجسم فإن الحركة الناتجة تُسمى **حركة توافقية بسيطة**.

هناك كميتان تصفان الحركة التوافقية البسيطة، هما: **الزمن الدوري** T؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه الجسم ليكمل دورة كاملة من الحركة ذهابًا وإيابًا، و**سعة الاهتزازة** A؛ وهي أقصى مسافة يتحركها الجسم مبتعدًا عن موضع الاتزان.

الأهداف

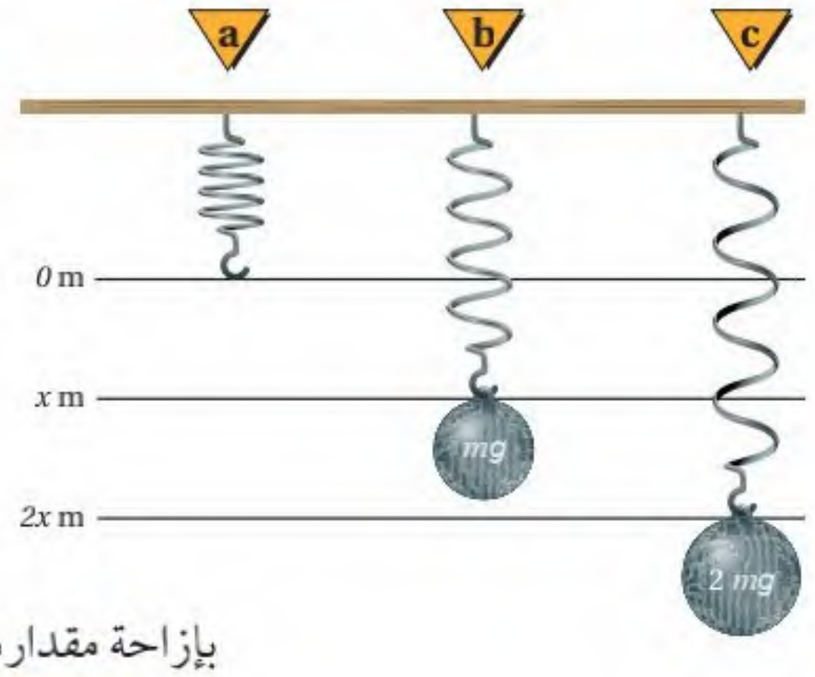
- **تصف** القوة في نابض مرن.
- **تحدّد** الطاقة المختزنة في نابض مرن.
- **تقارن** بين الحركة التوافقية البسيطة وحركة بندول.

المفردات

الحركة الاهتزازية (الدورية)
الحركة التوافقية البسيطة
الزمن الدوري
سعة الاهتزازة
قانون هوك
البندول البسيط
الرنين

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الكتلة المعلقة بنابض The Mass on a Spring



■ **الشكل 2–1** تتناسب القوة التي يؤثر بها نابض طردياً مع الإزاحة التي يستطيلها.

كيف يتفاعل النابض مع القوة المؤثرة فيه؟ يبين **الشكل 2–1a** دعامة معلّقًا بها نابض دون تعليق أي شيء في نهايته. والنابض في هذا الموضع لا يستطيل؛ لأنه لا يوجد قوة خارجية تؤثر فيه. أما **الشكل 2–1b** فيبين النابض نفسه معلقًا في نهايته جسم وزنه mg، وقد استطال النابض إزاحة x؛ بحيث تُوازِن قوةُ النابض المؤثرةُ إلى أعلى قوةَ الجاذبية الأرضية المؤثرةَ إلى أسفل. ويبين **الشكل 2–1c** استطالة أو تمدد النابض نفسه بإزاحة مقدارها $2x$؛ وذلك عند تعليق ضعف الوزن السابق mg 2 في نهايته. وهذا يتفق مع **قانون هوك** الذي ينصّ على أن القوة التي يؤثر بها نابض تتناسب طرديًّا مع مقدار استطالته، والنوابض التي تنطبق عليها هذه الحالة تسمى نوابض مرنة وتحقّق قانون هوك، المعبّر عنه بالعلاقة الآتية:

قانون هوك $F = -kx$

القوة التي يؤثر بها نابض تساوي حاصل ضرب ثابت النابض في الإزاحة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانه.

في هذه المعادلة تمثل k ثابت النابض الذي يعتمد على صلابة النابض وخصائص أخرى له، وتمثّل x الإزاحة التي يستطيلها أو ينضغطها النابض عن موضع اتزانه.

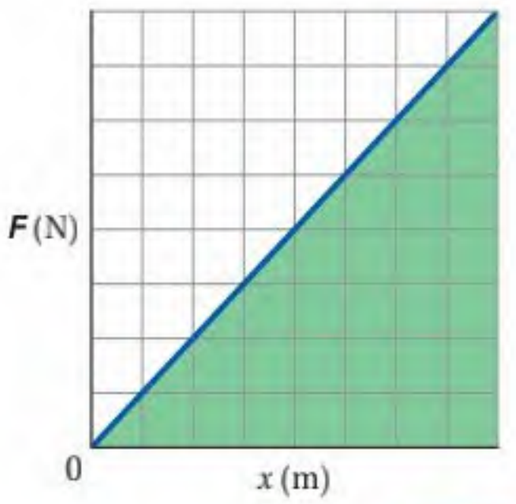
طاقة الوضع عندما تؤثر قوة ما لاستطالة نابض، مثل تعليق جسم في نهايته، فسيكون هناك علاقة طردية خطية بين القوة المؤثرة واستطالة النابض، كما يوضح **الشكل 2–2**، حيث يمثّل ميل الخط البياني ثابت النابض، مقاسًا بوحدة N/m. وتمثّل المساحة تحت المنحنى الشغل المبذول لاستطالة النابض، وهي تساوي طاقة الوضع المرونية المختزنة فيه نتيجة لهذا الشغل. وتمثل قاعدة المثلث الإزاحة x، أما ارتفاع المثلث فيمثل مقدار القوة التي تساوي kx وفق قانون هوك؛ لذا يُعبر عن طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض بالمعادلة الآتية:

طاقة الوضع المرونية في نابض $PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$

طاقة الوضع المرونية في نابض تساوي نصف حاصل ضرب ثابت النابض في مربع إزاحته.

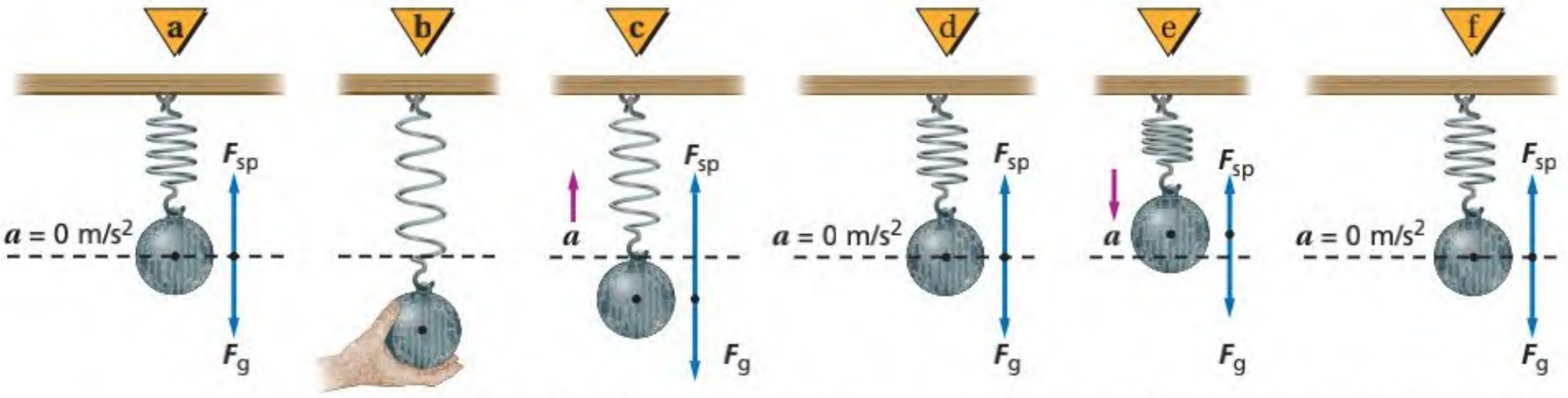
وستكون وحدة طاقة الوضع "N.m" أو جول J.

■ **الشكل 2–2** يمكن تحديد ثابت النابض من العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة وإزاحة النابض.



كيف تعتمد القوة المحصلة على الموضع؟ عند تعليق جسم بنهاية نابض يستطيل النابض حتى تُوازِن القوة الرأسية إلى أعلى F_{sp} وزن الجسم F_g كما في **الشكل 2–3a**، وسيكون الجسم عندئذ في موضع اتزانه. وإذا سحبت الجسم المعلق إلى أسفل كما في **الشكل 2–3b** تزداد قوة النابض، منتجةً قوة محصلة إلى أعلى تساوي قوة السحب عن طريق يدك، إضافة إلى وزن الجسم. وعندما تترك الجسم حرًّا فإنه يتسارع إلى أعلى كما في **الشكل 2–3c**. وعند حركة الجسم، إلى أعلى تتناقص استطالة النابض؛ لذا تتناقص القوة المتجهة إلى أعلى.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 2–3** توضيح الحركة التوافقية البسيطة من خلال اهتزاز جسم معلّق بنابض.

وفي **الشكل 2–3d** تتساوى قوة النابض إلى أعلى مع وزن الجسم، وتصبح القوة المحصلة صفرًا، فلا يتسارع النظام، ويستمر الجسم في حركته إلى أعلى فوق موضع الاتزان. وفي **الشكل 2–3e** تكون القوة المحصلة معاكسةً لاتجاه إزاحة الجسم، وتتناسب طرديًّا معها؛ لذا يتحرك الجسم حركة توافقية بسيطة، ويعود إلى موضع اتزانه كما في **الشكل 2–3f**.

مثـــال 1

ثابت النابض والطاقة المختزنة فيه استطال نابض إزاحة 18 cm عندما عُلّق بنهايته كيس بطاطس وزنه 56 N، احسب مقدار:

a. ثابت النابض.

b. طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض والناتجة عن هذه الاستطالة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع
- بيّن الإزاحة التي استطالها النابض وموضع اتزانه، وحددهما.

المعلوم	المجهول
$x = 18\,cm$	$k = ?$
$F = 56\,N$	$PE_{sp} = ?$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم $F = -kx$، ثم أوجد قيمة k

يمكن حذف إشارة السالب؛ لأنها تعني أن القوةَ قوةُ إرجاع فقط.

$$k = \frac{F}{x}$$

عوّض مستخدمًا $x = 0.18\ m$ ، $F = 56\ N$

$$= \frac{56\,N}{0.18\,m} = 310\,N/m$$

b.

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

عوّض مستخدمًا $x = 0.18\ m$ ، $k = 310\ N/m$

$$= \frac{1}{2}(310\,N/m)(0.18\,m)^2$$

$$= 5.0\,J$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** N/m هي الوحدة الصحيحة لثابت النابض. والوحدة الصحيحة للطاقة هي $(N/m)(m^2) = N.m = J$
- **هل الجواب منطقي؟** ثابت النابض متناسق مع القيم المستخدمة في ميزان البقالة مثلاً. الطاقة 5.0 J تساوي القيمة التي نحصل عليها من $W = Fx = mgh$، عندما يكون متوسط القوة المؤثرة 28 N.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

1. ما مقدار استطالة نابض عند تعليق جسم وزنه 18 N في نهايته إذا كان ثابت النابض له يساوي 56 N /m؟
2. ما مقدار طاقة الوضع المرونية المخزنة في نابض عند ضغطه بإزاحة مقدارها 16.5 cm، إذا كان ثابت النابض له يساوي 144 N /m؟
3. ما الإزاحة التي يستطيلها نابض حتى يخزّن طاقة وضع مرونية مقدارها 48 J، إذا كان ثابت النابض له يساوي 256 N /m؟

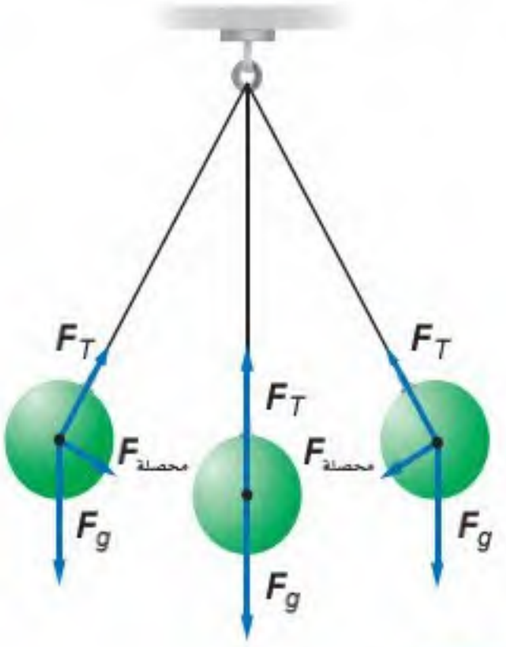
عندما تُحرّر القوة الخارجية الجسم الذي كانت تُمسكه، كما في **الشكل 3c–2** تكون القوة المحصلة المؤثرة في الجسم والتسارع أكبر ما يمكن، أما السرعة المتجهة فتساوي صفرًا. وعندما يمر الجسم بنقطة الاتزان ـ كما في **الشكل 3d–2** ـ تصبح القوة المحصلة المؤثرة فيه صفرًا، وكذلك التسارع. فهل يتوقف الجسم؟ لا؛ لأن الجسم يحتاج إلى أن تؤثر فيه قوة محصلة إلى أسفل لإبطاء حركته، وهذا لن يحدث ما لم يرتفع الجسم فوق موضع الاتزان. وعندما يصل الجسم إلى أعلى نقطة في اهتزازته تعود القوة المحصلة والتسارع إلى قيمتيهما العُظميين، وتصبح السرعة المتجهة صفرًا، فيتحرك الجسم إلى أسفل مارًّا بموضع الاتزان إلى نقطة البداية، ويستمر في الحركة بهذه الطريقة الاهتزازية. ويعتمد الزمن الدوري للاهتزازة T على مقدار كل من كتلة الجسم ومرونة النابض.

السيارات تعد طاقة الوضع المرونية عاملاً مهمًّا في تصميم السيارات الحديثة وصناعتها، ففي كل سنة تختبر تصاميم جديدة للسيارات؛ لتحديد مدى قدرتها على تحمل الصدمات والاحتفاظ بهيكلها، ويعتمد ذلك على مقدار الطاقة الحركية للسيارة قبل التصادم والتي تتحول إلى طاقة وضع مرونية في الهيكل بعد التصادم. وتحتوي معظم ماصّات الصدمات على نوابض خاصة تخزّن الطاقة عندما تصدم السياراتُ حاجزًا بسرعات قليلة. وبعد توقف السيارة وانضغاط النوابض، فإنها تعود إلى مواضع اتزانها، وترتد السيارة عن الحاجز.

البندول البسيط Simple Pendulums

يمكن توضيح الحركة التوافقية البسيطة أيضًا من خلال حركة تأرجح البندول. حيث يتكون **البندول البسيط** من جسم صلب كثافته عالية يُسمى ثقل البندول، معلق بخيط طوله l. وعند سحب ثقل البندول جانبًا وتركه فإنه يتأرجح جيئة وذهابًا، كما في **الشكل 4–2**، حيث يؤثر الخيط بقوة شد F_T في ثقل البندول وتؤثر الجاذبية الأرضية أيضًا في الثقل بقوة F_g، والجمع الاتجاهي لهاتين القوتين يمثل القوة المحصلة، وقد تم تمثيلها في ثلاثة مواضع مختلفة في **الشكل 4–2**. ففي الموضعين الأيمن والأيسر في **الشكل 4–2** تكون القوة المحصلة المؤثرة في ثقل البندول وتسارعه أكبر ما يمكن، بينما سرعته المتجهة صفرًا. وفي الموضع الوسط (الاتزان) في الشكل نفسه تكون القوة المحصلة والتسارع صفرًا، بينما السرعة المتجهة أكبر

■ **الشكل 4–2** $F_{محصلة}$ = المجموع المتجه لـ F_T و F_g، هي القوة المعيدة (الإرجاع) في البندول.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ما يمكن. يمكنك أن تلاحظ أن القوة المحصلة هي قوة إرجاع؛ حيث تكون دائمًا معاكسة لاتجاه إزاحة ثقل البندول، وتعمل على إرجاع الثقل إلى موضع اتزانه. وعندما تكون زاوية انحراف الخيط صغيرة (أقل من 15° تقريبًا)، فإن قوة الإرجاع تتناسب طرديًّا مع الإزاحة، ويطلق على هذه الحركة حينئذٍ حركة توافقية بسيطة. ويحسب الزمن الدوري للبندول باستخدام المعادلة الآتية:

الزمن الدوري للبندول $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

الزمن الدوري للبندول يساوي 2π مضروبة في الجذر التربيعي لحاصل قسمة طول خيط البندول على تسارع الجاذبية الأرضية.

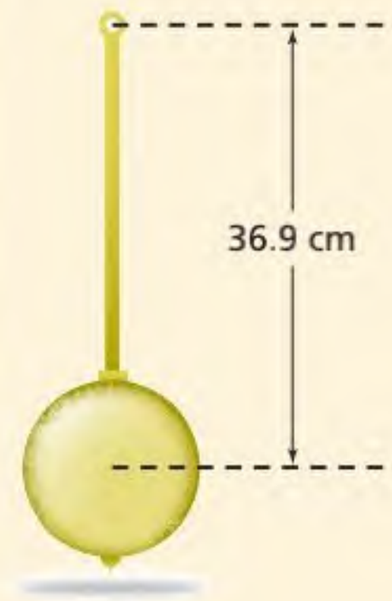
لاحظ أن الزمن الدوري للبندول البسيط يعتمد فقط على طول خيط البندول وتسارع الجاذبية الأرضية، ولا يعتمد على كتلة ثقل البندول أو سعة الاهتزازة. ومن التطبيقات على البندول استخدامه في حساب g التي تتغير قليلًا من موقع إلى آخر على سطح الأرض.

مثـــال 2

استخدام البندول لحساب g إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 36.9 cm يساوي 1.22 s، فما مقدار تسارع الجاذبية الأرضية g عند موقع البندول؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الوضع
- وضّح طول البندول على الرسم.



المعلوم	المجهول
$l = 36.9\ \text{cm}$	$g = ?$
$T = 1.22\ \text{s}$	

دليل الرياضيات

فصل المتغير

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل المعادلة لحساب g.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$g = \frac{(2\pi)^2 l}{T^2}$$

عوّض مستخدمًا $l = 0.369\ \text{m}$ ، $T = 1.22\ \text{s}$

$$= \frac{4\pi^2\,(0.369\ \text{m})}{(1.22\ \text{s})^2} = 9.78\ \text{m/s}^2$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** m/s^2 هي الوحدة الصحيحة للتسارع.
- **هل الجواب منطقي؟** قيمة g المحسوبة كانت قريبة جدًّا من القيمة المعيارية $9.80\ \text{m/s}^2$، وبالتالي يكون البندول في منطقة أعلى من مستوى سطح البحر.

مسائل تدريبية

4. ما طول بندول موجود على سطح القمر حيث $g = 1.6\ \text{m/s}^2$ حتى يكون الزمن الدوري له 2.0 s؟
5. إذا كان الزمن الدوري لبندول طوله 0.75 m يساوي 1.8 s على سطح أحد الكواكب، فما مقدار g على هذا الكوكب؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسألة تحفيز

سيارة كتلتها m (kg) تستقر على قمة تل ارتفاعه h(m) قبل أن تهبط على طريق عديم الاحتكاك في اتجاه حاجز تصادم عند أسفل التل. فإذا احتوى حاجز التصادم على نابض مقدار ثابته يساوي k (N /m) مصمَّم على أن يوقف السيارة بأقل الأضرار.

1. بيّن أقصى إزاحة x ينضغطها النابض عندما تصطدم به السيارة بدلالة m وh وk وg.
2. كم ينضغط النابض إذا هبطت السيارة من قمة تل ارتفاعه ضعف ارتفاع التل السابق؟
3. ماذا يحدث بعد أن تتوقف السيارة؟

تطبيق الفيزياء

بندول فوكو
Foucult Pendulum

يتكون بندول فوكو من سلك طوله 16 m معلق بنهايته كتلة كبيرة مقدارها 109 kg. ووفق القانون الأول لنيوتن في الحركة يستمر البندول المتأرجح في الحركة في الاتجاه نفسه ما لم يُسحب أو يُدفع في اتجاه آخر. وبما أن الأرض تدور تحت البندول كل 24 ساعة، فإن اتجاه ذبذبة البندول يظهر متغيرًا بالنسبة للمشاهد. ولبيان ذلك قم بما يلي: رتّب أوتادًا خشبية في دائرة على الأرض تحت البندول المتأرجح على أن يضربها ثقل البندول ويوقعها مع دوران الأرض. ويدور البندول عند القطب الشمالي ظاهريًا بمعدل $15°/h$.

الرنين Resonance

لكي تجعل أرجوحة تتأرجح وأنت جالس عليها قم بدفعها بالانحناء إلى الخلف وسحب الحبل (أو السلسلة) من النقطة نفسها في كل شوط، أو أن يدفعك زميلك دفعات متكرّرة في اللحظات المناسبة. ويحدث **الرنين** عندما تؤثر قوى صغيرة في جسم متذبذب أو مهتز في فترات زمنية منتظمة، بحيث تؤدي إلى زيادة سعة الاهتزازة أو الذبذبة، وتكون الفترة الزمنية الفاصلة بين تطبيق القوة على الجسم المهتز مساويةً للزمن الدوري للذبذبة. ومن الأمثلة الشائعة على الرنين أرجحة السيارة إلى الأمام والخلف من أجل تحرير عجلاتها من الرمل عندما تنغمر فيه، والقفز المتواتر عن لوح القفز أو الغوص. وقد ينتج عن السعة الكبيرة الناتجة عن الرنين شعور بالإجهاد.

ويعد الرنين شكلًا مميّزًا للحركة التوافقية البسيطة؛ حيث تؤدي زيادات بسيطة في مقدار القوة في أزمنة محددة في أثناء حركة الجسم إلى زيادة أكبر في الإزاحة. فالرنين الناتج عن حركة الرياح مثلاً بتوافقها مع تصميم دعائم الجسر قد يكون السبب وراء انهيار جسر مضيق تاكوما.

2–1 مراجعة

6. **قانون هوك** علّقت أجسام مختلفة الوزن بنهاية شريط مطاطي مثبت بخطاف، ثم رسمت العلاقة البيانية بين وزن الأجسام المختلفة واستطالة الشريط المطاطي. كيف تستطيع الحكم ـ اعتمادًا على الرسم البياني ـ ما إذا كان الشريط المطاطي يحقق قانون هوك أم لا؟
7. **البندول** ما مقدار التغير اللازم في طول بندول حتى يتضاعف زمنه الدوري إلى الضعف؟ وما مقدار التغير اللازم في طوله حتى يقل زمنه الدوري إلى نصف زمنه الدوري الأصلي؟
8. **طاقة النابض** ما الفرق بين الطاقة المختزنة في نابض استطال 0.40 m والطاقة المختزنة في النابض نفسه عندما يستطيل 0.20 m؟
9. **الرنين** إذا كانت عجلات سيارة غير متوازِنة فسوف تهتز السيارة بقوة عند سرعة محدّدة، ولا يحدث ذلك عند سرعات أقل أو أكبر من هذه السرعة. فسّر ذلك.
10. **التفكير الناقد** ما أوجه الشبه بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة؟ وما أوجه الاختلاف بينهما؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–2 خصائص الموجات Waves Properties

تحمل كل من الجسيمات المادية والموجات طاقة، ولكن هناك اختلافًا مهمًّا بينهما في كيفية حمل الطاقة. إن الكرة جسيم مادي، فإذا قذفتها نحو زميلك فسوف تنتقل من يدك إلى يده حاملة معها طاقة. أما إذا أمسكت أنت وزميلك بطرفي حبل وهززت الطرف الذي تمسكه بسرعة، فسيبقى الحبل بيدك ولا تنتقل مادته إلى زميلك، ولكن الطاقة تنتقل في الحبل خلال الموجة التي أحدثتها. وتُعرّف **الموجة** بأنها اضطراب يحمل الطاقة خلال المادة أو الفراغ.

الموجات الميكانيكية Mechanical Waves

تُعد موجات الماء وموجات الصوت والموجات التي تنتقل خلال حبل أو نابض أشكالاً للموجات الميكانيكية. وتحتاج الموجات الميكانيكية إلى وسط ناقل مثل الماء أو الهواء أو الحبال أو النوابض. ولأن كثيرًا من الموجات الأخرى لا يمكن مشاهدتها مباشرة، لذا يمكن اعتبار الموجات الميكانيكية بمنزلة نموذج للموجات.

الموجات المستعرضة يبين **الشكل 5a–2** اضطرابين يسميان نبضات موجية. و**النبضة الموجية** ضربة مفردة أو اضطراب ينتقل خلال الوسط. وإذا انتشرت الموجة إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه تتولّد **موجة دورية**. لاحظ **الشكل 5a–2** حيث يتحرك الحبل رأسيًّا، في حين تنتقل النبضة أفقيًّا. وتُسمى الموجة التي لها هذا النمط من الحركة موجة مستعرضة، ويمكن تعريف **الموجة المستعرضة** بأنها الموجة التي تتذبذب عموديًّا على اتجاه انتشار الموجة.

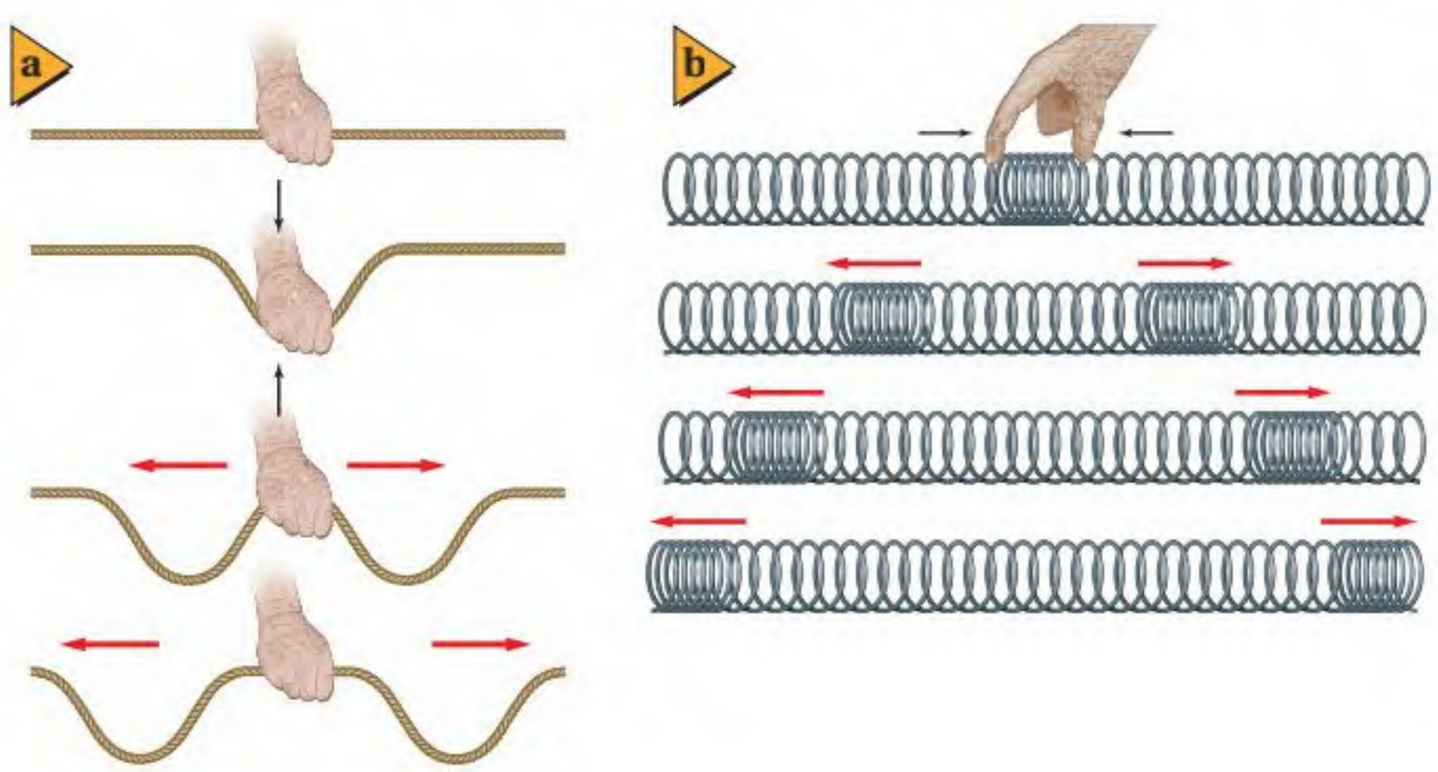
الموجات الطولية يمكنك توليد نبضة موجية في ملف نابض الألعاب بطريقة مختلفة؛ فإذا ضممت (ضغطت) عدة لفات من النابض بعضها إلى بعض بشكل متراص ثم تركتها فجأة فستتحرك نبضتان - تتكون كل منهما من لفات متقاربة معًا - في اتجاهين متعاكسين، كما في **الشكل 5b–2**، وتُسمى هذه الموجات **الموجات الطولية**، وهي اضطراب ينتقل في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازيًا لها. والموجات الصوتية مثال على ذلك.

الأهداف

- **تحدّد** كيف تنقل الموجات الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- **تميّز** بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.
- **تربط** بين سرعة الموجة وطولها الموجي وتردّدها.

المفردات

الموجة
نبضة موجية
الموجة الدورية
الموجة المستعرضة
الموجة الطولية
الموجة السطحية
سعة الموجة
القاع
القمة
الطول الموجي
التردّد



الشكل 5–2 يولّد الاهتزاز السريع باتجاه عمودي على محور الحبل نبضات موجة مستعرضة في الاتجاهين (a). يولّد ضمّ لفات نابض بعضها إلى بعض ثم تركها نبضات موجة طولية في الاتجاهين (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 6–2** للموجات السطحية خصائص الموجات المستعرضة والموجات الطولية (**a**). مسارات الجسيمات المفردة دائرية (**b**).

الموجات السطحية الموجات في أعماق البحيرات والمحيطات موجات طولية، بينما تتحرك الجسيمات على سطح الماء في اتجاه موازٍ وعمودي على اتجاه حركة الموجة، كما في **الشكل 6–2**. وكل موجة من هذه الموجات هي **موجة سطحية** لها خصائص كلٍّ من الموجات المستعرضة والموجات الطولية. إن مصدر طاقة موجات الماء يأتي عادة من العواصف البعيدة التي بدورها استمدّت طاقتها من تسخين الأرض بالطاقة الشمسية. وهذه الطاقة انتقلت بدورها من الشمس إلى الأرض بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية المستعرضة.

قياس الموجة Measuring a Wave

هناك طرائق عديدة لوصف الموجة أو قياسها؛ إذ تعتمد بعض خصائص الموجة على كيفية توليدها، في حين تعتمد خصائصها الأخرى على الوسط الذي تنتقل خلاله.

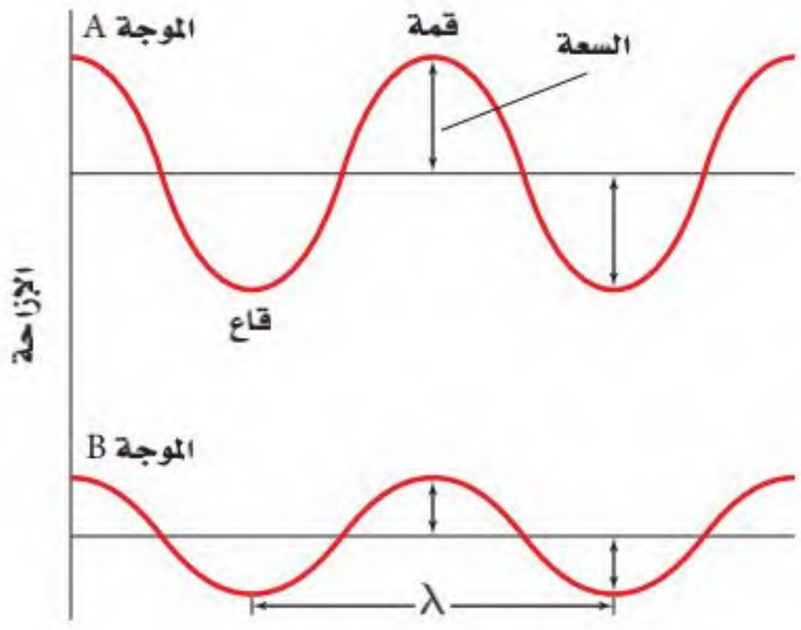
السرعة ما السرعة التي تتحرك بها الموجة؟ يمكن إيجاد سرعة انتقال النبضة ـ الموضحة في **الشكل 7–2** ـ بالطريقة نفسها التي نحدّد بها سرعة انتقال سيارة. قس أولًا إزاحة قمة الموجة Δd، ثم اقسم الناتج على الفترة الزمنية Δt لتجد السرعة $v = \Delta d / \Delta t$. ويمكن إيجاد سرعة الموجة الدورية بالطريقة نفسها. وتعتمد سرعة الموجة في معظم الموجات الميكانيكية المستعرضة والطولية على الوسط الذي تنتقل خلاله فقط.

■ **الشكل 7–2** تم التقاط هاتين الصورتين بفارق زمني 0.20 s، وخلال هذه الفترة تحركت القمة مسافة 0.80 m، فتكون السرعة المتجهة للموجة 4.0 m/s.

السعة كيف تختلف النبضة المتولدة عند هز الحبل برفق عن تلك النبضة الناتجة عن الهز العنيف له؟ يشبه الاختلاف بينهما الفرق بين موجات حوض السباحة الخفيفة وموجات المحيط القوية، حيث تختلف سعات كل منهما. **وسعة الموجة** هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها. ويوضح **الشكل 8–2** موجتين متشابهتين، لكنهما تختلفان في السعة.

تعتمد سعة الموجة على كيفية توليدها، ولا تعتمد على سرعتها. ويجب أن يُبذل شغل أكبر لتوليد موجة سعتها كبيرة. فمثلاً، تولّد الرياح القوية موجات ماء سعتها أكبر من سعة الموجات الناتجة عن النسائم اللطيفة. وتنقل الموجة ذات السعة الكبيرة طاقة أكبر؛ فالموجة ذات السعة القليلة تحرك الرمل سنتمترات عدة على الشاطئ، أما الموجة ذات السعة الكبيرة فيمكنها اقتلاع الأشجار وتحريكها من مكان إلى آخر. وإذا تحركت الموجات بالسرعة نفسها فإن معدل نقلها للطاقة يتناسب طرديًّا مع مربع سعتها. لذا فمضاعفة سعة إحدى الموجات يضاعف الطاقة التي تنقلها أربع مرات في الثانية الواحدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

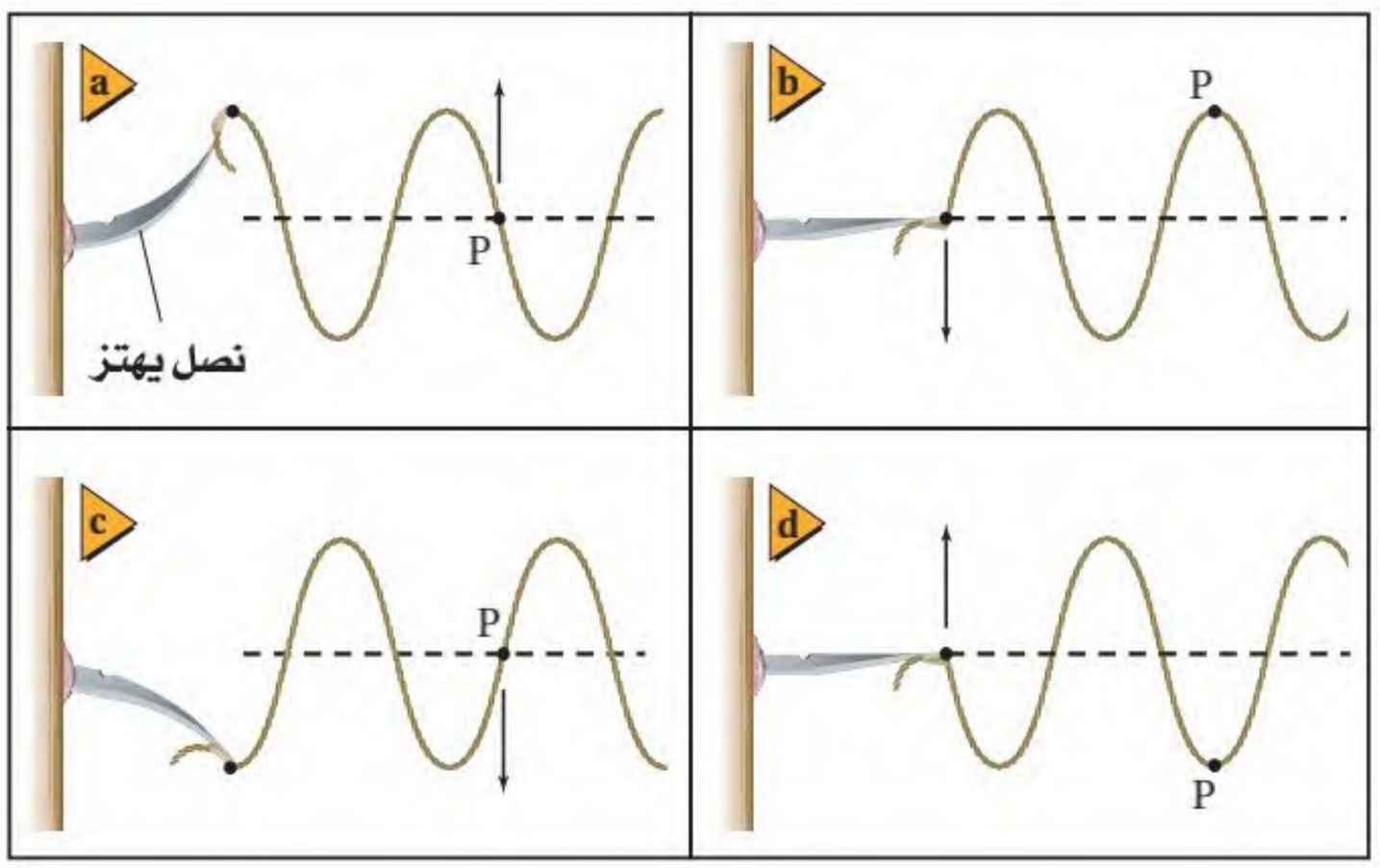


■ **الشكل 8–2** سعة الموجة A أكبر من سعة الموجة B.

الطول الموجي تخيل أنــك التقطت صورة فوتوغرافية للموجة كاملة بدلاً من التركيــز على نقطة واحدة عليها بحيث ترى موجــة كاملة في لحظة ما. ويبين **الشكل 8–2** النقاط السفلية التي تُســمى **قاع** الموجة، والنقاط العلوية التي تســمى **قمة** الموجة. ويطلق على أقصر مسافة بين أي نقطتين يتكرّر فيها نمط الموجة نفسه اسم **الطول الموجي**. فالمسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين تســاوي الطول الموجي، ويرمــز للطول الموجي لموجة مــا بالحرف اللاتيني λ (لمدا).

الطـور أي نقطتين في الموجة تكونان في الطور نفســه إذا كانت المســافة بينهما تساوي طولًا موجيًّا واحدًا أو مضاعفاته. ويُعد جسيمان في وسط ما في الطور نفســه أيضًا إذا كان لهما الإزاحة نفســها عن موضع الاتزان، ولهما السرعة المتجهة نفسها. أما إذا كان الجســيمان في الوسط متعاكســين في الإزاحة وفي السرعة المتجهة فإنهما يكونان مختلفين في الطور بـــ 180°. فمثلًا هناك اختلاف في الطور بين القمة والقاع بـ 180°. وأي نقطتين في الموجة يمكن أن تختلفا في الطور بين 0° و180° إحداهما بالنسبة إلى الأخرى.

الزمن الدوري والتردد يمكن اســتخدام سرعة الموجة وســعتها لوصــف أي موجة. أما الزمن الدوري T والتردد f فيطبّقان فقط على الموجات الدورية. ودرست سابقًا أن الزمن الــدوري للحركة التوافقية البســيطة (كما في حركة البندول) هــو الزمن الذي يحتاج إليه الجســم المهتز حتى يكمــل دورة كاملة. وعادة يكون مثل هذا الجســم هو مصدر الموجة الدورية أو المســبِّب لها. ويكون الزمن الدوري للموجة مساويًا الزمن الدوري للمصدر. وتوضح **الأشكال** من **2–9a** إلى **2–9d** أن الزمن الدوري T يساوي 0.04 s؛ وهو الزمن الذي يحتاج إليه المصدر حتى يكمل دورة كاملة، وهو أيضًا الزمن نفسه الذي تتطلبه نقطة مثل P على الحبل حتى تعود إلى طورها الابتدائي.



■ **الشكل 9–2** يهتز أحد طرفي نابض متصل بنصل 25 اهتزازة في الثانية، وعليه قطعة من شريط لاصق عند النقطة P. لاحظ تغير موضع النقطة P مع الزمن.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رموز الكتب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز (نيو) ν، وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

أمّا **تردّد الموجة** f فهو عدد الاهتزازات الكاملة التي يُتمّها الجسم المهتز في الثانية الواحدة، ويُقاس بوحدة هرتز Hz، والهرتز الواحد هو اهتزازة واحدة في الثانية. وبناءً عليه فإن العلاقة التي تربط بين الزمن الدوري للموجة وترددها هي:

تردد الموجة $f = \frac{1}{T}$

تردد الموجة يساوي مقلوب زمنها الدوري.

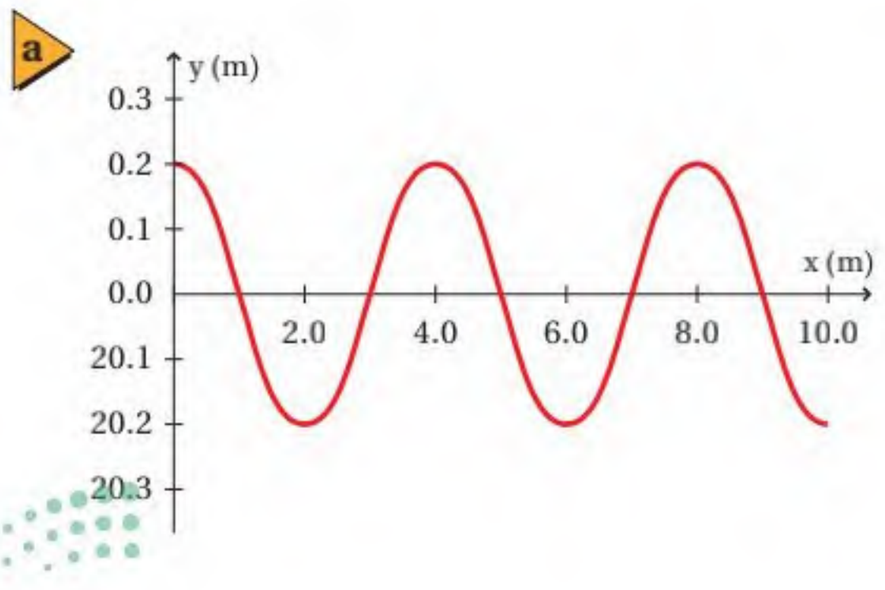
ويعتمد الزمن الدوري للموجة وترددها على مصدرها فقط، ولا يعتمدان على الوسط الذي تنتقل خلاله أو على سرعة الموجة.

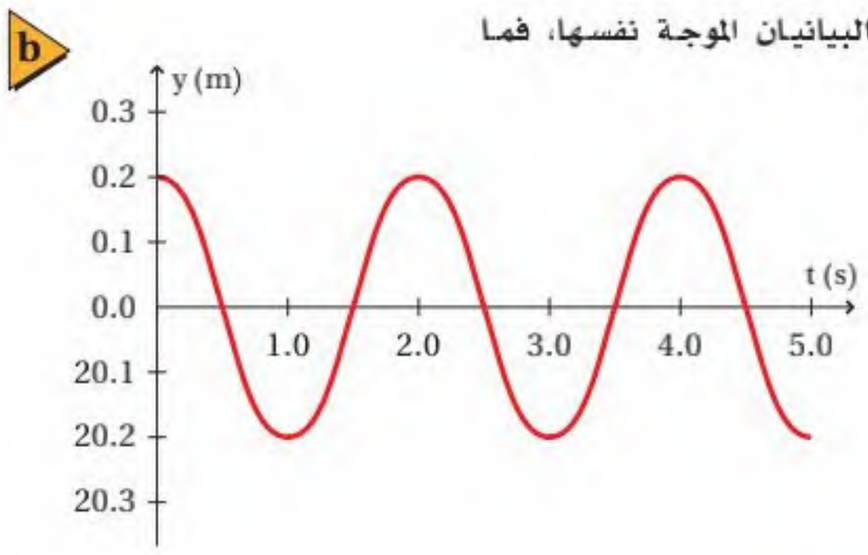
وتتحرك الموجة خلال فترة زمنية تساوي زمنًا دوريًّا واحدًا مسافة تساوي طولاً موجيًّا واحدًا، لذا فالطول الموجي يساوي سرعة الموجة مضروبًا في الزمن الدوري، $\lambda = \nu T$. ولأن الحصول على التردد يكون عادة أسهل من الحصول على الزمن الدوري فإن هذه المعادلة تكتب على الشكل الآتي:

طول الموجة $\lambda = \frac{\nu}{f}$

الطول الموجي للموجة يساوي سرعتها مقسومة على ترددها.

تمثيل الموجات إذا التقطْت صورة فوتوغرافية لموجة مستعرضة في حبل، فستجدها مشابهة لإحدى الموجتين الموضحتين في **الشكل 8–2**. ويمكن وضع هذه الصورة على ورقة رسم بياني للحصول على مزيد من المعلومات عن الموجة، كما هو موضح في **الشكل 10a–2**. وبالمثل إذا رصدت حركة جسيم واحد، مثل حركة النقطة P في **الشكل 9–2**، أمكنك تمثيل هذه الحركة بيانيًّا على ورق رسم بياني، بحيث ترسم الإزاحة بوصفها متغيرًا مع الزمن، كما في **الشكل 10b–2**، والذي يمكن من خلاله إيجاد الزمن الدوري، كما يمكن تمثيل الموجات الطولية بيانيًّا على ورق رسم بياني، بحيث يتم تمثيل التضاغطات على المحور y مثلاً.





الشكل 10–2 يمكن تمثيل الموجات بيانيًا، فالطول الموجي لهذه الموجة 4.0 m **(a)**، والزمن الدوري 2.0 s **(b)**. الإزاحة أو السعة في كلا الرسمين تساوي 0.2 m فإذا مثّل هذان الرسمان البيانيان الموجة نفسها، فما سرعتها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 3

خصائص الموجة قطعت موجة صوتية ترددها 192 Hz ملعب كرة قدم طوله 91.4 m خلال 0.271 s، احسب مقدار:

a. سرعة الموجة.

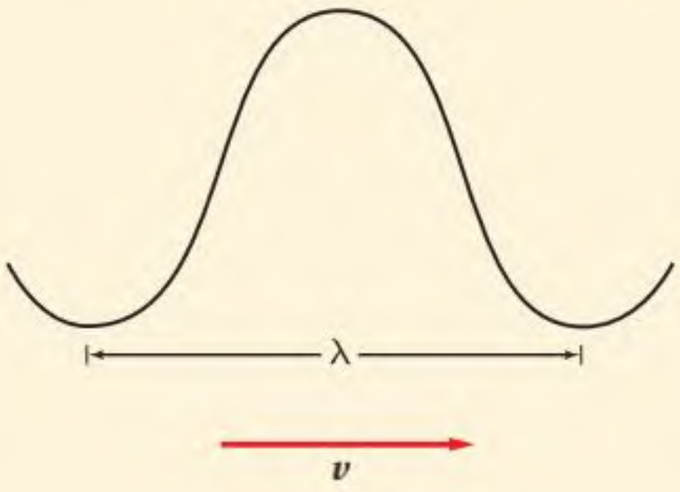
b. الطول الموجي للموجة.

c. الزمن الدوري للموجة.

d. الطول الموجي والزمن الدوري، إذا أصبح تردد الموجة 442 Hz

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم نموذجًا للموجة.
- مثّل متجه السرعة.



المعلوم	المجهول
$f = 192\ \text{Hz}$	$v = ?$
$d = 91.4\ \text{m}$	$\lambda = ?$
$t = 0.271\ \text{s}$	$T = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. أوجد السرعة v.

عوّض مستخدمًا $t = 0.271\ \text{s}$، $d = 91.4\ \text{m}$

$$v = \frac{d}{t}$$
$$= \frac{91.4\ \text{m}}{0.271\text{s}}$$
$$= 337\ \text{m/s}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

b. أوجد طول الموجة λ.

عوّض مستخدمًا $f = 192\ \text{Hz}$، $v = 337\ \text{m/s}$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$
$$= \frac{337\ \text{m/s}}{192\ \text{Hz}}$$
$$= 1.76\ \text{m}$$

c. أوجد الزمن الدوري T.

عوّض مستخدمًا $f = 192\ \text{Hz}$

$$T = \frac{1}{f}$$
$$= \frac{1}{192\ \text{Hz}}$$
$$= 0.00521\ \text{s}$$

d. أوجد الطول الموجي الجديد.

عوّض مستخدمًا $f = 442\ \text{Hz}$، $v = 337\ \text{m/s}$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$
$$= \frac{337\ \text{m/s}}{442\ \text{Hz}} = 0.762\ \text{m}$$

أوجد الزمن الدوري الجديد.

عوّض مستخدمًا $f = 442\ \text{Hz}$

$$\text{T} = \frac{1}{f}$$
$$= \frac{1}{442\ \text{Hz}} = 0.00226\ \text{s}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الهرتز Hz هو نفسه s^{-1}، لذا فإن $\frac{\text{m/s}}{\text{Hz}} = \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{s} = \text{m}$. وهذا صحيح.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة القياسية لموجات الصوت في الهواء 343 m/s تقريبًا، لذا فالجواب 337 m/s منطقي، وكذلك التردد والزمن الدوري منطقيان بالنسبة لموجات الصوت، فالتردد 442 Hz قريب من التردد 440 Hz وهو التردد القياسي لموجات الصوت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

11. أطلق فادي صوتًا عاليًا في اتجاه جرف رأسي يبعد 465 m عنه، وسمع الصدى بعد 2.75 s. احسب مقدار:

a. سرعة صوت فادي في الهواء.

b. تردّد موجة الصوت إذا كان طولها الموجي يساوي 0.750 m.

c. الزمن الدوري للموجة.

12. إذا أردت زيادة الطول الموجي لموجات في حبل فهل تهزّ الحبل بتردد كبير أم بتردد صغير؟

13. ولَّد مصدرٌ في حبل اضطرابًا تردّده 6.00 Hz، فإذا كانت سرعة الموجة المستعرضة في الحبل 15.0 m/s، فما طولها الموجي؟

14. تتولّد خمس نبضات في خزان ماء كل 0.100 s، فإذا كان الطول الموجي للموجات السطحية 1.20 cm، فما مقدار سرعة انتشار الموجة؟

توصلت إلى أن الموجات تحمل طاقة مما يمكّنها من إنجاز شغل، وربما شاهدت الأضرار الهائلة الناجمة عن العواصف الشديدة والأعاصير القوية، أو التآكل البطيء للمنحدرات والشواطئ الناجم عن الموجات الضعيفة اليومية. ومن المهم أن تتذكّر أن سعة الموجة الميكانيكية هي التي تحدّد مقدار الطاقة التي تحملها الموجة، بينما يحدّد الوسط وحده سرعة الموجة.

2–2 مراجعة

15. السرعة في أوساط مختلفة إذا سحبت أحد طرفي نابض، هل تصل النبضة إلى طرفه الآخر في اللحظة نفسها؟ ماذا يحدث لو سحبت حبلاً؟ ماذا يحدث عند ضرب طرف قضيب حديدي؟ قارن بين سرعة انتقال النبضات في المواد الثلاث.

16. خصائص الموجة إذا ولّدْت موجة مستعرضة في حبل عن طريق هزّ يدك وتحريكها من جانب إلى آخر، ثم بدأت تهزّ الحبل أسرع من دون تغيير المسافة التي تتحركها يدك، فماذا يحدث لكل من: السعة، والطول الموجي، والتردد، والزمن الدوري، وسرعة الموجة؟

17. الموجات تنقل الطاقة افترض أنه طُلب إليك أنت وزميلك في المختبر توضيح أن الموجة المستعرضة تنقل الطاقة دون انتقال مادة الوسط، فكيف توضح ذلك؟

18. الموجات الطولية صِفِ الموجات الطولية. وما أنواع الأوساط التي تنقل الموجات الطولية؟

19. التفكير الناقد إذا سقطت قطرة مطر في بركة فستولّد موجات ذات سعات صغيرة. أما إذا قفز سبّاح في البركة فسيولّد موجات ذات سعات كبيرة. فلماذا لا تولّد الأمطار الغزيرة في أثناء العواصف الرعدية موجات ذات سعات كبيرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3–2 سلوك الموجات Waves Behavior

عندما تصل موجة إلى الحد الفاصل بين وسطين فإنها غالبًا تنعكس وترتد إلى الخلف داخل الوسط نفسه. وفي حالات أخرى تمر الموجة كلها أو جزء منها خلال الحد الفاصل إلى وسط آخر، ويتغير اتجاهها عند الحد الفاصل. بالإضافة إلى أن العديد من خصائص سلوك الموجة، ماهي إلا نتيجة الحقيقة التي تنص على أنه : يمكن أن تكون هناك موجتان أو أكثر في الوسط نفسه خلال الزمن نفسه؛ بخلاف الجسيمات المادية؛ إذ لا يمكن لجسمين شَغْل الحيز نفسه خلال الزمن نفسه.

الأهداف

- **تربط** بين سرعة الموجة وطبيعة الوسط الذي تتحرك فيه.
- **تصف** كيفية انعكاس الموجات وانكسارها عند الحد الفاصل بين وسطين.
- **تطبّق** مبدأ التراكُب على ظاهرة التداخل.

المفردات

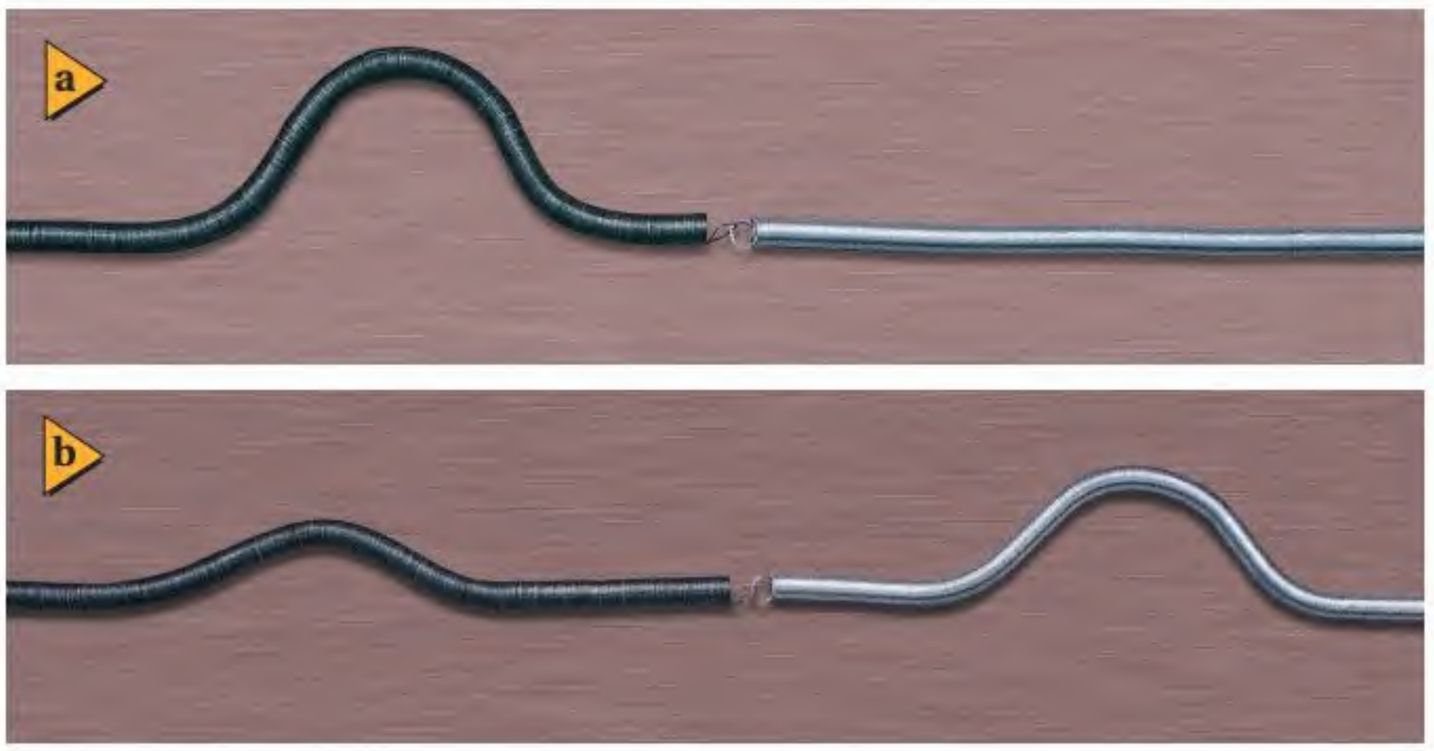
موجة ساقطة
موجة منعكسة
مبدأ التراكب
التداخل
العقدة
البطن
الموجة الموقوفة (المستقرة)
مقدمة الموجة
الشعاع
العمود المقام
قانون الانعكاس
الانكسار

الموجات عند الحواجز Waves at Boundaries

تذكُر من القسم السابق أن سرعة الموجة الميكانيكية تعتمد فقط على خصائص الوسط الذي تمر خلاله، ولا تعتمد على سعة الموجة أو ترددها. فمثلاً، يؤثر عمق الماء في سرعة موجات الماء المتكونة فيه، كما تؤثر درجة حرارة الهواء في سرعة موجات الصوت التي تنتشر فيه، وتعتمد سرعة موجات النابض على مقدار قوة شدّه وعلى كتلة وحدة أطواله.

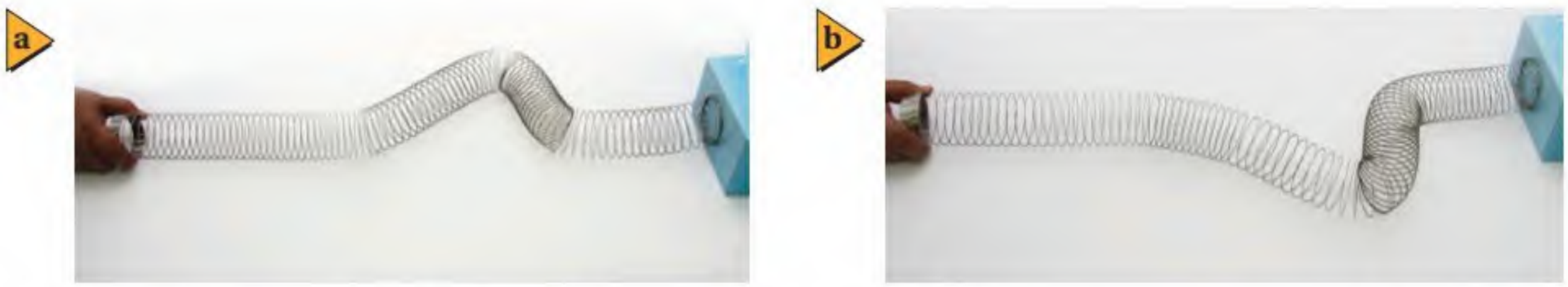
بيّن ماذا يحدث عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين وسطين كما في نابضين مختلفي السمك ومتصلي الطرفين. يبين **الشكل 11–2** نبضة تتحرك من النابض الأكبر سمكًا إلى النابض الأقل سمكًا، حيث تسمى الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين النابضين **الموجة الساقطة**. لاحظ أن هناك اختلافًا في سرعة النبضة التي تنتقل من النابض الأسمك إلى النابض الأقل سمكًا، كما تبقى نبضة الموجة المنتقلة متجهةً إلى أعلى.

ينعكس جزء من طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف في اتجاه النابض السميك على شكل موجة مرتدة تسمى **الموجة المنعكسة**. وتحدّد خصائصُ كلا النابضين ما إذا كان اتجاه الموجة المنعكسة معتدلًا أو مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، تنقلب الموجة المنعكسة إذا كانت سرعة الموجات في النابض الأقل سمكًا أكبر؛ لأنه أثقل أو أكثر صلابة.



الشكل 11–2 تمثل نقطة الاتصال بين طرفي النابضين الحد الفاصل بين الوسطين. فعندما تصل النبضة إلى الحد الفاصل (a) ينعكس جزء من النبضة وينفذ جزء آخر (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



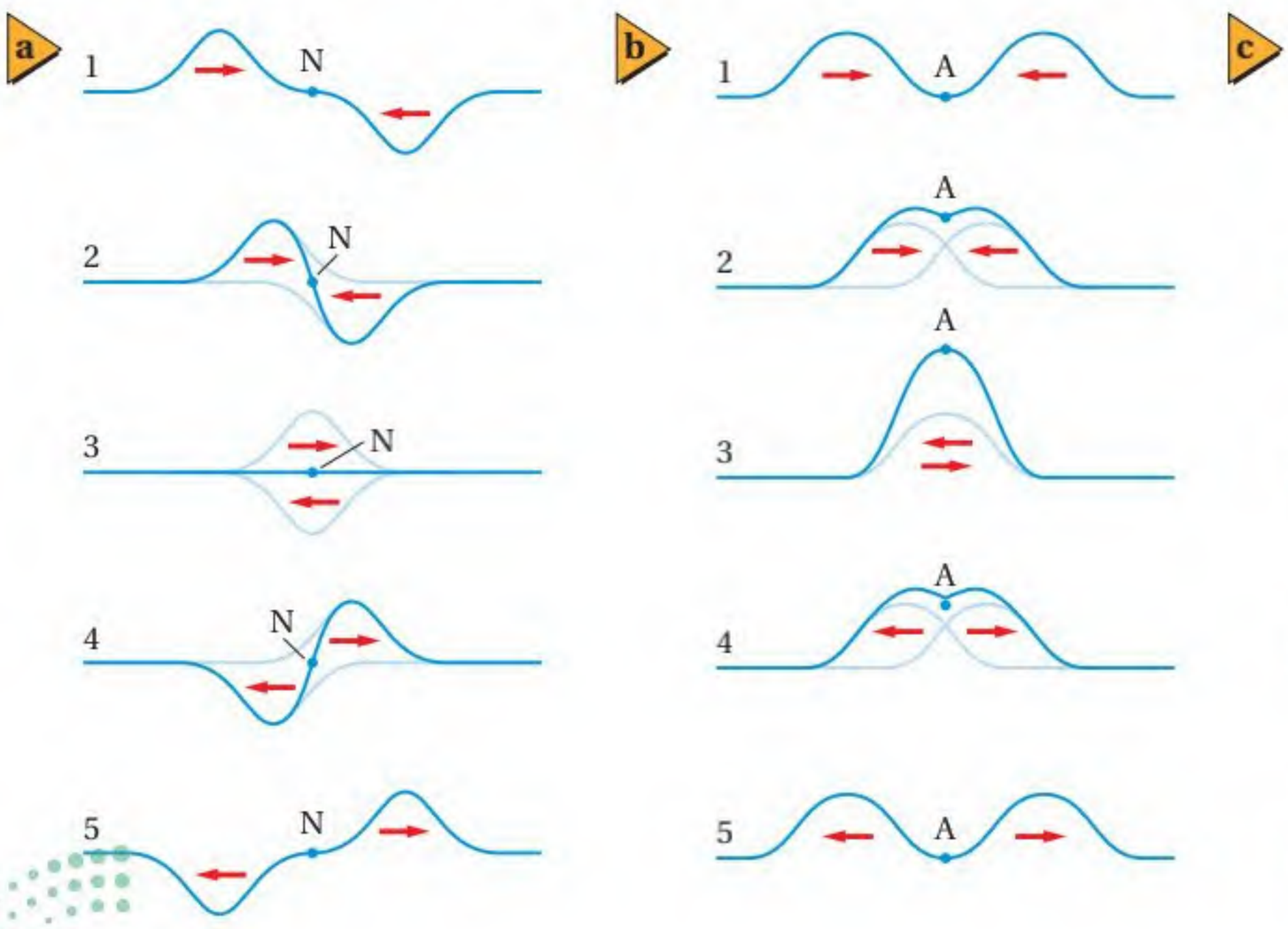
■ **الشكل 12–2** تقترب الموجة من الحائط الصلب (**a**)، وتنعكس عنه مرتدة إلى الخلف (**b**). لاحظ أن سعة الموجة المنعكسة تساوي تقريبًا سعة الموجة الساقطة، إلا أنها مقلوبة.

مـــاذا يحدث لـــو كان الحد الفاصـــل حائطًا وليس نابضًـــا آخر؟ عندمـــا تُطلق موجة في نابـــض مثبت في حائط صلب مصقول تنعكس هذه الموجـــة عن الحائط إلى الخلف كما في **الشـــكل 12–2**، ويكون الحائط هو الحد الفاصل لوســـط جديـــد حاولت الموجة المرور خلاله، حيث تنعكس الموجة عن الحائط بدلاً من مرورها خلاله، وتســـاوي سعة الموجة المرتدة تقريبًا ســـعة الموجة الســـاقطة. لذا تنعكس معظم طاقة الموجة إلى الخلف، والقليل منهـــا ينتقل إلى الحائط. ولاحظ أيضًا أن الموجة انقلبت إلى أســـفل، أمـــا لو كان النابض متصـــلاً بحلقة حرة الحركة حول قضيب ـ حد فاصل حر الحركة ـ فإن الموجة لن تنقلب.

تراكُب الموجات Superposition of Waves

افترض أن نبضة تنتقل في نابض وقابلت نبضة منعكســـة. ما الذي يحدث في هذه الحالة؟ ســـيكون هناك نبضتان في الوسط في المكان والزمان نفســـيهما، وتؤثر كل من النبضتين في الوسط بصورة مســـتقلة. وينص **مبدأ التراكُب** على أن الإزاحة الحادثة في الوسط، الناتجة عن نبضتين أو أكثر، تســـاوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل نبضة على حِدة؛ أي أنه يمكن اتحاد نبضتين أو أكثر لتكوين نبضة واحدة جديدة. وإذا انتقلت النبضتان في اتجاهين متعاكســـين فإما أن تلغي كل منهما تأثير الأخرى، أو تنتج نبضة لها ســـعة أكبر أو أصغر من سعة كل منهما. ويسمى الأثر الناتج عن تراكُب نبضتين أو أكثر **التداخل**.

■ **الشكل 13–2** عندما تلتقي نبضتان متساويتان تتكون نقطة تُسمى العقدة (N)؛ حيث يبقى الوسط دون اضطراب (**a**). وينتج التداخل البناء في أكبر صورة له عند تكوّن بطن الموجة (A). (**b**) وإذا كانت سعتا النبضتين المتعاكستين غير متساويتين فسيكون الهدم غير تام (**c**).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تداخل الموجات يوجد التداخل على شكلين: فيكون تداخلاً بنّاءً، أو تداخلاً هدّامًا. فعندما تلتقي نبضتان لهما السعة نفسها ولكن في اتجاهين متعاكسين ـ أي قمة من الموجة الأولى مع قاعٍ من الموجة الثانية ـ تقل إزاحة الوسط عند النقاط كلها في منطقة التداخل، ويكون التداخل هدامًا. وإذا كانت سعتا الموجتين متساويتين كما في **الشكل 2–13a** فإن مقدار الإزاحة سيساوي صفرًا. وتُسمى النقطة N التي لم تتحرك مطلقًا **العقدة**. وتواصل النبضتان حركتيهما بعد التداخل، وتستعيدان شكلهما الأصلي.

ينتج التداخل البنّاء عندما تكون إزاحات الموجات في الاتجاه نفسه، وتكون النتيجة موجة لها سعة أكبر من سعة أي من الموجات منفردة. ويبين **الشكل 2–13b** تداخلاً بنّاءً لنبضتين متساويتين، حيث تتكون نبضة ذات سعة أكبر عند النقطة A عندما تلتقي النبضتان، وتُسمى هذه النبضة الناتجة **البطن**، وتكون إزاحتها هي الأكبر. وتمر النبضتان بعد ذلك إحداهما خلال الأخرى دون أي تغير في شكليهما أو حجميهما. وإذا كانت سعتا النبضتين غير متساويتين فإن النبضة الناتجة من التداخل تساوي المجموع الجبري لإزاحتي النبضتين، كما في **الشكل 2–13c**.

الموجات الموقوفة (المستقرة) يمكنك تطبيق مفهوم تراكب الموجات للتحكم في تكوين موجات ذات سعة كبيرة. فإذا ثُبّت أحد طرفي حبل أو نابض حلزوني في نقطة ثابتة مثل مقبض باب، ثم بدأتَ بهز الطرف الآخر فإن الموجات تنطلق من يدك متحركة في اتجاه الطرف الآخر الثابت، ثم ترتد عند هذه النهاية الثابتة وتنقلب من جديد، وتعود إلى يدك ثانية. وعندما تصل الموجة المرتدة إلى يدك تنعكس وتنقلب من جديد وتتحرك إلى الخلف مرةً أخرى. وتكون إزاحة الموجة عندما تنطلق من يدك للمرة الثانية في الاتجاه نفسه الذي انطلقت منه أول مرة.

ماذا تفعل لو أردت زيادة سعة الموجة التي ولّدتها؟ افترض أنك ضبطت حركة يدك بحيث يكون الزمن الدوري لاهتزازها مساويًا للزمن الذي تحتاج إليه النبضة حتى تكمل دورة كاملة: من يدك إلى الباب ثم العودة. عندئذٍ سوف تضاف الإزاحة التي تولّدها يدك في كل مرة إلى إزاحة الموجة المنعكسة. والنتيجة أن اهتزاز الحبل سيكون أكبر من حركة يدك، ويمكن توقع ذلك استنادًا إلى معرفتك بالتداخل البنّاء. وتعتبر هذه الاهتزازة ذات السعة الكبيرة مثالًا على الرنين الميكانيكي. وتكون العقدتان عند طرفي الحبل، في حين يكون البطن في وسط النبضة، كما في **الشكل 2–14a**. وتبدو الموجة موقوفة ولذا تسمى **الموجة الموقوفة أو المستقرة**؛ أيْ أن الموجة الموقوفة هي تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين. وإذا ضاعفتَ تردد الاهتزاز تتولّد عقدة جديدة وبطن جديد في الحبل، ويظهر الحبل مهتزًّا في قسمين. وعند زيادة التردد أكثر تتولّد عقد وبطون أكثر، كما في **الشكلين 2–14b، 2–14c**.

تجربة

تداخل الموجات

يمكنك باستعمال نابض حلزوني توليد موجة تضاغطية متغيرة في سعتها وسرعتها واتجاهها، كما في الموجة المستعرضة.

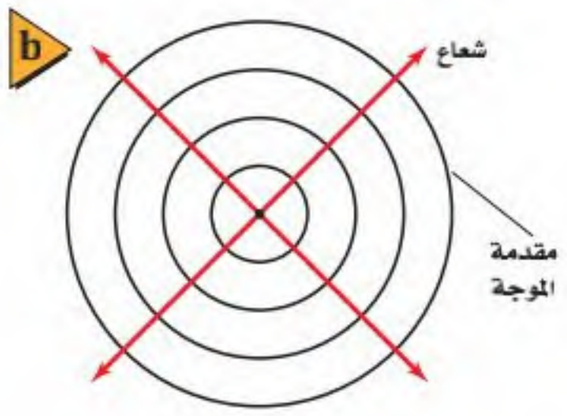
1. **صمّم تجربة** لاختبار ما يحدث عند التقاء موجتين من اتجاهين مختلفين.
2. نفّذ التجربة وسجّل ملاحظاتك.

التحليل والاستنتاج

3. هل تغيرت سرعة أي موجة منهما؟
4. هل ترتدّ هاتان الموجتان إحداهما عن الأخرى؟ أم تمر كل منهما خلال الأخرى؟

الشكل 2–14 يُنتج التداخل موجات موقوفة في الحبل، وبزيادة التردد يزداد عدد العقد والبطون، كما هو واضح من أعلى الشكل إلى أسفله.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 15–2** تنتشر الموجات الدائرية إلى الخارج بعيدًا عن مصدرها (**a**). ويمكن تمثيل الموجة بدوائر ترسم عند قمم الموجات الدائرية (**b**). لاحظ أن الأشعة متعامدة مع مقدمة الموجة.

الموجات في بعدين Waves in Two Dimensions

درست الموجات في حبل أو نابض، عندما تنعكس عن حاجز صلب، حيث تصبح السعة صفـرًا نتيجة التداخل الهدام. هذه الموجات الميكانيكية تتحرك في بُعد واحدٍ. أما الموجات على سطح الماء فتتحرك في بعدين، وستدرس لاحقًا الموجات الكهرومغناطيسية وموجات الصوت التي تتحرك في ثلاثة أبعاد. فكيف يمكن توضيح الموجات في بعدين؟

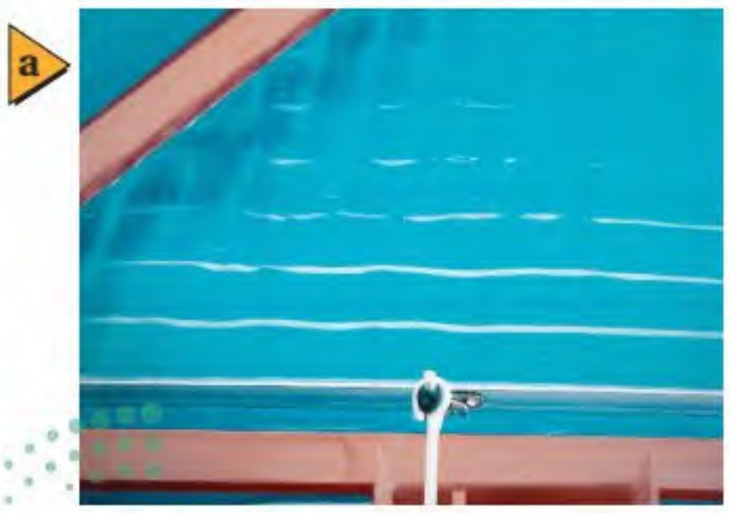
تمثيل الموجات في بعدين عندما ترمي حجرًا صغيرًا في بركة ماء ساكنة، ترى قمم وقيعان الموجات الدائرية الناتجة تنتشر إلى الخارج في جميع الاتجاهات. ويمكن تمثيل هذه الموجات برسم دوائر تُعبّر عن قمم هذه الموجات. فعندما تضع رأس إصبعك في الماء وتحركه بتردد ثابت ستنتج دوائر متتابعة متحدة في مراكزها، ويكون إصبعك مركز تلك الدوائر التي تُسمى مقدمات الموجة. **فمقدمة الموجة** هي الخط الذي يمثل قمة الموجة في بعدين. ويمكن استعمال مقدمة الموجة لتوضيح الموجات بأي شكل كانت، ومن ذلك الموجات الدائرية والموجات المستقيمة. ويوضح **الشكل 15a–2** الموجات الدائرية في الماء، بينما يوضح **الشكل 15b–2** مقدمات هذه الموجات. وتُرسم مقدمات الموجات بمقياس رسم يبيّن الطول الموجي لهذه الموجات، ولكن لا يبين سعاتها.

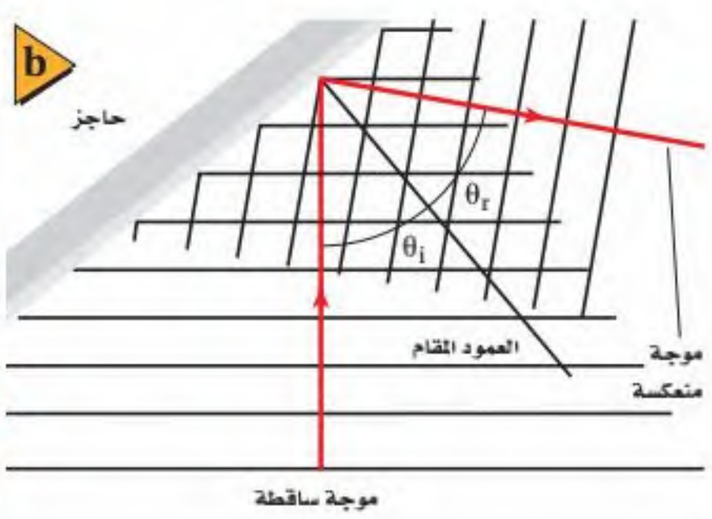
تجربة عملية
كيف تنعكس الموجات وكيف تنكسر؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

ومهما يكن شكل الموجات التي تتحرك في بعدين فإنها تتحرك في اتجاه متعامد مع مقدماتها، ويُمثَّل هذا الاتجاه **بشعاع** على شكل خط يصنع زاوية قائمة مع قمة الموجة. وإذا أردت بيان اتجاه انتقال الموجة فقط فمن الملائم أن ترسم أشعة بدلًا من مقدمات الموجات.

تجربة عملية
كيف يبدو حيود الموجات وتداخلها؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

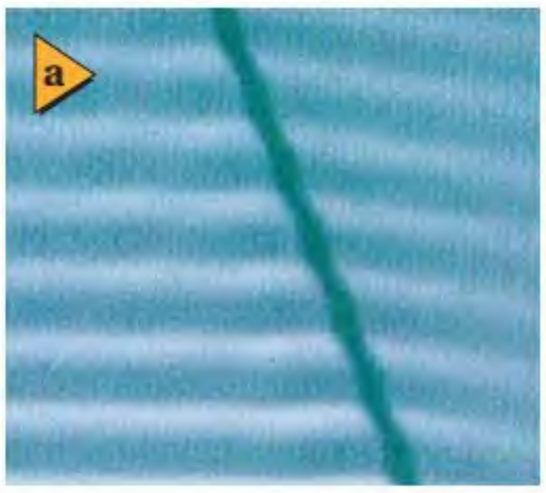
انعكاس الموجات في بعدين يستعمل حوض الموجات لبيان خصائص الموجات المنتشرة في بعدين؛ إذ يحتوي على طبقة ماء ضحلة، وألواح اهتزاز تولّد نبضات موجية، كما موضح في **الشكل 16a–2**، أو تولّد موجات ماء تتحرك بتردد ثابت. وعند إضاءة المصباح الموجود فوق الحوض يتكون ظل تحت الحوض يبين موقع قمم الموجات وقيعانها. وعندما تنتشر موجة نحو حاجزٍ ما، فإنها تنعكس عنه في اتجاه محدّد.





■ **الشكل 16–2** نبضة موجة مرتدة عن حاجز في حوض الموجات (**a**). يوضّح المخطط الشعاعي التسلسل الزمني لاقتراب الموجة من الحاجز وانعكاسها عنه إلى اليمين (**b**).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 17–2** عندما تتحرك موجات الماء فوق منطقة الماء الضحلة، حيث يوجد لوح الزجاج في حوض الموجات تتباطأ ويقل طولها الموجي (**a**). ويمكن تمثيل الانكسار بمخطّط مقدمات الموجات والأشعة (**b**).

ويمكن تمثيل اتجاه انتشار الموجات بالمخطّط الشعاعي المبين في **الشكل 16b–2**، حيث يُمثّل الشعاع المتجه إلى أعلى الموجة الساقطة، في حين يُمثّل الشعاع المتجه إلى اليمين الموجة المنعكسة.

أما الحاجز فيمثّل بخط مستقيم يفصل بين الوسطين، والخط المتعامد مع الحاجز عند نقطة السقوط يُسمى **العمود المقام**. وتسمى الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والعمود المقام زاوية السقوط. أما الزاوية المحصورة بين الشعاع المنعكس والعمود المقام فتسمى زاوية الانعكاس. وينص **قانون الانعكاس** على أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

انكسار الموجات في بعدين يمكن استخدام حوض الموجات كذلك لتمثيل سلوك الموجات عندما تنتقل من وسط إلى آخر. ويوضّح **الشكل 17a–2** لوحًا زجاجيًّا موضوعًا في حوض الموجات، وسمك طبقة الماء فوقه أقل من سمك طبقة الماء في بقية الحوض؛ حيث يؤثر ذلك وكأنه وسط مختلف. وبانتقال الموجة من منطقة الماء العميق إلى منطقة الماء الضحل تقلّ سرعتها ويتغير اتجاهها. ولأن الموجات في منطقة الماء الضحلة تولّدت من الموجات القادمة من منطقة الماء الأعمق فإن ترددها لن يتغير. واستنادًا إلى المعادلة $\lambda = v/f$ فإن تناقص سرعة الموجات يعني أن الطول الموجي يكون أقصر في منطقة الماء الضحلة. ويعرف التغير في اتجاه انتشار الموجات عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين **بالانكسار**. ويبين **الشكل 17b–2** مقدمة الموجة ونموذج المخطّط الشعاعي للانكسار، وعندما تدرس انعكاس الضوء وانكساره في الفصول القادمة ستتعرف قانون الانكسار المعروف بقانون سنل.

قد تعلم أن سبب الصدى هو انعكاس الصوت عن سطح صلب مثل حائط كبير، أو انعكاسه عن جرف صخري بعيد، وأن الانكسار مسؤول جزئيًّا عن تكون قوس المطر؛ فعندما يمر الضوء الأبيض خلال قطرات المطر تعمل هذه القطرات على تحليل الضوء الأبيض إلى ألوانه (ألوان الطيف المرئي السبعة) بفعل الانكسار.

3–2 مراجعة

20. **الموجات عند الحدود الفاصلة** أيّ خصائص الموجة الآتية لا تتغير عندما تمر الموجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين: التردد، السعة، الطول الموجي، السرعة، الاتجاه؟

21. **انكسار الموجات** لاحظ **الشكل 17a–2**، وبين كيف يتغير اتجاه الموجة عندما تمر من وسط إلى آخر. وهل يمكن أن تعبر موجة في بعدين حدًّا فاصلًا بين وسطين دون أن يتغير اتجاهها؟ وضح ذلك.

22. **الموجات الموقوفة** ما العلاقة بين عدد العقد وعدد البطون في موجة موقوفة في نابض مثبت الطرفين؟

23. **التفكير الناقد** هناك طريقة أخرى لفهم انعكاس الموجات، وهي أن تغطي الطرف الأيمن لكل رسم في **الشكل 13a–2** بقطعة ورق، على أن يكون طرف الورقة موجودًا عند النقطة N (العقدة)، ثم تركز على الموجة الناتجة التي تظهر باللون الأزرق الغامق، وتلاحظ أنها تبدو مثل موجة منعكسة عن حد فاصل. فهل هذا الحد الفاصل حائط صلب أم ذو نهاية مفتوحة؟ كرّر هذا التمرين مع **الشكل 13b–2**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

تذبذب البندول Pendulum Vibrations

يمكن أن يوفر البندول البسيط نموذجًا لاستقصاء خصائص الموجات. ستصمِّم في هذه التجربة طريقة لاستعمال البندول لإيجاد سعة موجة، وزمنها الدوري، وترددها. وستحدد أيضًا تسارع الجاذبية الأرضية باستعمال البندول البسيط.

سؤال التجربة

كيف يوضح البندول البسيط خصائص الموجات؟

الأهداف

- **تحدّد** المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول.
- **تستقصي** تردّد البندول وزمنه الدوري وسعة اهتزازه.
- **تقيس** قيمة تسارع الجاذبية الأرضية g.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

خيط طوله 1.5 m	ثلاثة أثقال رصاصية صغيرة
مشبك ورق	حامل حلقي
ساعة إيقاف	

الخطوات

1. صمّم بندولًا باستعمال المواد والأدوات المتوفرة لديك. وتحقق من فحص المعلم لتصميمك إذا كان ملائمًا أم لا، وذلك قبل المضي قدمًا في إجراء التجربة.
2. يكون طول البندول في هذا الاستقصاء مساويًا لطول الخيط مضافًا إليه نصف طول ثقل البندول. والسعة هي البعد بين النقطة التي سُحب إليها ثقل البندول ونقطة اتزانه. والتردد هو عدد دورات ثقل البندول في الثانية. أما الزمن الدوري فهو الزمن الذي يتطلبه ثقل البندول حتى يعمل دورة واحدة. وعند جمع البيانات حول الزمن الدوري يتعين عليك إيجاد الزمن الذي يحتاج إليه البندول حتى يكمل عشر دورات، ثم تجد بعد ذلك الزمن الدوري بوحدة ثانية (s). كما يتعين عليك عدّ الدورات التي تحدث في 10 s، ومنها تجد التردد بوحدة s^{-1}.
3. صمِّم طريقة بحيث تبقي كتلة ثقل البندول وسعة حركته ثابتتين، في حين تُغيّر طول البندول، ثم تحدّد تردّده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات، وكرّر المحاولات مع أطوال مختلفة للبندول لجمع البيانات.
4. صمِّم طريقة بحيث تُبقي طول البندول وسعته ثابتين، بينما تغير كتلة ثقل البندول، ثم حدد تردده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات. وكرّر المحاولات لجمع البيانات.
5. صمِّم طريقة أخرى بحيث تبقي طول البندول وثقله ثابتين، في حين تغير سعة حركته، ثم حدد تردّده وزمنه الدوري. سجّل نتائجك في جدول البيانات، وكرّر المحاولات لجمع البيانات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات 1						
جدول البيانات هذا مصمّم للخطوات 5–2						
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط	الزمن الدوري (S)	التردّد (S^{-1})
الطول 1						
الطول 2						
الطول 3						
الكتلة 1						
الكتلة 2						
الكتلة 3						
الاتساع 1						
الاتساع 2						
الاتساع 3						

جدول البيانات 2						
جدول البيانات هذا مصمّم للخطوة 6، لإيجاد قيمة g						
	المحاولة 1	المحاولة 2	المحاولة 3	المتوسط	الزمن الدوري (S)	طول الخيط (m)
الطول 1						
الطول 2						
الطول 3						

6. صمِّم طريقة باستعمال البندول لحساب تسارع الجاذبية الأرضية g، مستخدمًا المعادلة الآتية: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ حيث تمثل T الزمن الدوري، و l طول خيط البندول، تذكّر تنفيذ عدّة محاولات لجمع البيانات.

التحليل

1. **لخّص** ما العلاقة بين سعة حركة البندول وزمنه الدوري؟
2. **لخّص** ما العلاقة بين كتلة ثقل البندول وزمنه الدوري؟
3. **قارن** كيف يرتبط الزمن الدوري للبندول مع طوله؟
4. **حلّل** أوجد مقدار g من البيانات في الخطوة 6.
5. **تحليل الخطأ** ما النسبة المئوية للخطأ في التجربة عند إيجاد قيمة g؟ وما الأسباب المحتملة لوجود فرق بين القيمة التجريبية لـ g والقيمة المقبولة لها؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** ما المتغير أو المتغيرات التي تؤثر في الزمن الدوري للبندول؟
2. **قارن** كيف تكون حركة البندول مشابهة لحركة الموجة؟
3. **حلّل** لماذا يفضل تكرار الخطوة ثلاث مرات أو أكثر لإيجاد التردد والزمن الدوري للبندول؟
4. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة حركية؟
5. **حلّل واستنتج** متى يكون لثقل البندول أكبر طاقة وضع؟

التوسع في البحث

افترض أن لديك بندولًا طويلًا، ما الملاحظات التي تتوقعها على حركة هذا البندول مدة يوم كامل؟

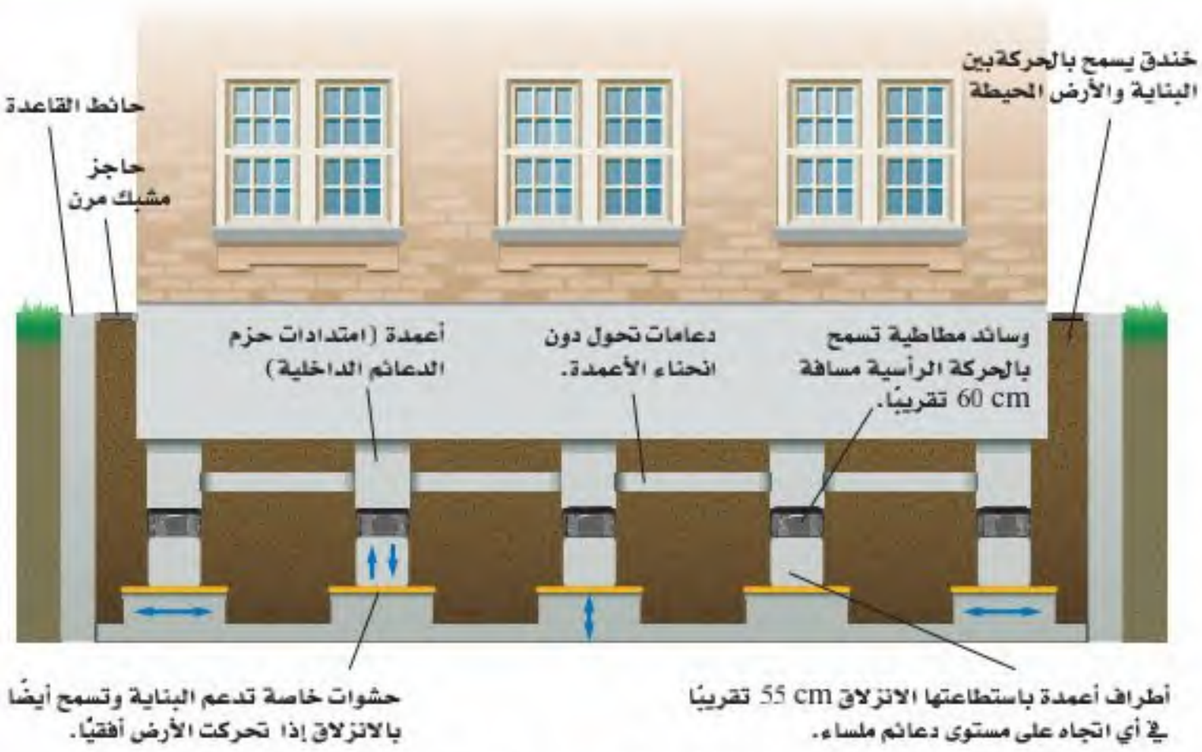
الفيزياء في الحياة

يستعمل البندول في تشغيل بعض أنواع الساعات. استعن بملاحظاتك خلال هذه التجربة لتحديد مشكلات التصميم الموجودة في بندولك عند استعماله أداة لضبط الوقت.

التقنية والمجتمع

الحماية من الزلازل Earthquake Protection

الزلـزال يعادل انفجارًا شـديدًا وعنيفًا في مكان ما تحـت سـطح الأرض. وتكون الموجات الميكانيكيـة المنتشرة من الزلازل موجات مسـتعرضة وموجـات طولية. فتعمل الموجات المستعرضة على هزّ المباني أفقيًّا، في حين تهـز الموجات الطولية المباني رأسـيًّا. ولا يمكن توقـع وقت حدوث الزلازل أو منع حدوثها حتى الآن، وما دام الأمر كذلك فكيف يمكن اتقاء أضرارها؟



تقلّل التصاميم الحديثة للأبنية الدمار الناتج عن الهزات الأرضية

نتجة المعرفة المتزايـدة حول الزلازل، بعد الاكتشـافات الحديثة للكيفية التي تسبّب بها الزلازل، تدمير المنشـآت المختلفة، يجب أن تصمّم المباني بحيث تصمـد في وجه الزلازل وتكون قادرة على مقاومة آثارها التدميرية، بالإضافة إلى تحديث المباني القائمة.

تقليل الدمار تبنى معظم الجسور والممرات المنحدرة باستعمال طبقات خرسانية مدعومة بالفولاذ بعضها فوق بعض، وتحافظ قوة الجاذبية الأرضية عليها في مكانها. وتكون هذه التراكيب والمباني قوية جدًّا في ظل الظروف العادية. ولكنها تهتز جزئيًّا إذا تعرضت لزلازل قوية. لذا تتطلب قواعد البناء الحديثة ربط أجزاء المبنى معًا بواسطة قطع فولاذية ثقيلة وقوية.

ويمكن الحد من الأضرار التي يسببها الزلزال للمباني عن طريق السـماح بحدوث كمية صغيرة من الحركة المسيطر عليها بين هيكل البناء وقواعده. ولتقليل الاهتزاز الرأسي للبناء توضع نوابض رأسية داخل الأجزاء الرأسية لهيكل البناء، وتصنع هـذه النوابض من مُرَكَّـب مطاطي قوي مضغوط داخل أسـطوانات مصنوعة من الفولاذ الثقيل والقوي. كما يمكن التقليل مـن الاهتزاز الجانبي بوضع دعائـم انزلاقية تحت أعمدة البناء، تحفظ هيكل البناء ثابتًا إذا تحركت الأرض تحته إلى جانب من الجوانب.

أما التراكيب البنائية الطويلة - ومنها الأنفاق والجسور - فيجب أن تبنى بحيث تبقى رأسية أو أفقية إذا حدث قص أو صدع في الأرض أسفلها. فالجسر الذي يربط مملكة البحرين بالمملكة العربية السعودية له وصلات وروابط مرنة تجعله ثابتًا.

التوسع

1. **ابحث** ما المواد التي يتركّب منها بناء مدرستك؟ وكيف بُنيت قواعد هذا البناء؟
2. **لاحظ** ابحث عن بناء فيه تصدع أو تشـقق في أحد جدرانه، وبيّن سـبب حدوثـه، ولماذا اتخذ ذلك الشكل أو المسـار؟ وماذا يحدث للبناء إذا تعرّض لزلزال؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

2-1 الحركة الدورية Periodic Motion

المفردات

- الحركة الدورية
- الحركة التوافقية البسيطة
- الزمن الدوري
- السعة
- قانون هوك
- البندول البسيط
- الرنين

المفاهيم الرئيسة

- الحركة الدورية هي أيّ حركة تتكرر في دورة منتظمة، وفي أزمنة متساوية.
- تنتج الحركة التوافقية البسيطة عندما تتناسب قوة الإرجاع المؤثرة في الجسم طرديًّا مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان. وتحقق هذه القوة قانون هوك.

$$F = -kx$$

- تحسب طاقة الوضع المرونية المختزنة في نابض يحقق قانون هوك بالمعادلة الآتية:

$$PE_{sp} = \frac{1}{2}kx^2$$

- يمكن حساب الزمن الدوري لبندول بسيط بالمعادلة الآتية:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

2-2 خصائص الموجات Waves Properties

المفردات

- الموجة
- نبضة موجية
- الموجة الدورية
- الموجة المستعرضة
- الموجة الطولية
- الموجة السطحية
- سعة الموجة
- القاع
- القمة
- الطول الموجي
- التردد

المفاهيم الرئيسة

- تنقل الموجة الطاقة دون أن تنقل مادة الوسط.
- تكون إزاحة الوسط في الموجة المستعرضة متعامدة مع اتجاه حركة الموجة، أمّا في الموجة الطولية فتكون الإزاحة موازية لاتجاه حركة الموجة.
- التردّد هو عدد الدورات في الثانية، ويرتبط بالزمن الدوري من خلال المعادلة الآتية:

$$f = \frac{1}{T}$$

- يمكن حساب طول موجة منتشرة باستخدام المعادلة الآتية:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

2-3 سلوك الموجات Waves Behavior

المفردات

- الموجة الساقطة
- الموجة المنعكسة
- مبدأ التراكب
- التداخل- العقدة
- بطن الموجة
- الموجة الموقوفة
- مقدمة الموجة
- الشعاع
- العمود المقام
- قانون الانعكاس
- الانكسار

المفاهيم الرئيسة

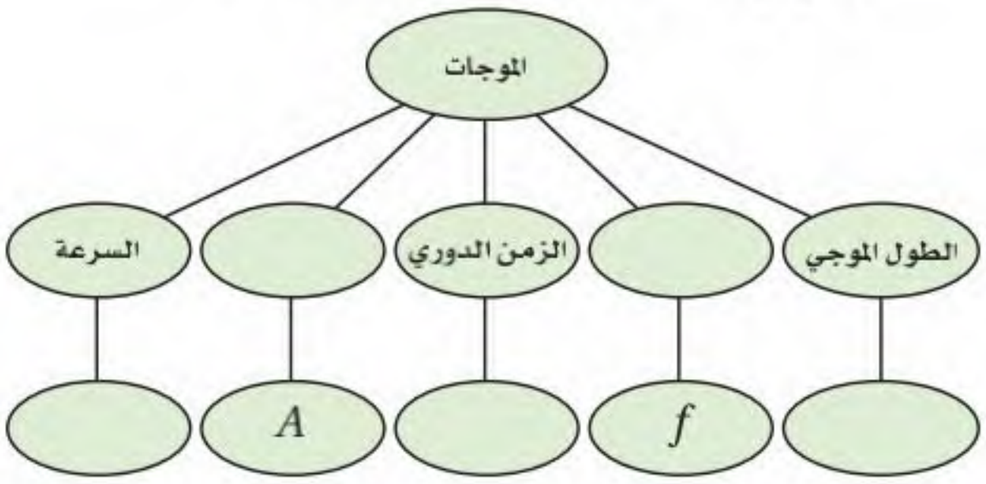
- عندما تعبر موجة خلال حد فاصل بين وسطين مختلفين ينفذ جزء منها وينعكس الجزء الآخر.
- ينص مبدأ التراكب على أن الإزاحة الحادثة في الوسط، والناتجة عن موجتين أو أكثر تساوي المجموع الجبري للإزاحات الناتجة عن كل موجة على حدِة.
- يحدث التداخل عندما تتحرك موجتان أو أكثر في الوسط ذاته وفي الوقت نفسه.
- إذا انعكست موجة في بُعدين عن حد فاصل بين وسطين فإن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.
- الانكسار هو تغير اتجاه الموجات عند حد فاصل بين وسطين مختلفين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 2

خريطة المفاهيم

24. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات والرموز الآتية: السعة، التردد، T، λ، v.



إتقان المفاهيم

25. ما الحركة الدورية؟ أعط ثلاثة أمثلة عليها.

26. ما الفرق بين الزمن الدوري والتردد؟ وكيف يرتبطان؟

27. إذا حقق نابض قانون هوك؛ فكيف يكون سلوكه؟

28. كيف يمكن أن نستخلص من رسم بياني للقوة والإزاحة لنابضٍ ما قيمةَ ثابت النابض؟

29. كيف يمكن أن نستخلص من الرسم البياني للقوة والإزاحة طاقةَ الوضع في نابضٍ ما؟

30. هل يعتمد الزمن الدوري لبندول على كتلة ثقله؟ وهل يعتمد على طول خيطه؟ وعلامَ يعتمد الزمن الدوري للبندول أيضًا؟

31. ما الطرائق العامة لانتقال الطاقة؟ أعط مثالين على كل منها.

32. ما الفرق الرئيس بين الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية؟

33. ما الفروق بين كلٍّ من: الموجة المستعرضة، والموجة الطولية والموجة السطحية؟

34. ما الفرق بين النبضة الموجية والموجة الدورية؟

35. انتقلت موجات خلال نابض طوله ثابت. أجب عن السؤالين الآتيين:

a. هل تتغير سرعة الموجات في النابض؟ وضح ذلك.

b. هل يتغير تردد الموجة في النابض؟ وضح ذلك.

36. افترض أنك ولّدت نبضة خلال حبل، فكيف تقارن موضع نقطة على الحبل قبل وصول النبضة بموضعها بعد مرور النبضة؟

37. افترض أنك ولّدت موجة مستعرضة بهزّ أحد طرفي نابض جانبيًّا، فكيف يكون تردد يدك مقارنة بتردد الموجة؟

38. متى تكون النقاط في موجة في الطور نفسه؟ ومتى تكون في حالة اختلاف في الطور؟ أعط مثالاً على كل حالة.

39. صف العلاقة بين سعة موجة والطاقة التي تحملها .

40. عندما تمر موجة خلال حد فاصل بين حبل رفيع وآخر سميك، كما في **الشكل 18-2**، ستتغير سرعتها وطولها الموجي، ولن يتغير ترددها. فسر لماذا يبقى التردد ثابتًا.

■ الشكل 18-2

41. ثُبتت شريحة فلزية رقيقة من مركزها، ونُثرَ عليها سكر. فإذا نقر على قوس بالقرب منها فإن أحد طرفيها يبدأ في الاهتزاز، ويبدأ السكر في التجمع في مساحات محدّدة، ويتحرك مبتعدًا عن مساحات أخرى. صِف هذه المناطق بدلالة الموجات الموقوفة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 2

42. إذا اهتز حبل مشــكّلاً أربعة أجزاء أو أقسام فإنك تستطيع أن تلمس عددًا من النقاط عليه دون أن تُحدث اضطرابًا في حركته. بيّن عدد هذه النقاط.

43. مرّت مقدمات موجات بزاوية من وســط إلى آخر، وتحركت فيه بسرعة مختلفــة. صِفْ تغيرين في هذه المقدمات، وما الذي لم يتغير؟

تطبيق المفاهيم

44. تهتز كرة إلى أعلى وإلى أسفل عند طرف نابض مثبت رأســيًا. صِف تغيرات الطاقة التــي تحدث خلال دورة كاملة. وهل تغيرت الطاقة الميكانيكية الكلية؟

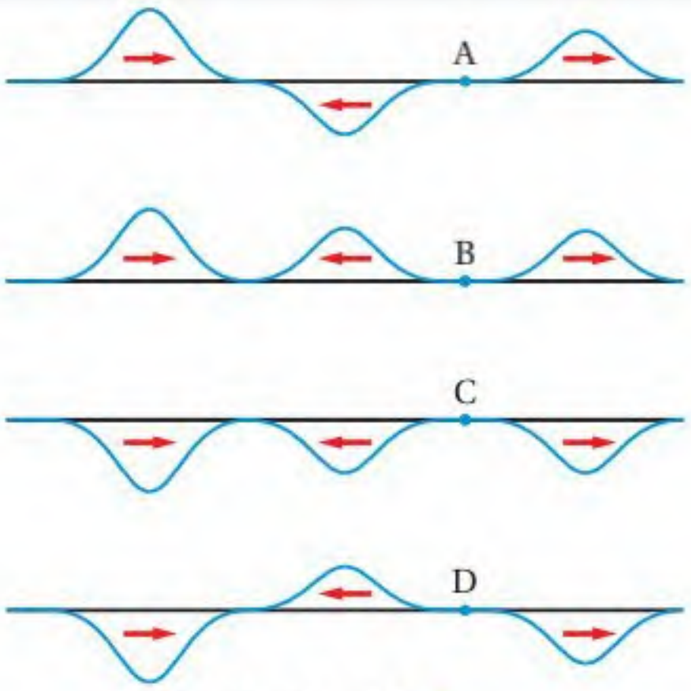
45. هل يمكن استخدام ســاعة بندول في محطة فضائية دولية تتحرك في مدارها؟ وضح ذلك.

46. افــترض أنك أمســكت قضيبًا فلزيًّــا طوله 1 m، وضربت أحد طرفيــه بمطرقة، في اتجاه موازٍ لطوله أولاً، ثم في اتجاه يصنــع زاوية قائمة مع طوله ثانيًا. صف الموجات المتولّدة في الحالتين.

47. افترض أنك غمســت إصبعك بشــكل متكرّر في حوض مملوء بالمــاء لتوليد موجــات دائرية، فماذا يحدث لطول الموجة إذا حركت إصبعك بسرعة؟

48. افــترض أنــك أحدثت نبضــة واحــدة في نابض مشــدود، فما الطاقة التي يتطلبها إحداث نبضة لها ضعف السعة؟

49. تكون النبضة اليــسرى في كل واحدة من الموجات الموضحة في **الشــكل 19–2** هي النبضة الأصلية، وتتحرك إلى اليمين، وتكــون النبضة التي في المركز هي النبضة المنعكســة، بينما تكــون النبضة اليمنى هي النبضة النافذة. صِف صلابة الحد الفاصل عند النقاط A، B، C، D.



الشكل 19–2

إتقان حل المسائل

2–1 الحركة الدورية

50. **ماصّات الصدمات** إذا كان ثابت كل نابض من نوابض سيارة وزنها 1200N يساوي 25000 N/m. فكم ينضغط كل نابض إذا حُمّلت السيارة بربع وزنها ؟

51. إذا اســتطال نابض إزاحــة 0.12m عندما علّق في أســفله عدد مــن التفاحات وزنهــا 3.2 N كما في **الشكل 20–2**، فما مقدار ثابت النابض؟

الشكل 20–2

52. **قاذفة الصواريخ** تحتــوي لعبة قاذفة الصواريخ على نابض ثابته يساوي 35 N/m. ما الإزاحة التي يجب أن ينضغطها النابض حتى يخزن طاقة مقدارها 1.5J؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

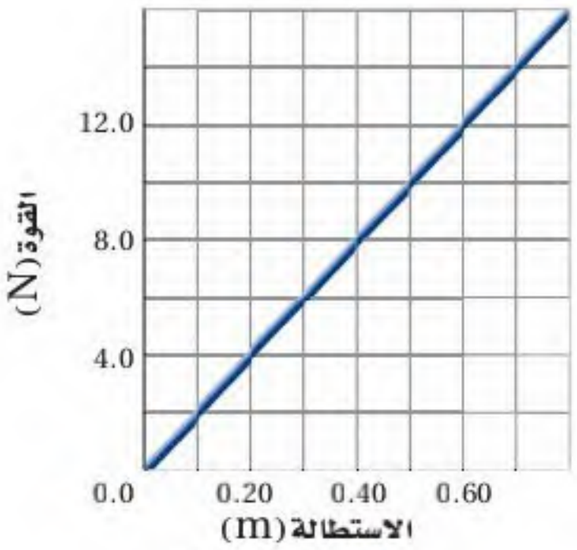
تقويم الفصل 2

53. ما مقدار طاقــة الوضع المختزنــة في نابض عندما يستطيل بإزاحة 16 cm علمًا بأن مقدار ثابته يساوي 27 N /m ؟

54. يبين **الشكل 21–2** العلاقة البيانية بين القوة المؤثرة في نابض ومقدار استطالته. احسب مقدار:

a. ثابت النابض.

b. الطاقــة المختزنــة في النابض عندما يســتطيل ويصبح طوله 0.50 m



الشكل 21–2

2–2 خصائص الموجات

55. موجات المحيط إذا كان طول موجة محيطية 12.0 m، وتمر بموقع ثابت كل 3.0 s، فما سرعة الموجة؟

56. تنتقل موجة ماء في بركة مســافة 3.4 m في 1.8 s. فإذا كان الزمن الدوري للاهتزازة الواحدة يساوي 1.1 s، فاحسب مقدار:

a. سرعة موجات الماء.

b. الطول الموجي لهذه الموجات.

57. السـونار يرسل ســونار(جهاز يكشف المواقع تحت ســطح الماء عــن طريق الصــدى) في الماء إشــارة ترددهــا 1.00×10^6 Hz وطولها الموجي يســاوي 1.50 mm. احسب مقدار:

a. سرعة الإشارة في الماء.

b. الزمن الدوري للإشارة في الماء.

c. الزمن الدوري للإشارة في الهواء.

58. جلس عمر وطارق بعد السباحة على شاطئ بركة، وقدّرا المســافة الفاصلة بين قاع الموجة الســطحية وقمتها بمقــدار 3.0 m، فإذا عــدّا 12 قمة مرت بالشــاطئ خلال 20.0 s، فاحســب سرعة انتشار الموجات.

59. الزلازل إذا كانت سرعة الموجات المستعرضة الناتجة عــن زلزال 8.9 km /s وسرعــة الموجات الطولية 5.1 km /s، وســجّل جهاز الســيزموجراف زمن وصول الموجات المستعرضة قبل وصول الموجات الطولية بـ 68 s، فكم يبعد مركز الزلزال؟

3–2 سلوك الموجات

60. إذا كانت سرعة الموجة في وتر طوله 63 cm تساوي 265 m /s، وقد حرّكته من مركزه بســحبه إلى أعلى ثم تركته، فتحرّكت نبضة في الاتجاهين، ثم انعكست النبضتان عند نهايتي الوتر:

a. فما الزمن الذي تحتاج إليــه النبضة حتى تصل طرف الوتر ثم تعود إلى مركزه؟

b. هل يكون الوتر أعلى موضع ســكونه أم أسفله عندما تعود النبضتان؟

c. إذا حرّكــت الوتر من نقطــة تبعد 15 cm عن أحد طرفيه فأين تلتقي النبضتان؟

مراجعة عامة

61. ما الزمن الدوري لبندول طوله 1.4 m؟

62. موجات الراديو تبث إشارات راديو AM بترددات بــين 550 kHz و1600 kHz وتنتقــل بسرعــة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 2

3.00×10^8 m /s، أجب عما يأتي:

a. ما مدى الطول الموجي لهذه الإشارات؟

b. إذا كان مدى ترددات FM بين 88 MHz (ميجا Hz) و 108 MHz وتنتقل بالسرعة نفسها، فما مدى الطول الموجي لموجات FM؟

63. القفز بالحبل المطاطي قفز لاعب من منطاد على ارتفاع عالٍ بواسطة حبل نجاة قابل للاستطالة طوله 540 m، وعند اكتمال القفزة كان اللاعب معلقًا بالحبل الذي أصبح طوله 1710 m. ما مقدار ثابت النابض لحبل النجاة إذا كانت كتلة اللاعب 68 kg؟

64. تأرجح جسر يتأرجح طارق وحسن على جسر بالحبال فوق أحد الأنهار، حيث يربطان حبالهما عند إحدى نهايتي الجسر، ويتأرجحان عدة دورات جيئة وذهابًا، ثم يسقطان في النهر. أجب عن الأسئلة الآتية:

a. إذا استخدم طارق حبلاً طوله 10.0 m، فما الزمن الذي يحتاج إليه حتى يصل قمة الدورة في الجانب الآخر من الجسر؟

b. إذا كانت كتلة حسن تزيد 20 kg على كتلة طارق، فكم تتوقع أن يختلف الزمن الدوري لحسن عما هو لطارق؟

c. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أكبر ما يمكن؟

d. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أكبر ما يمكن؟

e. أي نقطة في الدورة تكون عندها KE أقل ما يمكن؟

f. أي نقطة في الدورة تكون عندها PE أقل ما يمكن؟

65. نوابض السيارات إذا أُضيفت حمولة مقدارها 45 kg إلى صندوق سيارة صغيرة جديدة، ينضغط النابضان الخلفيان إزاحة إضافية مقدارها 1.0 cm، احسب مقدار:

a. ثابت النابض لكل من النابضين الخلفيين.

b. طاقة الوضع الإضافية المختزنة في كل من النابضين الخلفيين بعد تحميل صندوق السيارة.

التفكير الناقد

66. حلّل واستنتج إذا لزمت قوة مقدارها 20 N لإحداث استطالة في نابض مقدارها 0.5 m، فأجب عما يلي:

a. ما مقدار ثابت النابض؟

b. ما مقدار الطاقة المختزنة في النابض؟

c. لماذا لا يكون الشغل المبذول لإطالة النابض مساويًا لحاصل ضرب القوة في المسافة، أو 10 J؟

67. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها عُلّقت عدة كتل في نهاية نابض، وقيست الزيادة في طول النابض. ويبين **الجدول 1-2** المعلومات التي تم الحصول عليها:

الجدول 1-2

الأوزان المعلقة في النابض	
القوة F (N)	الاستطالة x (m)
2.5	0.12
5.0	0.26
7.5	0.35
10.0	0.50
12.5	0.60
15.0	0.71

a. مثّل بيانيًا القوة المؤثرة في النابض مقابل الاستطالة فيه، على أن ترسم القوة على المحور y.

b. احسب ثابت النابض من الرسم البياني.

c. استخدم الرسم البياني في إيجاد طاقة الوضع المرونية المختزنة في النابض عندما يستطيل إزاحة 0.50m

68. تطبيق المفاهيم تتكون تموجات ترابية في الغالب على الطرق الترابية، ويكون بعضها متباعدًا عن بعض بصورة منتظمة، كما تكون هذه التموجات

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 2

عمودية على الطريق كما في الشـكل 22-2. وينتج هذا التموج بسبب حركة معظم السيارات بالسرعة نفسـها واهتزاز النوابض المتصلة بعجلات السيارة بالتردد نفسـه. فإذا كان بعد التموجات بعضها عن بعض 1.5 m، وتتحرك السيارات على هذا الطريق بسرعة 5 m /s، فما تردد اهتزاز نوابض السيارة؟

الشكل 22-2

الكتابة في الفيزياء

69. بحث درس العـالم كرسـتيان هويجنـز الموجات، وحدث خلاف بينه وبين نيوتن حول طبيعة الضوء. قارن بين تفسـير كل منهـما لظواهـر الانعكاس والانكسار. أيّ النموذجين تؤيد؟ ولماذا؟

مراجعة تراكمية

70. تقطع سيارة سباق كتلتها 1400 kg مسافة 402 m خلال 9.8 s. فإذا كانت سرعتها النهائية 112 m /s، فأجب عما يأتي:

a. ما مقدار الطاقة الحركية النهائية للسيارة؟

b. ما أقل مقدار من الشـغل بذله محرك السيارة؟ ولماذا لا يمكنك حسـاب مقدار الشغل الكلي المبذول؟

c. ما مقدار التسارع المتوسط للسيارة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ما قيمة ثابت نابض يخزن طاقة وضع مقدارها 8.67J عندما يستطيل إزاحة 247 mm؟

A) 70.2 N/m C) 142 N/m

B) 71.1 N/m D) 284 N/m

2. ما مقدار القوة المؤثرة في نابض له ثابت مقداره 275 N /m ويستطيل بإزاحة 14.3 cm؟

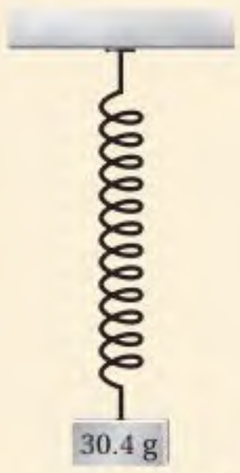
A) 2.81 N C) 39.3 N

B) 19.2 N D) 3.93×10^{30} N

3. إذا عُلّقت كتلة في نهاية نابض فاستطال 0.85 m كما في الشكل أدناه، فما مقدار ثابت النابض؟

A) 0.25 N/m C) 26 N/m

B) 0.35 N/m D) 3.5×10^{2} N/m



4. يسحب نابض بابًا لكي يغلقه. ما مقدار الشغل المبذول عندما يسحب النابض الباب بسرعة ثابتة بحيث تتغيّر استطالة النابض من 85.0 cm إلى 5.0 cm، علمًا بأن ثابت النابض 350 N /m؟

A) 112 N.m C) 224 N.m

B) 130 J D) 1.12×10^{3} J

5. ما الترتيب الصحيح لمعادلة الزمن الدوري لبندول بسيط لحساب طوله؟

A) $l = \frac{4\pi^2 g}{T^2}$ C) $l = \frac{T^2 g}{(2\pi)^2}$

B) $l = \frac{gT}{4\pi^2}$ D) $l = \frac{Tg}{2\pi}$

6. ما تردّد موجة زمنها الدوري 3 s؟

A) 0.3 Hz C) $\frac{\pi}{3}$ Hz

B) 30 Hz D) 3 Hz

7. أيّ الخيارات الآتية يصف الموجة الموقوفة؟

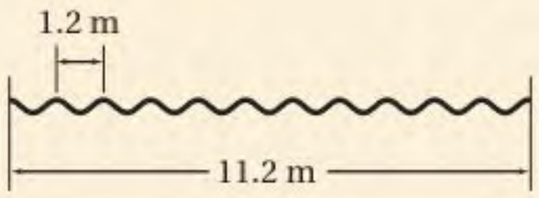
الموجات	الاتجاه	الوسط
متطابقة	نفسه	نفسه
غير متطابقة	متعاكس	مختلف
متطابقة	متعاكس	نفسه
غير متطابقة	نفسه	مختلف

A) B) C) D)

8. تحركت موجة طولها 1.2 m مسافة 11.2 m في اتجاه جدار، ثم ارتدّت عنه وعادت ثانية خلال 4 s، فما تردّد الموجة؟

A) 0.2 Hz C) 5 Hz

B) 2 Hz D) 9 Hz



9. ما طول بندول بسيط زمنه الدوري 4.89 s؟

A) 5.94 m C) 24.0 m

B) 11.9 m D) 37.3 m

الأسئلة الممتدة

10. استخدم تحليل الوحدات للمعادلة $kx = mg$ لاشتقاق وحدة k.

إرشاد

تدرّب، تدرّب، تدرّب

تدرّب لتحسين أدائك في الاختبار المقنن، ولا تقارن نفسك بالآخرين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 3

الصوت
Sound

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- وصف الصوت بدلالــة خصائص الموجات وسلوكها.
- اختبار بعض مصادر الصوت.
- توضيــح الخصائص التــي تميز بين الأصوات المنتظمة والضجيج.

الأهمية

يُعدّ الصوت وســيلة مهمة للتواصل، ونقل الثقافات المختلفة بين الشعوب. وحديثًا تعــد موجاته إحدى وســائل المعالجة.

فِرَق النشيد تحتوي فرقة النشيد الواحدة على أكثر من شــخص، ولكل شخص منهم صوت مختلف عن الآخر، وعندما ينشــدون معًــا تنتج أصــوات مختلفة، ولكنها تكــون ذات إيقاعــات مريحة للنفس.

فكّر

تختلف الأصوات الصادرة عن الأجسام باختلاف طبيعة هذه الأجسام، وبسبب هذا الاختلاف نستطيع التمييز بين هذه الأصوات. فما سبب هذا الاختلاف؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يمكن لكأس زجاجية أن تصدر أصواتًا مختلفة؟

سؤال التجربة كيف يمكنك استخدام كؤوس زجاجية لإصدار أصوات مختلفة؟ وكيف تختلف الأصوات الصادرة عن الكؤوس ذات السيقان عن الأصوات الصادرة عن الكؤوس التي بلا سيقان؟

الخطوات

1. اختر كأسًا زجاجية ذات ساق ولها حافة رقيقة.
2. **حضّر** تفحّص بحذر الحافة العلوية للكأس؛ حتى لا يكون هناك حواف حادة، وأخبر معلمك إذا وجدت أي حواف حادة، وتحقق من تكرار الفحص في كل مرة تختار فيها كأسًا مختلفة.
3. ضع الكأس أمامك على الطاولة، وثبِّت قاعدة الكأس بإحدى يديك، ثم بلّل إصبعك وحكّها ببطء حول الحافة العلوية للكأس. **تحذير: تعامل مع الزجاج بحذر؛ لأنه هَشّ.**
4. سجّل مشاهداتك، ثم زِد أو قلّل سرعة إصبعك قليلاً. ماذا يحدث؟
5. اختر كأسًا ذات ساق أطول أو أقصر من الكأس الأولى، وكرّر الخطوات من 2 إلى 4.
6. اختر كأسًا بلا ساق، وكرّر الخطوات من 2 إلى 4.

التحليل

لخص مشاهداتك، ما الكؤوس التي لها المقدرة على إصدار أصوات: ذات السيقان، أم التي لا سيقان لها، أم كلا النوعين؟ وما العوامل التي تؤثر في الأصوات الصادرة؟

التفكير الناقد اقترح طريقة لإصدار أصوات مختلفة من الكأس نفسها، واختبر طريقتك، ثم اقترح اختبارًا لاستقصاء خصائص الكؤوس التي يمكن استعمالها في إصدار أصوات.

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه Properties and Detection of Sound

الصوت جزء مهم في حياة العديد من المخلوقات الحية؛ إذ تستخدم الحيوانات الصوت للصيد والتزاوج والتحذير من اقتراب الحيوانات المفترسة. يزيد صوت صفارة الإنذار من القلق لدى الناس، في حين تساعد أصوات أخرى ـ ومنها صوت الأذان أو تلاوة القرآن ـ على التهدئة وإراحة النفس. ولقد أصبح مألوفًا لديك ـ من خلال خبرتك اليومية ـ العديد من خصائص الصوت، ومنها علوّه ونغمته وحدّته. ويمكنك استخدام هذه الخصائص وغيرها لتصنيف العديد من الأصوات التي تسمعها. فعلى سبيل المثال، تعد بعض أنماط الصوت من مميزات الكلام، في حين يعد غيرها من ميزات فِرَق النشيد. وستدرس في هذا الفصل المبادئ الفيزيائية للموجات الصوتية.

درست في الفصل السابق وصف الموجات بدلالة السرعة، والتردد، والطول الموجي، والسعة. كما استكشفت كيفية تفاعل الموجات بعضها مع بعض وتفاعلها مع المادة. ولأن الصوت أحد أنواع الموجات فإنه يمكنك وصف بعض خصائصه وتفاعلاته. والسؤال الذي تحتاج إلى إجابته أولًا هو: ما نوع موجة الصوت؟

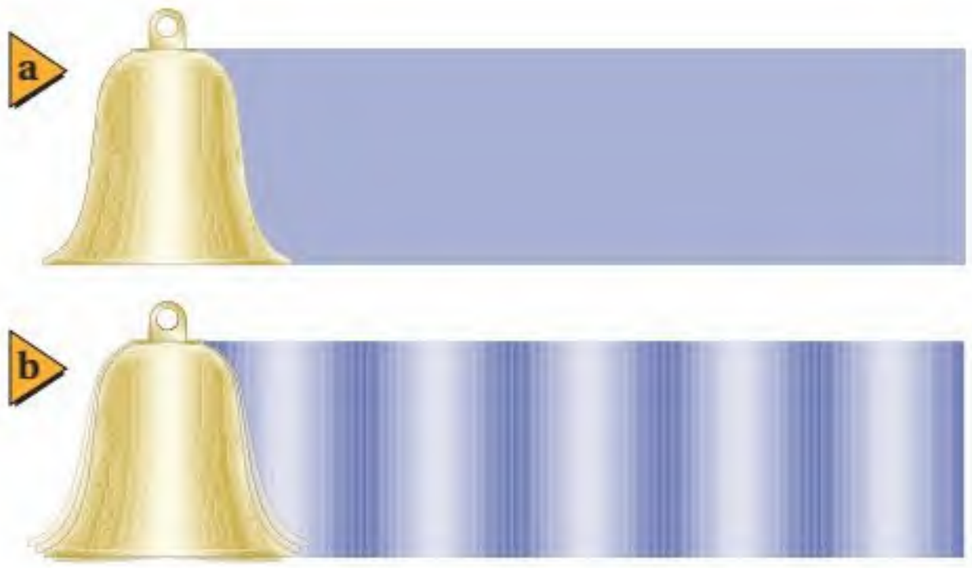
الأهداف

- **تبيّن** الخصائص المشتركة بين الموجات الصوتية والموجات الأخرى.
- **تربط** الخصائص الفيزيائية للموجات الصوتية بإدراكنا للصوت.
- **تحدّد** بعض التطبيقات على تأثير دوبلر.

المفردات

الموجة الصوتية
حدّة الصوت
علوّ الصوت
مستوى الصوت
الديسبل
تأثير دوبلر

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 1–3** يكون الهواء حول الجرس قبل قرعه ذا ضغط متوسط (**a**). وعند قرعه تُحدث الحافة المهتزة مناطق ذات ضغط مرتفع، وأخرى ذات ضغط منخفض؛ حيث تمثل المساحات الداكنة مناطق الضغط المرتفع، وتمثل المساحات الفاتحة مناطق الضغط المنخفض (**b**). ويبين الرسم التخطيطي تحرك المناطق في اتجاه واحد للتبسيط، في حين أن الموجات تتحرك فعليًا من الجرس في الاتجاهات جميعها.

الموجات الصوتية Sound Waves

ضع أصابعك على حنجرتك وأنت تتكلم أو تُنشد. هل تشعر بالاهتزازات؟ هل حاولت مرة وضع يدك على سمّاعة مسجل؟ يوضّح **الشكل 1–3** جرسًا يهتز، وهو يشبه أوتارك الصوتية أو سمّاعة المسجل أو أي مصدر للصوت؛ فعندما يهتز الجرس إلى الخلف وإلى الأمام، تصدم حافة الجرس جزيئات الهواء، وتتحرك جزيئات الهواء إلى الأمام عندما تتحرك الحافة إلى الأمام؛ أي أن جزيئات الهواء ترتد عن الجرس بسرعة كبيرة. وعندما تتحرك الحافة إلى الخلف، ترتد جزيئات الهواء عن الجرس بسرعة أقل.

وينتج عن تغيرات سرعة اهتزاز الجرس ما يأتي: تُؤدي حركة الجرس إلى الأمام إلى تشكّل منطقة يكون ضغط الهواء فيها أكبر قليلًا من المتوسط، في حين تؤدي حركته إلى الخلف إلى تشكّل منطقة يكون ضغط الهواء فيها أقل قليلًا من المتوسط. وتؤدي التصادمات بين جزيئات الهواء إلى انتقال تغيرات الضغط بعيدًا عن الجرس في الاتجاهات جميعها. وإذا ركّزت على بقعة واحدة فستشاهد ارتفاع ضغط الهواء وانخفاضه، بخلاف سلوك البندول. وبهذه الطريقة تنتقل تغيرات الضغط خلال المادة.

وصف الصوت يسمى انتقال تغيرات الضغط خلال مادةٍ **موجةً صوتيةً**. وتنتقل موجات الصوت خلال الهواء؛ لأن المصدر المهتز ينتج تغيرات أو اهتزازات منتظمة في ضغط الهواء. وتتصادم جزيئات الهواء، وتنقل تغيرات الضغط بعيدًا عن مصدر الصوت. ويتذبذب ضغط الهواء حول متوسط الضغط، كما في **الشكل 2–3**. ويكون تردد الموجة هو عدد اهتزازات قيمة الضغط في الثانية الواحدة. أمّا الطول الموجي فيمثل المسافة بين مركزي ضغط مرتفع أو منخفض متتاليين. ويُعد الصوت موجة طولية؛ لأن جزيئات الهواء تهتز موازية لاتجاه انتشار الموجة.

■ **يبين الشكل 2–3** نمذجة تضاغطات وتخلخلات موجة صوت باستخدام نابض (**a**). يرتفع ضغط الهواء وينخفض مع انتشار الموجة الصوتية خلال الهواء (**b**). ويمكنك استعمال منحنى الجيب وحده لتعبر عن تغيرات الضغط. لاحظ أن المواضع x، y، وz تبين أن الموجة هي التي تتحرك إلى الأمام وليست المادة (**c**).

تعتمد سرعة الصوت في الهواء على درجة الحرارة؛ حيث تزداد سرعته في الهواء 0.6 m /s لكل زيادة في درجة حرارة الهواء مقدارها 1°C. فمثلا، تتحرك موجات الصوت خلال هواء له درجة حرارة الغرفة، 20 °C، عند مستوى سطح البحر بسرعة 343 m /s. وينتقل الصوت خلال المواد الصلبة والموائع أيضًا. وتكون سرعة الصوت عمومًا في المواد الصلبة أكبر منها في السائلة، وأكبر منها في الغازات. ويبين **الجدول 1–3** سرعات موجات الصوت في أوساط متعدّدة. ولا ينتقل الصوت في الفراغ؛ وذلك لعدم وجود جزيئات تتصادم وتنقل الموجة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تشــترك الموجات الصوتية مع الموجات الأخرى في خصائصها العامة، مثل انعكاسها عن الأجســام الصلبة، كجدران غرفة مثلاً. وتُسمى موجات الصوت المنعكسة عند وصولها إلى مصدرها الصَّدَى. ويمكن اســتخدام الزمن الذي يحتــاج إليه الصدى حتى يعود إلى مصدر الصوت في إيجاد المسافة بين مصدر الصوت والجسم الذي انعكس عنه. ويستخدم هذا المبدأ الخفافيش، وبعض الكاميرات، وبعض الســفن التي تســتخدم السونار. ومن الممكن أن تتداخل موجتان صوتيتان مما يؤدي إلى نشــوء بقــع تدعى البقع الميتة، ويكون موقعها عند العقد، حيث يكون الصوت عندها ضعيفًا جدًّا. ويرتبط تردد الموجة وطولها الموجي بسرعتها، كما درست في الفصل السابق، من خلال المعادلة الآتية: $\lambda = v / f$

الجدول 1–3

سرعة الصوت في أوساط متعدِّدة

الوسط	m/s
الهواء (0 °C)	331
الهواء (20 °C)	343
الهيليوم (0 °C)	972
الماء (25 °C)	1493
ماء البحر (25°C)	1533
النحاس (25 °C)	3560
الحديد (25 °C)	5130

مسائل تدريبية

1. ما الطول الموجي لموجة صوتية ترددهــا 18 Hz تتحرك في هواء درجة حرارته 20 °C؟ (يُعد هذا التردد من أقل الترددات التي يمكن للأذن البشرية سماعها).
2. إذا وقفت عند طرف وادٍ وصرخت، وســمعت الصدى بعد مرور 0.80 s، فما عرض هذا الوادي؟
3. تنتقل موجة صوتية ترددها 2280 Hz وطولها الموجي 0.655 m، في وسط غير معروف. حدّد نوع الوسط.

الكشف عن موجات الضغط Detection of Pressure Waves

تحوّل كاشفات الصوت الطاقة الصوتية - الطاقة الحركية لجزيئات الهواء المهتزة- إلى شكل آخر من أشــكال الطاقة. ويُعد الميكروفون أحد الكاشــفات الشــائعة؛ حيث يحول طاقة الموجات الصوتية إلى طاقة كهربائية. ويتكوّن الميكروفون من قرص رقيق يهتز اســتجابة للموجات الصوتية، وينتج إشــارة كهربائية. وستدرس عملية التحويل هذه في المقرّرات اللاحقة، خلال دراستك لموضوع الكهرباء والمغناطيسية.

الأذن البشــرية تعد الأذن البشرية، كما في **الشكل 3–3**، كاشفًا يستقبل موجات الضغط، ويحوّلها إلى نبضات كهربائية؛ حيث تدخل الموجاتُ الصوتية القناةَ الســمعية، وتُســبّب اهتزازاتٍ لغشــاء طبلة الأذن، ثم تنقل ثلاثة عظام دقيقة هذه الاهتزازات إلى ســائل في القوقعــة. وتلتقط شــعيرات دقيقة تبطّن القوقعــة الحلزونية تردّدات معيّنة في الســائل المتذبذب، فتُنشِّــط هذه الشــعيرات الخلايــا العصبية، والتي ترســل بدورها نبضات - سيّالات عصبية - إلى الدماغ، وتولّد الإحساس بالصوت.

تستشعر الأذن الموجات الصوتية لمدى واسع من الترددات، وهي حساسة لمدى كبير جدًّا من السعات. كما يستطيع الإنسان التمييز بين أنواع مختلفة من الأصوات. لذا يتطلب فهم آلية عمل الأذن معرفة بالفيزياء والأحياء. ويعد تفســير الأصوات في الدماغ أمرًا معقدًا، وما زالت الأبحاث مستمرة لفهمه بصورة تامة.

الربط مع الأحياء

الشكل 3–3 تُعدّ الأذن البشرية أداة إحساس معقدة؛ إذ تترجم اهتزازات الصوت إلى سيّالات عصبية ترسل إلى الدماغ لتفسيرها. وهناك ثلاثة عظام في الأذن الوسطى، هي: المطرقة، والسندان، والركاب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إدراك (تمييز) الصوت Perceiving Sound

حدّة الصوت كان مارن ميرسن وجاليليو أول من توصلا إلى أن **حدّة الصوت** الذي نسمعه تعتمد على تردد الاهتزاز. ولا تكون الأذن حساسة بالتساوي للترددات جميعها؛ فأغلب الأشخاص لا يستطيعون سماع أصوات ترددتها أقل من 20 Hz أو أكبر من 20,000 Hz. ويكون إحساس الأشخاص الأكبر سنًّا بالترددات الأكبر من 10000 Hz أقل مقارنة بالأشخاص الأصغر سنًّا. ولا يتمكن أغلب الناس عند عمر 70 سنة تقريبًا، من سماع أصوات ترددتها أكبر من 8000 Hz، مما يؤثر في مقدرتهم على فهم الحديث.

عُلوّ الصوت التردد والطول الموجي خاصيتان فيزيائيتان للموجات الصوتية. ومن الخصائص الأخرى لموجات الصوت السعة؛ وهي مقياس لتغير الضغط في الموجة. وتعد الأذن البشرية كاشفًا للصوت، وتنقله إلى الدماغ ليتم تفسيره هناك. ويعتمد **علوّ الصوت** ـ عند إدراكه بحاسة السمع ـ على سعة موجة الضغط في المقام الأول.

إن الأذن البشرية حساسة جدًّا لتغيرات الضغط في الموجات الصوتية، والتي تمثل سعة الموجة. فإذا علمت أن 1 atm من الضغط يساوي 1.01×10^5 Pa، فإن الأذن تستطيع تحسّس سعات موجات ضغط قيمها أقل من واحد من المليار من الضغط الجوي، أو 2×10^{-5} Pa. أما الحد الأقصى للمدى المسموع فإن تغيرات الضغط المقاربة لـ 20 Pa أو أكثر تسبّب الألم للأذن. ومن المهم تذكر أن الأذن تتحسّس تغيرات الضغط عند ترددات معينة فقط. فالصعود إلى الجبل يغير الضغط على أذنيك بمقدار الآلاف من الباسكال، ولكن هذا التغير لا يعد ذا أهمية أو تأثير في الترددات المسموعة.

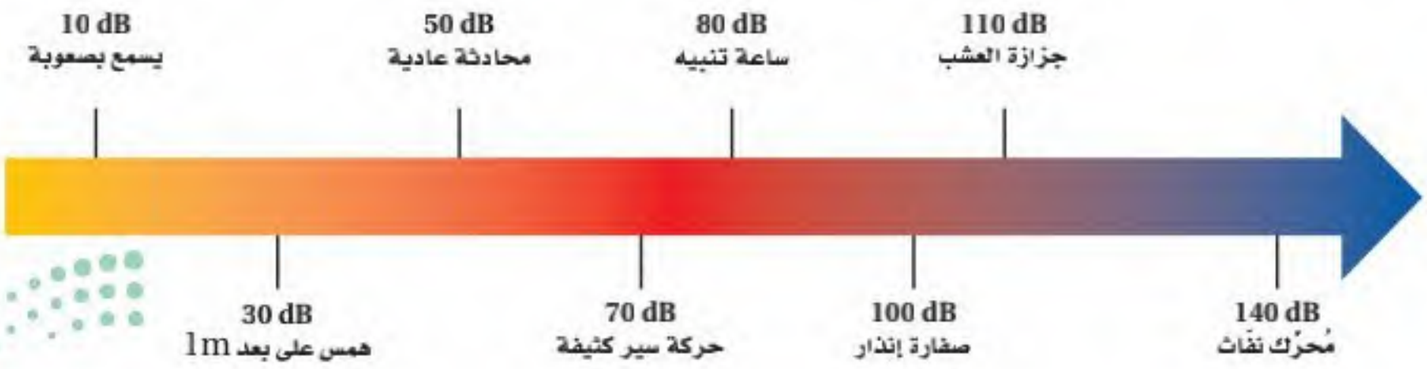
ولأن البشر يستطيعون تحسّس مدى واسع من تغيرات الضغط فإن هذه السعات تُقاس على مقياس لوغاريتمي يُسمّى **مستوى الصوت**، ووحدة قياسه هي **الديسبل** (dB). حيث يعتمد مستوى الصوت على نسبة تغير الضغط لموجة صوتية معينة إلى تغير الضغط في أضعف الأصوات المسموعة، ويساوي 2×10^{-5} Pa. ومثل هذه السعة لها مستوى صوت يعادل 0 dB. ويكون مستوى الصوت الذي سعة ضغطه أكبر عشر مرات من 2×10^{-4}Pa مساويا لـ 20 dB، ومستوى صوت سعة ضغطه أكبر عشر مرات من ذلك هو 40 dB. ويدرك أغلب الأشخاص زيادة بمقدار 10 dB في مستوى الصوت وكأنها مضاعفة لعلو الصوت الأصلي بمقدار مرتين. ويبين **الشكل 4–3** مستوى الصوت للعديد من الأصوات. وبالإضافة إلى وصفها تغيرات الضغط، تستعمل مقاييس الديسبل أيضًا لوصف قدرة موجات الصوت وشدتها.

إن التعرض للأصوات الصاخبة يسبّب فقدان الأذن لحساسيتها، وخصوصًا للترددات العالية. وكلّما تعرض الشخص للأصوات الصاخبة فترة أطول كان التأثير أكبر. ويستطيع

تجربة عملية

ما الديسبل؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 4–3 يبين مقياس الديسبل هذا مستويات الصوت لبعض الأصوات المألوفة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الشـــخص التخلص من أثر التعـــرض لفترة قصيرة للصوت الصاخب خلال ســـاعات معـــدودة، ولكن يمكن أن يســـتمر أثر التعرض لفترة طويلة إلى أيام أو أســـابيع. ويؤدي التعرض الطويل إلى مستوى صوت 100 dB أو أكبر من ذلك إلى ضرر دائم.

وقد ينتج ضعف السمع عن الأصوات الصاخبة في سمّاعات الرأس الموصولة بالراديو أو مشـــغلات الأقراص المدمجة. وفي بعض الحالات يغفل المستمعون عن مستويات الصوت المرتفعة. وللتقليل من الأضرار الناجمة عن الأصوات الصاخبة تم استعمال سدّادات الأذن القطنية التي تُخفّض مســـتوى الصوت بمقـــدار 10 dB فقط. وقد تختزل بعض الملحقات الخاصة بالأذن 25 dB. فيما تُخفّض ســـدّادات الأذن والملحقات الأخرى المصمّمة بصورة محدّدة، كما يبين **الشكل 5–3** مستوى الصوت بمقدار 45 dB.

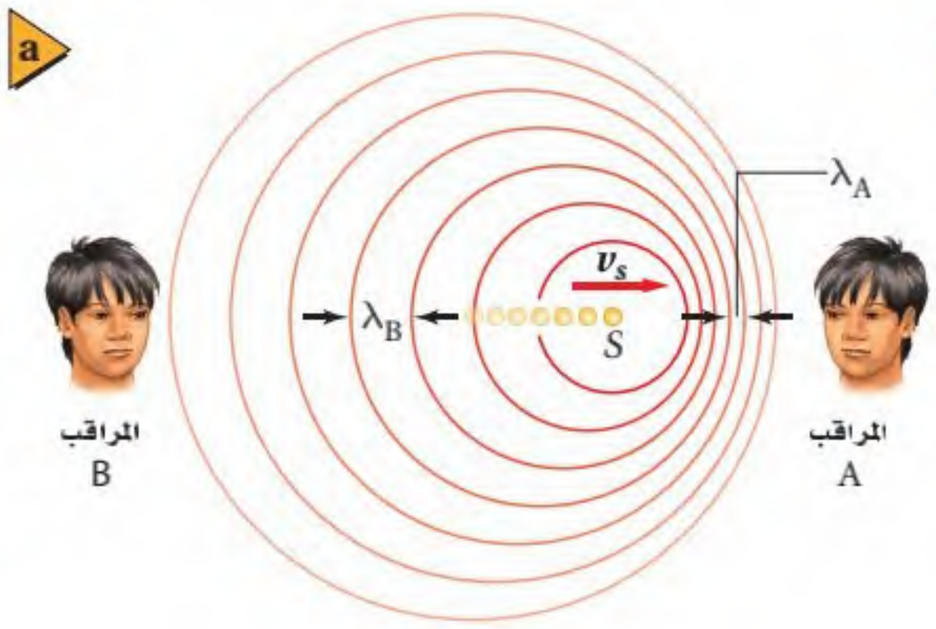
لا يتناســـب علوّ الصوت طرديًّا مع تغيرات الضغط في موجات الصوت عند إحساســـه بالأذن البشرية؛ حيث تعتمد حساســـية الأذن على كلٍّ من حدّة الصوت وســـعته. كما أن إدراك الأصوات النقية بالأذن يختلف عن إدراك الأصوات المختلطة.

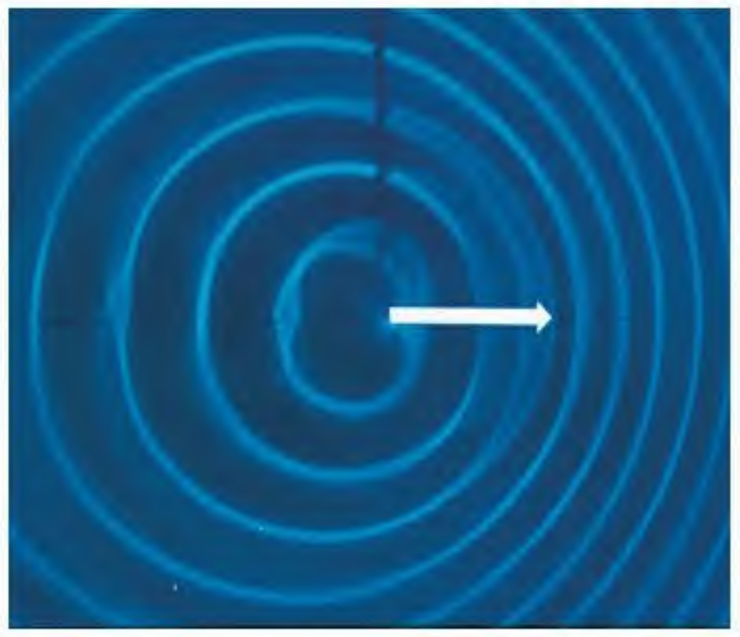
■ **الشكل 5–3** قد يؤدي التعرض المستمر للأصوات الصاخبة إلى ضعف في السمع أو فقدانه تمامًا. وعلى العاملين في بعض المهن مثل مراقب الطيران استعمال أداة لحماية السمع.

تأثير دوبلر The Doppler Effect

هل لاحظت أن حدّة صوت ســـيارة الإســـعاف أو الإطفاء أو صفـــارة الشرطة تتغير مع مرور المركبة بجانبك؟ تكـــون حدّة الصوت أعلى عندما تتحـــرك المركبة في اتجاهك، ثم تتناقص حدّة الصوت لتصبح أقل عندما تتحرك المركبة مبتعدةً عنك. ويُســـمى انزياح أو تغيّر التردد **تأثير دوبلر**، كما هو موضح في **الشـــكل 6–3**. حيث يتحرك مصدر الصوت S إلى اليمـــين بسرعة v_s، وتنتشر الموجات المنبعثة من المصـــدر في دوائر مركزها المصدر، في الوقت الذي تنتج فيه هذه الموجات. ومع تحرك المصدر في اتجاه كاشـــف الصوت، الذي هو المراقب A في **الشـــكل 6a–3**، فإن العديد من الموجات تتقارب في المنطقة بين المصدر والمراقـــب، لذا يقل الطول الموجـــي ويصبح λ_A. ولأن سرعة الصوت ثابتة في الوســـط الواحد فإن قِممًا أكثر تصل أذن المراقب في كل ثانية، مما يعني أن تردد الصوت عند المراقب A قـــد ازداد. في حين يـــزداد الطول الموجي عند تحرك المصدر بعيدًا عن الكاشـــف، وهو المراقب B في **الشـــكل 6a–3**، ويصبح λ_B، ويقل تردد الصوت عنـــد المراقب B. ويبين **الشكل 6b–3** تأثير دوبلر لمصدر صوتي متحرك في موجات الماء داخل حوض الموجات. ويحدث تأثير دوبلر أيضًا إذا كان الكاشـــف متحركًا والمصدر ثابتًا، إذ ينتج تأثير دوبلر في هذه الحالة عن السرعة المتجهة النســـبية لموجات الصوت والمراقب. فمع اقتراب المراقب من المصدر الثابت تصبح السرعة المتجهة النسبية أكبر، مما يؤدي إلى زيادة في قِمم الموجات

■ **الشكل 6–3** يقل الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت في اتجاه المراقب A، ويصبح λ_A؛ ويزداد الطول الموجي مع تحرك مصدر الصوت بعيدًا عن المراقب B ويصبح λ_B (**a**). وتوضح حركة مصدر الموجات الصوتية تأثير دوبلر في حوض الموجات (**b**).





وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التـــي تصل إليه في كل ثانية. ومع ابتعاد المراقب عن المصدر تقل السرعة المتجهة النســـبية، مما يؤدي إلى نقصان في قِمم الموجات التي تصل إليه في كل ثانية.
يمكن حســـاب التردد الذي يسمعه المراقب إذا كان المصدر وحده متحركًا، أو المراقب وحده متحركًا، أو كان كلاهما متحركين، وذلك باستخدام المعادلة الآتية:

تأثير دوبلر $f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$

التردد الذي يدركه مراقب يســـاوي السرعة المتجهة للمراقب بالنسبة إلى السرعة المتجهة للموجة، مقسومًا على السرعة المتجهة للمصدر بالنسبة إلى السرعة المتجهة للموجة، وكله مضروب في تردد الموجة.

تمثـــل v في معادلة تأثير دوبلر السرعة المتجهة لموجة الصوت، و v_d السرعة المتجهة للمراقب، و v_s السرعة المتجهة لمصدر الصـــوت، و f_s تردد الموجة المنبعثة من المصدر، و f_d التردد الذي يستقبله المراقب. وتطبق هذه المعادلة عند حركة المصدر، أو حركة المراقب، أو عند حركة كليهما.
عند حل المسائل باستخدام المعادلة السابقة، تأكد من تعريف نظام الإحداثيات، بحيث يكون الاتجاه الموجب من المصـــدر إلى المراقب. وتصل الموجات الصوتيـــة إلى المراقب من المصدر، لذا تكون السرعة المتجهة للصوت موجبة دائمًا. حاول رســـم مخطّطات للتحقق من أن المقدار $(v\text{-}v_d)/(v\text{-}v_s)$ يعطي نتائج كما تتوقع، اعتمادًا على ما تعلمته حول تأثير دوبلر. ولاحظ أنه بالنســـبة إلى مصدر يتحرك في اتجاه المراقب (الاتجاه الموجب، الـــذي ينتج مقام أصغر مقارنة بالمصدر الثابت)، ولمراقب يتحرك في اتجاه المصدر (الاتجاه الســـالب، الذي ينتج زيادة البسط مقارنة بمراقب ثابت) فإن التردد الذي يســـتقبله المراقـــب f_d يزداد. وبالمثل إذا تحرك المصدر بعيـــدًا عن المراقب، أو إذا تحـــرك المراقب بعيدًا عن المصدر فإن f_d تقـــل. اقرأ الرياضيات في الفيزياء أدناه لترى كيف تُختصر معادلة تأثير دوبلر عندما يكون المصدر أو المراقِب ثابتًا.

الرياضيات في الفيزياء

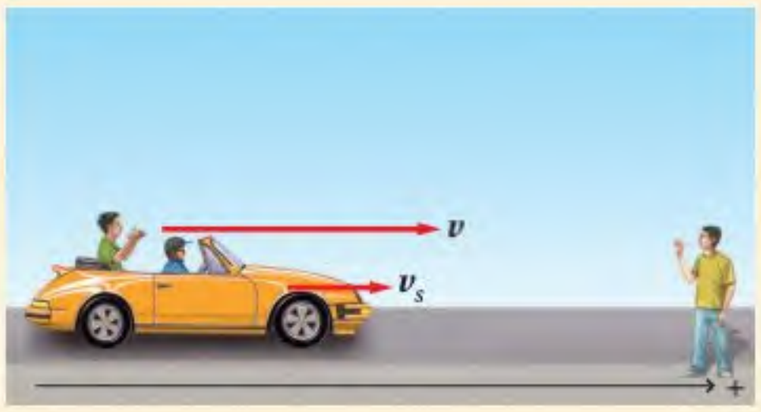
اختصار المعادلات عندما يساوي عنصر ما صفرًا في معادلة معقدة فإن المعادلة قد تُختصر في صورة أكثر سهولة للاستخدام.

مراقب ثابت، المصدر متحرك: $v_d = 0$	مصدر ثابت، مراقب متحرك: $v_s = 0$
$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$	$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$
$= f_s\left(\frac{v}{v - v_s}\right)$	$= f_s\left(\frac{v - v_d}{v}\right)$
$= f_s\left(\frac{\frac{v}{v}}{\frac{v}{v} - \frac{v_s}{v}}\right)$	$= f_s\left(\frac{\frac{v}{v} - \frac{v_d}{v}}{\frac{v}{v}}\right)$
$= f_s\left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right)$	$= f_s\left(\frac{1 - \frac{v_d}{v}}{1}\right)$
	$= f_s\left(1 - \frac{v_d}{v}\right)$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 1

تأثير دوبلر يركب شخص سيارة تسير في اتجاهك بسرعة 24.6 m /s، ويصدر صوتًا تردده 524 Hz. ما التردد الذي ستسمعه، مع افتراض أن درجة الحرارة تساوي 20 °C؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحالة.
- أسّس محاور إحداثيات، وتحقق أن الاتجاه الموجب من المصدر إلى المراقب.
- بيّن السرعة المتجهة لكل من المصدر والمراقب.

المعلوم **المجهول**

$f_d = ?$ $\quad v = +343\ \text{m/s},\ v_s = +24.6\ \text{m/s}$

$v_d = 0\ \text{m/s},\ f_s = 524\ \text{Hz}$

دليل الرياضيات

الكسور

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم المعادلة الآتية، وعوّض القيمة $v_d = 0\ \text{m/s}$:

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

$$f_d = f_s\left(\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right)$$

عوّض مستخدمًا $f_s = 524\ \text{Hz}$ ،$v = 343\ \text{m/s}$ ،$v_s = +24.6\ \text{m/s}$

$$= 524\ \text{Hz}\left(\frac{1}{1 - \frac{24.6\ \text{m/s}}{343\ \text{m/s}}}\right)$$

$$= 564\ \text{Hz}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يقاس التردد بوحدة الهرتز.
- **هل الجواب منطقي؟** يتحرك المصدر في اتجاهك، لذا يجب أن يزداد التردد.

مسائل تدريبية

4. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 25.0 m /s في اتجاه صفارة إنذار. إذا كان تردد صوت الصفارة 365 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.
5. افترض أنك في سيارة تتحرك بسرعة 24.6 m /s، وتتحرك سيارة أخرى في اتجاهك بالسرعة نفسها. فإذا انطلق المنبه فيها بتردد 475 Hz، فما التردد الذي ستسمعه؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.
6. تتحرك غوّاصة في اتجاه غوّاصة أخرى بسرعة 9.20 m /s، وتصدر موجات فوق صوتية بتردد 3.50 MHz. ما التردد الذي تلتقطه الغوّاصة الأخرى وهي ساكنة؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الماء 1482 m /s.
7. يرسل مصدر صوت موجات بتردد 262 Hz. ما السرعة التي يجب أن يتحرك بها المصدر لتزيد حدّة الصوت إلى 271 Hz؟ علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء 343 m /s.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الشكل 7–3 تستخدم الخفافيش تأثير دوبلر لتعيين موقع الفريسة، بعملية تسمى تحديد الموقع باستخدام الصدى.

يحدث تأثير دوبلر في كل حركة موجية، في الموجات الميكانيكية والموجات الكهرومغناطيسية. وله تطبيقات عدّة؛ فمثلاً تستخدم كواشف الرادار تأثير دوبلر لقياس سرعة كرات البيسبول والمركبات. ويراقب علماء الفلك الضوء المنبعث من المجرات البعيدة، ويستخدمون تأثير دوبلر لقياس سرعاتها، ويستنتجون بُعدها عن الأرض. كما يُستخدم في الطب لقياس سرعة حركة جدار قلب الجنين بجهاز الموجات فوق الصوتية.

الربط مع الأحياء

وتستخدم الخفافيش تأثير دوبلر في الكشف عن الحشرات الطائرة وافتراسها؛ فعندما تطير الحشرة بسرعة أكبر من سرعة الخفاش يكون تردد الموجة المنعكسة عنها أقل. أما عندما يلحق الخفاش بالحشرة ويقترب منها فيكون تردد الموجة المنعكسة أكبر، كما هو موضح في **الشكل 7–3**. ولا تستخدم الخفافيش الموجات الصوتية فقط لتحديد موقع الفريسة والطيران، ولكن تستخدمها أيضًا لاكتشاف وجود خفافيش أخرى. وهذا يعني أنها تميز الأمواج الخاصة التي ترسلها وانعكاساتها عن مجموعة كبيرة من الأصوات والترددات الموجودة. ويستمر العلماء في دراسة الخفافيش وقدرتها المدهشة على استخدام الموجات.

1–3 مراجعة

8. **رسم بياني** تتحرك طبلة الأذن إلى الخلف وإلى الأمام استجابة لتغيرات ضغط موجات الصوت. مثّل بيانيًّا العلاقة بين إزاحة طبلة الأذن والزمن لدورتين لنغمة ترددها 1.0 kHz، ولدورتين لنغمة ترددها 2.0 kHz.

9. **تأثير الوسط** اذكر خصيصتين من خصائص الصوت تتأثران بالوسط الذي تتحرك فيه موجة الصوت، وخصيصتين من الخصائص التي لا تتأثر بالوسط.

10. **خصائص الصوت** ما الخصيصة الفيزيائية التي يجب تغييرها لموجة صوت حتى تتغير حدّة الصوت؟ وما الخصيصة التي يجب تغييرها حتى يتغير علوّ الصوت؟

11. **مقياس الديسبل** ما نسبة مستوى ضغط صوت جزازة العشب (110 dB) إلى مستوى ضغط صوت محادثة عادية (50 dB)؟

12. **الكشف المبكر** كان الناس في القرن التاسع عشر يضعون آذانهم على مسار سكة الحديد ليترقّبوا وصول القطار. لماذا تُعد هذه الطريقة نافعة؟

13. **الخفافيش** يرسل الخفاش نبضات صوت قصيرة بتردد عالٍ ويستقبل الصدى. ما الطريقة التي يميز بها الخفاش بين:
    a. الصدى المرتد عن الحشرات الكبيرة والصدى المرتد عن الحشرات الصغيرة إذا كانت على البعد نفسه منه؟
    b. الصدى المرتد عن حشرة طائرة مقتربة منه والصدى المرتد عن حشرة طائرة مبتعدة عنه؟

14. **التفكير الناقد** هل يستطيع شرطي يقف على جانب الطريق استخدام الرادار لتحديد سرعة سيارة في اللحظة التي تمر فيها أمامه؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2–3 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار Resonance in Air Columns and Strings

درس العالم الألماني هيرمن هلمهولتز في منتصف القرن التاسع عشر أصوات الناس، ثم طوّر علماء ومهندسون في القرن العشرين أداة إلكترونية لا تكتفي بدراسة مفصلة للصوت، بل بإنشاء آلات إلكترونية لإنتاج الأصوات أيضًا، بالإضافة إلى آلات تسجيل تسمح لنا بسماع القرآن والخطب والقصائد وتسجيلات متعددة في أي مكان وأي زمان نريده.

الأهداف

- **تصف** مصدر الصوت.
- **توضّح** مفهوم الرنين، وتطبيقاته على أعمدة الهواء والأوتار.
- **تفسّر** سبب وجود الاختلافات في صوت الآلات وفي أصوات الناس.

المفردات

أنبوب الرنين المغلق
أنبوب الرنين المفتوح
التردد الأساسي (النغمة الأساسية)
الإيقاع

مصادر الصوت Sources of Sound

ينتج الصوت عن اهتزاز الأجسام؛ إذ تؤدي اهتزازات الجسم إلى تحريك الجزيئات التي تتسبب في إحداث تذبذب في ضغط الهواء. فمثلاً يحتوي مكبّر الصوت على مخروط مصمّم ليهتز بواسطة التيارات الكهربائية، ويولّد سطح المخروط الموجات الصوتية التي تنتقل إلى أذنك، مما يسمح لك بسماع القرآن أو الأذان. وتعدّ الصنوج والدفوف والطبول أمثلة على السطوح المهتزة، وتعدّ جميعها مصادر للصوت.

ينتج الصوت البشري عن اهتزاز الأوتار الصوتية، وهي عبارة عن زوج من الأغشية في الحنجرة، حيث يندفع الهواء من الرئتين مارًّا عبر الحنجرة، فتبدأ الأوتار الصوتية في الاهتزاز. ويتم التحكم في تردد الاهتزاز بعضلات الشد الموجودة على الأوتار الصوتية.

أما الآلات الوترية فإن الأسلاك أو الأوتار هي التي تهتز؛ إذ يُنتج ضرب الأوتار أو سحبها أو احتكاكها بقوس الوتر، اهتزازَ الأوتار. وتتصل الأوتار عادة بلوحة صوتية تهتز مع الأوتار. وتؤدي اهتزازات اللوحة الصوتية إلى إحداث ذبذبات في قيمة ضغط الهواء الذي نشعر به بوصفه صوتًا.

الرنين في الأعمدة (الأنابيب) الهوائية Resonance in Air Columns

عند وضع شوكة رنانة فوق عمود هواء يهتز الهواء داخل الأنبوب بالتردد نفسه، أو برنين يتوافق مع اهتزاز معين للشوكة الرنانة. تذكّر أن الرنين يزيد من سعة الاهتزاز من خلال تكرار تطبيق قوة خارجية صغيرة بالتردد الطبيعي نفسه. ويحدد طول عمود الهواء ترددات الهواء المهتز التي ستكون في حالة رنين، في حين يؤدي تغيير طول عمود الهواء إلى تغيير حدّة صوت الآلة. ويعمل عمود الهواء في حالة الرنين على تضخيم مجموعة محدّدة من الترددات لتضخيم نغمة منفردة، وتحويل الأصوات العشوائية إلى أصوات منتظمة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

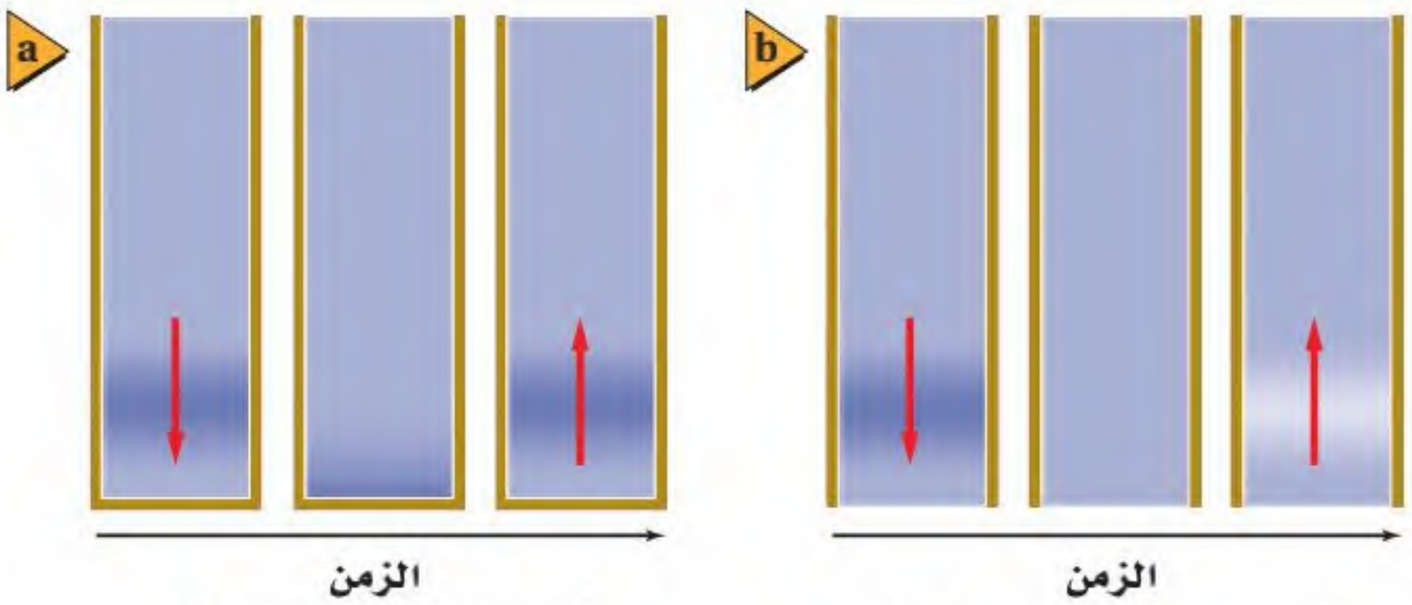
وتُحدث الشوكة الرنانة فوق أنبوب مجوف رنينًا في عمود الهواء، كما يبين **الشكل 8–3**، إذا تم وضع الأنبوب في الماء، بحيث تصبح إحدى نهايتي الأنبوب أسفل سطح الماء، حيث يتكون أنبوب مغلق - بالنسبة إلى الهواء - يكون في حالة رنين ويسمى هذا الأنبوب **أنبوب الرنين المغلق**. ويتم تغيير طول عمود الهواء بتعديل ارتفاع الأنبوب فوق سطح الماء. فإذا ضربت الشوكة الرنانة بمطرقة مطاطية، وتم تغيير طول عمود الهواء بتحريك الأنبوب إلى أعلى أو إلى أسفل في الماء فإن الصوت يصبح أعلى أو أخفض على التناوب. ويكون الصوت عاليًا عندما يكون عمود الهواء في وضع رنين مع الشوكة الرنانة. وعندما يكون عمود الهواء في حالة رنين فإنه يؤدي إلى تقوية صوت الشوكة الرنانة.

■ **الشكل 8–3** يغير رفعُ الأنبوب أو إنزالُه، طولَ عمود الهواء، ويكون الصوت عاليًا عند حدوث رنين بين عمود الهواء والشوكة الرنانة.

موجة الضغط (الطولية) الموقوفة (المستقرة) كيف يحدث الرنين؟ تولّد الشوكة الرنانة موجات صوتية، تتكون من تذبذبات مرتفعة ومنخفضة الضغط، وتتحرك هذه الموجات إلى أسفل عمود الهواء. وعندما تصطدم هذه الموجات بسطح الماء تنعكس مرتدة إلى الشوكة الرنانة، كما في **الشكل 9a–3**. فإذا وصلت موجة الضغط المرتفع المنعكسة إلى الشوكة الرنانة في اللحظة نفسها التي تنتج فيها الشوكة الرنانة موجة ضغط مرتفع أخرى فعندها تقوّي الموجة الصادرة عن الشوكة والموجة المنعكسة إحداهما الأخرى. وهذه التقوية أو التعزيز للموجات يولّد موجة مستقرة، ويحدث الرنين.

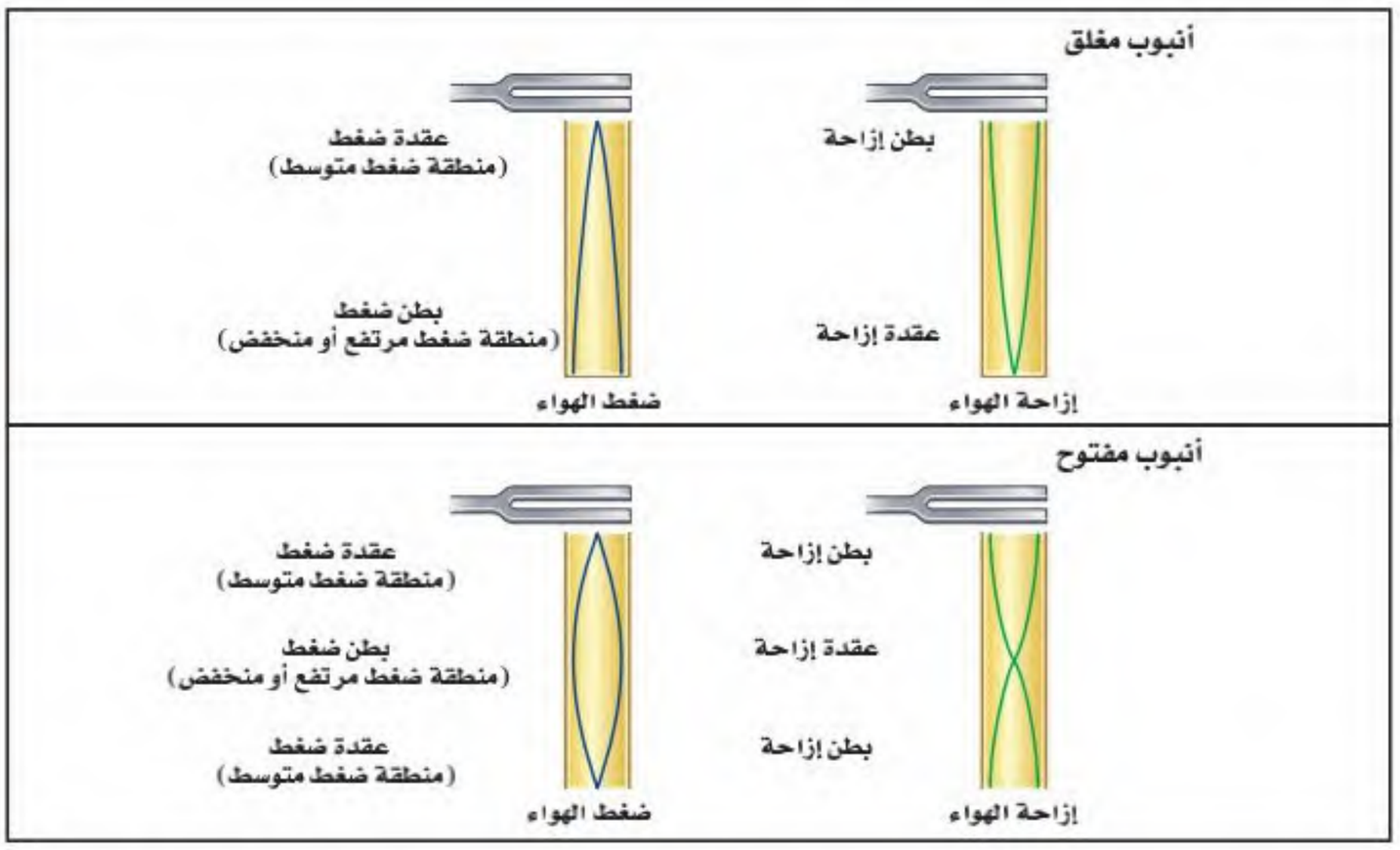
أما الأنبوب المفتوح فهو أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح ويسمى هذا الأنبوب **أنبوب الرنين المفتوح**. ويكون ضغط الموجة المنعكسة مقلوبًا. فعلى سبيل المثال، إذا وصلت موجة ضغط مرتفع إلى الطرف المفتوح فسوف ترتد موجة ضغط منخفض، كما يبين **الشكل 9b–3**.

طول عمود هواء الرنين يمكن تمثيل موجة صوتية موقوفة في أنبوب بموجة جيبية، كما يوضح **الشكل 10–3**. كما يمكن أن تُمثّل الموجات الجيبية إما تغيّرات ضغط الهواء أو إزاحة جزيئاته. ولأن للموجات المستقرة عقدًا وبطونًا، لذا فإنه عند التمثيل البياني لتغير الضغط تكون العقد هي مناطق الضغط الجوي المتوسط، أما مناطق البطون فيتذبذب



■ **الشكل 9–3** يمثّل الأنبوب الموضوع في ماء أنبوبًا مغلقًا. وتنعكس موجات الضغط المرتفع في الأنابيب المغلقة موجات ضغط مرتفع (**a**). أما في الأنابيب المفتوحة فتكون الموجات المنعكسة مقلوبة (**b**).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

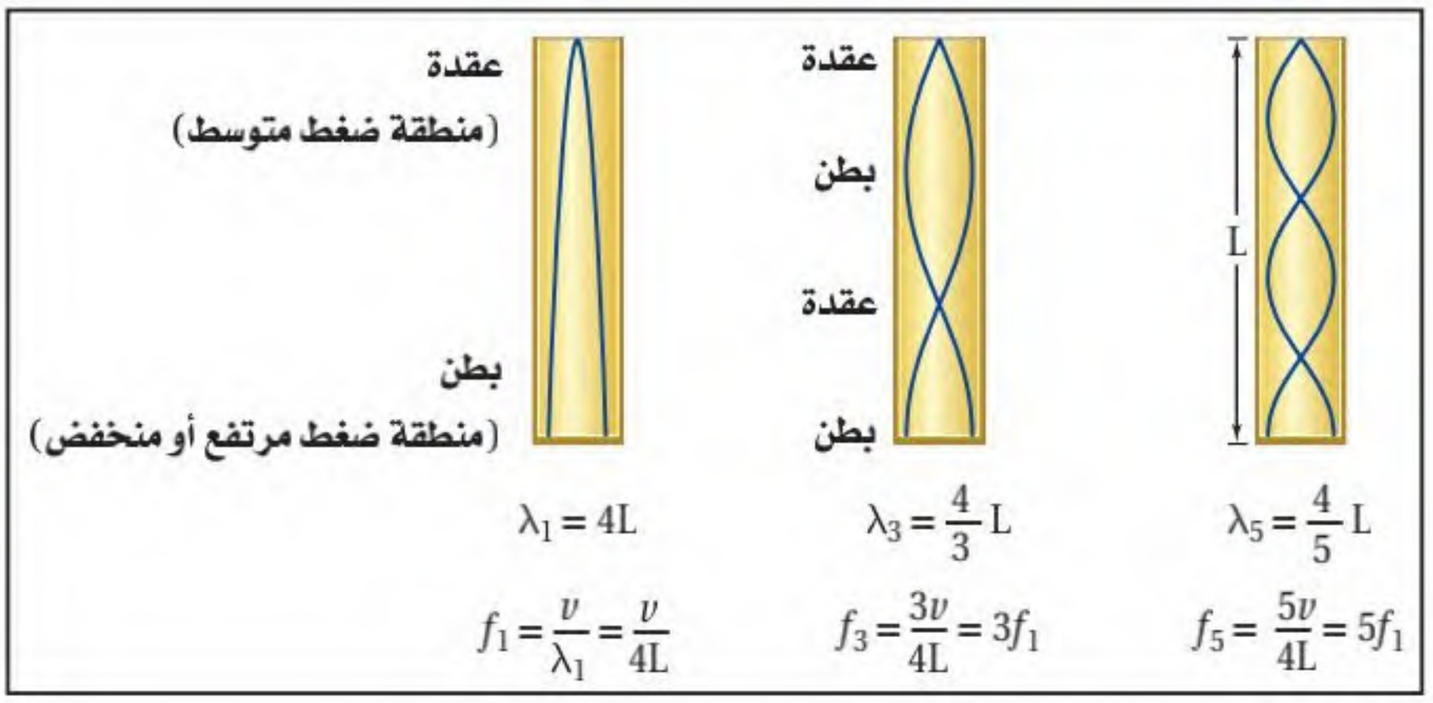


■ **الشكل 10–3** تمثل موجات الجيب الموجات المستقرة في الأنابيب.

الضغط عندها بين قيمتيه العظمى والصغرى. وفي حالة رسم الإزاحة تكون البطون هي مناطق الإزاحة الكبيرة، وتكون العقد هي مناطق الإزاحة القليلة. وفي كلتا الحالتين تكون المسافة بين بطنين أو بين عقدتين متتاليتين مساوية لنصف الطول الموجي.

تردّدات الرنين في أنبوب مغلق إن طول أقصر عمود هواء له بطن ضغط عند الطرف المغلق وعقدة ضغط عند الطرف المفتوح يكون مساويًا لربع الطول الموجي، كما يبين **الشكل 11–3**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال أعمدة هواء رنين إضافية عند فترات مساوية لنصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة التي أطوالها $\lambda/4$, $3\lambda/4$, $5\lambda/4$, $7\lambda/4$ ...وهكذا، في حالة رنين مع الشوكة الرنانة.

يكـــون طول عمود هواء الرنين الأول عمليًّا أطـــول قليلًا من ربع الطول الموجي؛ وذلك لأن تغيرات الضغط لا تنخفض إلى الصفر تمامًا عند الطرف المفتوح من الأنبوب. وتكون العقدة فعليًّا أبعد عن الطرف بمقدار 0.4 قطر الأنبوب. وتفصل بين أطوال أعمدة هواء الرنين الإضافية مسافات مقدارها نصف الطول الموجي. ويستخدم قياس هذه المسافة بين كل رنينين في إيجاد سرعة الصوت في الهواء، كما يبين المثال 2.



■ **الشكل 11–3** يكون الأنبوب المغلق في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا فرديًّا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

تجربة

الرنين في الأعمدة الهوائية

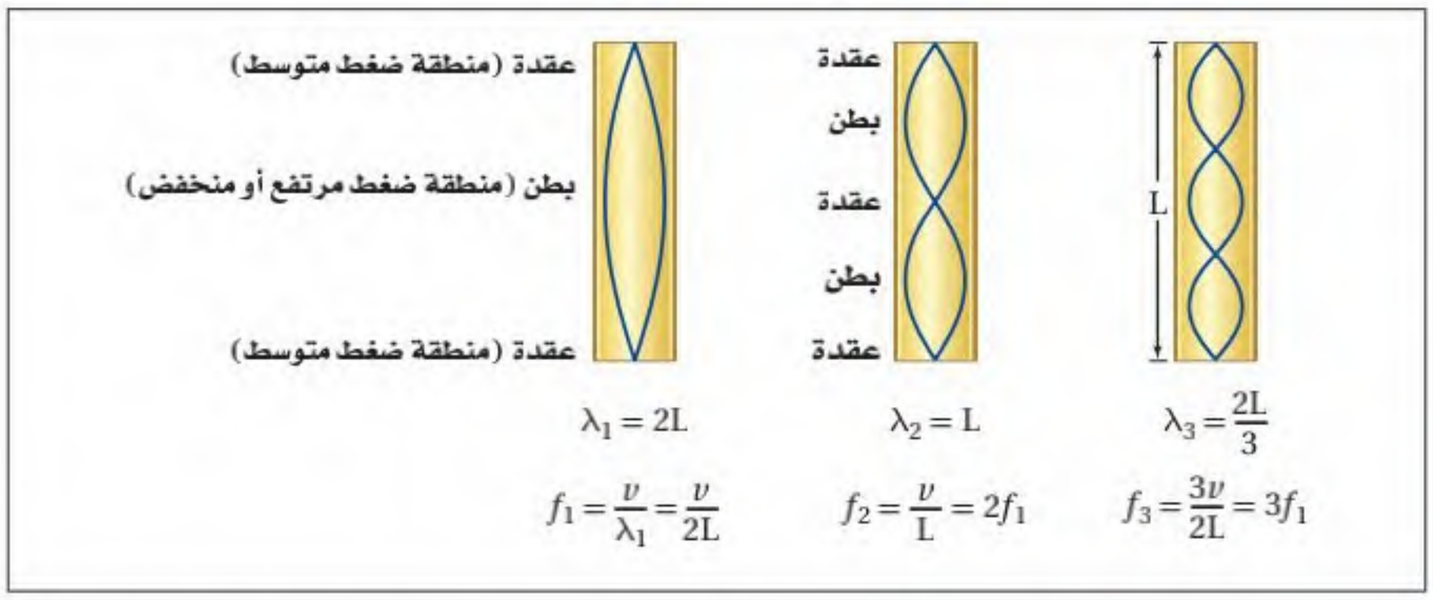
تحتاج في هذه التجربة إلى: شوكة رنانة، ومطرقة خاصة، وأنبوب مغلق.

1. اطرق الشوكة الرنانة ثم قربها من فوهة الأنبوب.
2. غيّر طول العمود الهوائي عن طريق تغيير عمق الماء فيه. وقرّب الشوكة الرنانة بعد طَرْقها من فوهة الأنبوب.
3. أعد الخطوة السابقة، واستمر في زيادة طول عمود الهواء أكثر من الحالة الأولى.

التحليل والاستنتاج

4. **لاحظ** ماذا لاحظت بعد تنفيذ الخطوة 2 والخطوة 3؟
5. **استنتج** متى يحدث الرنين؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 12–3** يكون الأنبوب المفتوح في حالة رنين عندما يكون طوله عددًا زوجيًا من مضاعفات ربع الطول الموجي.

ترددات الرنين في أنبوب مفتوح يكون طول أقصر عمود هواء يحتوي على عقدة عند كل من طرفيه مساويًا نصف الطول الموجي، كما يبين **الشكل 12–3**. ومع زيادة التردد يكون هناك أطوال رنين إضافية عند فترات نصف الطول الموجي. لذا تكون الأعمدة في حالة الرنين مع الشوكة الرنانة بأطوال $\lambda/2$, λ, $3\lambda/2$, 2λ... وهكذا.

إذا استعملت أنبوبين مفتوحًا ومغلقًا على أنهما أنبوبان في حالة رنين فإن الطول الموجي لصوت الرنين في الأنبوب المفتوح يكون نصف الطول الموجي الذي للأنبوب المغلق. لذا يكون التردد في الأنبوب المفتوح ضعف التردد الذي في الأنبوب المغلق. وتكون أطوال أعمدة هواء الرنين لكلا الأنبوبين مفصولة بفترات مقدارها نصف الطول الموجي.

سماع الرنين يُؤدي الرنين إلى زيادة علوّ تردّدات مخصّصة. فإذا صرخت داخل نفق طويل فإن الصوت الذي يدوّي وتسمعه يكون بسبب النفق بوصفه أنبوبًا في حالة رنين. كما تعمل الصدفة في **الشكل 13–3** عمل أنبوب مغلق في حالة رنين.

الرنين في الأوتار Resonance on Strings

تختلف أشكال الموجة في الأوتار المهتزة اعتمادًا على طريقة توليدها. ومن ذلك النقر أو الشد أو الضرب، إلَّا أن لها خصائص عديدة مشتركة مع الموجات المستقرة في النوابض والحبال، كما درست في الفصل السابق. ويكون الوتر في آلة ما مشدودًا من الطرفين، لذا فإنه عندما يهتز يكون له عقدة عند كل طرف من طرفيه. وتستطيع أن ترى في **الشكل 14–3** أن النمط الأول للاهتزاز له بطن عند المنتصف، وطوله يساوي نصف الطول الموجي. ويحدث الرنين التالي عندما يكون طول الوتر مطابقًا لطول موجي واحد. وتظهر موجات مستقرة إضافية عندما يكون طول الوتر $3\lambda/2$, 2λ, $5\lambda/2$ وهكذا. وكما هو الحال للأنبوب المفتوح فإن تردّدات الرنين تساوي مضاعفات أقل تردد.

تجربة عملية

ما مقدار سرعة الصوت؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

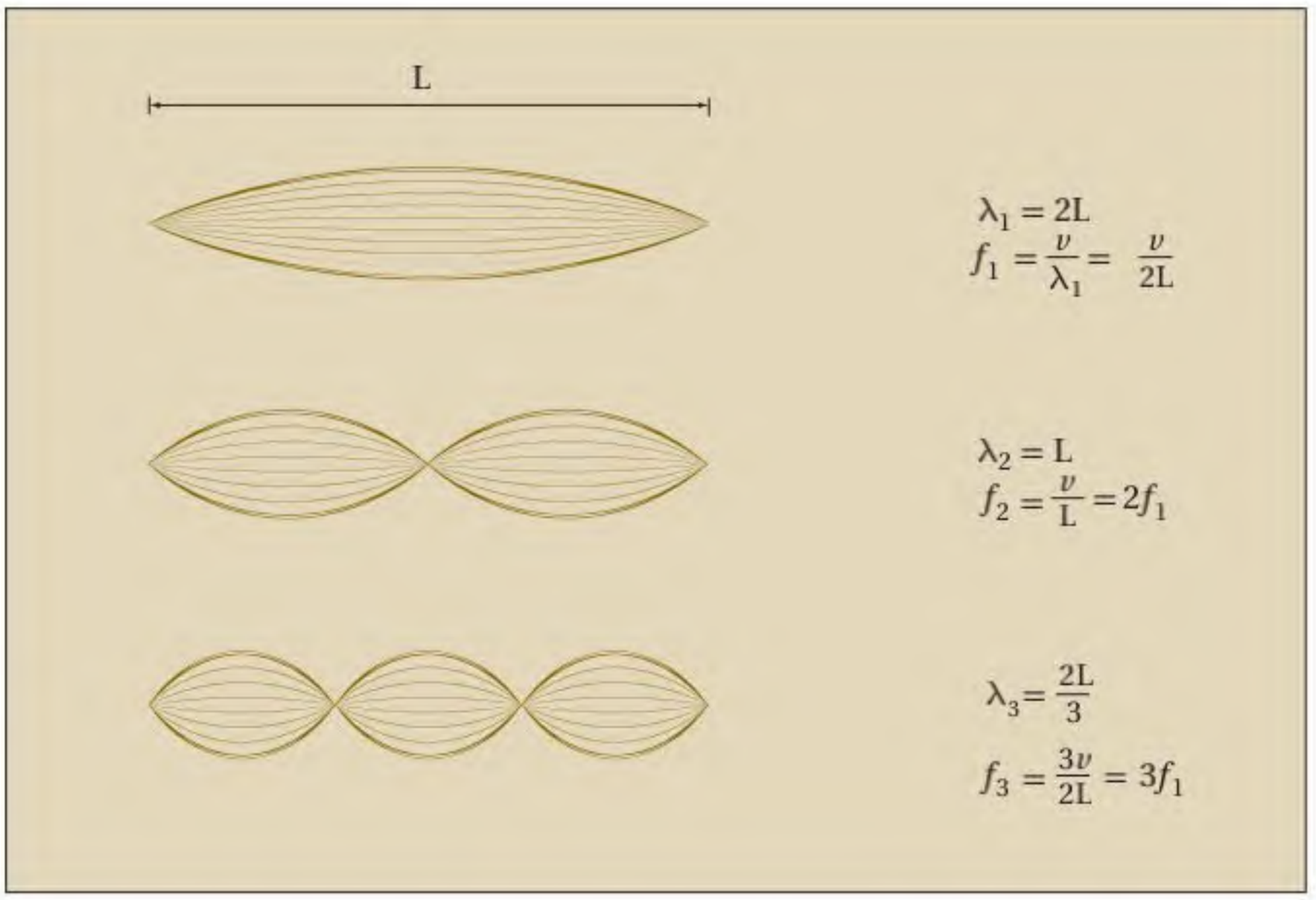
تطبيق الفيزياء

السمع والتردّد

تعمل القناة السمعية البشرية كأنها أنبوب مغلق في حالة رنين، يؤدي إلى زيادة حساسية الأذن للترددات بين 2000 و5000 Hz، في حين يمتد المدى الكامل لترددات الصوت التي يسمعها البشر من 20 إلى 20000 Hz. ويمتد سمع الكلب لترددات مرتفعة تصل إلى 45000 Hz، أمّا القطّ فيمتد السمع لديه إلى ترددات تصل إلى 100000 Hz.

■ **الشكل 13–3** تعمل الصدفة عمل أنبوب مغلق في حالة رنين، يضخم ترددات معينة من الأصوات المحيطة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

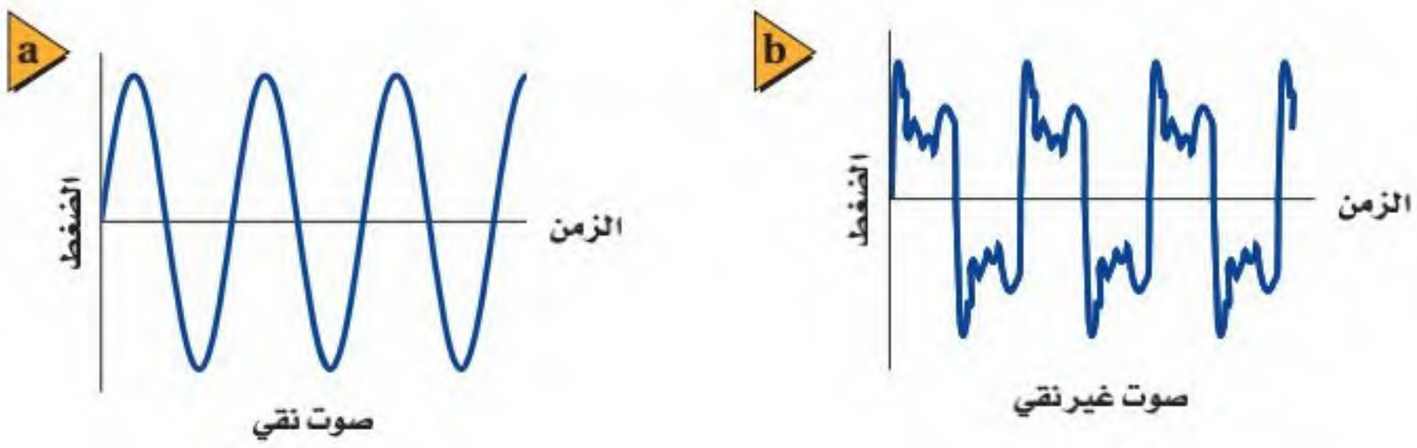


■ **الشكل 14–3** وتر في حالة رنين مع موجات موقوفة عندما يكون طوله مساويًا لمضاعفات نصف الطول الموجي.

وتعتمد سرعة الموجة في الوتر على قوة الشد فيه، وعلى كتلة وحدة طوله. لذا فإن الآلة الوترية تُضبط بتغيير شدّ أوتارها. فكلما كان الوتر مشدودًا أكثر كانت سرعة حركة الموجة أكبر، لذا تزداد قيمة تردد موجاته المستقرة.

جودة الصوت Sound Quality

تولّد الشوكة الرنانة صوتًا معتدلاً غير مرغوب فيه؛ لأن أطرافها تهتز بحركة توافقية بسيطة، وتنتج موجة جيبية بسيطة، كما يبين **الشكل 3–15a**. أما الأصوات البشرية فهي أكثر تعقيدًا، ومنها الموجة المبينة في **الشكل 3–15b**. وقد يكون لكلتا الموجتين التردّد نفسه، أو الحدّة نفسها، ولكن الصوتين مختلفان جدًّا. تولّد الموجة المعقدة باستخدام مبدأ التراكب لجمع موجات ذات تردّدات مختلفة؛ إذ يعتمد شكل الموجة على السعات النسبية لهذه التردّدات. ويُسمى الفرق بين الموجتين طابع الصوت، أو لون النغمة، أو جودتها.

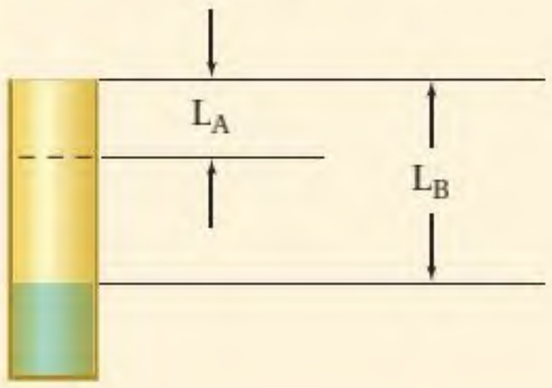


■ **الشكل 3–15** رسم بياني لصوت نقي مقابل الزمن (a). ورسم بياني لموجات صوتية غير نقية (معقدة) مقابل الزمن (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 2

إيجاد سرعة الصوت باستخدام الرنين عند استخدام شوكة رنانة بتردد 392 Hz مع أنبوب مغلق، سُمع أعلى صوت عندما كان طول عمود الهواء 21.0 cm و65.3 cm. ما سرعة الصوت في هذه الحالة؟ وهل درجة الحرارة في الأنبوب أكبر أم أقل من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة، وهي 20° C؟ وضّح إجابتك.



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الأنبوب المغلق.
- عيّن طولي عمود الهواء لحالتي الرنين.

المعلوم	المجهول
$f = 392\ \text{Hz}$	$v = ?$
$L_A = 21.0\ \text{cm}$	
$L_B = 65.3\ \text{cm}$	

دليل الرياضيات

ترتيب العمليات

2 إيجاد الكمية المجهولة

حل لإيجاد طول الموجة باستخدام علاقة: الطول- الطول الموجي للأنبوب المغلق.

$$L_B - L_A = \frac{1}{2}\lambda$$

بإعادة ترتيب المعادلة لـ λ

$$\lambda = 2(L_B - L_A)$$

عوّض مستخدمًا $L_A = 0.210\ \text{m}$، $L_B = 0.653\ \text{m}$

$$= 2(0.653\ \text{m} - 0.210\ \text{m})$$

$$= 0.886\ \text{m}$$

استخدم المعادلة الآتية لإيجاد السرعة

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

بإعادة ترتيب المعادلة لـ v

$$v = f\lambda$$

عوّض مستخدمًا $\lambda = 0.886\ \text{m}$، $f = 392\ \text{Hz}$

$$= (392\ \text{Hz})(0.886\ \text{m})$$

$$= 347\ \text{m/s}$$

السرعة أكبر قليلًا من سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C، مما يشـير إلى أن درجة الحرارة أعلى قليلًا من درجة الحرارة الطبيعية للغرفة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدات الجواب صحيحة $\text{m/s} = (\frac{1}{\text{s}})(\text{m}) = (\text{Hz})\ (\text{m})$.
- **هل الجواب منطقي؟** السرعة أكبر قليلًا من 343 m/s، التي هي سرعة الصوت عند درجة الحرارة 20 °C.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

15. إذا وضعت شوكة رنانة تهتز بتردّد 440 Hz فوق أنبوب مغلق، فأوجد الفواصل بين أوضاع الرنين عندما تكون درجة حرارة الهواء 20 °C.

16. استخدمت شوكة رنانة تهتز بتردد 440 Hz مع عمود رنين لتحديد سرعة الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كانت الفواصل بين أوضاع الرنين 110 cm، فما سرعة الصوت في غاز الهيليوم؟

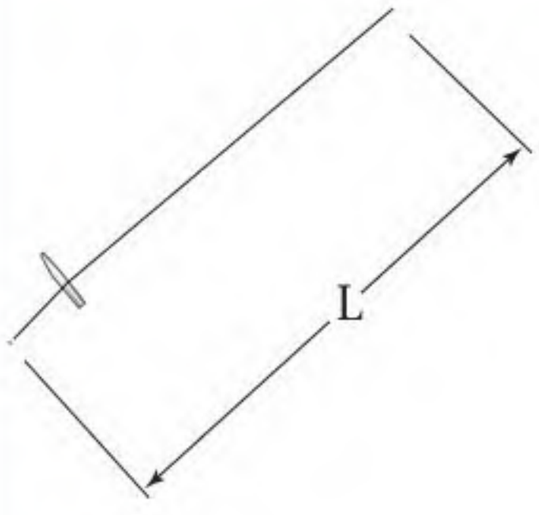
17. استخدم طالب عمود هواء عند درجة حرارة 27 °C، ووجد فواصل بين أوضاع الرنين بمقدار 20.2 cm. ما تردّد الشوكة الرنانة؟ استخدم سرعة الصوت في الهواء المحسوبة في المثال 2 عند درجة الحرارة 27 °C.

طيف الصوت: التردد الأساسي (النغمة الأساسية) والإيقاعات إن موجة الصوت المعقدة في **الشكل 3–15b** ناتجة عن عمود هواء مغلق. ارجع إلى **الشكل 3–11** الذي يبين ثلاثة تردّدات رنين لأنبوب مغلق؛ حيث يكون أقل تردد رنين f_1، يحدث في أنبوب مغلق طوله L مساويًا $v/4L$. ويسمى هذا التردد الأقل **التردد الأساسي** (النغمة الأساسية). ويكون الأنبوب المغلق في وضع رنين عند تردّدات $3f_1$، $5f_1$ ... وهكذا. وتُسمى هذه الترددات المرتفعة ـ وهي مضاعفات فردية من التردد الأساسي ـ **الإيقاعات**. وإضافة هذه الإيقاعات معًا هو الذي يُعطي الصوت طابعًا مميّزًا.

أما التردّد الأساسي - وهو الإيقاع الأول أيضًا - لأنبوب مفتوح في حالة رنين فيكون مساويًا $f_1 = v/2L$ مع إيقاعات لاحقة عند $2f_1$، $3f_1$، $4f_1$ ... وهكذا. وتعطي التركيبات والسعات المختلفة لهذه الإيقاعات كل صوت أو آلة وترية طابعها المميز. ويسمى الرسم البياني لسعة الموجة مقابل ترددها طيف الصوت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسألة تحفيز



1. حدّد قوة الشد، F_T، في وتر كتلته m وطوله L، عندما يهتز بالتردد الأساسي، والذي يساوي التردد نفسه لأنبوب مغلق طوله L. عبّر عن إجابتك بدلالة m و L وسرعة الصوت في الهواء v. استخدم معادلة سرعة الموجة في وتر $\left(u=\sqrt{F_T/\mu}\right)$؛ حيث تمثل F_T قوة الشد في الوتر، و μ الكتلة لكل وحدة طول من الوتر.

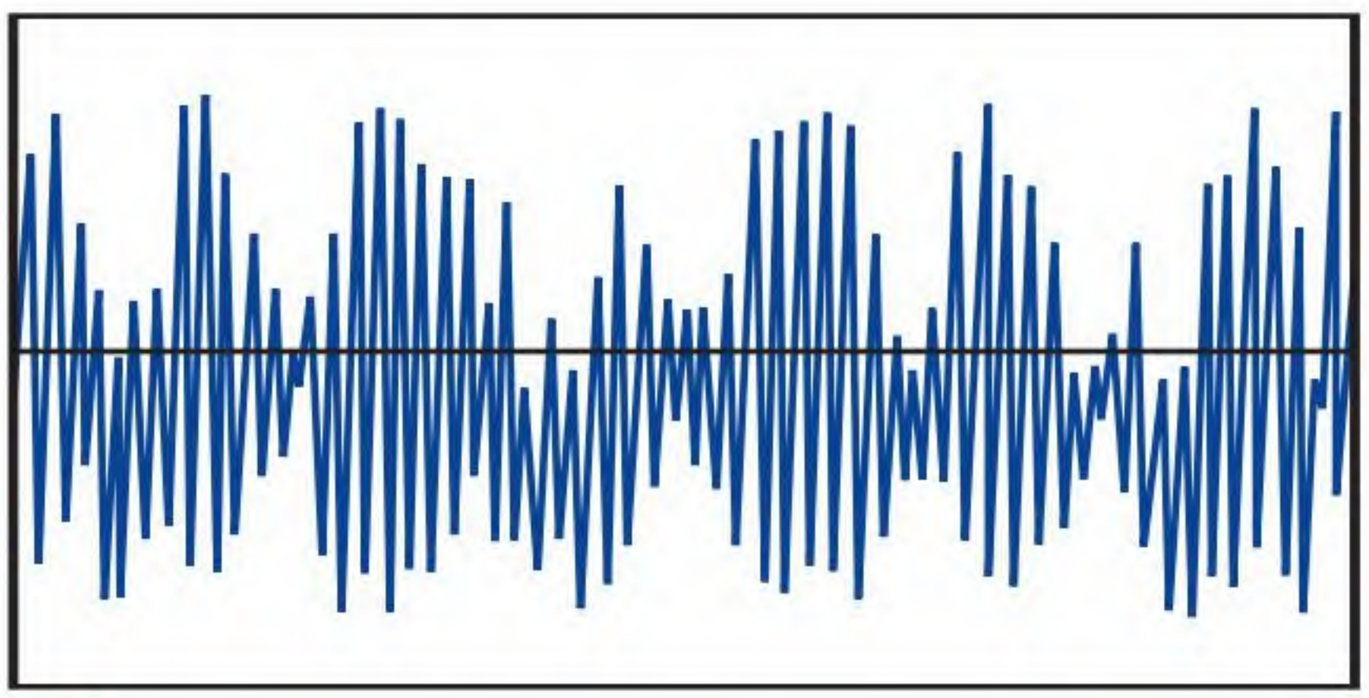
2. ما مقدار قوة الشد في وتر كتلته 1.0 g وطوله 40.0 cm يهتز بالتردد نفسه لأنبوب مغلق له الطول نفسه؟

إعادة إنتاج الصوت والضجيج

Sound Reproduction and Noise

هل استمعت إلى شخص يتلو القرآن أو آلة تسجيل؟ في أغلب الأوقات يتم تسجيل الأصوات وتشغيلها عن طريق أنظمة إلكترونية. ولإعادة إنتاج الصوت بإتقان يجب أن يلائم النظام جميع الترددات بالتساوي. فالنظام الصوتي (الاستيريو) الجيد يحافظ على السعات لكل الترددات بين 20 و20000 Hz ضمن 3 dB.

أما نظام الهاتف فيحتاج إلى إرسال المعلومات بلغة منطوقة، وتكون الترددات بين 300 و3000 Hz كافية. ويساعد تخفيض عدد الترددات الموجودة على تخفيض الضجيج. ويبين **الشكل 16–3** موجة ضجيج يظهر فيها العديد من الترددات تقريبًا بالسعات نفسها.



الشكل 16–3 يتكون الضجيج من ترددات متعددة، ويتضمن تغيرات عشوائية في التردد والسعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2–3 مراجعة

18. مصادر الصوت ما الشيء المهتز الذي ينتج الأصوات في كل ممّا يأتي؟

a. الصوت البشري

b. صوت المذياع

19. الرنين في الأنابيب المفتوحة ما النسبة بين طول الأنبوب المفتوح والطول الموجي للصوت لإنتاج الرنين الأول؟

20. الرنين في الأوتار يصدر وتر نغمة حادة ترددها 370 Hz. ما ترددات الإيقاعات الثلاثة اللاحقة الناتجة بهذه النغمة؟

21. الرنين في الأنابيب المغلقة يبلغ طول أنبوب مغلق 2.40 m. ما تردد النغمة التي يصدرها هذا الأنبوب؟

22. التفكير الناقد اضرب شوكة رنانة بمطرقة مطاطية واحملها بحيث تكون ذراعك ممدودة، ثم اضغط بمقبضها على طاولة، وباب، وخزانة، وأجسام أخرى. ما الذي تسمعه؟ ولماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

سرعة الصوت Speed of Sound

إذا وضعت شـوكة رنانة تهتز فوق أنبوب مغلق طوله مناسـب فإن الهواء داخـل الأنبوب يهتز بالتردد نفسه f للشوكة الرنانة. وإذا وضع أنبوب زجاجي في مخبار كبير مملوء بالماء ومدرج فإنه يمكن تغيير طول الأنبوب الزجاجي من خلال رفعه أو إنزاله في الماء. وسـيكون طول أقصر عمود هواء يحدث رنينًا عندما يساوي طوله ربع الطول الموجي. ويُنتج هذا الرنين أعلى صوت، ويوصف الطول الموجي عند هذا الرنين بالعلاقة $\lambda = 4L$؛ حيث تمثل L المسـافة من سـطح الماء إلى الطرف المفتوح للأنبوب. وسـتحدّد في هذا المختبر الطول L، لكي تحسب λ، ثم تحسب سرعة الصوت.

سؤال التجربة

كيف تستطيع استخدام أنبوب مغلق في حالة رنين لكي تحدّد سرعة الصوت؟

الأهـداف

- **تجمع البيانات وتنظمها** للحصول على نقاط رنين في أنبوب مغلق.
- **تقيس** طول أنبوب مغلق في حالة رنين.
- **تحلّل** البيانات لتحدِّد سرعة الصوت.

احتياطات السلامة

- امسح مباشرة أي سوائل منسكبة.
- تعامل مع الزجاج بحذر؛ فهو هش.

المواد والأدوات

ثلاث شوكات رنانة معلومة التردد	ماء
مخبار مدرّج سعته 1000 ml	مسطرة مترية
مطرقة خاصة بالشوكات الرنانة	
مقياس درجة حرارة (غير زئبقي)	
أنبوب زجاجي (طوله 40 cm تقريبًا وقطره 3.5 cm تقريبًا)	

الخطوات

1. ارتد نظارة واقية، واملأ المخبار المدرّج بالماء إلى فوهته تقريبًا.
2. قـس درجـة حـرارة الغرفة، وسجّلها في جدول البيانات 1.
3. اختر شـوكة رنانة، وسـجّل ترددها في جدولي البيانات 2 و 3.
4. قس قطر الأنبوب الزجاجي، وسجّله في جدول البيانات 2.
5. ضع بحذر الأنبوب الزجاجي في المخبار المدرّج المملوء بالماء.
6. أمسـك الشـوكة الرنانة من قاعدتها، ثم اضرب بسرعة على طرفها بمطرقة الشـوكة الرنانة. ولا تضرب الشـوكة الرنانة بطاولة المختبر أو أي سطح قاسٍ.
7. أمسـك الشـوكة الرنانة المهتزة فوق الطرف المفتوح للأنبوب الزجاجي، وارفع الأنبوب والشـوكة ببطء حتى تسمع صوتًا عاليًا. وعندما تعين هذه النقطة حرّك الأنبوب إلى أعلى وإلى أسفل قليلاً لتحدِّد نقطة الرنين تمامًا، ثم قس المسافة من الماء إلى أعلى الأنبوب الزجاجي، وسجّل هذه المسافة في جدول البيانات 2.
8. كرّر الخطوات 3 و 6 و 7 لشـوكتين رنانتين إضافيتين، وسجّل نتائجك في المـكان المخصّص للمحاولتـين 2 و 3 في جداول البيانات. يجب أن تكـون ترددات الرنين الثلاثة للشـوكات الرنانة الثلاث مختلفة.
9. أفرغ المخبار المدرّج من الماء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات 1			
المحاولة	درجة الحرارة (°C)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	السرعة التجريبية للصوت (m/s)
1			
2			
3			

جدول البيانات 2				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	القطر (m)	طول الأنبوب فوق الماء (m)	الطول الموجي المحسوب (m)
1				
2				
3				

جدول البيانات 3				
المحاولة	تردد الشوكة الرنانة (Hz)	السرعة المقبولة للصوت (m/s)	الطول الموجي المحسوب المصحّح (m)	سرعة الصوت التجريبية المصحّحة (m/s)
1				
2				
3				

التحليل

1. احسب السرعة المقبولة للصوت باستخدام العلاقة $v = 331\ \text{m/s} + 0.60\ \text{T}$، حيث v سرعة الصوت عند درجة الحرارة T، و T درجة حرارة الهواء بالسلسيوس. سجّل هذه النتيجة على أنها السرعة المقبولة للصوت في جدولي البيانات 1 و3 للمحاولات جميعها.

2. لأن نقطة الرنين الأولى عُيّنت عندما كان جزء الأنبوب الذي فوق الماء يساوي ربع الطول الموجي، لذا استخدم الطول المقيس للأنبوب في تحديد الطول الموجي المحسوب لكل محاولة. سجّل الأطوال الموجية المحسوبة في جدول البيانات 2.

3. اضرب قيمتي الطول الموجي والتردد في جدول البيانات 2، لتحديد السرعة التجريبية للصوت، وسجّل ذلك في جدول البيانات 1 لكل محاولة.

4. **تحليل الخطأ** حدّد الخطأ النسبي بين سرعة الصوت المقبولة والتجريبية لكل محاولة في جدول البيانات 1.

$$\%\text{error} = \frac{|\text{Accepted value} - \text{Experimental value}|}{\text{Accepted value}} \times 100\%$$

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{|\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}|}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

5. **النقد** يجب أخذ قطر الأنبوب بعين الاعتبار لتحسين دقة الحسابات. وتزود العلاقة التالية حسابات الطول الموجي بدقة أكثر: $\lambda = 4(L + 0.4d)$؛ حيث تمثل λ الطول الموجي، و L طول الأنبوب فوق الماء، و d القطر الداخلي للأنبوب. استخدم قيم الطول والقطر الواردة في جدول البيانات 2، وأعد حساب λ، وسجّل القيمة في جدول البيانات 3 على أنها الطول الموجي المصحّح، ثم احسب سرعة الصوت التجريبية المصحّحة بضرب تردّد الشوكة الرنانة في الطول الموجي المصحّح، ثم سجّل القيمة الجديدة لسرعة الصوت التجريبية المصحّحة في جدول البيانات 3.

6. **تحليل الخطأ** حدّد لكل محاولة في جدول البيانات 3 الخطأ النسبي بين السرعة التجريبية المصحّحة والسرعة المقبولة للصوت، واستخدم الصيغة نفسها التي استخدمتها في الفقرة 4 سابقًا.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استنتج** تحدث نقطة الرنين الأولى عندما يكون طول الأنبوب مساويًا $\lambda/4$. ما الطولان اللذان يحدث عندهما الرنينان اللاحقان؟

2. **التفكير الناقد** هل يمكن تعيين موقع آخر لحدوث الرنين إذا كان لديك أنبوب أطول؟ وضّح إجابتك.

التوسع في البحث

أيّ النتائج تعطي دقة أكثر لسرعة الصوت؟

الفيزياء في الحياة

فسّر العلاقة بين حجم الأنابيب المغلقة وتردّدات الرنين لها.

الإثراء العلمي

موجات الصوت في الشمس Sound Waves in the Sun

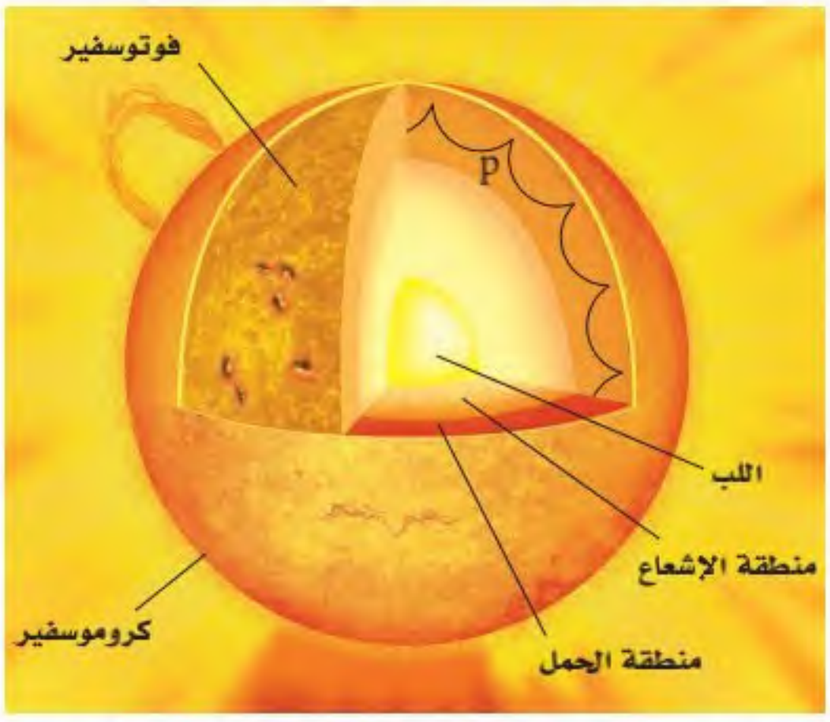
تُسمّى دراسة اهتزازات الموجات في الشمس بالسيزمولوجية الشمسية (علم زلازل الشمس)، حيث تحدث الموجات التالية طبيعيًّا في الشمس، وهي: الموجات الصوتية (موجات p)، وموجات الجاذبية، وموجات الجاذبية السطحية. وتتكون كل هذه الموجات من جزيئات مهتزة، سبّبتها قوى مختلفة.

وتسبب اختلافات الضغط اهتزاز الجزيئات في الموجات الصوتية. أما في الشمس فتنتقل موجات الصوت خلال منطقة الحمل الحراري التي تقع أسفل السطح مباشرة، أو أسفل الفوتوسفير. ولا تنتقل الموجات الصوتية في خط مستقيم، كما هو موضح في الصورة.

تقرع كالجرس تسبب موجات الصوت في الشمس اهتزاز السطح في الاتجاه القطري، مثل اهتزاز جرس يقرع. فعندما يقرع الجرس تضرب مطرقة الجرس في مكان واحد، وتنتج موجات موقوفة. ولسطح الشمس موجات موقوفة، رغم أنها لم تنتج عن حدث واحد كبير. ويفترض العلماء بدلاً من ذلك أن العديد من العوائق الصغيرة في منطقة الحمل الحراري بدأت منها معظم موجات الصوت في الشمس، مثل ضجيج الماء المغلي في قدر، إلا أن حجم الفقاعة المتكونة عند سطح الشمس يفوق مساحتي المغرب والعراق معًا، ويصدر عنها موجات صوتية.

ويكون الصوت القادم من الشمس منخفضًا جدًّا بالنسبة لنا؛ إذ إن الزمن الدوري لنغمة ترددها 440 Hz يساوي 0.00227 s، ومتوسط اهتزاز الموجات في الشمس له زمن دوري 5 min، فيكون ترددها $f = 0.003\ \text{Hz}$.

ولأننا لا نستطيع سماع موجات الصوت الصادرة من الشمس فقد قاس العلماء حركة سطح الشمس لتعرّف موجاتها الصوتية. ويجب مراقبة الشمس فترات زمنية طويلة؛ لأن موجات الصوت تحتاج إلى ساعتين للانتقال من جانب إلى آخر في الشمس، وهذا يجعل المراقبة من الأرض صعبة؛ لأنه لا يمكن رؤية الشمس في أثناء الليل. لذا فقد



تنتقل الموجات الصوتية (موجات p) خلال منطقة الحمل في الشمس

أطلقت وكالة ناسا عام 1995م المرصد الشمسي (SOHO). وهو قمر اصطناعي يدور حول الأرض، ويستطيع مراقبة الشمس دائمًا.

تُقاس حركة سطح الشمس من خلال مراقبة انزياح دوبلر في ضوء الشمس. ويكون للاهتزازات المقيسة أنماط معقدة تساوي مجموع الموجات الموقوفة كلها في الشمس. ويوجد في الشمس نغمات توافقية كالنغمات التي تظهر عند دق الجرس. ويمكن حساب الموجات الموقوفة الفردية وشدتها في الشمس بالتحليل الدقيق.

النتائج تزوّد اهتزازات موجات الشمس العلماء بمعلومات تتعلق بتركيبها الداخلي؛ وذلك أن كلًّا من تركيبها ودرجة حرارتها وكثافتها يؤثر في انتشار الموجات الصوتية. وقد قدمت نتائج تحليل بيانات القمر الاصطناعي (SOHO) المزيد لفهم عميق حول معدل دوران الشمس على صورة دالة رياضية تعتمد على خط العرض والعمق، وعلى درجة حرارة الشمس وكثافتها أيضًا. وتقارن هذه النتائج بالحسابات النظرية لتحسين فهمنا للشمس.

التوسع

1. **كوّن فرضية** كيف يفرّق العلماء بين حركة سطح الشمس الناجمة عن الموجات الصوتية وحركته الناجمة عن دوران الشمس؟
2. **التفكير الناقد** هل يمكن أن يكون هناك موجات صوتية في نجم آخر مشابه للشمس، لكنه مختلف في حجمه، ولهذه الموجات الطول الموجي نفسه الذي لموجات الشمس الصوتية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 3
دليل مراجعة الفصل

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه Properties and Detection of Sound

المفردات

- الموجة الصوتية
- حدّة الصوت
- علوّ الصوت
- مستوى الصوت
- الديسبل
- تأثير دوبلر

المفاهيم الرئيسة

- الصوت تغيُّر في الضغط ينتقل خلال مادة على هيئة موجة طولية.
- لموجة الصوت تردد، وطول موجي، وسرعة، وسعة. كما تنعكس موجات الصوت وتتداخل.
- سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة الغرفة (20 °C) تساوي 343 m /s. وتزداد سرعة الصوت بزيادة درجة الحرارة 0.6 m /s تقريبًا مع كل زيادة 1 °C في درجة الحرارة.
- تحوّل كواشف الصوت الطاقة التي تحملها موجة الصوت إلى شكل آخر من أشكال الطاقة. وتعد الأذن البشرية كاشفًا حسّاسًا ذا كفاءة عالية لموجات الصوت.
- يُميّز تردّد موجة صوت من خلال حدّته.
- يُقاس اتساع ضغط موجة صوت بوحدة الديسبل (dB).
- يعتمد علوّ الصوت ـ عندما يُدرَك بالأذن والدماغ ـ على اتساعه.
- يُعرف تأثير دوبلر بأنه التغير في تردّد موجات الصوت الناتج عن حركة المصدر أو المراقب أو كليهما. ويمكن حسابه بالمعادلة الآتية:

$$f_d = f_s\left(\frac{v - v_d}{v - v_s}\right)$$

3–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار Resonance in Air Columns and Strings

المفردات

- أنبوب الرنين المغلق
- أنبوب الرنين المفتوح
- التردد الأساسي (النغمة الأساسية)
- الإيقاع

المفاهيم الرئيسة

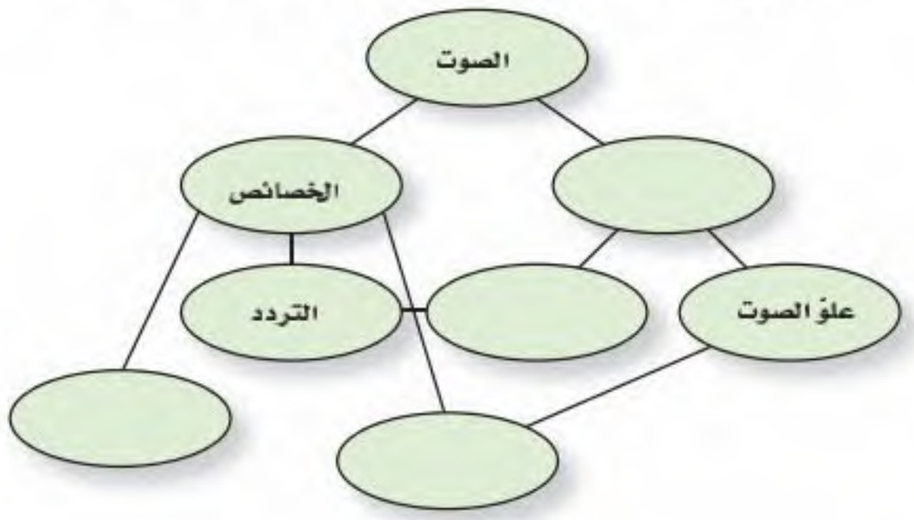
- ينتج الصوت عن تذبذب جسم في وسط مادي.
- معظم الأصوات موجات معقدة، تتكوّن من أكثر من تردّد واحد.
- يمكن أن يحصل رنين لعمود هواء مع مصدر صوت، مما يزيد سعة تردّد رنينه.
- يحصل رنين لأنبوب مغلق عندما يكون طوله $\lambda/4$، $3\lambda/4$، $5\lambda/4$ وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات فردية للتردّد الأساسي.
- يحصل رنين لأنبوب مفتوح عندما يكون طوله $\lambda/2$، $2\lambda/2$، $3\lambda/2$، وهكذا. وتكون ترددات رنينه مضاعفات صحيحة للتردّد الأساسي.
- يكون للوتر المثبت عقدة عند كل طرف، ويحدث له رنين عندما يكون طوله مساويًا لِـ $3\lambda/2$ $\lambda/2$، $2\lambda/2$، وهكذا، مثل الأنبوب المفتوح. وتكون تردّدات رنينه مضاعفات صحيحة للتردّد الأساسي.
- ترددّاتُ وشدة الموجات المعقدة الناتجة عن حنجرة شخص تحدّد طابعَ الصوت الذي يعدّ خاصية له.
- يمكن وصف التردّد الأساسي بدلالة الرنين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 3 التقويم

خريطة المفاهيم

23. أكمل الخريطة المفاهيمية أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: السعة، الإدراك، حدّة الصوت، السرعة.



إتقان المفاهيم

24. ما الخصائص الفيزيائية لموجات الصوت؟

25. عند قياس زمن الركض لمسافة 100 m يبدأ المراقبون عند خط النهاية تشغيل ساعات الإيقاف لديهم عند رؤيتهم دخانًا يتصاعد من المسدس الذي يشير إلى بدء السباق، وليس عند سماعهم صوت الإطلاق. فسّر ذلك. وما الذي يحدث لقياس زمن الركض إذا ابتدأ التوقيت عند سماع الصوت؟

26. اذكر نوعين من أنــواع إدراك الصوت والخصائص الفيزيائية المرتبطة معهما.

27. هل يحدث انزياح دوبلر لبعض أنواع الموجات فقط أم لجميع أنواع الموجات؟

28. الموجــات فوق الصوتية موجــات صوتية تردّداتها أعلى من تلك التي تســمع بالأذن البشرية، وتنتقل هذه الموجات خلال الجســم البشري. كيف يمكن استخدام الموجات فوق الصوتية لقياس سرعة الدم في الأوردة أو الشرايين؟ وضح كيف تتغير الموجات لتجعل هذا القياس ممكنًا.

29. ما الضروري لتوليد الصوت وانتقاله؟

30. **المشاة** عند وصول جنود المشاة في الجيش إلى جسر فإنهم يسيرون على الجسر بخطوات غير منتظمة. فسّر ذلك.

تطبيق المفاهيم

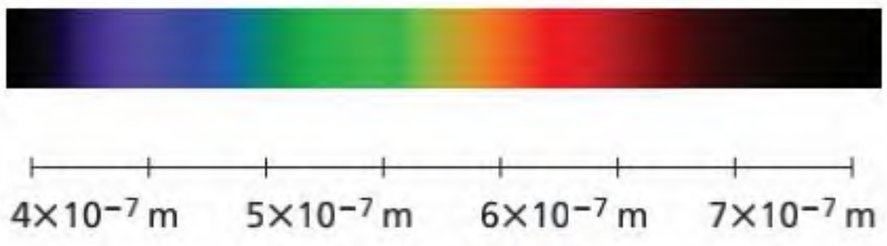
31. **التقديـر** لتقدير المســافة بينك وبــين وميض برق بالكيلومترات، عُدّ الثواني بين رؤية الوميض وسماع صوت الرعد، واقســم على 3. وضح كيف تعمل هذه القاعدة.

32. تزداد سرعة الصوت بمقدار 0.6 m /s لكل درجة سلســيوس عند ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار درجة واحدة. ماذا يحدث لكل مما يأتي بالنسبة لصوتٍ ما عند ارتفاع درجة الحرارة؟

a. التردد **b.** الطول الموجي

33. **الأفلام** انفجر قمر اصطناعي في فيلم خيال علمي؛ حيث سمع الطاقم في مركبة فضائية قريبة من الانفجار صوته وشاهدوه فورًا. إذا أُختِرتَ مستشارًا فما الخطآن الفيزيائيان اللذان تلاحظهما ويتعين عليك تصحيحهما؟

34. **الانزيـاح نحو الأحمر** لاحــظ الفلكيون أن الضوء القادم من المجرات البعيدة يبدو مُزاحًا نحو الأحمر أكثر من الضوء القادم من المجرات القريبة. فسّر لماذا استنتج الفلكيون أن المجرات البعيدة تتحرك مبتعدة عن الأرض، اعتمادًا على **الشكل 17–3** للطيف المرئي.



الشكل 17–3

35. يبلغ مســتوى صوت 40 dB. هل تغيُّر ضغطه أكبر 100 مرة من عتبة السمع، أم 40 مرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 3

36. إذا ازدادت حدّة الصوت فما التغير الذي يحدث لكل مما يأتي؟

a. التردد **b.** الطول الموجي

c. سرعة الموجة **d.** سعة الموجة

37. تزداد سرعة الصوت بازدياد درجة الحرارة. هل تزداد حدّة صوت أنبوب مغلق عند ارتفاع درجة حرارة الهواء أم تقل؟ افترض أن طول الأنبوب لا يتغير.

38. يولّد أنبوب مغلق نغمة معينة، فإذا أُزيلت السدادة من نهايته المغلقة ليصبح مفتوحًا فهل تزداد حدّة الصوت أم تقل؟

إتقان حل المسائل

3–1 خصائص الصوت والكشف عنه

39. إذا سمعت صوت إطلاق قذيفة من مدفع بعيد بعد 5.0 s من رؤيتك للوميض فما بُعد المدفع عنك؟

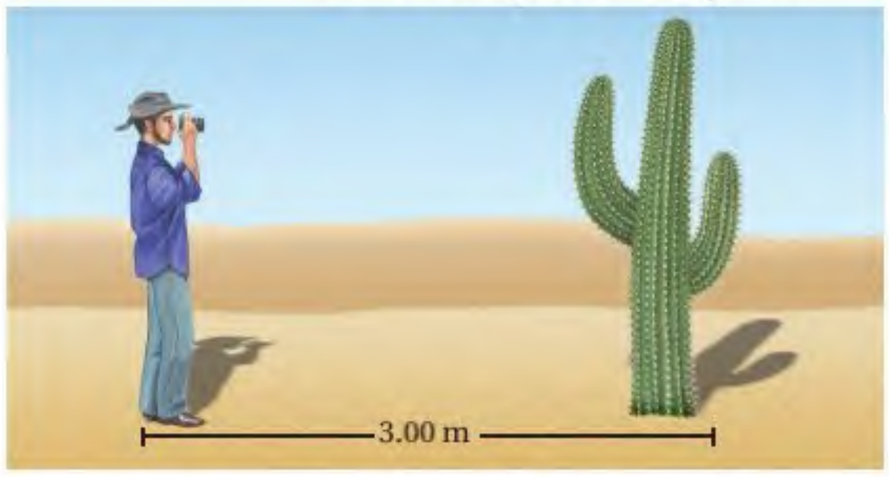
40. إذا صِحت في وادٍ وسمعت الصدى بعد 3.0 s، فما مقدار عرض الوادي؟

41. إذا انتقلت موجة صوت تردّدها 4700 Hz في قضيب فولاذي، وكانت المسافة بين التضاغطات المتتالية هي 1.1 m، فما سرعة الموجة؟

42. **الخفافيش** يُرسل الخفاش موجات صوتية طولها الموجي 3.5 mm. ما تردد الصوت في الهواء؟

43. ينتقل صوت تردده 261.6 Hz خلال ماء درجة حرارته 25 °C. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الماء. (لا تخلط بين الموجات الصوتية المتحركة خلال الماء والموجات السطحية المتحركة فيه).

44. **التصوير الفوتوجرافي** تحدّد بعض الكاميرات بُعد الجسم عن طريق إرسال موجة صوت وقياس الزمن الذي يحتاج إليه الصدى للعودة إلى الكاميرا، كما يبين **الشكل 18–3**. ما الزمن الذي تحتاج إليه موجة الصوت حتى تعود إلى الكاميرا إذا كان بعد الجسم عنها يساوي 3.00 m؟



الشكل 18–3

45. إذا كان الطول الموجي لموجات صوت ترددها 2.40×10^2 Hz في ماء نقي هو 3.30 m فما سرعة الصوت في هذا الماء؟

46. ينتقل صوت تردّده 442 Hz خلال قضيب حديد. أوجد الطول الموجي لموجات الصوت في الحديد.

47. **الطائرة النفاثة** يعمل موظف في المطار بالقرب من طائرة نفاثة على وشك الإقلاع، فتأثر بصوت مستواه 150 dB.

a. إذا وضع الموظف أداة حماية للأذن تخفض مستوى الصوت إلى حد صوت النشيد الوطني المدرسي فما مقدار الانخفاض في المستوى؟

b. إذا سمع الموظف صوتًا مثل الهمس لا يكاد يُسمع إلا بصعوبة فما الذي يسمعه شخص لا يضع أداة الحماية على أذنيه؟

48. **النشيد** تُنشد فرقة نشيد بصوت مستواه 80 dB. ما مقدار الزيادة في ضغط الصوت لفرقة أخرى تُنشد بالمستويات الآتية؟

a. 100 dB **b.** 120 dB

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 3

49. يهتز ملف نابضي للعبة بتردد 4.0 Hz بحيث تظهر موجات موقوفة بطول موجي 0.50 m. ما سرعة انتشار الموجة؟

50. يجلس مشجع في مباراة كرة قدم على بُعد 152 m من حارس المرمى في يوم دافئ درجة حرارته 30 °C. احسب مقدار:

a. سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 30 °C.

b. الزمن الذي يحتاج إليه المشجع ليسمع صوت ضرب الكرة بعد مشاهدته ركل الحارس لها.

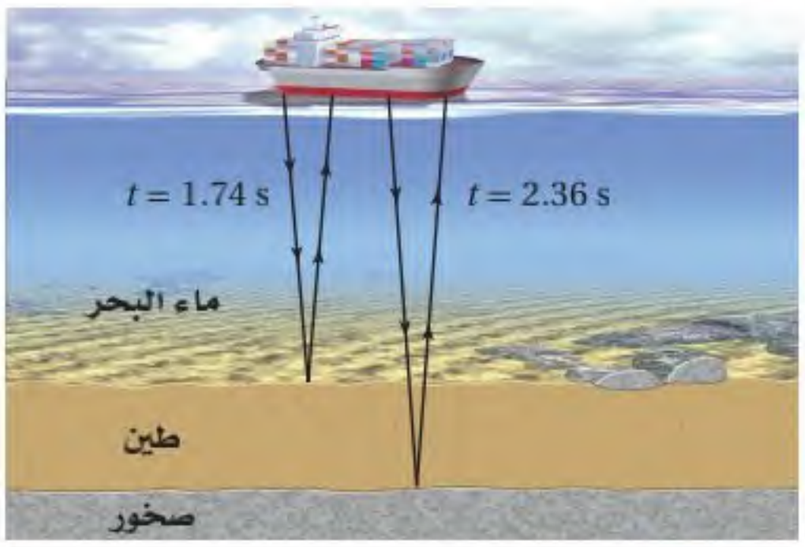
51. وقف شخص على بُعد d من جرف صخري، كما يبين **الشكل 19-3**. فإذا كانت درجة الحرارة 15 °C، وصفّق الشخص بيديه فسمع صدى الصوت بعد 2.0 s، فما بُعد الجرف الصخري؟

■ الشكل 19–3 (الرسم ليس بمقياس رسم)

52. **التصوير الطبي** تستخدم موجات فوق صوتية بتردّد 4.25 MHz للحصول على صور للجسم البشري. فإذا كانت سرعة الصوت في الجسم مماثلة لسرعته في الماء المالح وهي 1.50 km /s، فما الطول الموجي لموجة ضغط تردّدها 4.25 MHz في الجسم؟

53. **السونار** تمسح سفينة قاع المحيط بإرسال موجات سونار مباشرة من السطح إلى أسفل سطح الماء، كما يبين **الشكل 20-3**. وتستقبل السفينة الانعكاس الأول عن الطين عند القاع بعد زمن مقداره 1.74 s من إرسال الموجات. ويصل الانعكاس الثاني عن الصخور تحت الطين بَعد 2.36 s. فإذا كانت درجة حرارة ماء المحيط 25 °C، وسرعة الصوت في الطين 1875 m /s، فاحسب ما يأتي:

a. عمق الماء. **b.** سُمك طبقة الطين.



■ الشكل 20–3 (الرسم ليس بمقياس رسم)

54. تتحرك سيارة إطفاء بسرعة 35 m /s، وتتحرك حافلة أمام سيارة الإطفاء في الاتجاه نفسه بسرعة 15 m /s. فإذا انطلقت صفارة إنذار سيارة الإطفاء بتردد 327 Hz فما التردّد الذي يسمعه سائق الحافلة؟

55. يتحرك قطار في اتجاه مراقب صوت، وعندما كانت سرعته 31 m /s انطلقت صفارته بتردد 305 Hz. ما التردد الذي يستقبله المراقب في كل حالة مما يأتي:

a. المراقب ثابت.

b. المراقب يتحرك في اتجاه القطار بسرعة 21.0 m /s.

56. إذا تحرك القطار في المسألة السابقة مبتعدًا عن المراقب فما التردد الذي يستقبله الكاشف في كل حالة مما يأتي:

a. المراقب ثابت.

b. المراقب يتحرك مبتعدًا عن القطار بسرعة 21.0 m /s.

3–2 الرنين في الأعمدة الهوائية والأوتار

57. أنبوب في وضع رأسيّ مملوء بالماء وله صنبور عند قاعدته، وتهتز شوكة رنانة فوق طرفه العلوي. فإذا سُمع رنين عند تخفيض مستوى الماء في الأنبوب بمقدار

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 3

17 cm، وسُمع رنين مرة أخرى عند تخفيض مستوى الماء عن فوهة الأنبوب بمقـــدار 49 cm، فما تردّد الشوكة الرنانة؟

58. **السـمع البشـري** القناة السمعية التي تؤدي إلى طبلة الأذن عبارة عن أنبوب مغلق طوله 3.0 cm. أوجد القيمة التقريبية لأقل تردّد رنين. أهمل تصحيح النهاية.

59. إذا أمســكت قضيب ألومنيوم طولــه 1.2 m من منتصفه وضربت أحد طرفيه بمطرقة فسيهتز كأنه أنبوب مفتوح، ويكون هناك بطن ضغط عند مركز القضيب؛ بسبب توافق بطون الضغط لعُقَد الحركة الجزيئية. فــإذا كانت سرعة الصوت في الألومنيوم 5150 m /s فما أقل تردّد اهتزاز للقضيب؟

60. إذا أنتــج أنبوب مفتوح نغمــة تردّدها 370 Hz فما تردّدات الإيقاعات الثاني، والثالث، والرابع المصاحبة لهذ التردّد؟

61. إذا أنتج أنبوب مغلق نغمة تردّدها 370 Hz فما تردّد أقل ثلاثة إيقاعات يُنتجها هذا الأنبوب؟

62. ضُبط وتر طوله 65.0 cm لينتج أقل تردّد، ومقداره 196 Hz. احسب مقدار:

a. سرعة الموجة في الوتر.

b. الترددين الآتيين لرنين هذا الوتر.

63. يمثّل **الشكل 21-3** أنبوبًا بلاستيكيًّا مموجًا مرنًا طوله 0.85 m. وعندما يتأرجح ينتج نغمة تردّدها يماثل أقل تردّد يُنتجه أنبوب مفتوح له الطول نفســه. ما تردّد النغمة؟

الشكل 21-3

64. إذا تأرجح الأنبوب في المســألة السابقة بسرعة أكبر منتجًا نغمة حدّتها أعلى، فما التردّد الجديد؟

65. إذا كانت سعة موجة ضغط خلال محادثة عادية 0.020 Pa،

a. فما القوة المؤثرة في طبلة أذن مساحتها $0.52\ cm^2$؟

b. إذا انتقلت القوة نفسها التي في الفرع **a** كاملة إلى العظام الثلاثة في الأذن الوسطى، فما مقدار القوة التي تؤثر بها هذه العظام في الفتحة البيضية؛ أيْ الغشاء المرتبط مع العظمة الثالثة؟ علمًا بأن الفائدة الميكانيكية لهذه العظام 1.5.

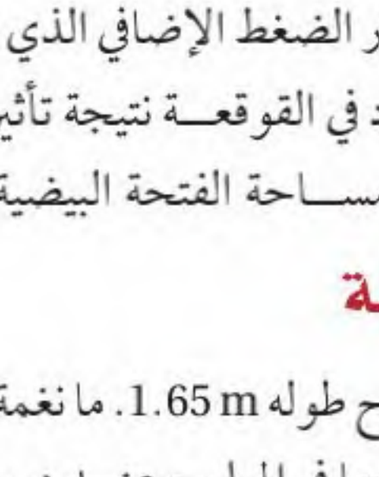
c. ما مقدار الضغط الإضافي الذي انتقل إلى السائل الموجود في القوقعــة نتيجة تأثير هذه القوة، إذا كانت مســاحة الفتحة البيضية $0.026\ cm^2$؟

مراجعة عامة

66. أنبوب مفتوح طوله 1.65 m. ما نغمة التردّد الأساسي التــي ينتجها في الهيليوم عنــد درجة حرارة 0 °C؟

67. يطير طائر نحو رائد فضاء على كوكب مكتشف حديثًا بسرعة 19.5 m /s، ويُغرِّد بحدّة مقدارها 954 Hz. فإذا ســمع الرائد النغمة بتردّد 985 Hz فما سرعة الصوت في الغلاف الجوي لهذا الكوكب؟

68. إذا ألقيت حجــرًا في بئر عمقهــا 122.5 m كما في **الشكل 22-3**، فبعد كم ثانية تسمع صوت ارتطام الحجر بقاع البئر؟



الشكل 22-3

69. تستخدم سفينة موجات السونار بتردّد 22.5 kHz. فإذا كانت سرعة الصوت في ماء البحر 1533 m/s.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 3

فما مقدار التردّد الذي يصل السـفينة بعد انعكاسه عن حوت يتحـرك بسرعة 4.15 m /s مبتعدًا عن السفينة؟ افترض أن السفينة ساكنة.

70. يتحرك قطار نحو نفق بسرعة 37.5 m /s، ويصدر صوتًا بتردّد 327 Hz، فيرتد الصوت من فتحة النفق. ما تردّد الصوت المنعكس الذي يُسـمع في القطار، علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء كانت 343 m /s؟

تلميح: حل المسألة في جزأين، افترض في الجزء الأول أن النفق مراقب ثابت، واحسب التردّد. ثم افترض في الجزء الثاني أن النفق مصدر ثابت، واحسب التردّد المقيس في القطار.

التفكير الناقد

71. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبين الجدول 2-3 الأطوال الموجية لموجات صوتية ناتجة عن مجموعة من الشوكات الرنانة عند تردّدات معيّنة.

a. مثّل بيانيًّا العلاقة بين الطـول الموجي والتردّد (المتغير المضبوط). ما نـوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟

b. مثّـل بيانيًّا العلاقة بين الطول الموجي ومقلوب التردّد ($1/f$). ما نوع العلاقة التي يبيّنها الرسم البياني؟ حدّد سرعة الصوت من الرسم البياني.

الجدول 2-3

الشوكات الرنانة	
الطول الموجي (m)	التردد (Hz)
2.62	131
2.33	147
2.08	165
1.75	196
1.56	220
1.39	247

72. إعداد الرسـوم البيانية افترض أن تردّد بوق سيارة يساوي 300 Hz عندما كانت السيارة ثابتة، فكيف يكون الرسم البياني للعلاقة بين التردّد والزمن عندما تقترب السيارة منك ثم تتحرك مبتعدة عنك؟ صمّم مخطّطًا تقريبيًّا للمسألة.

73. حلّل واستنتج صف كيف تستخدم ساعة إيقاف لتقدر سرعة الصوت إذا كنت على بعد 200 m من حفرة ملعب جولف، وكان مجموعة من اللاعبين يضربون كراتهم. هل يكون تقديرك لسرعة الصوت كبيرًا جدًّا أم صغيرًا جدًّا؟

74. تطبيق المفاهيم وجد أن تردّد موجة ضوء قادمة من نقطة على الحافة اليسرى للشمس أكبر قليلاً من تردّد الضوء القادم من الجهة اليمنى. علام يدل هذا بالنسبة لحركة الشمس اعتمادًا على هذا القياس؟

الكتابة في الفيزياء

75. ابحث في استخدام تأثير دوبلر في دراسة الفلك. كيف يسـتخدم في الكشف عن الكواكب حول النجوم، ودراسة حركة المجرّات؟

مراجعة تراكمية

76. ما سرعة الموجات المتولّدة في وتر طوله 60.0 cm، إذا نُقر في منطقة الوسط فأنتج نغمة ترددها 440 Hz؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة اختيار من متعدد

اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ينتقل الصوت من مصدره إلى الأذن بسبب:

(A) تغير ضغط الهواء.
(B) الاهتزاز في الأسلاك أو الأوتار.
(C) الموجات الكهرومغناطيسية.
(D) الموجات تحت الحمراء.

2. سمع خالد أثناء سباحته نغمة وصلت إلى أذنه بتردّد 327 Hz عندما كان تحت الماء. فما الطول الموجي للصوت الذي يسمعه؟ (افترض سرعة الصوت في الماء 1493 m /s)

(A) 2.19 nm
(B) 4.88×10^{-5} m
(C) 2.19×10^{-1} m
(D) 4.57 m

3. يجذب صوت بوق سيارة انتباه مراقب ثابت. فإذا كانت السيارة تقترب من المشاهد بسرعة 60.0 km /h، وتردّد صوت البوق 512 Hz، فما تردّد الصوت الذي يسمعه المراقب؟ (افترض سرعة الصوت في الهواء تساوي 343 m /s)

(A) 488 Hz
(B) 512 Hz
(C) 538 Hz
(D) 600 Hz

4. تبتعد سيارة بسرعة 72 km /h عن صافرة ثابتة، كما هو موضح في الشكل أدناه. فإذا انطلقت الصافرة بتردّد 657 Hz فما تردّد الصوت الذي يسمعه السائق؟ (افترض سرعة الصوت في الهواء 343 m /s)

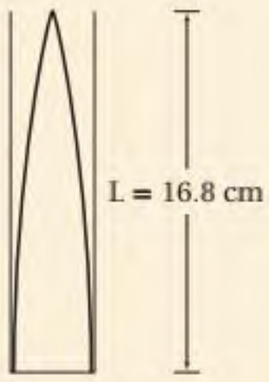
(A) 543 Hz
(B) 620 Hz
(C) 647 Hz
(D) 698 Hz

5. ينتقل صوت بوق سيارة في الهواء بسرعة 351 m / s. فإذا كان تردّد الصوت 298 Hz فما طوله الموجي؟

(A) $9.93 \times 10-4$ m
(B) 0.849 m
(C) 1.18 m
(D) 1.05×10^{5} m

الأسئلة الممتدة

6. يبين الشكل أدناه طول عمود الهواء في حالة الرنين الأول لعمود هواء مغلق، فإذا كان تردد الصوت 488 Hz فما سرعة الصوت؟



إرشاد

سجّل حساباتك

يطلب إليك في أغلب الاختبارات الإجابة عن عدد كبير من الأسئلة في زمن قليل. سجّل حساباتك وملاحظاتك حيثما كان ذلك ممكنًا. وأجر الحسابات كتابيًّا لا ذهنيًّا، ثم ضع خطًّا تحت الحقائق المهمة في العبارات والأشكال، وأعد قراءتها، ولا تحاول حفظها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4

أساسيات الضوء

Fundamentals of Light

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف مصادر الضوء، وكيف ينير الضوء العالم من حولنا.
- وصف الطبيعة الموجية للضوء، وبعض الظواهر التي تتعلق به.

الأهمية

يُعدّ الضوء أساس حياتنا، وإنارة لكوكبنا، والمصدر الرئيس الذي يزوّدنا بالمعلومات المتعلقة بسلوك الكون. وتُستخدم مجموعة من المعلومات كاللون، والحيود، والظل باستمرار في تفسير الأحداث التي تحصل من حولنا.

سباق المناطيد يمكن التمييز بين المناطيد المشاركة في السباق نهارًا من خلال ألوانها، كما يمكن تمييز المناطيد من خلال الخلفيات التي تظهر في أثناء حركتها؛ بسبب الفروق بين لون الأعشاب والسماء.

فكّر ◄

إلامَ تعود هذه الفروق في اللون؟ وكيف ترتبط هذه الألوان بعضها ببعض؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يمكنك تحديد مسار الضوء في الهواء؟

سؤال التجربة ما المسار الذي يسلكه الضوء خلال انتقاله في الهواء؟

الخطوات

1. اثقب بطاقة فهرسة بالمثقب عند مركزها.
2. استخدم مشبكين في تثبيت البطاقة رأسيًّا، بحيث تكون حافتها الطويلة على سطح الطاولة.
3. أشعل المصباح ودع زميلك يحمله، مراعيًا مرور أشعة المصباح الضوئي من خلال الثقب الموجود في البطاقة.
4. احمل مرآة في الجانب المقابل للبطاقة، بحيث يصطدم الضوء المار من خلال الثقب بالمرآة، ثم عتّم الغرفة.
5. حرّك المرآة وأمِلْها بحيث تعكس الشعاع الضوئي وتسقطه على البطاقة. **تحذير**: احذر من عكس الشعاع الضوئي في اتجاه عيون زملائك في المختبر.
6. سجّل ملاحظاتك

التحليل

صِف صورة الشعاع الضوئي المنعكس التي تشاهدها على بطاقة الفهرسة، والمسار الذي سلكه الشعاع الضوئي.

التفكير الناقد هل يمكنك رؤية الشعاع الضوئي في الهواء؟ لماذا؟

4–1 الاستضاءة Illumination

الضوء والصوت وسيلتان نحصل عن طريقهما على المعلومات. والضوء وسيلة توفر أكبر مجموعة متنوعة من المعلومات، حيث تستطيع العين البشرية تحسّس التغيرات البسيطة جدًّا في حجم الجسم وموقعه وسطوعه، إضافة إلى لونه، كما تميّز أعيننا في العادة بين الظلال والأجسام الصلبة، وتستطيع أحيانًا التمييز بين انعكاسات الأجسام والأجسام نفسها. وستتعلم في هذا الفصل من أين يأتي الضوء؟ وكيف يضيء الكون من حولنا؟

يسير الضوء في خطوط مستقيمة، فكيف تثبت ذلك؟ عندما تدخل حزمة ضوئية ضيقة ـ مثل ضوء المصباح الكهربائي أو ضوء الشمس ـ عبر النافذة فإن دقائق الغبار المنتشرة في الهواء تجعل الضوءَ مرئيًّا، وترى مسار الضوء على شكل خط مستقيم. وعندما يعترض جسمك ضوء الشمس ترى هيئة جسمك في صورة ظل. وعندما تضع جسمًا أمام عينيك وتتحرك في اتجاهه فإنك تسير في مسار مستقيم. هذه الأشياء تحدث فقط لأن الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة. وقد طوّرت نماذج تصف سلوك الضوء؛ اعتمادًا على هذه المعلومة المتعلقة بكيفية انتقال الضوء.

الأهداف

- **تطوّر** نموذج الشعاع الضوئي.
- **تتوقع** تأثير البعد في الاستضاءة.
- **تحل** مسائل تتضمن سرعة الضوء.

المفردات

نموذج الشعاع الضوئي
المصدر المضيء
المصدر المستضيء (المُضَاء)
الوسط غير الشفّاف (المعتم)
الوسط الشفّاف
الوسط شبه الشفّاف
التدفق الضوئي
الاستضاءة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 1–4** الشعاع الضوئي عبارة عن خط مستقيم يمثل المسار الخطي لحزمة ضيقة من الضوء (a). ويمكن أن يغيّر الشعاع الضوئي اتجاهه إذا انعكس (b) أو انكسر (c).

نموذج الشعاع الضوئي Ray Model of Light

اعتقد العالم إسحق نيوتن ـ الذي درست قوانينه في الحركة سابقًا ـ أن الضوء سيل من جسيمات متناهية في الصغر لا يمكن تخيلها، تتحرك بسرعة كبيرة جدًّا، أطلق عليها اسم جسيمات. ولم يستطع نموذج نيوتن تفسير خصائص الضوء جميعها؛ إذ بيّنت التجارب أن الضوء يسلك أيضًا سلوك الموجات. وفي **نموذج الشعاع الضوئي** يُمثَّل الضوء على شكل شعاع ينتقل في خط مستقيم ويتغير اتجاهه فقط إذا اعترض مساره حاجزٌ، كما يتضح من **الشكل 1–4**. لقد قُدّم نموذج الشعاع الضوئي بوصفه طريقة لدراسة كيفية تفاعل الضوء مع المادة، بغض النظر عما إذا كان الضوء جسيمًا أو موجة. وتسمى دراسة الضوء بهذه الطريقة البصريات أو البصريات الهندسية.

مصادر الضوء تنبعث أشعة الضوء من مصادرها، وتُعد الشمس المصدر الرئيس للضوء. وهناك مصادر طبيعية أخرى للضوء، منها اللهب والشرر، وبعض أنواع الحشرات مثل اليراع. وتمكّن الإنسان خلال المئة سنة الماضية من إيجاد أنواع أخرى من مصادر الضوء، منها المصابيح المتوهّجة، والفلورسنتية، وأشعة الليزر، والصمامات الثنائية الباعثة للضوء، وجميعها ناتجة عن استخدام الإنسان للكهرباء لينتج الضوء.

دلالة الألوان

الأشعة الضوئية باللون **الأحمر**.

ما الفرق بين ضوء الشمس وضوء القمر؟ ضوء الشمس أكثر سطوعًا من الضوء الذي يصلنا من القمر، وهناك فرق آخر أساسي ومهم بينهما، وهو أن الشمس **مصدر مضيء**؛ أيْ أنها جسم يبعث ضوءًا من ذاته، أمّا القمر فيُعدّ **مصدرًا مستضيئًا (مُضاءً)**؛ أيْ أنه جسم يصبح مرئيًّا نتيجة انعكاس الضوء عنه، كما يتضح من **الشكل 2–4**. فالمصابيح المتوهجة ـ ومنها المصابيح الكهربائية الشائعة الاستخدام ـ مضيئة؛ لأن الطاقة الكهربائية تُسخِّن سلك التنجستن الرفيع الموجود في المصباح، مما يؤدي إلى توهّجه. وتبعث المصابيح المتوهجة الضوء نتيجة درجة حرارتها العالية. ويعمل العاكس المثبت على الدراجة الهوائية عمل مصدر مستضيء؛ حيث صُمّم ليصبح مرئيًّا بشدة عندما يُضاء بوساطة أضواء السيارة الأمامية.

■ **الشكل 2–4** تعمل الشمس عمل مصدر مضيء للأرض والقمر، ويعمل القمر عمل مصدر مُضاء يضيء الأرض. (الرسم التوضيحي ليس بمقياس رسم)

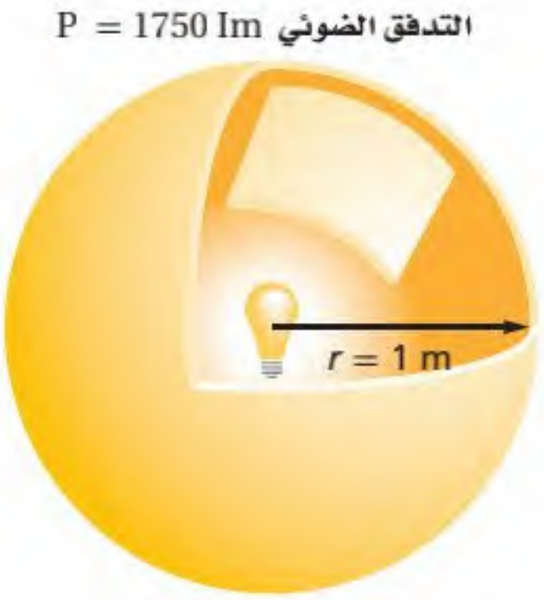
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 3–4** يسمح الزجاج الشفاف للأجسام أن تُرى من خلاله **(a)**. ويسمح غطاء المصباح شبه الشفاف للضوء بالمرور من خلاله، على الرغم من أن المصباح (مصدر الضوء) نفسه غير مرئي **(b)**. والقماش البلاستيكي غير الشفاف (المعتم) الذي يغطي المصباح يَحُول دون رؤيته **(c)**.

تكون المصادر المستضيئة مرئية بالنسبة لك؛ لأن الضوء ينعكس عن الجسم أو ينفذ من خلاله ليصل إلى عينيك. ويُسمّى الوسط الذي لا يمر الضوء من خلاله ويعكس بعض الضوء **وسطًا غير شفاف** (أي معتمًا)، في حين يُسمّى الوسط الذي يمر الضوء من خلاله مثل الهواء والزجاج **وسطًا شفّافًا**. أما الوسط الذي يمر الضوء من خلاله ولا يسمح للأجسام أن تُرى بوضوح فيُسمّى **وسطًا شبه شفّاف**، فمظلة المصباح مثال على الأجسام المصنوعة من أوساط شبه شفافة. ويبين **الشكل 3–4** أنواع الأوساط الثلاثة. إن الأوساط الشفافة أو شبه الشفافة لا تمرّر الضوء فقط، بل يمكنها أن تعكس جزءًا منه أيضًا؛ فمثلاً تستطيع رؤية صورة جسمك على نافذة الزجاج أحيانًا.

كمية الضوء إن معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر المضيء يُسمّى **التدفق الضوئي** P، ويُقاس التدفق الضوئي بوحدة لومن (lm)، فالمصباح الكهربائي المتوهج الذي قدرته 100 W يصدر 1750 lm تقريبًا. وتستطيع أن تفكّر في التدفق الضوئي بوصفه مقياسًا لمعدل انبعاث الأشعة الضوئية من المصدر المضيء. تخيّل أنك وضعت مصباحًا كهربائيًّا في مركز كرة نصف قطرها 1 m، كما في **الشكل 4–4**، سيبعث المصباح الضوء في الاتجاهات جميعها تقريبًا؛ أي أن تدفقًا ضوئيًّا بمقدار 1750 lm يصف الضوء جميعه الذي يصطدم بالسطح الداخلي للكرة خلال وحدة الزمن. وحتى لو كان نصف قطر الكرة 2 m فإن التدفق الضوئي للمصباح الكهربائي على هذه الكرة سيساوي التدفق الضوئي نفسه على الكرة التي نصف قطرها 1 m؛ وذلك لأن العدد الكلي للأشعة الضوئية الصادرة عن المصباح لا يتغير.

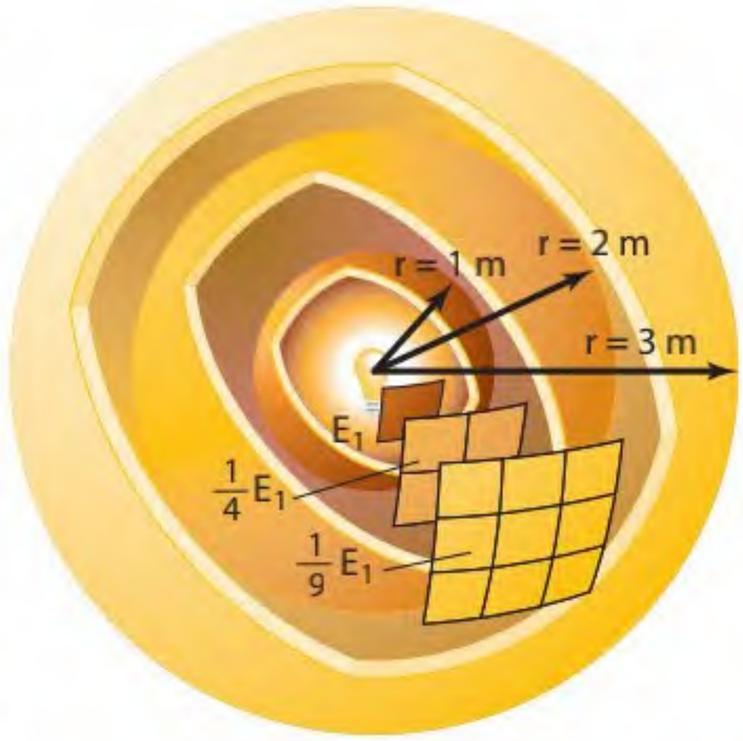
■ **الشكل 4–4** التدفق الضوئي يساوي معدل انبعاث الضوء من المصدر المضيء. في حين تساوي الاستضاءة معدل سقوط الضوء على السطح.



وبمعرفة كمية الضوء المنبعثة من المصدر المضيء يمكنك تحديد مقدار الإضاءة التي يزودها المصدر المضيء لجسم، كالكتاب مثلًا. إن إضاءة سطح، أو بمعنى آخر معدل اصطدام الضوء بوحدة المساحات للسطح يُسمّى **الاستضاءة** E. ويمكنك أن تفكّر في هذا الأمر بوصفه مقياسًا لعدد الأشعة الضوئية التي تصطدم بسطح ما. وتُقاس الاستضاءة بوحدة اللوكس lx التي تساوي لومن لكل متر مربع، lm/m^2.

ما مقدار استضاءة السطح الداخلي للكرة، مستعينًا بالتركيب الموضح في **الشكل 4–4**؟ تُحسب المساحة السطحية للكرة من خلال المعادلة $4\pi r^2$، لذا تكون المساحة السطحية لهذه الكرة $4\pi (1.00\ m)^2 = 4\pi\ m^2$. والتدفق الضوئي الذي يصطدم بكل متر مربع من الكرة يساوي $1750\ lm / (4\pi\ m^2) = 139\ lx$؛ أي يسقط على بعد 1.00 m من المصباح 139 lm على كل متر مربع، لذا تكون استضاءة السطح الداخلي للكرة 139 lx.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



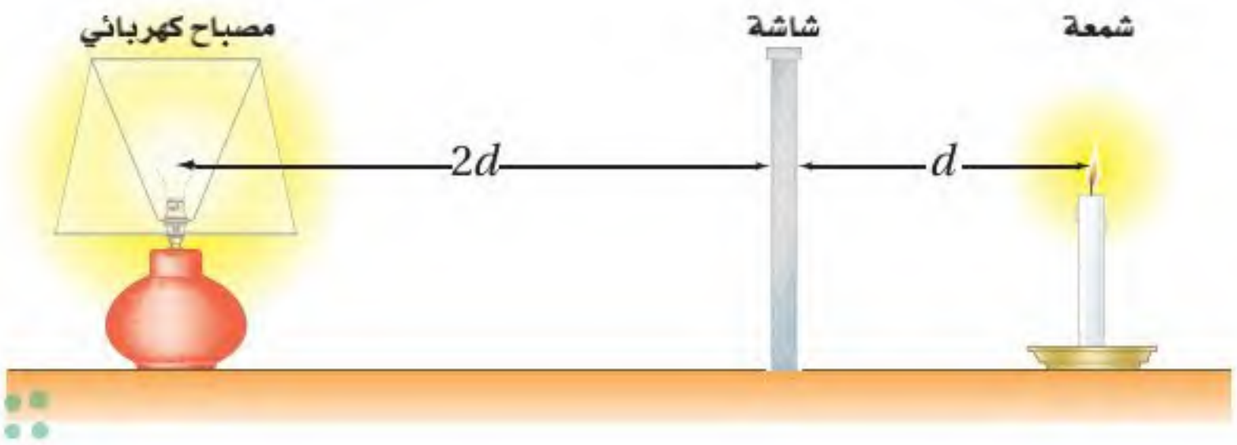
■ **الشكل 5–4** تتغير الاستضاءة E الناتجة عن مصدر ضوء نقطي عكسيًا مع مربع البعد عنه.

علاقة التربيع العكسي ماذا يحدث إذا أصبحت الكرة المحيطة بالمصباح الكهربائي أكبر؟ إذا كان نصف قطر الكرة 2.00 m سيبقى التدفق الضوئي الكلي 1750 lm، في حين تصبح مساحة سطح الكرة $4\pi(2.00\ m)^2 = 16.0\pi\ m^2$؛ أيْ أكبر أربع مرات من مساحة سطح كرة نصف قطرها 1.00 m، كما يتضح من **الشكل 5–4**. وتكون الاستضاءة داخل الكرة التي نصف قطرها 2.00 m مساويةً $1750\ lm/(16.0\pi\ m^2) = 34.8\ lx$، لذا يسقط 34.8 lm على كل متر مربع.

إن الاستضاءة على السطح الداخلي للكرة التي نصف قطرها 2.00 m تساوي ربع الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1.00 m، وبالطريقة نفسها تجد أن الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 3.00 m تساوي $(1/3)^2$، أو 1/9، من الاستضاءة على السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1.00 m. ويوضح **الشكل 5–4** أن الاستضاءة الناتجة بفعل مصدر ضوء نقطي تتناسب طرديًّا مع $1/r^2$، وتُسمى علاقة التربيع العكسي؛ أي أنه عندما تنتشر أشعة الضوء من مصدر نقطي في خطوط مستقيمة وفي الاتجاهات جميعها فإن عدد أشعة الضوء المتاحة لإضاءة وحدة المساحة تتناقص مع زيادة مربع البعد عن مصدر الضوء النقطي.

شدة الإضاءة تُحدّد بعض المصادر المضيئة بوحدة الشمعة cd، والشمعة ليست مقياسًا للتدفق الضوئي؛ إنما هي مقياس لشدة الإضاءة. وشدة الإضاءة لمصدر ضوء نقطي تساوي التدفق الضوئي الذي يسقط على مساحة مقدارها $1\ m^2$ من مساحة السطح الداخلي لكرة نصف قطرها 1 m، ولذا فإن شدة الإضاءة تساوي التدفق الضوئي مقسومًا على 4π ويرمز لها بالرمز I_v. والمصباح الكهربائي الذي تدفقه الضوئي يساوي 1750 lm تكون شدة إضاءته مساوية للمقدار الآتي: $1750\ lm / 4\pi = 139\ cd$.

في **الشكل 6–4**، بُعد المصباح الكهربائي عن الشاشة يساوي ضعف بُعد الشمعة عنها. ولكي يولّد المصباح الكهربائي على الجانب المقابل له من الشاشة الاستضاءةَ نفسها التي تولّدها الشمعة على الجانب المقابل لها من الشاشة يجب أن يكون سطوع المصباح الكهربائي أكبر أربع مرات من سطوع الشمعة. لذا ينبغي أن تعادل شدة إضاءة المصباح الكهربائي أربعة أضعاف شدة إضاءة الشمعة.



■ **الشكل 6–4** الاستضاءة متساوية على جانبي الشاشة، مع أنّ المصباح الكهربائي أكثر سطوعًا من الشمعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إضاءة السطوح Illumination of Surfaces

كيــف تتمكن من زيادة الاســتضاءة على ســطح مكتبك؟ يمكن أن تســتخدم مصباحًا كهربائيًّا أكثر ســطوعًا يؤدي إلى زيادة التدفق الضوئــي، أو أن تحرك المصدر الضوئي إلى موقع أقرب لســطح مكتبك؛ أي أنّك تقلّل المســافة بين المصدر الضوئي والسطح الذي يُضيئه. ولتبسيط المســألة يمكنك اعتبار المصدر الضوئي مصدرًا ضوئيًّا نقطيًّا، ولذا فإن كلًّا من الاستضاءة والمسافة سيتبعان علاقة التربيع العكسي. ويمكنك أيضًا تبسيط المسألة أكثر إذا اعتبرت أن الضوء المنبعث من المصدر يسقط عموديًّا على سطح المكتب. وبعد هذا التبســيط يمكنك التعبير عن الاســتضاءة الناتجة عن مصدر ضوء نقطي بالمعادلة الآتية:

الاستضاءة بفعل مصدر نقطي $E = \frac{P}{4\pi r^2}$

إذا أُضيء جسم بواسطة مصدر ضوئي نقطي فإن الاستضاءة على الجسم تساوي التدفق الضوئي للمصدر الضوئي مقسومًا على المساحة السطحية لكرة نصف قطرها يساوي بُعد الجسم عن المصدر الضوئي.

ينتــشر التدفق الضوئي لمصدر الضوء بصورة كرويــة في الاتجاهات جميعها، لذا فإن جزءًا فقط من التدفق الضوئي يكون متاحًا لإضاءة سطح المكتب. ويكون استخدام هذه المعادلة صحيحًا، فقط إذا كان الضوء المنبعث من المصدر المضيء يسقط عموديًّا على السطح الذي يضيئه. كما أن اســتخدام هذه المعادلة يكون صحيحًا فقط للمصــادر المضيئة التي تكون صغيرة، أو بعيدة بصــورة كافية حتى يمكن اعتبارها مصادر نقطيــة. لذا فإن المعادلة لا تعطي قيمًا دقيقة للاســتضاءة الناتجة بفعل المصابيح الكهربائية الفلورســنتية الطويلة، أو المصابيح الكهربائية المتوهجة التي تكون قريبة من السطح الذي تضيئه.

الرياضيات في الفيزياء

العلاقات الطردية والعكســية تخضع الاســتضاءة المتولّدة بواسطة مصدر ضوئي إلى علاقة طردية وعلاقة عكسية.

الرياضيات	الفيزياء
$y = \frac{x}{az^2}$	$E = \frac{P}{4\pi r^2}$
إذا كانت z ثابتة فإن y تتناســب طرديًّا مع x. • عندما تزداد x تزداد y. • عندما تقل x تقل y.	إذا كانت r ثابتة فإن E تتناســب طرديًّا مع P. • عندما تزداد P تزداد E. • عندما تقل P تقل E.
إذا كانت x ثابتة فإن y تتناسب عكسيًّا مع z^2. • كلما ازدادت z^2 قلّت y. • كلما قلّت z^2 ازدادت y.	إذا كانت P ثابتة فإن E تتناسب عكسيًّا مع r^2. • كلما ازدادت r^2 قلّت E. • كلما قلّت r^2 ازدادت E.

تطبيق الفيزياء

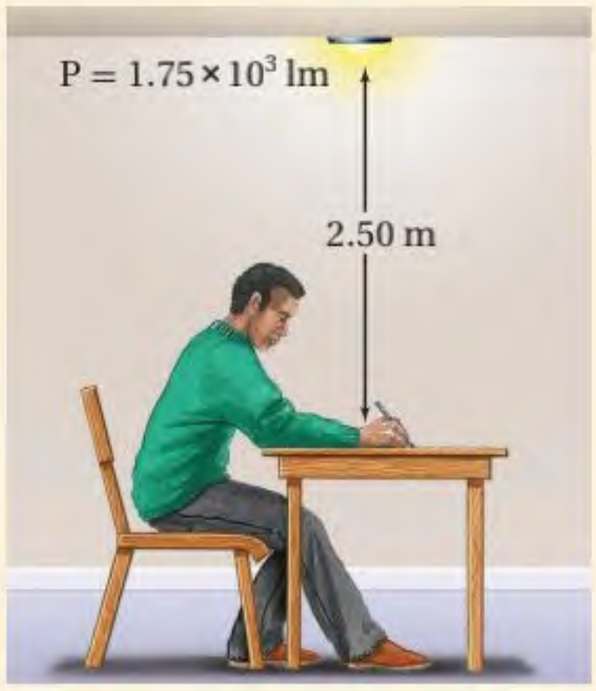
العقول المستنيرة

عند اتخاذ القرارات في كيفية تحقيق الاستضاءة الصحيحة على سطوح مقاعد الطلاب، يتعيّن على المهندسين المعماريين أن يأخذوا بعين الاعتبار التدفق الضوئي للضوء، وبُعد المصادر الضوئية عن سطوح المقاعد، كما تُعدّ كفاءة المصادر الضوئية عاملاً اقتصاديًّا مهمًّا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 1

استضاءة سطح ما الاستضاءة الواقعة على سطح المكتب في الصورة المجاورة إذا أُضيء بمصباح كهربائي تدفقه الضوئي 1750 lm، علمًا بأنه موضوع على بُعد 2.50 m فوق سطح المكتب؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- افترض أن المصباح الكهربائي مصدر نقطي.
- ارسم موقع المصباح والمكتب، وعيّن r ،P.

المعلوم	المجهول
$P = 1.75 \times 10^3\ lm$	$E = ?$
$r = 2.50\ m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

بما أن السطح متعامد مع اتجاه انتقال الشعاع الضوئي، لذا يمكنك أن تطبق معادلة الاستضاءة بفعل المصدر النقطي.

عوّض مستخدمًا $P = 1.75 \times 10^3\ lm$,$r = 2.50\ m$

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$
$$= \frac{1.75 \times 10^3\ lm}{4\pi\,(2.50\ m)^2}$$
$$= 22.3\ lm/m^2 \quad = 22.3\ lx$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن وحدات الاستضاءة $lx = lm/m^2$ تتفق مع الإجابة.
- **هل للإشارات معنى؟** المقادير كلها موجبة، كما يجب أن تكون.
- **هل الجواب منطقي؟** إن الاستضاءة أقل من التدفق الضوئي، والتي ينبغي أن تكون عند هذه المسافة.

مسائل تدريبية

1. تحرّك مصباح فوق صفحات كتاب من مسافة 30 cm إلى 90 cm. قارن بين استضاءة الكتاب قبل الحركة وبعدها.
2. ارسم المنحنى البياني للاستضاءة المتولّدة بواسطة مصباح ضوئي متوهج قدرته 150 W بين 0.50 m و5.0 m.
3. مصدر ضوئي نقطي شدّة إضاءته 64 cd يقع على ارتفاع 3.0 m فوق سطح مكتب. ما الاستضاءة على سطح المكتب بوحدة لوكس (lx)؟
4. يتطلب قانون المدارس الحكومية أن تكون الاستضاءة الصغرى 160 lx على سطح كل مقعد. وتقتضي المواصفات التي يوصي بها المهندسون المعماريون أن تكون المصابيح الكهربائية على بعد 2.0 m فوق المقاعد. ما مقدار أقل تدفق ضوئي تولده المصابيح الكهربائية؟
5. وضعت شاشة بين مصباحين كهربائيين يُضيئانها بالتساوي، كما في **الشكل 7-4**. فإذا كان التدفق الضوئي للمصباح الأول 1445 lm عندما كان يبعد مسافة 2.5 m عن الشاشة فما بُعد المصباح الثاني عن الشاشة إذا كان تدفقه الضوئي 2375 lm؟

الشكل 7-4

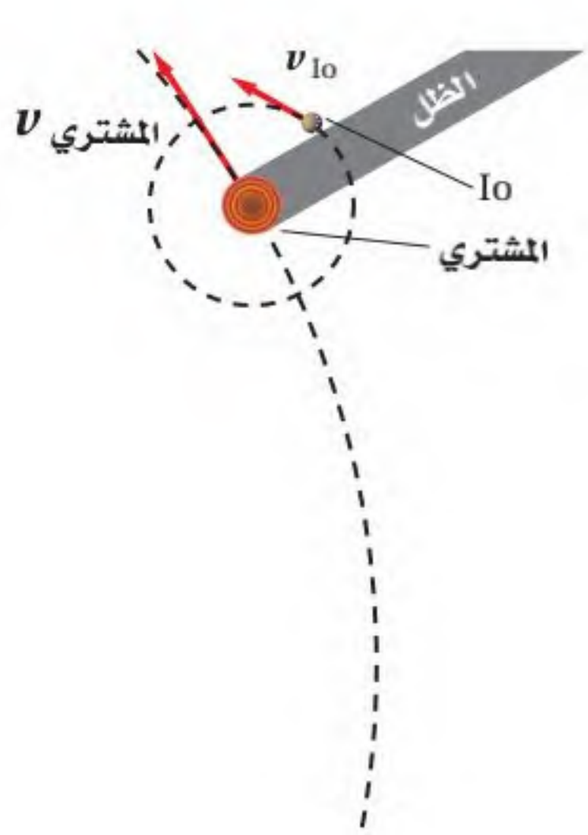
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

يتعين على مصمّمي أنظمة الإنارة معرفة كيف يستخدم الضوء. فإذا كان المطلوب هو الحصول على إضاءة منتظمة لتجنب المساحات المظلمة فإن التصميم المناسب هو توزيع مصادر الإضاءة على المساحة المطلوب إنارتها بحيث تكون المسافات بينها متساوية، كما هو معمول به في إنارة غرفة الصف. ولأن بعض مصادر الإضاءة لا تولّد فعليًّا ضوءًا موزعًا بالتساوي فإن المهندسين يصمّمون مصادر ضوئية خاصة؛ وذلك للتحكم في توزيع الإضاءة وانتشارها؛ فمثلاً يُنفّذون أنظمة إنارة موزعة بانتظام على مساحات كبيرة. وقد بُذلت جهود كبيرة في هذا المجال، وخصوصًا للمصابيح الأمامية في السيارات.

سرعة الضوء The Speed of Light

يتطلب انتقال الضوء من المصدر إلى الجسم المراد إضاءته أن يقطع الضوء مسافة معينة. فإذا استطعت قياس هذه المسافة والزمن الذي يستغرقه الضوء لقطعها فإنه يمكنك قياس السرعة، وذلك اعتمادًا على الميكانيكا الكلاسيكية. كان معظم الناس قبل القرن السابع عشر يعتقدون أن الضوء ينتقل لحظيًّا، وكان العالم جاليليو أول من افترض أن للضوء سرعة محدّدة، فاقترح طريقة لقياس سرعته مستخدمًا مفهومي المسافة والزمن. وعلى الرغم من أن طريقته كانت غير دقيقة بالقدر الكافي إلاّ أنه استنتج أن سرعة الضوء كبيرة جدًّا، مما يحول دون قياسها عبر مسافة عدة كيلومترات.

كان الفلكي الدنماركي أولي رومر أول من أكّد أن الضوء ينتقل بسرعة يمكن قياسها. حيث أجرى رومر 70 قياسًا بين عامي 1668 و 1674، حول الزمن الدوري للقمر Io، أحد أقمار كوكب المشتري، والذي يساوي 1.8 day. فرصد الأزمنة عندما كان القمر Io يخرج من منطقة ظل المشتري كما في **الشكل 8–4**. وقد أجرى قياساته بوصفها جزءًا من مشروع كان يهدف إلى تحسين الخرائط، وذلك بحساب خطوط الطول لبعض المواقع على سطح الأرض. وكان هذا مثالاً مبكرًا على أهمية التقنية المتطورة في دفع عجلة التقدم العلمي.



■ **الشكل 8–4** قاس رومر الفترة الزمنية بين خسوفين من اللحظة التي يبزغ فيها القمر Io من منطقة ظل المشتري. وخلال عدد من خسوفات القمر المتعاقبة وجد أن الزمن الدوري يصبح أكبر أو أصغر بصورة متزايدة اعتمادًا على حركة الأرض فيما إذا كانت مقتربة (من الموقع 3 إلى الموقع 1) أو مبتعدة (من الموقع 1 إلى الموقع 3) من المشتري. (التوضيح ليس بمقياس رسم)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

استطاع رومر بعد إجراء بعض القياسات أن يتوقع وقت حدوث خسوف القمر Io ، وقارن توقعاته بالأزمنة المقيسة فعليًّا، وتوصل إلى أن زمن دوران القمر Io يزداد بمعدل 13 s لكل دورة تقريبًا عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن المشتري، ويقل بمعدل 13 s لكل دورة عندما تتحرك الأرض مقتربة من المشتري. واعتقد رومر أن أقمار كوكب المشتري منتظمة الحركة في مداراتها كقمر الأرض تمامًا، لذا أخذ يبحث عن السبب الذي يؤدي إلى هذا الفرق في قياسات الزمن الدوري للقمر Io.

قياسات سرعة الضوء استنتج العالم رومر أنه عندما تتحرك الأرض مبتعدة عن كوكب المشتري فإن الضوء القادم عند كل ظهور للقمر Io يستغرق وقتًا أطول حتى يصل إلى الأرض؛ وذلك لازدياد البعد بين المشتري والأرض، وبطريقة مماثلة عندما تقترب الأرض من المشتري فإن الزمن الدوري للقمر Io يبدو متناقصًا. وقد لاحظ رومر أنه خلال 182.5 يومًا، وهو الزمن الذي يتطلبه انتقال الأرض من الموقع 1 إلى الموقع3، كما في **الشكل 8–4**، حدث 103 خسوفات Io ، وذلك وفقًا للحساب الآتي:

$$(185.2 \text{ days})(\text{Io خسوف واحد للقمر } / 1.8 \text{ days}) = 103$$

وقد أجرى رومر حسابات متعلقة بانتقال الضوء مسافة تعادل قطر مدار الأرض، فوجد أنه يحتاج إلى:

$$(103 \text{ خسوفات})\ (\text{خسوف}/13 \text{ s}) = 22 \text{ min}$$ أو $1.3 \times 10^3 \text{ s}$

وباستخدام القيمة المعروفة حاليًّا لقطر مدار الأرض $(2.9 \times 10^{11} \text{ m})$ فإن قيمة رومر 22 min تعطي سرعة الضوء الآتية:

$$(2.9 \times 10^{11} \text{ m}) / ((22 \text{ min})\ (60 \text{ s/min})) = 2.2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

وعرفتْ سرعة الضوء في الوقت الحاضر بأنها تساوي $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ تقريبًا، ولذلك يحتاج الضوء إلى 16.5 min، وليس إلى 22 min، ليقطع مسافة تعادل قطر مدار الأرض. وتكمن أهمية التجربة في أنّ رومر استطاع بنجاح إثبات انتقال الضوء بسرعة محدّدة.

على الرغم من أن الكثير من القياسات أُجريت لتحديد سرعة الضوء، إلا أن أبرزها تلك التي أجراها الفيزيائي الأمريكي ألبرت ميكلسون بين عامي 1880 و 1920، فقد طوّر تقنيات حديثة لقياس سرعة الضوء. وفي عام 1926 قاس مايكلسون الزمن الذي يحتاج إليه الضوء لقطع مسافة 35 km ذهابًا وإيابًا بين جبلين في كاليفورنيا، حيث استخدم مجموعة من المرايا الدوّارة لقياس مثل هذه الفترات الزمنية الصغيرة، وكانت أفضل نتيجة حصل عليها لسرعة الضوء $(2.997996 \pm 0.00004) \times 10^8 \text{ m/s}$. وبناءً على هذا الإنجاز، كان أول عالم أمريكي يحصل على جائزة نوبل في العلوم.

مُنح البروفيسور ساجيف جون جائزة الملك فيصل لعام ١٤٢١هـ/ ٢٠٠١م؛ وذلك لاقتراحه طريقة جديدة لمعالجة المعلومات ونقلها من مكان إلى آخر بوسائل ضوئية. وقد نجحت مجموعات عدّة من الفيزيائيين في مناطق مختلفة من العالم، في وضع آرائه موضوع التنفيذ. وإذا بلغت هذه المحاولات غاياتها فسيصبح من الممكن الاستغناء عن استعمال الإلكترونات في نقل الإشارات داخل أجهزة الحواسيب والاتصالات ليحل محلها الضوء، وسوف يؤدي ذلك إلى صنع أجهزة أسرع وأرخص وأكثر قدرة، فتتغيَّر بذلك صناعة الحواسيب والاتصالات تغيرًا جذريًّا.

المصدر: موقع جائزة الملك فيصل/ فرع العلوم

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إن قيمة سرعة الضوء في الفراغ مهمة جدًّا، ويرمز إليها بالرمز c. واعتمادًا على الطبيعة الموجية للضوء، والتي ستدرسها في الجزء القادم فإن اللجنة الدولية للأوزان والمقاييس قامت بقياس سرعة الضوء في الفراغ فكانت $c = 299{,}792{,}458\ m/s$. وتستخدم في كثير من الحسابات القيمة $c = 3.00 \times 10^8\ m/s$، إذ تكون دقيقة بصورة كافية. وبهذه السرعة ينتقل الضوء مسافة $9.46 \times 10^{12}\ km$ في السنة، حيث تسمى هذه المسافة السنةَ الضوئية.

1–4 مراجعة

6. **الاستضاءة** هل يولد مصباح كهربائي واحد استضاءة أكبر من مصباحين مماثلين يقعان على ضعف بُعد مسافة المصباح الأول؟ وضّح إجابتك.
7. **المسافة التي يقطعها الضوء** يمكن إيجاد بُعد القمر باستخدام مجموعة من المرايا وضعها روّاد الفضاء على سطح القمر. فإذا تم إرسال نبضة ضوء إلى القمر وعادت إلى الأرض خلال 2.562 s، فاحسب المسافة بين الأرض وسطح القمر، مستخدمًا القيمة المقيسة لسرعة الضوء.
8. **شدة الإضاءة** يضيء مصباحان شاشة بالتساوي بحيث يقع المصباح A على بعد 5.0 m، ويقع المصباح B على بعد 3.0 m، فإذا كانت شدة إضاءة المصباح A 75 cd، فما شدة إضاءة المصباح B؟
9. **بُعد المصدر الضوئي** افترض أن مصباحًا كهربائيًّا يضيء سطح مكتبك ويولّد فقط نصف الاستضاءة المطلوبة. فإذا كان المصباح يبعد حاليًّا مسافة 1.0 m فكم ينبغي أن يكون بعده ليولّد الاستضاءة المطلوبة؟
10. **التفكير الناقد** استخدم الزمن الصحيح الذي يحتاج إليه الضوء لقطع مسافة تعادل قطر مدار الأرض والذي يساوي 16.5 min، وقطر مدار الأرض $2.98 \times 10^{11}\ m$، وذلك لحساب سرعة الضوء باستخدام طريقة رومر. هل تبدو هذه الطريقة دقيقة؟ لماذا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4–2 الطبيعة الموجية للضوء The Wave Nature of Light

الأهداف

- **تصف** كيف يثبت الحيود عمليًّا أن الضوء عبارة عن موجات.
- **تتوقع** تأثير ألوان الضوء المتراكبة والأصباغ الممزوجة.
- **توضّح** ظاهرتي الاستقطاب وتأثير دوبلر.

المفردات

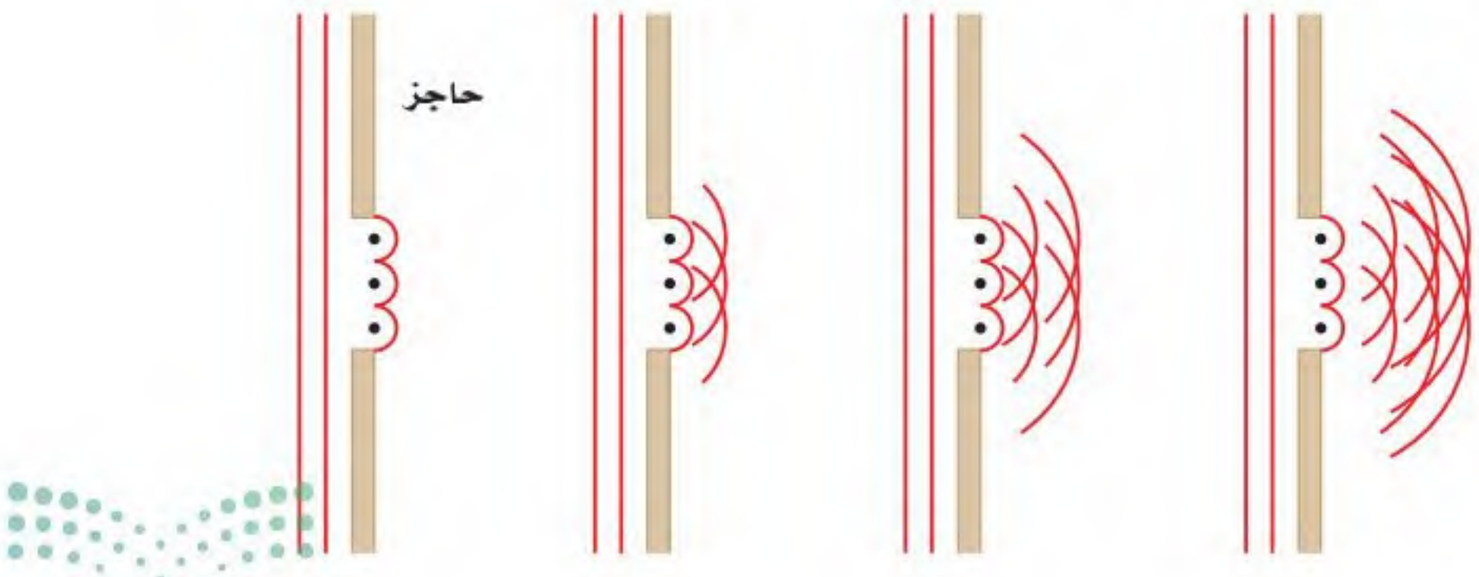
الحيود
اللون الأساسي
اللون الثانوي
اللون المتمِّم
الصبغة الأساسية
الصبغة الثانوية
الاستقطاب
قانون مالوس
إزاحة دوبلر

درست أن الضوء مكوّن من موجات، ولكن ما الأدلة على صحة ذلك؟ افترض أنك تسير في اتجاه غرفة الصف وباب الغرفة مفتوح، فستسمع بالتأكيد صوت المعلم أو الطلاب وأنت تتحرك في اتجاه باب الغرفة قبل أن تراهم من خلال الباب؛ وذلك لأن الصوت يصل إليك بانحرافه حول حافة الباب، في حين يسير الضوء الذي يجعلك ترى أيًّا منهم في خطوط مستقيمة فقط. فإذا كان الضوء مكوّنًا من موجات فلماذا لا يسلك الطريقة نفسها التي يسلكها الصوت؟ يسلك الضوء في الواقع سلوك الصوت نفسه إلا أن تأثيره يكون أقل وضوحًا مقارنة بالصوت.

الحيود والنموذج الموجي للضوء
Diffraction and the Wave Model of Light

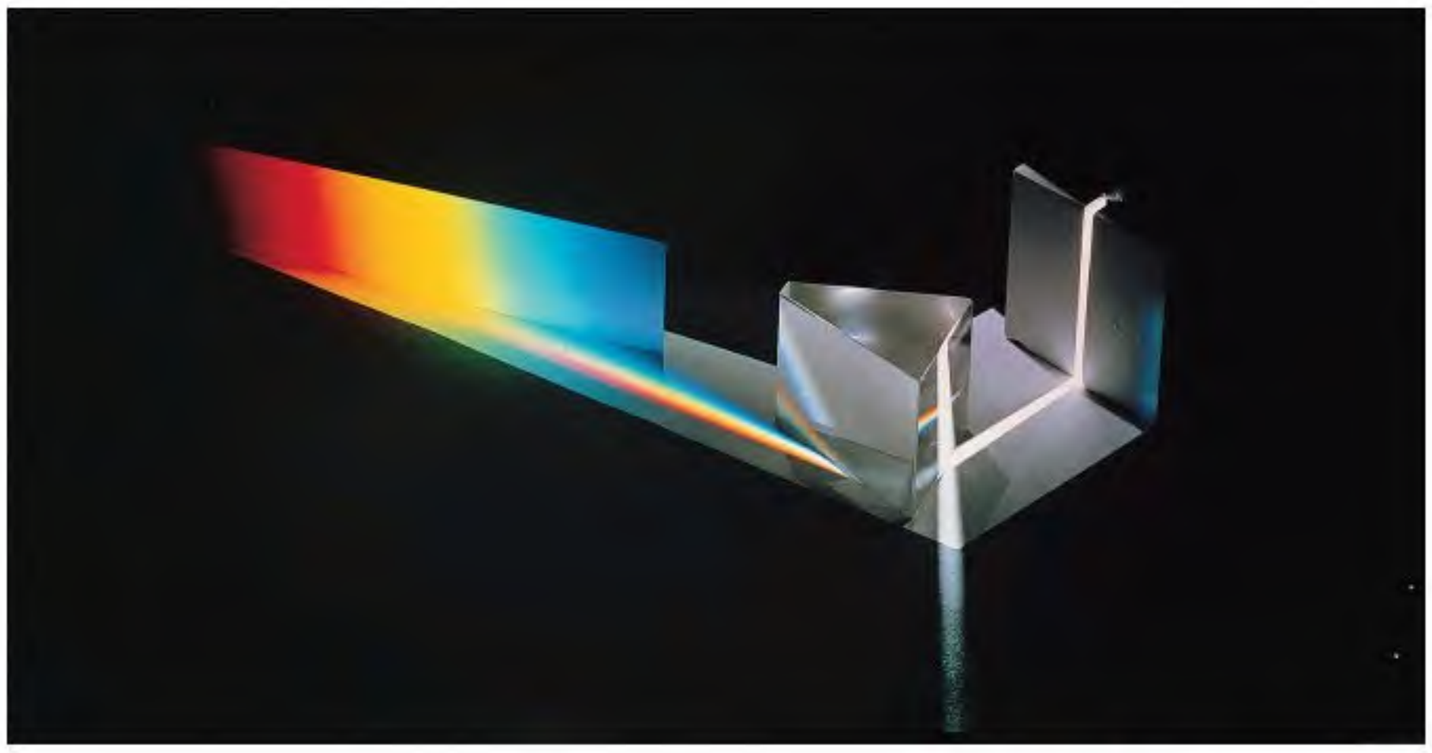
لاحظ العالم الإيطالي فرانسيسكو ماري جريمالدي في عام 1665 أن حواف الظلال ليست حادة تمامًا. فقد أدخل حزمة ضيّقة من الضوء إلى داخل غرفة مظلمة، وأمسك بعصا أمام الضوء حيث أسقط الظل على سطح أبيض. فكان ظل العصا المتكون على السطح الأبيض أعرض من الظل الذي ينبغي أن يكون في حالة انتقال الضوء في خط مستقيم مرورًا بحواف العصا، ولاحظ جريمالدي أيضًا أن الظل مُحاط بحزم ملونة. وعرّف جريمالدي هذه الظاهرة **بالحيود** وهي انحناء الضوء حول الحواجز.

حاول العالم الدنماركي كريستيان هيجنز في عام 1678 برهنة النموذج الموجي؛ وذلك لتفسير ظاهرة الحيود. واعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار النقاط كلها على مقدمة الموجة الضوئية، وكأنها تمثل مصادر جديدة لموجات صغيرة. وتنتشر هذه الموجات الصغيرة (المويجات) في جميع الاتجاهات بعضها خلف بعض. وتتكون مقدمة الموجة المستوية من عدد غير محدود من المصادر النقطية في خط واحد، وعندما تعبر مقدمة الموجة حافة ما تقطعها الحافة، حيث تنتشر كل موجة دائرية تولدت بواسطة أي نقطة من نقاط هيجنز على شكل موجة دائرية في الحيز الذي انحنت عنده مقدمة الموجة الأصلية، كما في **الشكل 9–4** . وهذا هو الحيود.



الشكل 9–4 اعتمادًا على مبدأ هيجنز يمكن اعتبار قمة كل موجة سلسلةً من المصادر النقطية. وينشئ كل مصدر نقطي مويجة دائرية، وتتراكب المويجات لتكوين مقدمة موجة مستوية، ما عدا المناطق عند الحواف؛ حيث تتحرك المويجات الدائرية لنقاط هيجنز عندها بعيدًا عن مقدمة الموجة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 10–4 عندما يمر الضوء الأبيض خلال منشور فإنه يتحلّل إلى ألوان الطيف.**

الألوان Colors

حثّت نتائج العالم جريمالدي عام 1666 حول الحيود العالم نيوتن على إجراء تجارب على الألوان، وذلك عن طريق تمرير حزمة ضيقة من ضوء الشمس خلال منشور زجاجي، كما في **الشكل 10–4**، فلاحظ تكوّن ترتيب منظّم للألوان أطلق عليه نيوتن اسم الطيف. كما اعتقد نيوتن أن جسيمات الضوء تتفاعل بطريقة متفاوتة في الزجاج لتولّد الطيف؛ وذلك اعتمادًا على نموذجه الجسيمي للضوء.

ولاختبار هذا الافتراض سمح نيوتن للطيف النافذ من المنشور الأول بالسقوط على منشور آخر، فإذا تولّد الطيف نتيجة التفاوت في تفاعل الزجاج مع جسيمات الضوء فإن المنشور الثاني سيزيد من انتشار الألوان، وبدلاً من ذلك فقد عكس المنشور الثاني تحّلل الألوان وأعاد تراكبها لتكوّن اللون الأبيض. وبعد إجراء المزيد من التجارب، استنتج نيوتن أن اللون الأبيض مركّب من ألوان عدّة، وأن هناك خاصية أخرى للزجاج غير عدم انتظامه هي التي تؤدي إلى تحلّل الضوء إلى مجموعة من الألوان.

واعتمادًا على تجارب جريمالدي وهيجنز وغيرها، فإن للضوء خصائص موجية، ولكل لون من ألوان الضوء طول موجي محدّد. وتقع منطقة الضوء المرئي ضمن نطاق من الأطوال الموجية، يتراوح بين 400 nm و700 nm تقريبًا، كما في **الشكل 11–4**. وأكبر هذه الأطوال الموجية هو طول موجة الضوء الأحمر، وكلما تناقص الطول الموجي تحوّل اللون إلى البرتقالي فالأصفر فالأخضر فالأزرق النيلي وأخيرًا البنفسجي.

الشكل 11-4 يمتد الطيف الضوئي من الطول الموجي الكبير (اللون الأحمر) إلى الطول الموجي القصير (اللون البنفسجي).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 12–4** التراكيب المختلفة للضوء الأزرق والأخضر والأحمر يمكن أن تشكّل الضوء الأصفر، أو الأزرق الفاتح، أو الأرجواني، أو الأبيض.

عندمـا يعبر الضوء الأبيض الحـد الفاصل من الهواء إلى داخـل الزجاج ويعود مرة أخـرى إلى الهواء كما في **الشـكل 10–4**، فإن الطبيعة الموجية تؤدي إلى انحناء كل لون من ألوان الضوء، أو انكساره، بزاوية مختلفة. وهذا الانحناء غير المتسـاوي للألوان المختلفة يتسبب في تحلّل الضوء الأبيض على شـكل طيف. وهذا يعني أن الأطوال الموجية المختلفـة للضوء تتفاعل مع المادة بطرائق مختلفة يمكن التنبؤ بها.

اللون بواسطة مزج أشعة الضوء يتشكّل الضوء الأبيض من الضوء الملوّن بطرائق مختلفة. فمثلاً عندما يُسـلّط الضوء الأحمر والأخضر والأزرق بشـدة مناسبة على شاشـة بيضاء كما في **الشكل 12–4**، تظهر المنطقة التي تتداخل فيها هذه الألوان على الشاشة باللون الأبيض. أي أن هذه الألوان (الأحمر والأخضر والأزرق) تُشـكّل الضوء الأبيض عندما تتراكب، وتسـمى عملية جمع الألوان. وهي تسـتخدم في أنابيب الأشعة المهبطية في التلفاز، حيث تحتوي هذه الأنابيب على مصادر نقطية متناهية في الصغر لكل من الضوء الأحمر والأخضر والأزرق. وعندما يكون لكل لون من ألوان الضوء الثلاثة شـدة مناسـبة تظهر الشاشة باللون الأبيض. لذا فإن كلًّا من اللون الأحمر والأخضر والأزرق يُسـمى **لونًا أساسيًّا** أو أوليًّا. ويمكن مزج الألوان الأساسـية على شـكل أزواج لتشكيل ثلاثة ألوان إضافية كما يتضح من **الشكل 12–4**. فالضوء الأحمر والأخضر يشكّلان معًا الضوء الأصفر، في حين يشـكّل الضوء الأزرق والأخضر معًا الضوء الأزرق الفاتح، أما الضوء الأحمر والأزرق فيشكّلان معًا الضوء الأرجواني (الأحمر المزرق). ويُسمى كل من اللون الأصفر والأزرق الفاتح والأرجواني **لونًا ثانويًّا**؛ لأن كلًّا منها مركّب من لونين أساسيّين.

ويتضح من **الشكل 12–4**، أن الضوء الأصفر يتكون من الضوء الأحمر والضوء الأخضر، وإذا سُـلِّط اللّونان الأصفر والأزرق على شاشة بيضاء بشدة مناسبة يظهر سطح الشاشة باللون الأبيض. ويُسـمى اللونان الضوئيان اللذان يتراكبان معًـا لإنتاج اللون الأبيض **الألـوان المتتامة**. لـذا فإن اللون الأصفر لـون مُتمِّم للّـون الأزرق، والعكس صحيح؛ لأن اللونـين يتراكبان معًا لينتجـا اللون الأبيض. وبالطريقة نفسـها فإن الأزرق الفاتح والأحمر لونان متتامان، وكذلك الأرجواني والأخضر. لذا يمكن تبييض الملابس المصفرّة باستخدام عامل أزرق اللون يضاف إلى مسحوق الغسل.

اللـون بواسـطة اختـزال أشـعة الضوء يمكن للأجسـام أن تعكس الضـوء، وتمرّره، كما يمكنها امتصاصه. ولا يعتمد لون الجسـم فقط على الأطوال الموجية للضوء الذي يضيء

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجســـم، بل يعتمد أيضًا على الأطوال الموجية التي امتصها الجسم، وعلى الأطوال الموجية التي عكسها. إن وجود المواد الملوّنة بصورة طبيعية أو إضافتها اصطناعيًّا إلى المادة المكوّنة للجسم أو إضافة أصباغ إليه يكسبه لونًا خاصًّا.

إن المـــواد الملوّنة عبارة عن جزيئات لها القدرة على امتصاص أطوال موجية معينة للضوء، وتسمح لأطوال موجية أخرى بالنفاذ من خلالها أو تعكسها. وعندما يُمتص الضوء فإن طاقته تنتقل إلى الجسم الذي سقط عليه، وتتحول إلى أشكال أخرى من الطاقة. فالقميص الأحمر لونه أحمر لأن المواد الملوّنة فيه تعكس اللون الأحمر إلى أعيننا. فعندما يسقط الضوء الأبيض على الجسم الأحمر اللون الموضح في **الشـــكل 13–4** فإن جزيئات المواد الملوّنة في الجسم تمتص الضوء الأزرق والأخضر وتعكس الضوء الأحمر. أما عندما يسقط الضوء الأزرق فقط على جســـم لونه أحمر فإن مقدارًا يسيرًا من الضوء ينعكس ويظهر الجسم غالبًا أسودَ.

■ **الشـكل 13–4** تمتص المواد الملوّنة في حجر النرد أطوالاً موجية مختلفة بشكل انتقائي وتعكسها. حجر النرد مُضاء بالضوء الأبيض (a)، والضوء الأحمر (b)، والضوء الأزرق (c).

تجـربة

علاقة الألوان بدرجة الحرارة

يشير بعض الرسامين إلى اللونين الأحمر والبرتقالي على أنهما ألوان حارة، وإلى اللونين الأزرق والأخضر على أنهما ألوان باردة. فهل ترتبط الألوان فعليًا بدرجة الحرارة؟

1. احصل على منشور زجاجي من معلمك.
2. أحضر مصباحًا كهربائيًّا مزوّدًا بمفتاح تحكم في الشدة الضوئية، وأشعله وعتّم الغرفة، واضبط مفتاح التحكم عند أقل سطوع للمصباح.
3. زد مقدار سطوع المصباح ببطء. **تحذير:** يمكن أن يسخن المصباح ويؤدي إلى حروق في الجلد.
4. راقب لون الضوء الناتج عن المنشور، وكيف يرتبط اللون مع سخونة المصباح الكهربائي التي تشعر بها في يدك.

التحليل والاستنتاج

5. ما الألوان التي ظهرت أولاً عندما كان الضوء خافتًا؟
6. ما الألوان التي ظهرت عند أقصى إضاءة ممكنة؟
7. كيف ترتبط هذه الألوان مع درجة حرارة فتيلة المصباح؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 14–4** الألوان الأساسية للأصباغ هي الأحمر المزرق (الأرجواني)، والأزرق الفاتح والأصفر. وينتج عند مزج لونين من هذه الأصباغ معًا الألوان الثانوية للأصباغ، وهي: الأحمر والأخضر والأزرق.

الفـــرق بين المواد الملوّنة والصبغة هـــو أن الصبغة تكون مصنوعة من المعادن المســـحوقة وليســـت مســـتخلصةً من النباتات أو الحشرات، ويمكن رؤية جسيمات الصبغة بالمجهر. وتُســـمى الصبغة التي لها القدرة على امتصاص لون أساسي واحد على أن تعكس اللونين الآخرين من الضوء الأبيض **الصبغة الأساســية**. فالصبغة الصفراء تمتص الضوء الأزرق وتعكـــس الضوء الأحمـــر والضوء الأخضر، وتُعـــد الألوان: الأصفـــر والأزرق الفاتح والأرجواني ألوانًا أساسية للأصباغ. وتُسمى الصبغة التي تمتص لونين أساسيين وتعكس لونًا واحدًا **الصبغة الثانوية**. والألوان الثانوية للأصباغ هي: الأحمر (الذي يمتص الضوء الأخـــضر والضوء الأزرق)، والأخضر (الذي يمتص الضـــوء الأحمر والضوء الأزرق)، والأزرق (الـــذي يمتص الضوء الأحمر والضوء الأخضر). لاحظ أن الألوان الأساســـية للأصباغ هي الألوان الثانوية للضوء، والألوان الثانوية للأصباغ هي الألوان الأساســـية للضوء.

يوضح **الشـــكل 14–4** الألوان الأساســـية والثانوية للأصباغ، وعند مزج لوني الأصباغ الأساســـية الأصفر والأزرق الفاتح فإن الأصفر يمتص الضوء الأزرق، ويمتص الأزرق الفاتح الضوء الأحمر. ويوضح **الشـــكل 14–4** تراكب الأصفر والأزرق الفاتح لتكوين الصبغة الخضراء. وعند مزج الصبغة الصفراء بالصبغة الثانوية الزرقاء التي تمتص الضوء الأخضر والأحمر فإن الألوان الأساسية كلها تمتص، وينتج اللون الأسود. لذا فإن الصبغة الصفـــراء والصبغة الزرقاء صبغتـــان متتامتان، وكذلك صبغـــة الأزرق الفاتح والصبغة الحمراء أيضًا صبغتان متتامتان، والشيء نفســـه بالنســـبة لصبغة الأحمـــر المزرقّ والصبغة الخضراء.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 15–4** يمكن أن يظهر ضوء الشمس ضارباً إلى اللون الأصفر أو البرتقالي بسبب تشتّت الضوء البنفسجي والضوء الأزرق.

تستخدم الطابعة الملونة نقاطًا من صبغة الأصفر والأرجواني والأزرق الداكن لعمل صورة ملونة على الورقة. وتكون الأصباغ المستخدمة على الأغلب مركبات مطحونة بصورة دقيقة، مثل أكسيد التيتانيوم (IV) (أبيض)، وأكسيد الكروم (III) (أخضر)، وكبريتيد الكادميوم (أصفر). وتمزج الأصباغ لتكوّن المحاليل المعلّقة بدلاً من المحاليل الحقيقية، وتستمر هذه المركبات في امتصاص وعكس الأطوال الموجية نفسها؛ لأنها تحافظ على تركيبها الكيميائي في المزيج دون تغيير.

الربط مع الكيمياء

استخلاص النتائج من اللون تبدو النباتات خضراء بسبب صبغة الكلوروفيل فيها. حيث يمتص أحد أنواع الكلوروفيل الضوء الأحمر، ويمتص النوع الآخر اللون الأزرق، في حين يعكس كلاهما الضوء الأخضر. وتُستخدم طاقة الضوء الأحمر وطاقة الضوء الأزرق الممتصتين بواسطة النباتات في عملية البناء الضوئي؛ وهي العملية التي تصنع خلالها النباتات الخضراء غذاءها.

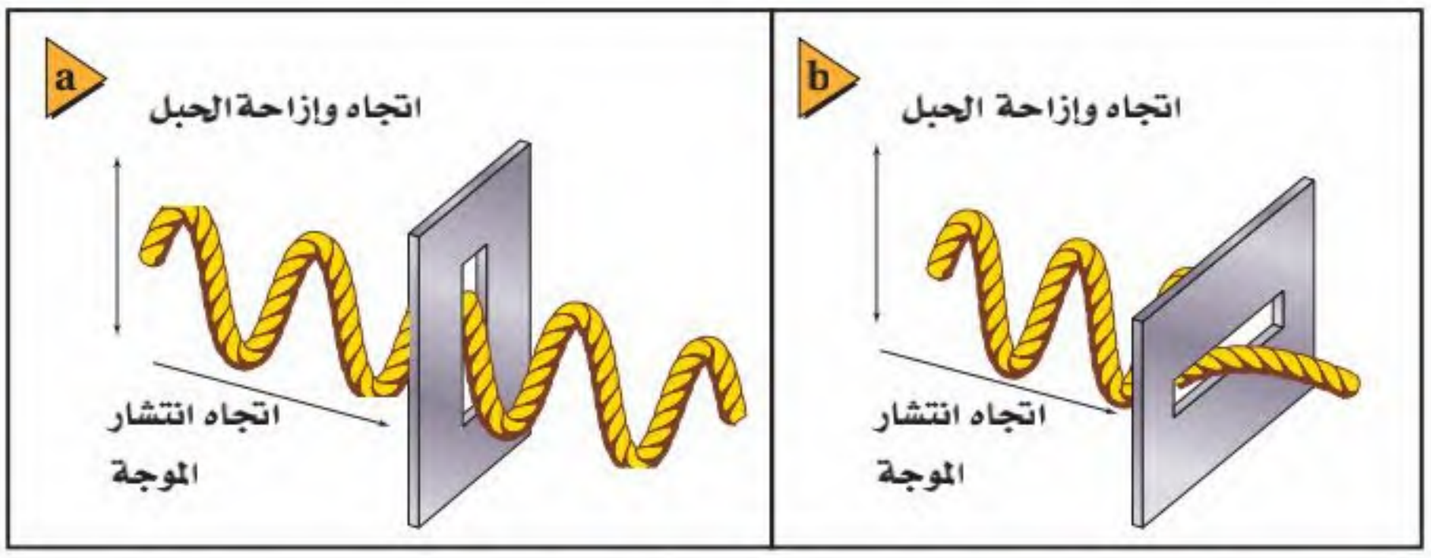
الربط مع الأحياء

وتبدو السماء مزرقّة؛ لأن جزيئات الهواء تُشتّت (انعكاسات متكرِّرة) موجات الضوء البنفسجي والضوء الأزرق بمقدار أكبر من الأطوال الموجية الأخرى للضوء. أما الضوء الأخضر والضوء الأحمر فلا يتشتّتان كثيرًا بواسطة الهواء، وهذا يفسر لماذا تبدو الشمس صفراء أو برتقالية، كما يتضح في **الشكل 15–4** . ويتشتّت الضوء البنفسجي والضوء الأزرق في الاتجاهات جميعها فيضيئان السماء بلون مائل إلى الزرقة بدرجات متفاوتة.

استقطاب الضوء Polarization of Light

هل سبق أن نظرت إلى الضوء المنعكس من خلال نظارات شمسية مستقطبة؟ ستلاحظ أنه عندما تُدير النظارات تبدو الطريق في البداية مظلمة، ثم مضيئة، ثم مظلمة مرة أخرى مع استمرار التدوير. أما عند تدوير النظارات في اتجاه ضوء منبعث من مصباح كهربائي فسيكون مقدار تغير الضوء ضئيلاً. فما سبب وجود هذا الفرق؟ إن ضوء المصباح العادي غير مستقطَب، في حين أن الضوء القادم من الطريق قد انعكس وأصبح مستقطبًا. **والاستقطاب** هو إنتاج ضوء يتذبذب في مستوى واحد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 16–4** في الحبل المستخدم نموذجًا لموجات الضوء، يكون الضوء عبارة عن موجة واحدة تنتقل وتتذبذب في المستوى الرأسي فقط، لذا فإنها تمر من خلال المستقطِب الرأسي (a). ولا تستطيع المرور من خلال المستقطِب الأفقي (b).

الاستقطاب بالترشيح (الفلترة) يمكن فهم الاستقطاب من خلال الحبل المستخدم كنموذج لموجات الضوء الموضح في **الشكل 16–4**، حيث تمثّل الموجة الميكانيكية المستعرضة في الحبل الموجات الضوئية المستعرضة، أما الشق فيمثل ما يعرف بمحور الاستقطاب لوسط الاستقطاب. فعندما تكون موجات الحبل موازية للشق تعبر من خلاله، أما عندما تكون الموجات متعامدة مع الشق فلا تعبر من خلاله، بل تُحجب. وتحتوي أوساط الاستقطاب جزيئات طويلة تتمكن من خلالها الإلكترونات من التذبذب، أو الحركة إلى الأمام وإلى الخلف، وجميعها في الاتجاه نفسه. فعندما ينتقل الضوء عابرًا الجزيئات تمتص الإلكترونات الموجات الضوئية التي تتذبذب في اتجاه تذبذب الإلكترونات نفسه. وتسمح هذه العملية للموجات الضوئية المتذبذبة في اتجاه معيّن بالعبور من خلالها، في حين تمتص الموجات المتذبذبة في الاتجاه الآخر. ويُسمى اتجاه وسط الاستقطاب المتعامد مع الجزيئات الطويلة محور الاستقطاب. والموجات التي تتمكن من العبور هي فقط تلك الموجات المتذبذبة بصورة موازية للمحور.

يحتوي الضوء العادي على موجات تتذبذب في كل اتجاه عموديّ على اتجاه انتقالها. فإذا وضع وسط الاستقطاب في طريق حزمة من الضوء العادي فإن مركّبات الموجات التي ستنفذ من خلاله هي فقط تلك المركّبات التي تكون في اتجاه محور الاستقطاب نفسه. وينفذ في المتوسط من خلال وسط الاستقطاب نصف اتساع الضوء الكلي، لذا تنخفض شدة الضوء بمقدار النصف. وينُتج وسط الاستقطاب ضوءًا مستقطبًا، ويُسمى مثل هذا الوسط مرشِّح (فلتر) الاستقطاب.

الاستقطاب بالانعكاس عندما تنظر من خلال مرشِّح استقطاب إلى الضوء المنعكس عن لوح زجاجيّ وتُدوّر المرشّح ستلاحظ أن الضوء يسطع ثم يخفت. وهذا يعني أنه حدث استقطاب جزئيّ للضوء في اتجاه سطح الزجاج عندما انعكس؛ أي أن الأشعة الضوئية المنعكسة تحتوي على كمية كبيرة من الضوء المتذبذب بشكل موازٍ لسطح الزجاج. واستقطاب الضوء المنعكس عن الطرق هو السبب في تقليل التوهج عند استخدام النظارات الشمسية المستقطبة. ونستدل من حقيقة تغيّر شدة الضوء المنعكس عن الطرق نتيجة تدوير النظارات الشمسية المستقطبة ـ على أن الضوء المنعكس مستقطب جزئيًّا. ويثبت مصوّرو الفوتوجراف مرشِّحات الاستقطاب على عدسات الكاميرا لحجب الضوء المنعكس، كما موضح في **الشكل 17–4**.

■ **الشكل 17–4** التقطت هذه الصورة لمتجر دون استخدام فلتر استقطاب؛ ويظهر فيها توهج الضوء على سطح النافذة (a). والتقطت الصورة للمشهد نفسه باستخدام فلتر استقطاب (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 18–4** عندما يتم ترتيب مرشّحي استقطاب بحيث يكون محورا استقطابهما متوازيين، تنفذ من خلالهما أكبر كمية من الضوء (a). ولن ينفذ الضوء من خلال مرشّحي الاستقطاب إذا تم ترتيبهما بحيث يكون محورًا استقطابهما متعامدين (b).

تحليل الاستقطاب افترض أنك حصلت على ضوء مستقطَب باستخدام مرشّح استقطاب، فماذا يحدث إذا وضعت مرشّح استقطاب آخر في مسار الضوء المُستقطَب؟ إذا كان محور الاستقطاب لمرشّح الاستقطاب الثاني موازيًا لمحور الاستقطاب لمرشّح الاستقطاب الأول فسينفذ الضوء من خلاله، كما في **الشكل 18a–4**. أما إذا كان محورا الاستقطاب لمرشّحي الاستقطاب متعامدين فلن ينفذ الضوء من خلال المرشح، كما يتضح من **الشكل 18b–4**.

ويُسمّى القانون الذي يوضح مدى انخفاض شدة الضوء عندما يعبر من خلال مرشّح استقطاب ثانٍ **قانون مالوس**. فإذا كانت شدة الضوء بعد مروره في مرشّح الاستقطاب الأول هي I_1 فإن مرشّح الاستقطاب الثاني، الذي يصنع محور استقطابه زاوية مقدارها θ مع محور استقطاب المرشّح الأول، سينتج ضوءًا شدته I_2، بحيث تكون أقل من I_1 أو تساويها.

قانون مالوس $I_2 = I_1 \cos^2 \theta$

إن شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشّحين.

تستطيع باستخدام قانون مالوس أن تُقارن بين شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني وشدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول، ومن ثَم تستطيع تحديد الزاوية المحصورة بين محوري استقطاب المرشّحين. ويُسمى مرشّح الاستقطاب الذي يستخدم قانون مالوس لتحقيق ما تقدم «المحلِّل». وتستخدم المحلِّلات لتحديد استقطاب الضوء المنبعث من أي مصدر ضوئي.

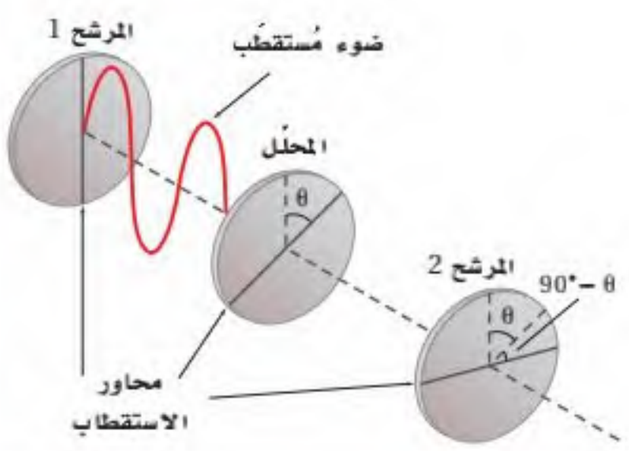
تجربة عملية

كيف يمكنك التقليل من الوهج؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

مسألة تحفيز

إذا وضعت مرشّحًا محلِّلًا بين مرشّحين متقاطعين (محورا استقطابهما متعامدان)، بحيث لا يوازي محور استقطابه أيًّا من محوري استقطاب المرشّحين المتقاطعين، كما هو موضح في الشكل المجاور.



1. فإنك تلاحظ أن قسمًا من الضوء يمر من خلال المرشح 2، على الرغم من أنه لم يكن هناك ضوء يمر من خلاله قبل إدخال المرشّح المحلِّل. فلمَ يحدث ذلك؟
2. إذا وضع المرشّح المحلّل بحيث يصنع محوره زاوية θ بالنسبة لمحور استقطاب المرشّح 1 فاشتق معادلة لحساب شدة الضوء الخارج من المرشّح 2 مقارنة بشدة الضوء الخارج من المرشّح 1.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

سرعة الموجات الضوئية The Speed of a Light Waves

تعلمت سابقًا أنّ الطول الموجي λ لموجة هو دالة رياضية في سرعة الموجة v للوسط الذي تنتقل فيه، وفي ترددها الثابت f. ويمكن وصف الضوء بواسطة النماذج الرياضية نفسها التي تستخدم في وصف الموجات عمومًا؛ لأن الضوء له خصائص موجية. ويكون الطول الموجي لضوء ذي تردد معلوم ينتقل في الفراغ عبارة عن دالة رياضية في سرعة الضوء c، حيث يمكن كتابتها على النحو الآتي: $\lambda_0 = c / f$. ولقد زوّدنا تطور الليزر في ستينيات القرن الماضي بطرائق جديدة لقياس سرعة الضوء. كما يمكن قياس تردد الضوء بدقة متناهية؛ وذلك باستخدام أجهزة الليزر والزمن المعياري الذي تزودنا به الساعات الذرية. في حين يتم قياس الأطوال الموجية للضوء بدقة أقل كثيرًا.

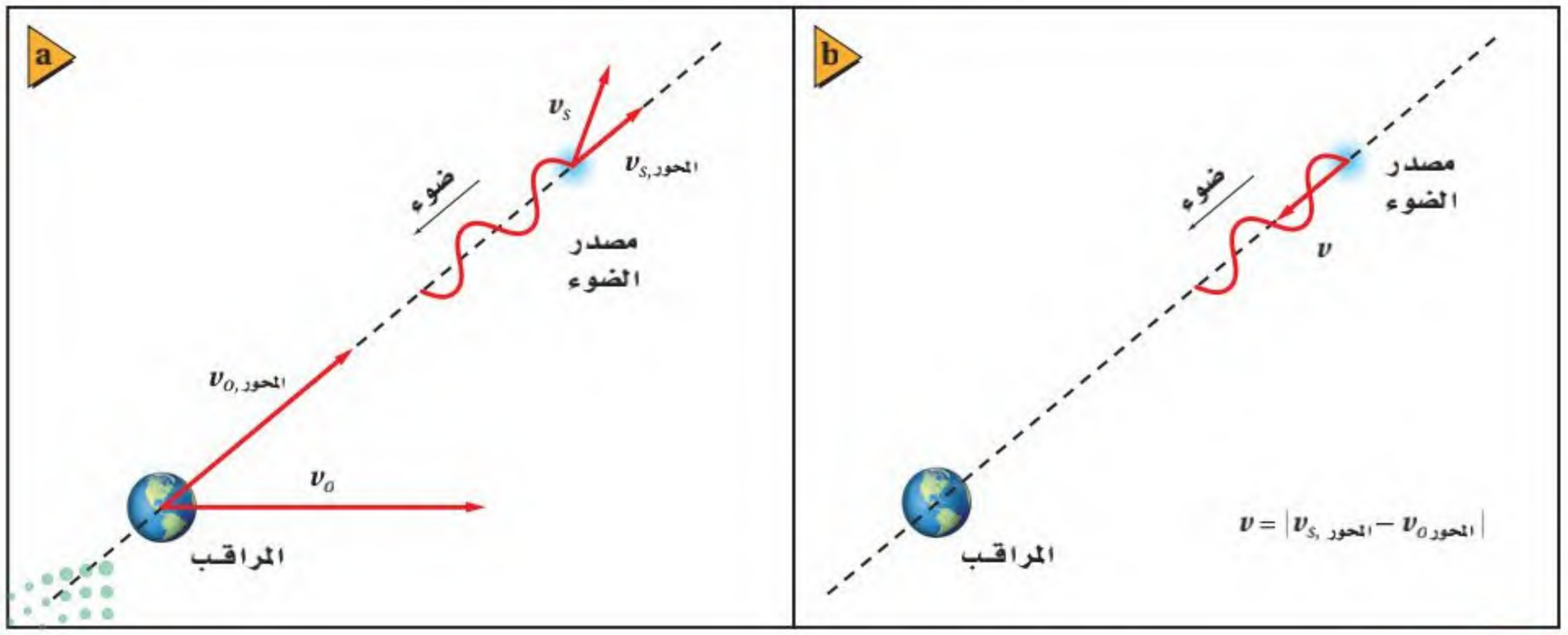
رموز الكتب

يرمز لكمية التردد Frequency في كتاب الكيمياء بالرمز v (نيو) وبالرمز f في كتاب الفيزياء؛ وكلاهما صحيحان ويعبران عن نفس الكمية.

لألوان الضوء المختلفة ترددات وأطوال موجية مختلفة، ولكنها تنتقل جميعها في الفراغ بسرعة تساوي سرعة الضوء c. فإذا كان تردد موجة الضوء في الفراغ معروفًا أمكنك عندئذٍ حساب طولها الموجي، والعكس صحيح؛ وذلك لأن جميع الأطوال الموجية للضوء تنتقل في الفراغ بالسرعة نفسها. ويمكنك باستخدام القياسات الدقيقة لتردد الضوء وسرعته حساب قيمة دقيقة لطوله الموجي.

الحركة النسبية والضوء ماذا يحدث إذا تحرك مصدر الضوء في اتجاهك أو تحركت أنت في اتجاه مصدر الضوء؟ تعلّمت سابقًا أنه إذا كان مصدر الصوت أو المستمع متحركًا فسيتغير تردّد الصوت الذي يسمعه المستمع، وهذا صحيح أيضًا بالنسبة للضوء. فإذا أخذت بعين الاعتبار السرعة المتجهة لكلٍّ من مصدر الصوت والمراقب فإنك بذلك تكون قد راعيت السرعة المتجهة لكلٍّ منهما بالنسبة للوسط الذي ينتقل فيه الصوت.

يتضمن تأثير دوبلر في الضوء السرعة المتجهة لكلٍّ من المصدر والمراقب إحداهما بالنسبة إلى الآخر فقط؛ وذلك لأن موجات الضوء ليست اهتزازات لجسيمات الوسط الميكانيكي، كما هو الحال في الموجات الصوتية. ويُسمّى مقدار الفرق بين السرعتين المتجهتين لكلٍّ



■ **الشكل 19–4** تختلف السرعة المتجهة للمراقب عن السرعة المتجهة لمصدر الضوء **(a)**. مقدار الطرح المتجهي لمركّبتي السرعة المتجهة على امتداد المحور بين مصدر الضوء ومراقب الضوء يمثل السرعة النسبية على امتداد المحور بين المصدر والمراقب v **(b)**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

من المصدر والمراقب بالسرعة النسبية. والعوامل المؤثرة في تأثير دوبلر هي فقط مركّبتا السرعتين المتجهتين على امتداد المحور بين المصدر والمراقب، كما في **الشكل 19–4**.

تأثير دوبلر لدراسة تأثير دوبلر في الضوء يمكن تبسيط المسألة باعتبار أن السرعات النسبية المحورية أقل كثيرًا من سرعة الضوء ($v << c$). ويستخدم هذا التبسيط لتكوين معادلة حول تردد الضوء المراقَب $f_{\text{المراقب}}$؛ التي تمثل تردد الضوء كما يراه المراقِب.

تردّد الضوء المُراقَب $f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$

تردّد الضوء المُراقَب من مصدر يساوي التردد الحقيقي للضوء المتولد من المصدر، مضروبًا في حاصل جمع واحد إلى (السرعة النسبية على امتداد المحور بين المصدر والمراقب مقسومةً على سرعة الضوء) إذا تحرك كل منهما في اتجاه الآخر، أو حاصل طرح (السرعة النسبية مقسومةً على سرعة الضوء) من الواحد إذا تحركا مبتعدين.

لأن معظم المشاهدات حول تأثير دوبلر في الضوء تمت في سياق علم الفلك فإن معادلة تأثير دوبلر للضوء صيغت بدلالة الطول الموجي بدلاً من التردد. ويمكن استعمال المعادلة الآتية $\lambda = c / f$ والتبسيط $v << c$ لحساب **إزاحة دوبلر** $\Delta\lambda$، التي تمثل الفرق بين الطول الموجي المراقَب للضوء والطول الموجي الحقيقي له.

ازاحة دوبلر $(\lambda_{\text{المراقب}} - \lambda) = \Delta\lambda = \pm \frac{v}{c}\lambda$

الفرق بين الطول الموجي المراقَب للضوء والطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولّده المصدر يساوي الطول الموجي الحقيقي للضوء الذي يولّده المصدر مضروبًا في السرعة النسبية للمصدر والمراقب مقسومًا على سرعة الضوء. وهذه الكمية تكون موجبة إذا تحرّكا مبتعدين أحدهما عن الآخر، وسالبة إذا تحرّكا مقتربين أحدهما من الآخر.

إن التغير الموجب في الطول الموجي يعني أن الضوء مُزاح نحو الأحمر، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مبتعد عن المراقِب. والتغير السالب في الطول الموجي يعني أن الضوء مُزاح نحو الأزرق، وهذا يحدث عندما تكون السرعة المتجهة النسبية للمصدر في اتجاه مقترب من المراقب. وعندما يزاح الطول الموجي نحو الأحمر يكون التردّد المراقَب أقل؛ نتيجة للعلاقة العكسية بين هذين المتغيرين؛ لأن سرعة الضوء تبقى ثابتة. وعندما يُزاح الطول الموجي نحو الأزرق يكون التردد المراقَب أكبر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 20–4** تبدو بوضوح ثلاثة خطوط انبعاث لعنصر الهيدروجين مزاحة نحو الأحمر في طيف الكوازار 3C 273، تم تحديدها من خلال إشارات الخطوط خارج الطيفين. حيث أزيحت أطوالها الموجية 16% تقريبًا مقارنة بالظروف المختبرية.

يستطيع الباحثون تحديد كيفية تحرك الأجسام الفلكية، مثل المجرات، بالنسبة للأرض، وذلك بمراقبة انزياح دوبلر للضوء. ويتم ذلك عن طريق مراقبة طيف الضوء المنبعث من النجوم في المجرة باستخدام جهاز يُسمّى المطياف، كما هو موضح في **الشكل 20–4**. حيث تبعث العناصر الموجودة في نجوم المجرات أطوالاً موجية محدّدة يمكن قياسها في المختبر. وللمطياف القدرة على قياس انزياح دوبلر لهذه الأطوال الموجية.

الربط مع الفلك

اقترح إدوين هابل في عام 1929 أن الكون يتمدد، وتوصل هابل إلى هذه النتيجة بتحليل طيف الانبعاث القادم من عدة مجرات. ولاحظ هابل أن خطوط الطيف للعناصر المألوفة كانت ذات أطوال موجية أطول من المتوقع، حيث كانت خطوط الطيف مزاحة نحو نهاية الطيف ذي اللون الأحمر. وبغض النظر عن مساحة السماء التي راقبها، فقد كانت المجرات ترسل إلى الأرض ضوءًا مزاحًا نحو الأحمر. ترى، ما سبب انزياح خطوط الطيف نحو الأحمر؟ استنتج هابل من ذلك أن المجرات جميعها تتحرك مبتعدة عن الأرض.

مسائل تدريبية

11. ما تردّد خط طيف الأكسجين إذا كان طوله الموجي 513 nm؟

12. تتحرك ذرة هيدروجين في مجرة بسرعة 6.55×10^6 m/s مبتعدة عن الأرض، وتبعث ضوءًا بتردّد 6.16×10^{14} Hz. ما التردّد الذي سيلاحظه فلكي على الأرض للضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين؟

13. ينظر فلكي إلى طيف مجرة، فيجد أن هناك خطًّا لِطَيْف الأكسجين بالطول الموجي 525 nm، في حين أن القيمة المقيسة في المختبر تساوي 513 nm، احسب سرعة تحرك المجرة بالنسبة للأرض، ووضح ما إذا كانت المجرة تتحرك مقتربة من الأرض أم مبتعدة عنها، وكيف تعرف ذلك؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2–4 مراجعة

14. **مزج ألوان الضوء** ما لون الضوء الذي يجب أن يتّحد مع الضوء الأزرق للحصول على الضوء الأبيض؟

15. **تفاعل الضوء مع الصبغة** مـا اللون الذي يظهر به الموز الأصفر عندما يُضاء بواسطة كلٍّ مما يأتي؟

a. الضوء الأبيض.

b. الضوء الأخضر والضوء الأحمر معًا.

c. الضوء الأزرق.

16. **الخصائص الموجية للضوء** سرعة الضوء الأحمر في الهواء والماء أقل مـن سرعته في الفراغ. فإذا علمت أن الـتردد لا يتغير عندما يدخـل الضوء الأحمر في الماء، فهل يتغير الطول الموجي؟ وإذا كان هناك تغير فكيف يكون؟

17. **مـزج الأصبـاغ** ما الألوان الأساسـية للأصباغ التي يجب أن تمـزج لإنتاج اللون الأحمـر؟ وضّح كيف ينتج اللون الأحمر باختزال لون من ألوان الصبغة؟

18. **الاستقطاب** صف تجربة بسـيطة يمكنك إجراؤها لتحديد ما إذا كانت النظارات الشمسية المتوافرة في المتجر مستقطبة أم لا.

19. **التفكير الناقـد** توصّـل الفلكيـون إلى أن مجـرّة الأندروميدا، وهي المجـرّة القريبة من مجرتنا (مجرة درب التبانة)، تتحـرك في اتجاه مجرتنا. وضّح كيف تمكّن العلماء من تحديد ذلك. وهل يمكنك التفكير في دليـل محتمل لاقـتراب مجـرة الأندروميدا من مجرتنا؟

مختبر الفيزياء

استقطاب الضوء Polarization of Light

إن مصدر الضوء الذي يولّد موجات ضوئية مستعرضة جميعها في المستوى الثابت نفسه يقال إنها مُستقطَبة في ذلك المستوى. ويمكن استخدام مرشّح الاستقطاب لإيجاد مصادر الضوء التي تنتج ضوءًا مستقطبًا. فبعض الأوساط تستطيع أن تُدوّر مستوى استقطاب الضوء في أثناء نفاذ الضوء من خلالها. ومثل هذه الأوساط يقال إنها فعّالة بصريًّا. وستستقصي في هذا النشاط هذه المفاهيم للضوء المستقطب.

سؤال التجربة

ما أنواع الإضاءة؟ وما مصادر الضوء التي تولّد ضوءًا مُستقطَبًا؟

الأهداف

- **تجرّب** مستخدمًا مصادر ضوء ومرشّحات استقطاب مختلفة.
- **تصف** نتائج تجربتك.
- **تميّز** الاستخدامات الممكنة لمرشّحات الاستقطاب في الحياة اليومية.

احتياطات السلامة

- **قلّل فترة النظر مباشرة إلى مصادر الضوء الساطعة.**
- **لا تجرِ هذه التجربة باستخدام مصادر أشعة الليزر.**
- **لا تنظر إلى الشمس، حتى لو كنت تستخدم مرشّحات استقطاب.**
- **تسخن مصادر الضوء وقد تؤدي إلى حرق الجلد.**

المواد والأدوات

لوحا مرشّح استقطاب
مصدر ضوء متوهج أو ساطع
مصدر ضوء فلورسنتي
قطع من الورق الأبيض والأسود
آلة حاسبة مزودة بشاشة مصنوعة من البلورات السائلة
منقلة بلاستيكية شفافة
مرآة

الخطوات

1. انظر من خلال مرشّح الاستقطاب إلى مصدر الضوء الساطع، ثم دوّر المرشح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
2. انظر من خلال مرشّح الاستقطاب إلى مصدر ضوء فلورسنتي، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
3. استخدم مرشّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن سطح المرآة، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
4. استخدم مرشّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن قطعة ورق، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
5. استخدم مرشّح الاستقطاب لرؤية الضوء المنعكس بزاوية 45° تقريبًا عن قطعة ورق سوداء، ثم دوّر المرشّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات		
	مصدر الضوء	الملاحظات
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

6. استخدم مرشِّــح الاستقطاب لرؤية الشاشة المصنوعة من البلورات السائلة، ثم دوّر المرشِّح، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
7. ضع مرشِّح استقطاب فوق مرشِّح الاستقطاب الآخر، وانظر إلى المصدر الضوئي المتوهج من خلال هذين المرشِّــحين. ثم دوّر أحد المرشِّحين بالنسبة للآخر، وأكمل دورة كاملة، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.
8. ضع منقلة بلاستيكية شفافة بين مرشِّحي الاستقطاب، ثم انظر إلى المصدر الضوئي المتوهج من خلال هذه المجموعة، وأكمل دورة كاملة لأحد المرشِّحين. ثم ضع المرشِّحين بالطريقة نفسها التي اتبعتها في الخطوة 7 والتي لم ينتج عندها الضوء، وسجّل ملاحظاتك في جدول البيانات.

التحليل

1. **فسّر البيانات** هل ينتج الضوء المتوهج ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
2. **فسّر البيانات** هل ينتج الضوء الفلورسنتي ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
3. **فسّر البيانات** هل ينتج انعكاس الضوء عن ســطح مرآة ضوءًا مستقطبًا؟ كيف تعرف ذلك؟
4. **قارن** كيف يُقارَن الضوء المنعكس عن الورقة البيضاء بالضوء المنعكس عن الورقة السوداء بدلالة الضوء المستقطب؟ ولماذا يختلفان؟
5. **فسّر البيانات** هل الضوء المنبعث من شاشات البلورات السائلة مستقطب؟ كيف تعرف ذلك؟

الاستنتاج والتطبيق

1. **حلّل واستنتج** كيف يمكن استخدام مرشِّحي استقطاب بحيث يمنعان عبور أي ضوء خلالهما؟
2. **حلّل واستنتج** لماذا يمكن رؤية المنقلة البلاستيكية الشفافة بين مرشِّحي الاستقطاب بينما لا يمكن رؤية أي شيء آخر من خلال مرشِّحي الاستقطاب؟
3. **استخلاص النتائج** أيّ نوع من الحالات تُنتج عمومًا ضوءًا مستقطبًا؟

التوسع في البحث

1. انظر في يوم مشمس، إلى استقطاب السماء الزرقاء في المناطق القريبة من الشمس والمناطق البعيدة عنها مستخدمًا مرشِّح استقطاب. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الشمس.** ما خصائص الضوء المستقطب التي تلاحظها؟
2. هل الضوء المنعكس عن الغيوم مســتقطب؟ أعط دليلاً على ذلك.

الفيزياء في الحياة

1. لماذا تُستعمل عدسات مستقطبة في صناعة النظارات ذات الجودة العالية؟
2. لماذا تعد النظارات المستقطبة أفضل من النظارات الملوّنة عند قيادة السيارة؟

التقنية والمجتمع

تطورات الإضاءة Advances In Lighting

سجّل التاريخ استخدام الزيت والشموع والغاز لتوفير الإضاءة، فكان هناك دائمًا خطر كامن في استخدام اللهب المكشوف للحصول على الضوء. وجاء اختراع الإضاءة الكهربائية في القرن التاسع عشر، فزودنا بضوء أكثر سطوعًا، كما تحسنت وسائل الأمان والسلامة العامة للناس.

والمصابيح المتوهجة هي الشكل التقليدي للإضاءة الكهربائية الشائعة حتى الآن، حيث تُسخّن فتيلة التنجستن بالكهرباء حتى تتوهّج باللون الأبيض. والتنجستن لا يحترق ولكنه يتبخر، مما يؤدي إلى تلف فتيلة التنجستن، لذا فلن يكون الحصول على الضوء منه فعالًا جدًّا. وقد حدث تطوير في الإضاءة الكهربائية لإنتاج مصادر إضاءة أطول عمرًا وأقل إنتاجًا للحرارة.

تظهر الصور من أعلى اليسار وفي اتجاه حركة عقارب الساعة، الثنائيات الباعثة للضوء، ومصابيح فلورسنتية، ومصباح الهالوجين، ومصباح الغازات المخلخلة في صورة مصابيح النيون.

الصمامات الثنائية الباعثة للضوء

يمكن أن تكون الصمامات الثنائية الباعثة للضوء مصادر الضوء في المستقبل. حيث ينتج الصمام الثنائي ضوءًا أبيض، وذلك بإضاءة شاشة فوسفورية صغيرة جدًّا داخله باستخدام ضوء أزرق. وتعطي هذه الصمامات إضاءة كافية للقراءة، ولا تكاد تنتج حرارة. وتتميز بكفاءتها العالية حيث يمكن لبطارية سيارة تزويد هذه المصابيح بالطاقة الكهربائية لتعمل في المنزل أيامًا عدة دون الحاجة إلى إعادة شحنها.

المصابيح الفلورسنتية يكون التوهج الناتج عن بخار الزئبق غير مرئي؛ لأن معظم طيفه يكون في نطاق الضوء فوق البنفسجي، وهو غير مرئي. لذا يُصنع المصباح الفلورسنتي بطلاء السطح الداخلي لمصباح تخلخل الزئبق بالفوسفور، وهو عنصر كيميائي يتوهّج عندما يصطدم به الضوء فوق البنفسجي. وتصنع المصابيح الفلورسنتية بأي لون؛ وذلك بتغيير المزيج المتكوّن من الفوسفور الأحمر والأخضر والأزرق. وهي مصابيح اقتصادية، وتعمر طويلا؛ لأنها تنتج حرارة قليلة، إضافةً إلى إنتاجها كمية كبيرة من الضوء.

مصابيح الكوارتز- الهالوجين لحماية الفتيلة من التلف يُصنع المصباح صغيرًا جدًّا ومملوءًا بغاز البرومين أو اليود. حيث تتّحد أيونات التنجستن الموجودة في الفتيلة بجزيئات الغاز في الحيز البارد من المصباح لتكوين مركّب يدور خلال المصباح ويتحد ثانية بالفتيلة. ويكون الضوء الناتج ناصع البياض وساطعًا، لكنه يولد حرارة تؤدي إلى صهر المصباح الزجاجي العادي، لذا يستخدم الكوارتز الذي له درجة انصهار عالية.

مصابيح الغازات المخلخلة يصنع هذا النوع من المصابيح من أنبوب زجاجي مع أسلاك كهربائية (قطب كهربائي) مثبتة عند طرفي الأنبوب، ويستخرج الهواء جميعه من داخل الأنبوب ويوضع مكانه كمية قليلة جدًّا من غاز محدد. وعند تطبيق فرق جهد بين طرفي الأنبوب، تؤين الكهرباء ذرات الغاز. ويُعدّ الغاز المؤيّن موصلاً جيدًا للكهرباء، لذا يسري التيار الكهربائي خلاله، ويتوهّج الغاز.

يعتمد استخدام مصابيح الغازات المخلخلة على نوع الغاز؛ إذ يستخدم غاز النيون في لوحات الإعلانات، ويستخدم غاز الزنون في الكشّافات وفي وامضات آلات التصوير، كما يستخدم غاز الصوديوم في مصابيح إنارة الشوارع. ويعطي كل غاز لونًا مختلفًا إلا أن تراكيب المصابيح تكون متشابهة إلى حدٍّ كبير.

التوسع

1. **لاحظ** بمساعدة معلمك بعض الأجهزة التي تستخدم الأضواء، وافحص بعضها لترى أنواع التقنيات المستخدمة في المصابيح.
2. **ابحث** في التركيب الداخلي لبعض أنواع مصابيح تفريغ الغاز بالإضافة إلى خصائص لون الضوء لكل منها ومجالات استخدامها اليومية العادية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

4–1 الاستضاءة Illumination

المفردات

- نموذج الشعاع الضوئي
- المصدر المضيء
- المصدر المستضيء (المُضَاء)
- الوسط غير الشفاف (المعتم)
- الوسط الشفاف
- الوسط شبه الشفاف
- التدفق الضوئي
- الاستضاءة

المفاهيم الرئيسة

- ينتقل الضوء في خط مستقيم خلال أي وسط منتظم.
- يمكن تصنيف المواد على أنها شفافة، أو شبه شفافة أو غير شفافة (معتمة)، اعتمادًا على كمية الضوء التي تعكسها، أو تنفذها أو تمتصها.
- التدفق الضوئي لمصدر ضوئي هو المعدل الذي ينبعث به الضوء، ويقاس بوحدة لومن lm.
- الاستضاءة هي التدفق الضوئي لكل وحدة مساحة، وتقاس بوحدة لوكس lx، أو لومن لكل متر مربع lm/m^2.
- الاستضاءة بفعل مصدر ضوء نقطي تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة وطرديًّا مع التدفق الضوئي.

$$E = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- سرعة الضوء في الفراغ ثابتة وتساوي $c = 3.00 \times 10^8\ m/s$.

4–2 الطبيعة الموجية للضوء The Wave Nature of Light

المفردات

- الحيود
- اللون الأساسي
- اللون الثانوي
- الصبغة الأساسية
- الصبغة الثانوية
- الألوان المتمِّمة
- الاستقطاب
- قانون مالوس
- إزاحة دوبلر

المفاهيم الرئيسة

- للضوء المرئي أطوال موجية تتراوح بين 400 nm و 700 nm.
- يتكوّن الضوء الأبيض من تراكب ألوان الطيف، ولكل لون طول موجي خاص به.
- تراكب الألوان الأساسية (الأحمر والأخضر والأزرق) يكوّن الضوء الأبيض. ويشكّل تراكب لونين أساسيين أحد الألوان الثانوية الآتية: الأصفر، الأزرق الفاتح، الأحمر المزرقّ.
- يتكوّن الضوء المستقطَب من موجات تتذبذب في المستوى نفسه.
- عند استخدام مرشِّحي استقطاب لاستقطاب الضوء فإن شدة الضوء الخارج من المرشِّح الأخير تعتمد على الزاوية بين محوري الاستقطاب لمرشِّحي الاستقطاب.

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta$$

- يمكن تمييز موجات الضوء المنتقلة خلال الفراغ بدلالة كل من تردّدها وطولها الموجي وسرعتها.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

- تتعرّض موجات الضوء لإزاحة دوبلر، التي تعتمد على السرعة النسبية على امتداد المحور بين المراقِب ومصدر الضوء.

$$f_{\text{المراقب}} = f\left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

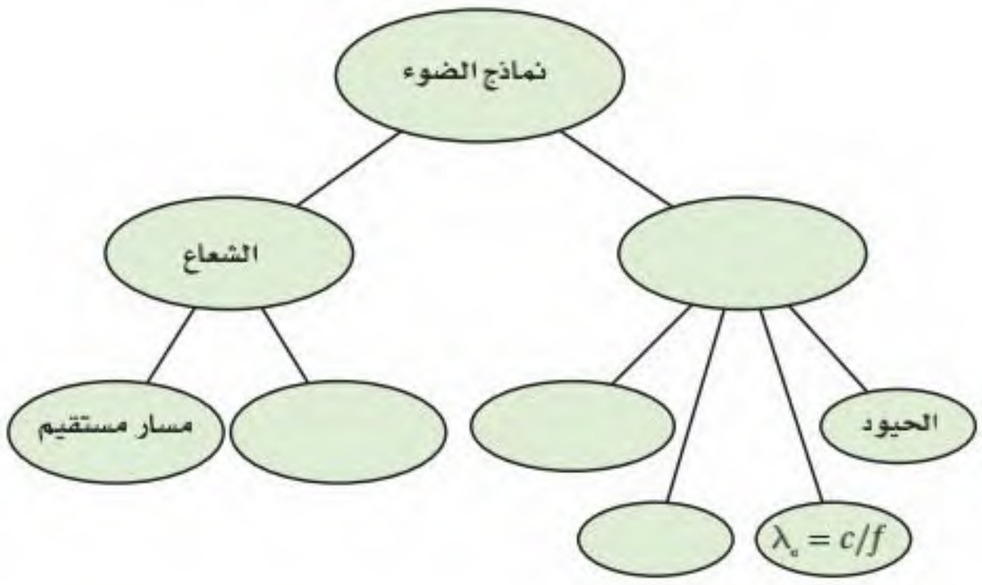
$$\Delta\lambda = (\lambda_{\text{المراقب}} - \lambda) = \pm \frac{v}{c}\lambda$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4
التقويم

خريطة المفاهيم

20. أكمل خريطة المفاهيم الآتية باستخدام المصطلحات الآتية: الموجة، c، تأثير دوبلر، الاستقطاب.



إتقان المفاهيم

21. لا ينتقل الصوت خلال الفراغ، فكيف تعرف أن الضوء ينتقل في الفراغ؟

22. فرّق بين المصدر المضيء والمصدر المستضيء.

23. انظر بعناية إلى مصباح متوهج تقليدي. هل هو مصدر مضيء أم مصدر مستضيء؟

24. اقترح طريقة تمكنك من رؤية الأجسام العادية غير المضيئة في غرفة الصف.

25. فرّق بين الأجسام الشفافة وشبه الشفافة وغير الشفافة (المعتمة).

26. ما الذي يتناسب طرديًّا مع استضاءة سطح بمصدر ضوئي؟ وما الذي يتناسب معه عكسيًّا؟

27. ما افتراض جاليليو بالنسبة لسرعة الضوء؟

28. لماذا يعد حيود الموجات الصوتية أكثر شيوعًا في الحياة اليومية من حيود الموجات الضوئية؟

29. ما لون الضوء الذي لديه أقصر طول موجي؟

30. ما مدى الأطوال الموجية للضوء، بدءًا من الأقصر إلى الأطول؟

31. ما الألوان التي يتكوّن منها الضوء الأبيض؟

32. لماذا يظهر جسم ما باللون الأسود؟

33. هل يمكن أن تكون الموجات الطولية مستقطبة؟ وضح إجابتك.

34. تبعث مجرة بعيدة خطًّا طيفيًّا في منطقة اللون الأخضر من الطيف الضوئي، فهل ينزاح الطول الموجي المُراقَب على الأرض إلى الضوء الأحمر أو إلى الضوء الأزرق؟ وضح إجابتك.

35. ماذا يحدث للطول الموجي للضوء عندما يزداد تردده؟

تطبيق المفاهيم

36. يقع مصدر ضوء نقطي على بُعد 2.0 m من الشاشة A، وعلى بُعد 4.0 m من الشاشة B، كما يتضح من **الشكل 21-4**. قارن بين الاستضاءة على الشاشة B والاستضاءة على الشاشة A؟

■ **الشكل 21-4**

37. **مصباح الدراسة** يبعد مصباح صغير مسافة 35 cm من صفحات كتاب، فإذا ضاعفت المسافة:

a. فهل تبقى الاستضاءة على الكتاب هي نفسها دون تغيير؟

b. إذا لم تكن كذلك فكم تكون أكبر أو أصغر؟

38. لماذا يُطلى السطح الداخلي للمناظير وآلات التصوير باللون الأسود؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 4

39. لون إضاءة الشوارع تحتوي بعض مصابيح الشوارع الفعّالة جدًّا على بخار الصوديوم تحت ضغط عالٍ. وتنتج هذه المصابيح ضوءًا معظمه أصفر وجزء قليل منه أحمر. هل تستخدم المجتمعات التي فيها مثل هذه المصابيح سيارات شرطة ذات لون أزرق فاتح؟ ولماذا؟

ارجع إلى **الشكل 22–4** عند حل المسألتين الآتيتين.

الشكل 22–4

40. ماذا يحدث للاستضاءة على صفحات الكتاب عند تحريك المصباح بعيدًا عن الكتاب؟

41. ماذا يحدث لشدّة إضاءة المصباح عند تحريكه بعيدًا عن الكتاب؟

42. الصور المستقطبة يضع مصورو الفوتوجراف مرشِّحات استقطاب فوق عدسات الكاميرا لكي تبدو الغيوم أكثر وضوحًا، فتبقى الغيوم بيضاء في حين تبدو السماء داكنة بصورة أكبر. وضح ذلك معتمدًا على معرفتك بالضوء المستقطَب.

43. إذا كان لديك الأصباغ الآتية: الصفراء والزرقاء الفاتحة والحمراء المزرقّة فكيف تستطيع عمل صبغة زرقاء اللون؟ وضح إجابتك.

44. إذا وضعت قطعة سلوفان حمراء على مصباح يدوي، ووضعت قطعة سلوفان خضراء على مصباح آخر، وسلّطت حزمًا ضوئية على حائط أبيض اللون فما الألوان التي ستراها عندما تتراكب الحزم الضوئية للمصباحين؟

45. تبدو التفاحة حمراء لأنها تعكس الضوء الأحمر وتمتص الضوء الأزرق والضوء الأخضر.

a. لماذا يظهر السلوفان الأحمرُ أحمرَ اللون عند النظر إليه من خلال الضوء المنعكس؟

b. لماذا يظهر مصباح الضوء الأبيض أحمر اللون عند النظر إليه من خلال السلوفان الأحمر؟

c. ماذا يحدث لكل من: الضوء الأزرق والضوء الأخضر؟

46. في المسألة السابقة، إذا وضعت قطعتي السلوفان الحمراء والخضراء على أحد المصباحين، وسلّطت حزمة ضوئية منه على حائط أبيض اللون، فما اللون الذي ستراه؟ وضح إجابتك.

47. مخالفة السير تخيل أنك شرطي مرور، وأوقفت سائقًا تجاوز الإشارة الحمراء، وافترض أيضًا أن السائق وضّح لك من خلال رسم **الشكل 23-4** أن الضوء كان يبدو أخضر بسبب تأثير دوبلر عندما قطع الإشارة. وضّح له مستخدمًا معادلة إزاحة دوبلر، كم يجب أن تكون سرعته حتى يبدو الضوء الأحمر ($\lambda = 645\ nm$) على شكل ضوء أخضر ($\lambda = 545\ nm$). **تلميح: افترض لحل هذه المسألة أن معادلة إزاحة دوبلر يمكن تطبيقها عند هذه السرعة.**

الشكل 23–4

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 4

إتقان حل المسائل

4–1 الاستضاءة

48. أوجد الاستضاءة على مسافة 4.0 m أسفل مصباح تدفقه الضوئي 405 lm.

49. يحتاج الضوء إلى زمن مقداره 1.28 s لينتقل من القمر إلى الأرض. فما مقدار المسافة بينهما؟

50. يستهلك مصباح كهربائي ثلاثي الضبط قدرة كهربائية 150 W، 100 W، 50 W لإنتاج تدفق ضوئي 2285 lm، 1620 lm، 665 lm في أزرار ضبطه الثلاثة. إذا وضع المصباح على بُعد 80 cm فوق ورقة وكانت أقل استضاءة لازمة لإضاءة الورقة هي 175 lx، فما أقل زر ضبط ينبغي أن يُستخدم؟

51. **سرعة الأرض** وجد العالم أولي رومر أن متوسط زيادة التأخير في اختفاء القمر lo أثناء دورانه حول المشتري من دورة إلى التي تليها يساوي 13 s، فأجب عما يأتي:

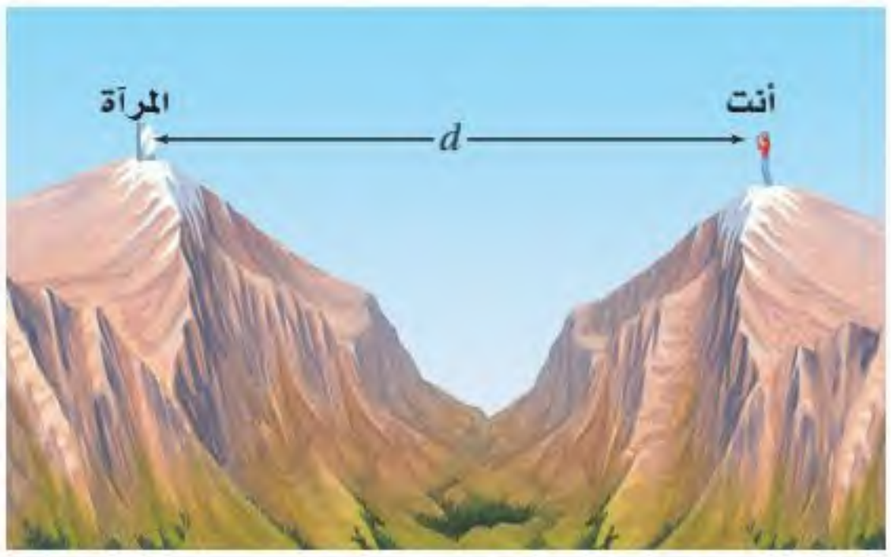
a. ما المسافة التي يقطعها الضوء خلال 13 s؟

b. تحتاج كل دورة للقمر lo إلى 42.5 h، وتتحرك الأرض المسافة المحسوبة في الفرع **a** خلال 42.5 h. أوجد سرعة الأرض بوحدة km /s.

c. تحقق أن إجابتك للفرع **b** منطقية، واحسب سرعة الأرض في المدار مستخدمًا نصف قطر المدار 1.5×10^8 km والفترة 1.0 yr.

52. يريد أحد الطلاب مقارنة التدفق الضوئي لمصباح ضوئي يدوي بمصباح آخر تدفقه الضوئي 1750 lm، وكان كل منهما يضيء ورقة بالتساوي. فإذا كان المصباح 1750 lm يقع على بُعد 1.25 m من الورقة، في حين كان المصباح الضوئي اليدوي يقع على بُعد 1.08 m، فاحسب التدفق الضوئي للمصباح اليدوي.

53. افترض أنك أردت قياس سرعة الضوء، وذلك بوضع مرآة على قمة جبل بعيد، ثم قمت بضغط زر وميض آلة تصوير وقياس الزمن الذي احتاج إليه الوميض لينعكس عن المرآة ويعود إليك، كما موضّح في **الشكل 24–4**. وتمكّن شخص من تحديد فترة زمنية مقدارها 0.10 s تقريبًا دون استخدام أجهزة. ما بعد المرآة عنك؟ قارن بين هذه المسافة وبعض المسافات المعروفة.



■ **الشكل 24–4**

4–2 الطبيعة الموجية للضوء

54. حوّل الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm إلى وحدة الأمتار.

55. **حركة المجرة** ما السرعة التي تتحرك بها مجرة بالنسبة للأرض، إذا كان خط طيف الهيدروجين 486 nm قد أزيح نحو الأحمر 491 nm؟

56. **النظارات الشمسية المستقطبة** في أي اتجاه يجب توجيه محور النفاذ للنظارات الشمسية المستقطبة للتخلّص من الوهج الصادر عن سطح الطريق: في الاتجاه الرأسيّ أم الأفقي؟ فسّر إجابتك.

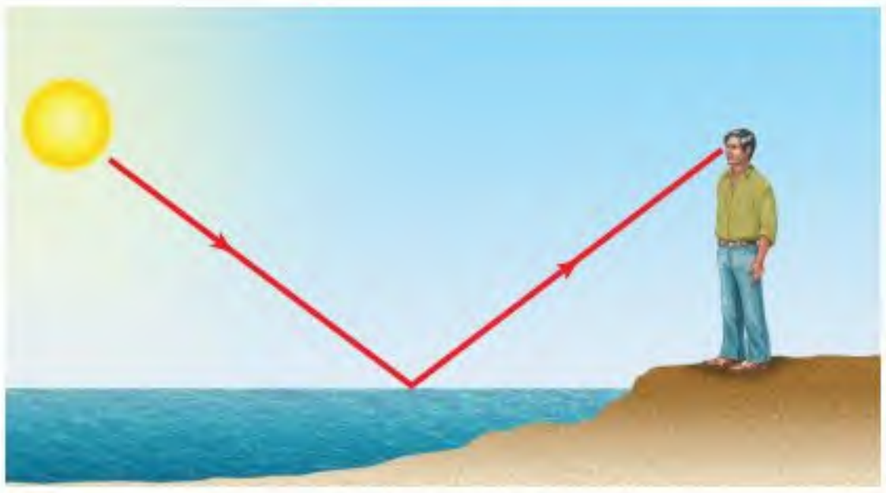
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 4

57. حركة المجرة إذا كان خط طيف عنصر الهيدروجين المعروف بطول موجي 434 nm مزاحًا نحو الأحمر بنسبة 6.50% في الضوء القادم من مجرة بعيدة، فما سرعة ابتعاد المجرة عن الأرض؟

58. لأي خط طيفي، ما القيمة غير الحقيقية للطول الموجي الظاهري لمجرة تتحرك مبتعدة عن الأرض؟ ولماذا؟

59. افترض أنك كنت تتجه إلى الشرق عند شروق الشمس. وينعكس ضوء الشمس عن سطح بحيرة، كما في **الشكل 25-4**، فهل الضوء المنعكس مستقطَب؟ إذا كان كذلك ففي أي اتجاه؟



الشكل 25-4

مراجعة عامة

60. إضاءة مصابيح الطرق عمود إنارة يحوي مصباحين متماثلين يرتفعان 3.3 m عن سطح الأرض. فإذا أراد مهندسو البلدية توفير الطاقة الكهربائية وذلك بإزالة أحد المصباحين، فكم يجب أن يكون ارتفاع المصباح المتبقي عن الأرض لإعطاء الاستضاءة نفسها على الأرض؟

61. مصدر ضوء نقطي شدة إضاءته 10.0 cd ويبعد 6.0 m عن جدار. كم يبعد مصباح آخر شدة إضاءته 60.0 cd عن الجدار إذا كانت استضاءة المصباحين متساوية عنده؟

62. الرعد والبرق وضح لماذا تحتاج إلى 5 s لسماع الرعد عندما يبعد البرق مسافة 1.6 km.

63. الدوران الشمسي لأن الشمس تدور حول محورها فإن أحد جوانبها يتحرك في اتجاه الأرض، أما الجانب المقابل فيتحرك مبتعدًا عنها. وتكمل الشمس دورة كاملة كل 25 يومًا تقريبًا، ويبلغ قطرها 1.4×10^{9} m. فإذا بعث عنصر الهيدروجين في الشمس ضوءًا بتردّد 6.16×10^{14} Hz من كلا الجانبين فما التغير في الطول الموجي المراقَب؟

التفكير الناقد

64. إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها يبعد مصدر ضوئي شدة إضاءته 110 cd مسافة 1.0 m عن شاشة. حدِّد الاستضاءة على الشاشة في البداية، وأيضًا عند كل متر تزداد فيه المسافة حتى 7.0 m، ومثّل البيانات بيانيًّا.

a. ما شكل المنحنى البياني؟

b. ما العلاقة بين الاستضاءة والمسافة الموضحة بواسطة الرسم البياني؟

65. حلّل واستنتج إذا كنت تقود سيارتك عند الغروب في مدينة مزدحمة ببنايات جدرانها مغطاة بالزجاج، حيث يؤدي ضوء الشمس المنعكس عن الجدران إلى انعدام الرؤيا لديك مؤقتًا. فهل تحلّ النظارات المستقطبة هذه المشكلة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 4

الكتابة في الفيزياء

66. **ابحث** لماذا لم يتمكن جاليليو من قياس سرعة الضوء؟

67. اكتب مقالاً تصِف فيه تاريخ المعرفة البشرية المتعلقة بسرعة الضوء، وضمّنه إنجازات العلماء المهمة في هذا المجال.

68. ابحث في معلومات النظام الدولي للوحدات SI المتعلقة بوحدة الشمعة cd، وعبّر بلغتك الخاصة عن المعيار الذي يستخدم في تحديد قيمة 1 cd.

مراجعة تراكمية

69. وضِع مرشِّحان ضوئيّان على مصباحين يدويين بحيث يُنفِّذ أحدهما ضوءًا أحمر، ويُنفِّذ الآخر ضوءًا أخضر. إذا تقاطعت الحزمتان الضوئيتان فلماذا يبدو لون الضوء في منطقة التقاطع أصفر، ثم يعود إلى لونه الأصلي بعد التقاطع؟ فسّر بدلالة الموجات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. شوهد نجم مستعِرٌ في عام 1987 في مجرة قريبة، واعتقد العلماء أن المجرة تبعد 1.66×10^{21} m. ما عدد السنوات التي مضت على حدوث انفجار النجم فعليًّا قبل رؤيته؟

A 5.53×10^{3} yr
C 5.53×10^{12} yr
B 1.75×10^{5} yr
D 1.74×10^{20} yr

2. تتحرك مجرة مبتعدة بسرعة 5.8×10^{6} m/s، ويبدو تردد الضوء الصادر عنها 5.6×10^{14} Hz بالنسبة لمراقب. ما تردد الضوء المنبعث منها؟

A 1.1×10^{13} Hz
C 5.7×10^{14} Hz
B 5.5×10^{14} Hz
D 6.2×10^{14} Hz

3. إذا احتاج الضوء الصادر عن الشمس إلى 8.0 min للوصول إلى الأرض فكم تبعد الشمس عنها؟

A 2.4×10^{9} m
C 1.4×10^{8} km
B 1.4×10^{10} m
D 2.4×10^{9} km

4. ما مقدار تردد ضوء طوله الموجي 404 nm في الفراغ؟

A 2.48×10^{-3} Hz
C 2.48×10^{6} Hz
B 7.43×10^{5} Hz
D 7.43×10^{14} Hz

5. إذا كانت الاستضاءة الناتجة بفعل مصباح ضوئي قدرته 60.0 W على بعد 3.0 m تساوي 9.35 lx، فما التدفق الضوئي الكلي للمصباح؟

A 8.3×10^{-2} lm
C 1.2×10^{2} lm
B 7.4×10^{-1} lm
D 1.1×10^{3} lm

6. ماذا نعني بالعبارة "إنتاج اللون باختزال أشعة الضوء"؟

A مزج الضوء الأخضر والأحمر والأزرق ينتج عنه الضوء الأبيض.

B ينتج لون عن إثارة الفوسفور بالإلكترونات في جهاز التلفاز.

C يتغير لون الطلاء باختزال ألوان معينة، ومنها إنتاج الطلاء الأزرق من الأخضر بالتخلص من اللون الأصفر.

D يتكوّن اللون الذي يظهر به الجسم نتيجة امتصاص أطوال موجية محدّدة للضوء وانعكاس بعضها الآخر.

الأسئلة الممتدة

7. يسقط ضوء غير مستقطب شدته I_o على مرشِّح استقطاب، ويصطدم الضوء النافذ بمرشِّح استقطاب ثانٍ، كما يتضح من الشكل أدناه. ما شدة الضوء النافذ من مرشح الاستقطاب الثاني؟

إرشاد

طرح الأسئلة

عندما يكون لديك استفسار حول الاختبار، مثل طريقة توزيع الدرجات، أو الزمن المخصص لكل جزء، أو أي شيء آخر، فاسأل المعلم أو الشخص المشرف على الاختبار حول ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5

الانعكاس والمرايا

Reflection and Mirrors

ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف كيفية انعكاس الضوء عن أسطح مختلفة.
- تَعرُّف أنواع المرايا المختلفة واستخداماتها.
- وصف الصور التي شكّلتها المرايا باستعمال طريقتي رسم الأشعة والنماذج الرياضية.

الأهمية

يتحدّد الانعكاس الذي تراه بمعرفة الكيفية التي ينعكس بها الضوء عن سطح ما نحو عينيك. وعندما تنظر إلى أسفل نحو سطح بحيرة تشاهد صورة لك معتدلة إلى أعلى.

منظر الجبل يمكنك عند النظر إلى سطح بحيرة مشاهدة منظر مماثل للمنظر الموضح في الصورة، حيث تبدو صور الأشجار والجبال في البحيرة مقلوبة رأسيًّا بالنسبة إليك.

فكّر ◄

لماذا تبدو صورتك في البحيرة معتدلة، في حين تبدو صورة الجبل مقلوبة رأسيًّا؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تظهر الصورة على شاشة؟

سؤال التجربة ما نوع المرايا التي يمكنها عكس الصورة على شاشة؟

الخطوات

1. احصل من معلمك على بطاقة فهرسة (بطاقة كرتونية)، ومرآة مستوية، ومرآة مقعرة، ومرآة محدبة، ومصباح ضوئي يدوي.
2. أطفئ أضواء الغرفة، وقِفْ بجانب النافذة.
3. أمسك البطاقة بيد والمرآة المستوية باليد الأخرى.
4. اعكس الضوء القادم من النافذة على البطاقة. **تحذير: لا تنظر إلى الشمس مباشرة أو إلى ضوء الشمس المنعكس عن المرآة.** قرّب البطاقة نحو المرآة ببطء أو أبعدها عنها ببطء، وحاول تكوين صور واضحة للأجسام الموجودة في الخارج.
5. إذا استطعت تكوين صورة واضحة على البطاقة فإن هذه الصورة تكون حقيقية، أما إذا كان الضوء مشتتًا على البطاقة فلا تتكون صورة حقيقية. سجّل ملاحظاتك.
6. أعد الخطوات من 3 إلى 5 باستخدام مرآة مقعرة ثم مرآة محدبة.
7. كرّر الخطوة 4 لكل مرآة بحيث تستخدم المصباح الضوئي، ولاحظ الانعكاس على البطاقة.

التحليل

أيّ مرآة كوّنت صورًا حقيقية (تكونت على حاجز)؟

ما ملاحظاتك حول الصورة أو الصور التي شاهدتها؟

التفكير الناقد وضح كيف تتكون الصور الحقيقية استنادًا إلى ملاحظاتك حول الصور الناتجة باستخدام المصباح الضوئي.

5–1 الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from Plane Mirrors

شاهد الإنسان منذ القدم انعكاسًا لصورة وجهه في البحيرات وبِرك المياه الساكنة. ولا يكون هذا الانعكاس دائمًا واضحًا؛ إذْ تحدث أحيانًا تموّجات على سطح الماء بسبب حركة الرياح أو حركة القوارب، مما يحول دون حدوث انعكاس واضح للضوء. عرف المصريون قبل 4000 سنة تقريبًا أن الانعكاس يتطلب سطحًا أملس مصقولاً، لذا استخدموا مرايا فلزية لامعة مصقولة لرؤية صورهم. ولم يكن بالإمكان رؤية الصور الناتجة بوضوح حتى عام 1857 عندما اكتشف العالم الفرنسي جان فوكولت طريقة لطلاء الزجاج بالفضة. فالمرايا الحديثة صُنعت بدقة متناهية لكي تكون ذات مقدرة كبيرة جدًّا على عكس الضوء، وذلك من خلال عملية تبخير الألومنيوم أو الفضة على زجاج مصقول بدرجة كبيرة. وتُعد نوعية السطوح العاكسة مهمة جدًّا في بعض التطبيقات العملية والأجهزة البصرية، ومنها الليزر والمنظار الفلكي (التلسكوب).

وفي الحضارة الإسلامية، كان للحسن بن الهيثم جهود كبيرة لا يمكن إنكارها، وبرع في عدة مجالات، منها دراساته في مجال الضوء. فقد درس انعكاس الضوء وانكساره بشكل مفصل، واكتشف قوانين الانعكاس والانكسار، والعلاقة بين زاوية سقوط الضوء وانكساره، كما وصف أجزاء العين وعملية الرؤية بشكل دقيق وسليم علميًّا، وأبطل الآراء السائدة آنذاك عن كيفية حدوث الرؤية، وغير ذلك من الإنجازات الكبيرة.

الأهداف

- **توضّح** قانون الانعكاس.
- **تقارن** بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم.
- **تحدّد** موقع الصور التي تكوّنها المرايا المستوية.

المفردات

الانعكاس المنتظم

الانعكاس غير المنتظم

المرآة المستوية

الجسم

الصورة

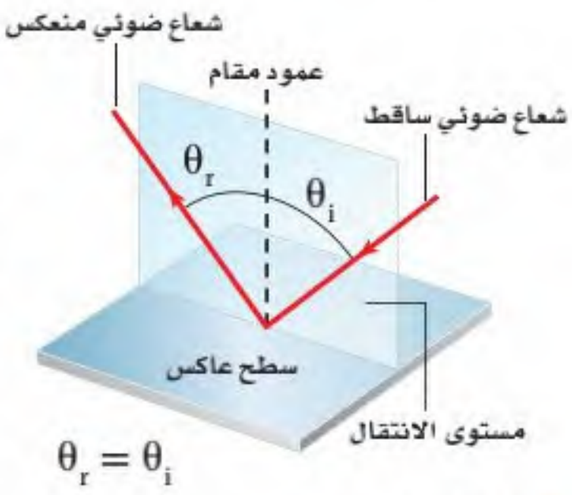
الصورة الخيالية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قانون الانعكاس The Law of Reflection

ماذا يحدث للضوء الساقط على هذا الكتاب؟ عندما تضع الكتاب بينك وبين مصدر الضوء فلن ترى أي ضوء ينفذ من خلاله. تتذكر من الفصل السابق أن مثل هذا الجسم يُسمّى جسمًا غير شفاف أو جسمًا معتمًا؛ إذ يحدث امتصاص لجزء من الضوء الساقط على الكتاب، ويتحول هذا الجزء إلى طاقة حرارية، كما ينعكس جزء آخر من الضوء الساقط على الكتاب. ويعتمد سلوك الضوء المنعكس على طبيعة السطح العاكس، وزاوية سقوط الضوء على السطح.

درست سابقًا أنه عندما تنتشر موجة في بعدين وتصطدم بحاجز فإن زاوية سقوطها على الحاجز تساوي زاوية انعكاسها. وينطبق هذا الانعكاس أيضًا على موجات الضوء. فكّر الآن فيما يحدث لكرة السلة عندما يدفعها اللاعب إلى الأرض لترتد إلى زميله. سيلاحظ مراقب يراقب حركة الكرة من أعلى أن الكرة ترتد في خط مستقيم في اتجاه اللاعب الآخر. وينعكس الضوء بالطريقة نفسها التي ترتد بها كرة السلة. ويبين **الشكل 1–5** سقوط شعاع ضوئي على سطح مستوٍ عاكس. وتلاحظ أن هناك خطًّا وهميًّا عموديًّا على السطح العاكس عند نقطة سقوط الشعاع الضوئي على السطح، ويُسمّى هذا الخط العمود المقام. ويقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس من نقطة سقوط الشعاع الضوئي في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس. وعلى الرغم من أن الضوء ينتشر في ثلاثة أبعاد إلّا أن انعكاسه يكون في مستوى واحد؛ أي في بعدين. وتُعرف العلاقة بين زاويتي السقوط والانعكاس باسم قانون الانعكاس.



■ **الشكل 1–5** يقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس ضمن مستوى الانتقال نفسه.

قانون الانعكاس $\theta_r = \theta_i$

حيث تمثل θ_i زاوية السقوط، و θ_r زاوية الانعكاس.

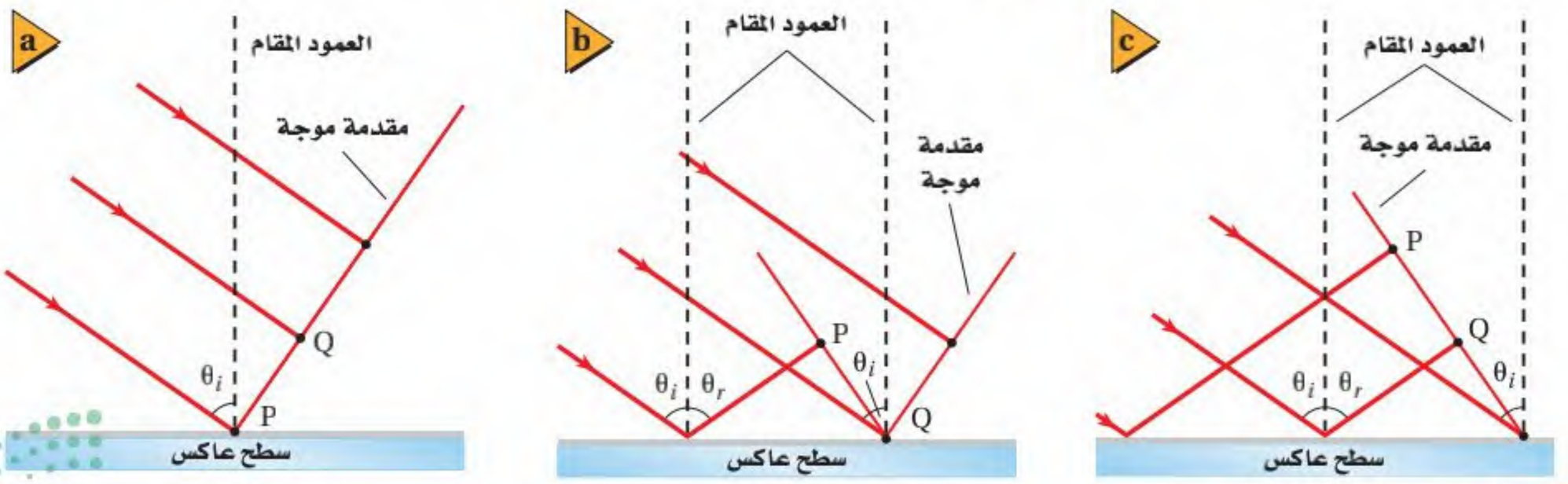
الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود نفسه.

يمكن تفسير هذا القانون باستخدام النموذج الموجي للضوء؛ إذ يبين **الشكل 2a–5** مقدمة موجة الضوء تقترب من السطح العاكس، وعندما تصل كل نقطة على امتداد مقدمة الموجة إلى السطح العاكس فإنها تنعكس بالزاوية نفسها كالنقطة السابقة لها كما في **الشكل 2b–5**.

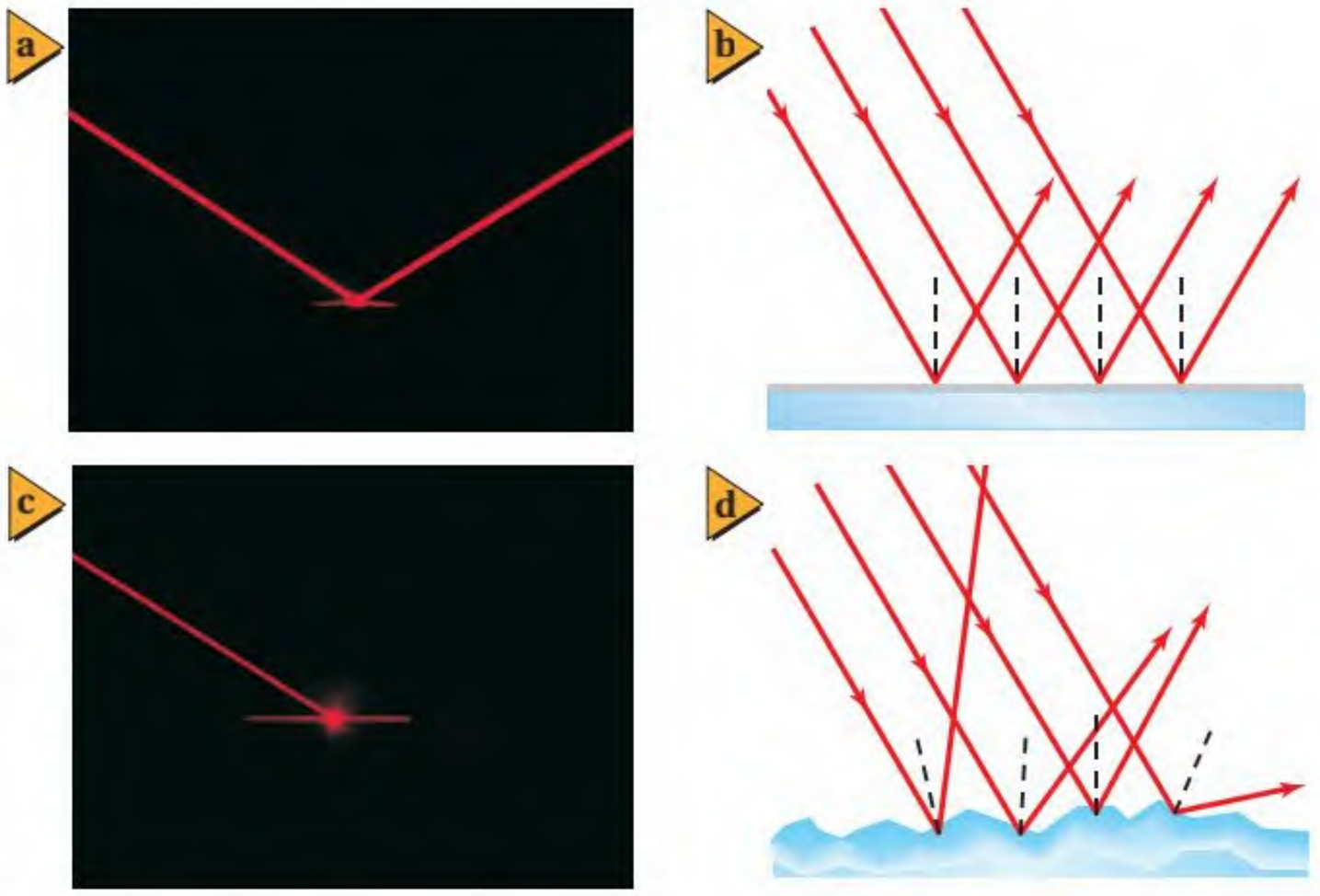
دلالة الألوان

- الأشعة الضوئية ومقدمات الموجة مرسومة وموضحة باللون **الأحمر**.
- المرايا مرسومة وموضحة باللون **الأزرق الفاتح**.

■ **الشكل 2–5** تقترب مقدمة الموجة الضوئية من السطح العاكس. تصطدم النقطة P الموجودة على مقدمة الموجة بالسطح أولاً **(a)**. وتصل النقطة Q إلى السطح بعد أن تكون النقطة P قد انعكست بزاوية مساوية لزاوية السقوط **(b)**. وتستمر العملية وتُتابع النقاط جميعها الانعكاس بزوايا مساوية لزوايا سقوطها، مما يؤدي إلى تشكل مقدمة الموجة المنعكسة **(c)**.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 3–5** عندما تسقط حزمة ضوئية على سطح مرآة (a) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة متوازيةً ومحافظةً على شكل الحزمة (b). وعندما تسقط حزمة الضوء على سطح خشن (c) تنعكس الأشعة المتوازية في الحزمة الساقطة عن سطوح مختلفة صغيرة جدًّا، ممّا يؤدي إلى تشتيت الأشعة (d).

ولأن النقاط جميعها تنتشر بالسرعة نفسها فإنها ستقطع المسافة الكلية نفسها خلال الزمن نفسه، لذا تنعكس مقدمة الموجة كاملة عن السطح بزاوية مساوية لزاوية سقوطها. كما في **الشكل 2c–5** . لاحظ أن الطول الموجي للضوء لا يؤثر في هذه العملية؛ فألوان الضوء الأحمر والأخضر والأزرق جميعها تتبع هذا القانون.

السطوح الملساء والسطوح الخشنة تأمل حزمة الضوء الساقطة في **الشكل 3a–5** ولاحظ أن جميع الأشعة في الحزمة الضوئية قد انعكست عن السطح متوازية، كما في **الشكل 3b–5**. وهذا يحدث فقط إذا كان السطح العاكس أملس وفق مقياس الطول الموجي للضوء. فالسطح الأملس أو المصقول، مثل المرآة، يسبب **انعكاسًا منتظمًا**؛ أي أن الأشعة الضوئية التي تسقط عليه متوازية تنعكس عنه متوازية أيضًا.

ماذا يحدث عندما يسقط الضوء على سطح يبدو أملس ومصقولاً ولكنه في الواقع خشن وفق مقياس الطول الموجي للضوء، مثل صفحة هذا الكتاب أو جدار أبيض؟ فهل سينعكس الضوء؟ وكيف توضح ذلك؟ يبين **الشكل 3c–5** حزمة ضوئية تنعكس عن صفيحة ورقية خشنة السطح، حيث سقطت أشعة الحزمة الضوئية جميعها متوازية، ولكنها انعكست غير متوازية، كما في **الشكل 3d–5**. ويُسمّى تشتّت الضوء عن سطح خشن **انعكاسًا غير منتظم**.

ينطبق قانون الانعكاس على كل من السطحين الأملس والخشن. ففي حالة السطح الخشن تكون زاوية سقوط كل شعاع مساوية لزاوية انعكاسه، وتكون الأعمدة المقامة على السطح عند مواقع سقوط الأشعة غير متوازية على المستوى المجهري؛ لذا لا يمكن أن تكون الأشعة المنعكسة متوازية؛ لأن السطح الخشن حال دون توازيها. وفي هذه الحالة لا يمكن رؤية حزمة الضوء المنعكسة؛ لأن الأشعة الضوئية المنعكسة تفرّقت وتشتّتت في اتجاهات مختلفة. أما في حالة الانعكاس المنتظم ـ كما في المرآة ـ فيمكنك رؤية وجهك؛ لأن الأشعة انعكست على هيئة حزمة. وبغض النظر عن كمية الضوء المنعكسة عن الورقة أو الجدار، فلا يمكن اتخاذ كلّ منهما مرآة؛ لأنهما يشتّتان الأشعة المنعكسة.

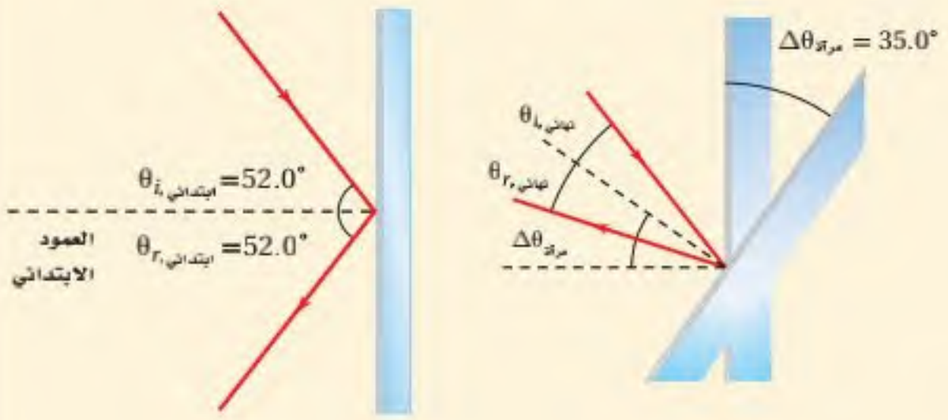
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 1

تغيير زاوية السقوط سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 52.0° بالنسبة للعمود المقام، فإذا دُوّرت المرآة بزاوية 35.0° حول نقطة سقوط الشعاع على سطحها بحيث نقصت زاوية سقوط الشعاع، وكان محور الدوران متعامدًا مع مستوى الشعاع الساقط والشعاع المنعكس، فما زاوية دوران الشعاع المنعكس؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحالة قبل دوران المرآة.
- ارسم شكلاً آخر بتطبيق زاوية الدوران على المرآة.



المعلوم **المجهول**

$\theta_{i,\text{ابتدائي}} = 52.0^\circ \quad \Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35.0^\circ \quad \Delta\theta_r = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

لتقليل زاوية السقوط دوّر المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة.

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

$\theta_{i,\text{نهائي}} = \theta_{i,\text{ابتدائي}} - \Delta\theta_{\text{مرآة}}$

عوّض مستخدمًا $\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35.0^\circ, \theta_{i,\text{ابتدائي}} = 52.0^\circ$

$= 52.0^\circ - 35.0^\circ$

$= 17.0^\circ$ في اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

طبّق قانون الانعكاس

عوّض مستخدمًا $\theta_{i,\text{نهائي}} = 17.0^\circ$

$\theta_{r,\text{نهائي}} = \theta_{i,\text{نهائي}}$

$= 17.0^\circ$ في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

أوجد الزاوية التي دار بها الشعاع المنعكس باستخدام الشكلين

$\Delta\theta_r = 52.0^\circ + 35.0^\circ - 17.0^\circ$

$= 70.0^\circ$ في اتجاه حركة عقارب الساعة من الزاوية الأصلية

3 تقويم الجواب

- **هل الجواب واقعي؟** بمقارنة الرسمين النهائي والابتدائي يتبيّن أن زاوية السقوط تقل عندما تدور المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة في اتجاه الشعاع الضوئي. ومن المنطقي أن يدور الشعاع المنعكس في اتجاه حركة عقارب الساعة أيضًا.

مسائل تدريبية

1. عند سكب كمية ماء فوق سطح زجاج خشن يتحوّل انعكاس الضوء من انعكاس غير منتظم إلى انعكاس منتظم. وضح ذلك
2. إذا كانت زاوية سقوط شعاع ضوئي 42.0° فما مقدار كل مما يأتي:
   a. زاوية الانعكاس.
   b. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والمرآة.
   c. الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.
3. سـقطت حزمة ضوء ليزر على سطح مرآة مستوية بزاوية 38.0° بالنسبة للعمود المقام. فإذا حُرّك الليزر بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 13.0° فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟
4. وضعت مرآتان مستويتان إحداهما عمودية على الأخرى. فإذا أُسقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام، وانعكس في اتجاه المرآة الثانية، فما مقدار زاوية انعكاس الشعاع الضوئي عن المرآة الثانية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

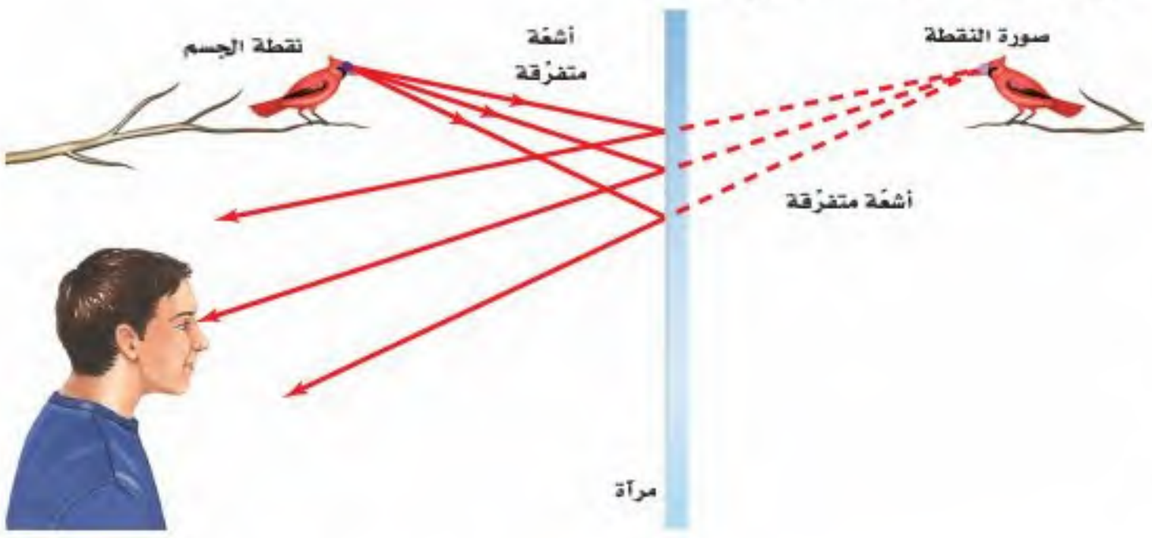
الأجسام والصور في المرايا المستوية
Objects and Plane-Mirror Images

عندما تنظر إلى نفسك بواسطة مرآة مستوية فإن ما تشاهده هو صورتك فيها. **فالمرآة المستوية** عبارة عن سطح مستوٍ أملس (مصقول) ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. ولفهم انعكاس الضوء عن المرايا يجب أن نحدّد الجسم ونوع الصورة المتكوّنة. وقد استخدمت كلمة جسم في الفصل السابق لتشير إلى مصدر الضوء، أما في موضوع المرايا فتستخدم كلمة جسم بالطريقة نفسها، لكن بتطبيق أكثر تحديدًا؛ **فالجسم** هو مصدر الأشعة الضوئية التي ستُعكَس عن سطح مرآة، ويمكن أن يكون الجسم مصدرًا مضيئًا مثل المصباح، أو مصدرًا مستضيئًا مثل الشاب، كما في **الشكل 4–5**.

■ **الشكل 4–5** المصباح الضوئي مصدر مضيء، ويشع الضوء في الاتجاهات جميعها. أما الشاب فيُعدّ مصدرًا مستضيئًا يشتّت ضوء المصباح الساقط على جسمه عن طريق الانعكاس غير المنتظم للضوء.

خذ نقطة مفردة على الطائر الموضح في **الشكل 5–5**، تلاحظ أن الضوء ينعكس بصورة مشتّتة (انعكاس غير منتظم) من منقار الطائر - نقطة الجسم - فماذا يحدث للضوء المنعكس؟ يسقط الضوء من الطائر على المرآة وينعكس. وماذا سيشاهد الصبي؟ سيصل بعض الضوء المنعكس إلى عيني الصبي. ولأن دماغه يُعالج هذه الأشعة وكأنها سلكت مسارًا مستقيمًا، لذا سيبدو له أن الضوء يتّبع الخطوط المتقطعة على الشكل؛ أيْ كأنه قادم من نقطة خلف المرآة، والتي تمثّل صورة النقطة.

وسيرى الصبي في **الشكل 5–5** الأشعة الضوئية القادمة من نقاط متعدّدة على جسم الطائر بالطريقة نفسها، وبذلك تتشكل **صورة** الطائر من اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة، وتعد هذه الصورة **صورة خيالية**؛ وذلك لأنها تكوّنت من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وتقع الصور الخيالية دائمًا على الجانب الآخر من المرآة (خلف المرآة)، وهذا يعني أن صور الأجسام الحقيقية المتكوّنة في المرايا المستوية دائمًا هي صور خيالية؛ لأنه لا يمكن جمعها على حاجز.

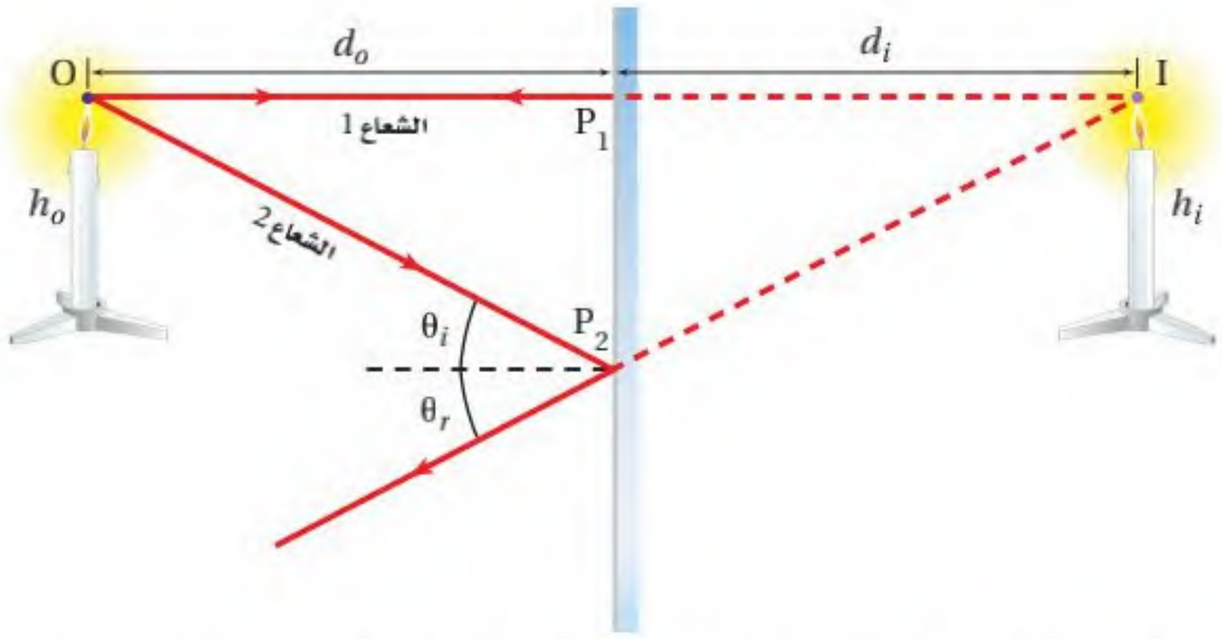


■ **الشكل 5–5** تبدو الأشعة المنعكسة التي تصل إلى العين وكأنها قادمة من نقطة خلف المرآة.

صفات الصور في المرايا المستوية
Properties of Palne-Mirror Images

عندما تنظر إلى نفسك في مرآة مستوية ترى صورتك تظهر خلف المرآة وعلى بُعد يساوي بُعدك عن المرآة. فكيف يمكنك اختبار ذلك؟ ضع مسطرة بينك وبين المرآة. أين ستلامس المسطرة الصورة؟ ستلاحظ أيضًا أن الصورة تكون في اتجاهك نفسه؛ أي معتدلة، وأنها معكوسة جانبيًّا، وحجمها مساويًا لحجم جسمك، وهذا هو منشأ التعبير القائل: "صورة *طبق الأصل*"، وإذا تحركت في اتجاه المرآة فإن صورتك ستتحرك في اتجاه المرآة، وإذا تحركت مبتعدًا عن المرآة فستتحرك الصورة مبتعدة عن المرآة أيضًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 6–5** تنبعث الأشعة الضوئية من نقطة على الجسم في الاتجاهات جميعها، حيث يسقط بعضها على سطح المرآة، فينعكس إلى العين. يبين الرسم شعاعين ضوئيين فقط. وتمتد خطوط الرؤية (الامتداد الخلفي) –الموضحة على هيئة خطوط متقطعة– إلى الخلف من مواقع انعكاس الأشعة على سطح المرآة إلى موقع التقائها، ويكون موقع الصورة في المكان الذي تلتقي فيه هذه الامتدادات: $d_i = -d_o$

موقع الصورة وطولها يوضح النموذج الهندسي في **الشكل 6–5** تساوي بُعد الجسم وبُعد الصورة عن المرآة، وكذلك تساوي طول الجسم وطول الصورة. ويتبيّن ذلك برسم شعاعين صادرين من النقطة O على رأس الشمعة يسقطان على المرآة في النقطتين P_1، P_2 على الترتيب. وينعكس الشعاعان وفق قانون الانعكاس، ويتقاطع امتدادا انعكاسيهما خلف المرآة على أنهما خطوط الرؤية (خط متقطع) في النقطة I التي تمثل صورة النقطة O. فالشعاع 1 يسقط على المرآة بزاوية سقوط °0، فينعكس مرتدًّا على نفسه؛ أي عموديًّا على المرآة. أما الشعاع 2 فينعكس بالزاوية نفسها التي سقط بها، لذا يصنع خط الرؤية (الامتداد الخلفي) مع المرآة زاوية مساوية للزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط نفسه مع المرآة.

ويبين النموذج الهندسي أن القطعتين المستقيمتين $\overline{OP_1}$، $\overline{IP_1}$ تمثّلان ضلعين متقابلين في مثلثين متطابقين OP_1P_2، IP_1P_2. وتمثل d_o بُعد الجسم عن المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{OP_1}$، كما تُسمى أيضًا موقع الجسم، أما d_i فتمثّل بُعد الصورة عن المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{IP_1}$، كما تُسمى موقع الصورة. وباستخدام دلالة نظام الإشارات ـ حيث تشير الإشارة السالبة لموقع الصورة إلى أن الصورة خيالية ـ تكون المعادلة الآتية صحيحة:

موقع الصورة التي تُكوِّنها مرآة مستوية $d_i = -d_o$

بُعد الصورة عن المرآة المستوية يساوي سالب بُعد الجسم عنها، وإشارة السالب تدل على أن الصورة خيالية".

ولإيجاد طول الصورة يمكنك رسم شعاعين من الجسم. فمثلًا يلتقي امتداد الشعاعين الصادرين من قاعدة الشمعة، كما في **الشكل 6–5**، في نقطة خلف المرآة تكوّن قاعدة الصورة. وسيكون طول الصورة h_i المتكوّنة - باستخدام قانون الانعكاس وهندسة تطابق المثلثات - مساويًا لطول الجسم h_o.

طول الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية $h_i = h_o$

في المرآة المستوية يكون طول الصورة مساويًا لطول الجسم.

تجربة

موقع الصورة الخياليّة

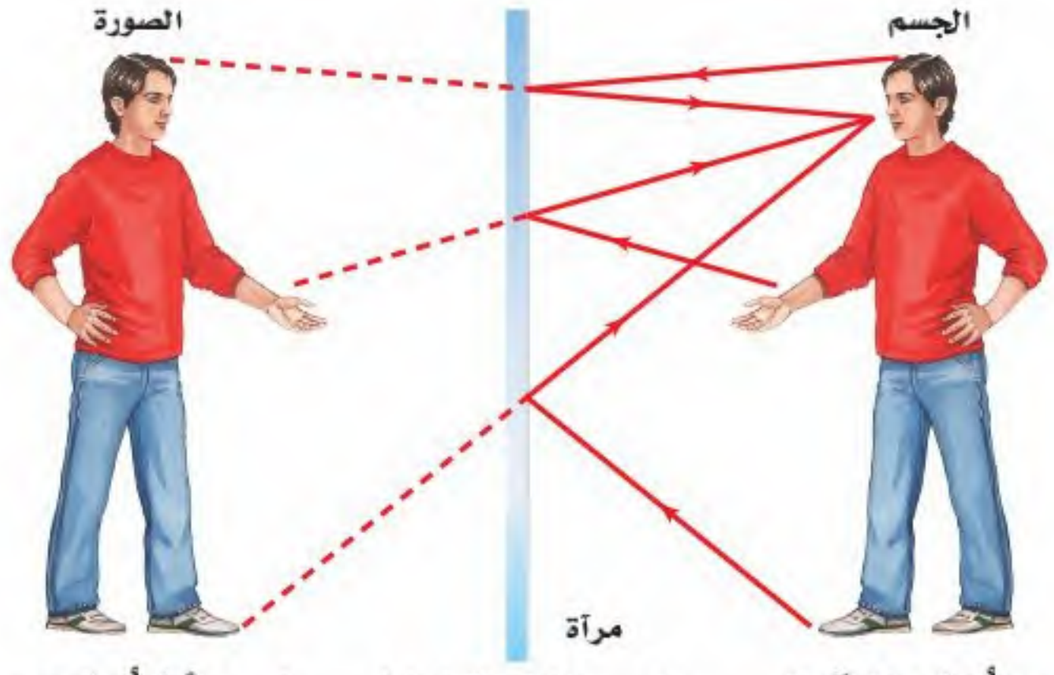
افترض أنك تنظر إلى صورتك في مرآة مستوية، هل تستطيع قياس بعد الصورة؟

1. أحضر من معلمك آلة تصوير (كاميرا) على أن يكون لها قرص تركيز كُتبت عليه المسافات.
2. قف على بُعد 1.0 m من المرآة، وركز الكاميرا على حافة المرآة، وتحقق من قراءة قرص التركيز. يجب أن تكون 1.0 m.
3. قس بُعد صورتك من خلال تركيز الكاميرا عليها، وتحقق من قراءة قرص التركيز.

التحلِيل والاستنتاج

4. ما بُعد الصورة خلف المرآة؟
5. لماذا تكون الكاميرا قادرة على التقاط صورة للصورة الخيالية التي خلف المرآة رغم عدم وجود جسم حقيقي في ذلك الموقع؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 7–5** الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية لها حجم الجسم نفسه، وبُعد الجسم نفسه عن المرآة، وتقع خلف المرآة، وتكون معكوسة جانبيًا؛ فإذا حرك الشخص يده اليمنى تتحرك اليد اليسرى في الصورة.

اتجاه الصورة تُكوّن المرآة المستوية صورًا في اتجاه الجسم نفسه؛ أيْ تُكوّن صورًا معتدلة. فإذا كنت تقف على قدميك فإن الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية تظهر كذلك، وإذا كنت تقف على يديك تكون الصورة أيضًا بوضعية الوقوف على اليدين. غير أن هناك اختلافًا بينك وبين صورتك التي تكوّنها المرآة. تتبَّع خطوط الأشعة الموضحة في **الشكل 7–5**. فالأشعة المنتشرة من اليد اليمنى للشخص تبدو كأنها تتجمع في اليد اليسرى لصورته؛ أيْ تظهر اليد اليسرى واليد اليمنى معكوستين في المرآة المستوية. فلماذا لا تنعكس قمة الجسم وقاعدته؟ هذا لا يحدث لأن المرآة المستوية في الحقيقة لا تعكس الجهة اليسرى واليمنى، بل تعمل المرآة في **الشكل 7–5** على عكس صورة الشخص فقط بحيث تقابله في الاتجاه المعاكس له؛ أي أن المرآة تكوّن صورًا معكوسة جانبيًّا.

بالرجوع إلى صورة الجبل في بداية الفصل، تلاحظ أنها مقلوبة رأسيًّا، ولكن الصورة في الحقيقة معكوسة جانبيًّا مقارنة بالجبل الحقيقي؛ فلأن المرآة (سطح البحيرة) تكون أفقيّة وليست رأسيّة، فإن المنظور، أو زاوية النظر، تجعل الصورة تبدو مقلوبة رأسيًّا. ولفهم ذلك دوّر كتابك بزاوية 90° في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وانظر إلى **الشكل 7–5** مرة أخرى، تجد أن الشخص ينظر إلى أسفل، في حين تبدو صورته كأنها تنظر إلى أعلى، كصورة الجبل تمامًا. فالشيء الوحيد الذي تغير هو المنظور فقط.

تجربة عملية

أين تتكون صورتك في المرآة؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

1–5 مراجعة

5. **الانعكاس** سقط شعاع ضوئي على سطح مصقول عاكس بزاوية سقوط 80°. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع سطح المرآة؟
6. **قانون الانعكاس** اشرح كيف يُطبّق قانون الانعكاس في حالة الانعكاس غير المنتظم.
7. **السطوح العاكسة** صنّف السطوح الآتية إلى سطوح عاكسة منتظمة (ملساء) وسطوح عاكسة غير منتظمة (خشنة): ورقة، معدن مصقول، زجاج نافذة، معدن خشن، إبريق حليب بلاستيكي، سطح ماء ساكن، زجاج خشن (مصنفر).
8. **صفات الصورة** يقف طفل طوله 50 cm على بُعد 3 m من مرآة مستوية وينظر إلى صورته. ما بُعد الصورة وطولها؟ وما نوع الصورة المتكوّنة؟
9. **مخطّط الصور** إذا كانت سيارة تتبع سيارة أخرى على طريق أفقية، وكان الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية يميل بزاوية 45°، فارسم مخطّطًا للأشعة يبين موقع الشمس الذي يجعل أشعتها تنعكس عن الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية، في اتجاه عيني سائق السيارة الخلفية.
10. **التفكير الناقد** وضح كيف يُمكّنك الانعكاس غير المنتظم للضوء عن جسم معين من رؤية الجسم عند النظر إليه من أية زاوية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5–2 المرايا الكروية Curved Mirrors

الأهداف

- **توضّح** كيف تكوّن كلٌّ من المرايا المحدبة والمرايا المقعرة الصور.
- **تصف** خصائص المرايا الكروية وتذكر استخداماتها.
- **تحدّد** مواقع وأطوال الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.

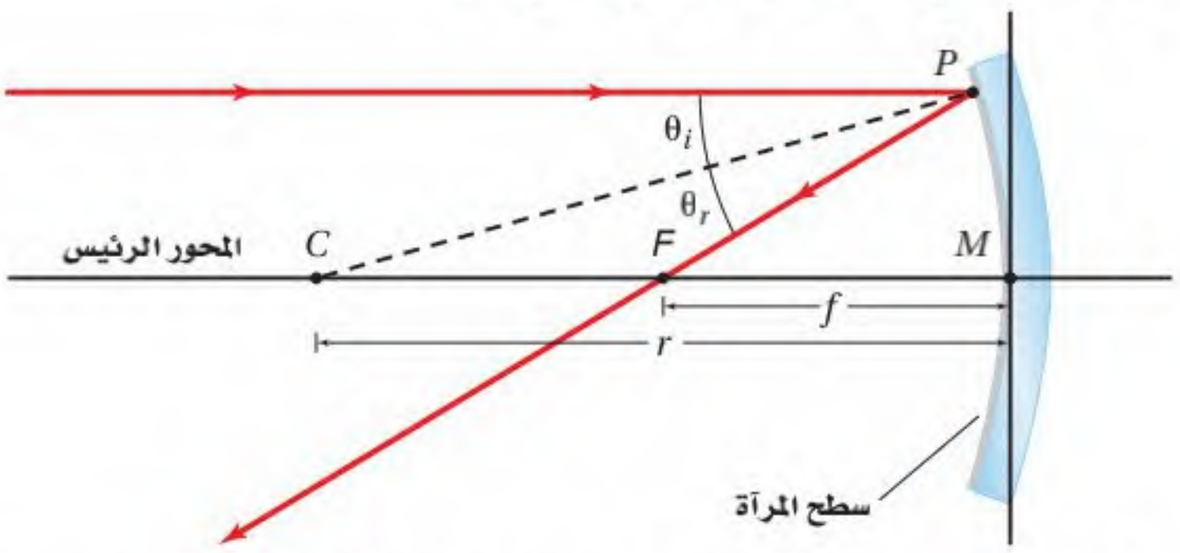
المفردات

المرآة المقعرة
المحور الرئيس
البؤرة
البعد البؤري
الصورة الحقيقية
الزوغان (التشوّه) الكروي
التكبير
المرآة المحدبة

عندما تنظر إلى سطح ملعقة لامعة تلاحظ أن انعكاس صورتك يختلف عن انعكاسها في مرآة مستوية؛ إذ تعمل الملعقة عمل مرآة كروية؛ حيث يكون أحد سطحيها منحنيًا إلى الداخل، والسطح الآخر منحنيًا إلى الخارج. وتعتمد خصائص المرايا الكروية والصور التي تكوّنها على شكل المرآة وموقع الجسم.

المرايا المقعّرة Concave Mirrors

يعمل السطح الداخلي للملعقة (السطح الذي يحمل الطعام) عمل مرآة مقعرة. **والمرآة المقعرة** سطح عاكس، حوافّه منحنية نحو المشاهد. وتعتمد خصائص المرآة المقعرة على مدى تقعرها، ويبين **الشكل 8–5** كيف تعمل المرآة الكروية المقعرة. ويبدو شكل المرآة الكروية المقعرة كأنه جزء مأخوذ من كرة جوفاء سطحها الداخلي عاكس للضوء. وللمرآة الكروية المقعرة المركز الهندسي نفسه (C) ونصف قطر التكوّر نفسه (r) الخاصّين بالكرة المأخوذة منها. ويسمّى الخط الذي يحتوي على القطعة المستقيمة CM **المحور الرئيس**؛ وهو خط مستقيم متعامد مع سطح المرآة الذي يقسمها إلى نصفين. وتمثل النقطة (M) قطب المرآة؛ وهي نقطة تقاطع المحور الرئيس مع سطح المرآة.

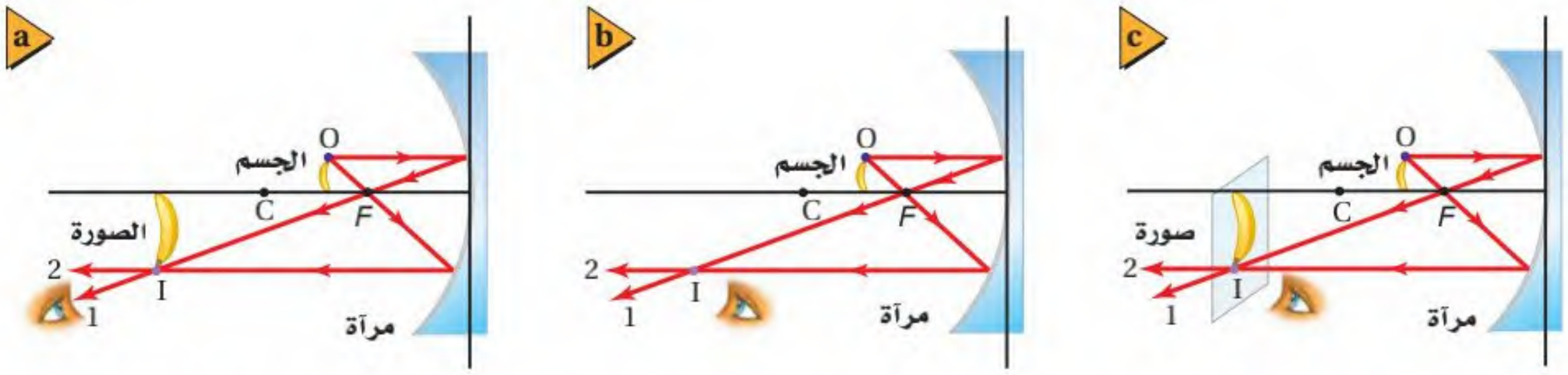


الشكل 8–5 تقع بؤرة المرآة الكروية المقعرة في منتصف المسافة بين مركز التكوّر وسطح المرآة. وتنعكس الأشعة الساقطة موازية للمحور الرئيس مارة بالبؤرة F.

عندما توجّه المحور الرئيس للمرآة المقعرة نحو الشمس تنعكس الأشعة جميعها مارّة بنقطة واحدة. ويمكنك تحديد هذه النقطة بتقريب وإبعاد قطعة ورق أمام المرآة حتى تحصل على أصغر وأوضح نقطة لأشعة الشمس المنعكسة على الورقة. وتُسمى هذه النقطة **البؤرة** الأصلية للمرآة؛ وهي النقطة التي تتجمع فيها انعكاسات الأشعة المتوازية الساقطة موازية للمحور الرئيس بعد انعكاسها عن المرآة. ونظرًا للبعد الكبير بين الشمس والأرض فإن جميع الأشعة التي تصل الأرض تُعدّ متوازية.

وعندما يسقط الشعاع على مرآة فإنه ينعكس وفق قانون الانعكاس. ويبين **الشكل 8–5** أن الأشعة الساقطة موازيةً للمحور الرئيس تنعكس عن المرآة وتقطع المحور في البؤرة F. وتقع البؤرة F في منتصف المسافة بين مركز التكور C والقطب M، أما **البعد البؤري** f، فيمثل المسافة بين قطب المرآة وبؤرتها الأصلية، ويعبر عنه على النحو الآتي: $f = \frac{r}{2}$، ويكون البعد البؤري للمرآة المقعرة موجبًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 9–5** الصورة الحقيقية التي تُرى بالعين المجردة (**a**). لا ترى العين الصورة الحقيقية إذا كانت في موقع لا تسقط عليه الأشعة المنعكسة (**b**). الصورة الحقيقية كما ترى على شاشة معتمة بيضاء (**c**).

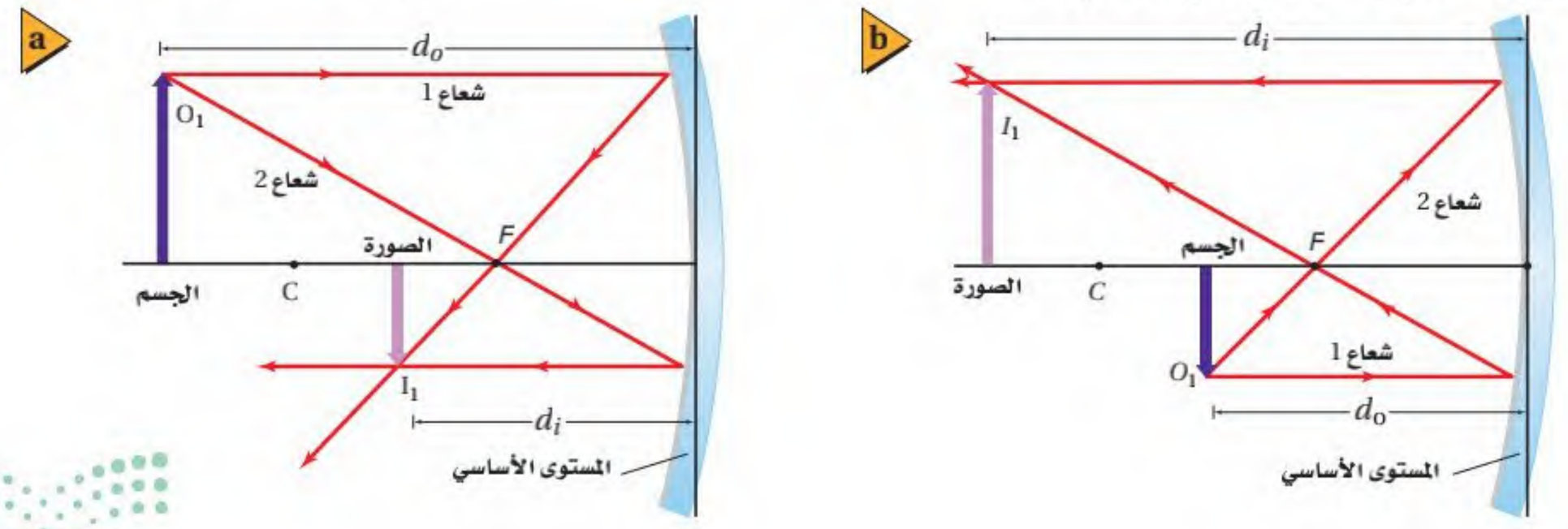
الطريقة الهندسية لتحديد موقع الصورة

Graphical Method of Finding the Image

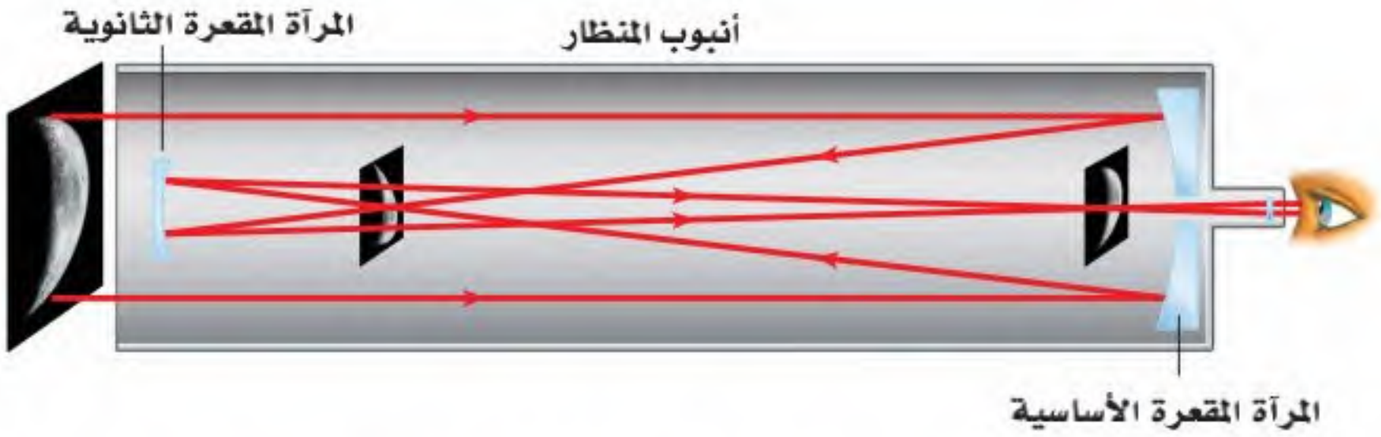
يُفيدنا رسم مسارات الأشعة المنعكسة عن المرايا المقعرة في تحديد موقع الصورة، ليس لأن موقع الصورة هو الذي يتغير فقط، بل لأن حجمها ووضعها (اتجاهها) يتغيران أيضًا. ويُمكنك استخدام مخطّط الأشعة للكشف عن خصائص الصور التي تُكوّنها المرايا المقعرة. ويبين **الشكل 9–5** عملية تكوين **صورة حقيقية**؛ وهي الصورة التي تتكون من التقاء الأشعة المنعكسة ويمكن جمعها على حاجز. وتلاحظ أن الصورة مقلوبة وأكبر حجمًا من الجسم، وأنّ الأشعة تلتقي فعليًّا في النقطة التي تتكون فيها الصورة. وتُحدِّد نقطة التقاطع (I) لشعاعين منعكسين موقع الصورة. ويمكنك رؤية الصورة في الفضاء عندما تَسقط الأشعة المنعكسة التي كوَّنت الصورة على عينك، كما في **الشكل 9a–5**. ويوضّح **الشكل 9b–5** أنه يجب أن يكون موقع عينك في الجهة التي تسقط عليها الأشعة المنعكسة المكوّنة للصورة، ولا يمكنك رؤية الصورة من الخلف. وإذا وضعت حاجزًا (شاشة) في موقع تكوّن الصورة فإن هذه الصورة ستظهر على الحاجز كما في **الشكل 9c–5**، وهذا غير ممكن في حالة الصور الخيالية التي تتكون من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة ولا يمكن جمعها على حاجز.

ولتسهيل فهم كيفية سلوك الأشعة عند استخدام المرايا المقعرة يمكنك استخدام أجسام أحادية البعد؛ سهم مثلاً، كما في **الشكل 10a–5**. تكوِّن المرآة الكروية المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة للجسم. إذا كان بعد الجسم d_o أكبر من ضعف البعد البؤري f (خلف مركز التكور)، أما إذا كان الجسم واقعًا بين البؤرة F ومركز التكور C كما في **الشكل 10b–5** فإن الصورة ستكون حقيقية ومقلوبة ومكبرة.

■ **الشكل 10–5** إذا كان بُعد الجسم عن المرآة أكبر من بُعد مركز التكوّر فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة مقارنة بالجسم (**a**). أما إذا كان الجسم واقفًا بين البؤرة ومركز التكور فستكون الصورة حقيقية ومقلوبة ومكبرة وموقعها خلف C (**b**).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 11–5** يكوّن منظار جريجوريان Gregorian صورًا حقيقية ومعتدلة.

الربط مع الفلك

كيف يمكن تحويل الصورة الحقيقية والمقلوبة التي تكوّنها مرآة مقعرة إلى صورة معتدلة وحقيقية؟ لقد طوّر عالم الفلك الأسكتلندي جيمس جريجوري في عام 1663 المنظار المعروف باسمه، منظار جريجوريان (المنظار الفلكي)، المبين في **الشكل 11–5** لحل هذه المشكلة. ويتكوَّن منظاره من مرآتين مقعرتين إحداهما كبيرة والأخرى صغيرة. وتقع المرآة الصغيرة خلف بؤرة المرآة الكبيرة. وعندما تسقط الأشعة المتوازية القادمة من جسم بعيد على المرآة المقعرة الكبيرة فإنها تنعكس في اتجاه المرآة الصغيرة، التي تعكس بدورها هذه الأشعة مكوِّنة صورة حقيقية ومعتدلة تمامًا كالجسم.

استراتيجيات حل المسألة

استخدام طريقة رسم الأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية

استخدم الاستراتيجيات الآتية لحل مسائل المرايا الكروية. ارجع إلى **الشكل 10–5**:

1. استخدم ورقة مُسطّرة أو ورقة رسم بياني، وارسم المحور الرئيس للمرآة على شكل خط أفقي من يسار الصفحة إلى يمينها، تاركًا مسافة 6 أسطر فارغة أعلاه، و6 أسطر فارغة أسفله.
2. ضع نقاطًا أو علامات على المحور تمثّل كلًّا من الجسم، و C، و*F* على النحو الآتي:

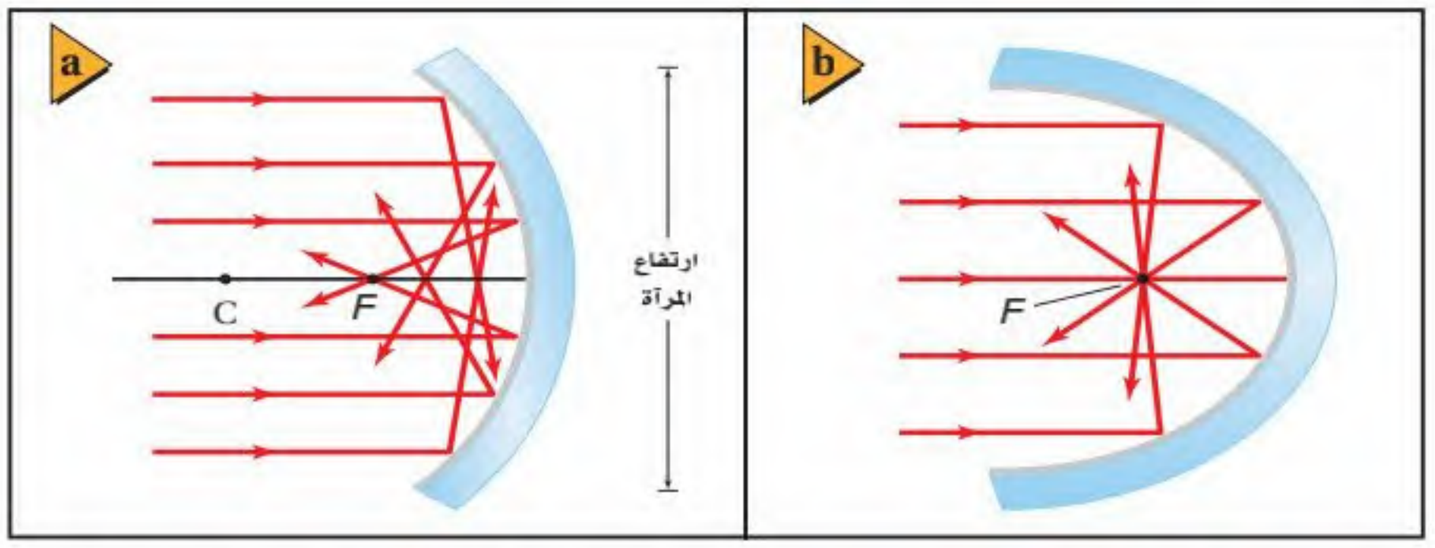
a. إذا كانت المرآة مقعرة و الجسم خلف مركز التكور C، بعيدًا عن المرآة، فضع المرآة عن يمين الصفحة، والجسم عن يسارها، وضع C و*F* وفق مقياس الرسم.

b. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم بين C و *F* فضع المرآة عن يمين الصفحة، وC في وسطها، و*F* في منتصف المسافة بين المرآة ومركز التكور C ، وضع الجسم وفق مقياس الرسم.

c. لأي وضع آخر، ضع المرآة في وسط الصفحة، وضع الجسم أو البؤرة *F* [أيهما أبعد عن المرآة] عن يسار الصفحة، وضع الآخر الأقرب وفق مقياس الرسم.

3. ارسم خطًّا رأسيًّا لتمثيل المرآة، يمر بقطبها وفي الفراغ المكوّن من الاثني عشر سطرًا. يُمثّل هذا الخط المستوى الأساسي للمرآة.
4. ارسم الجسم على هيئة سهم، واكتب على رأسه O_1. للمرايا المقعرة، يجب ألا يزيد طول الأجسام الواقعة أمام C على 3 أسطر، وأمّا لسائر الأوضاع فاجعل طول الأجسام 6 أسطر. سيكون مقياس رسم طول الجسم مختلفًا عن مقياس الرسم المستخدم على المحور الرئيس.
5. ارسم الشعاع 1 بصورة موازية للمحور الرئيس، حيث ينعكس عن المستوى الأساسي مارًّا بالبؤرة.
6. ارسم الشعاع 2 مارًّا بالبؤرة. سينعكس هذا الشعاع عن المستوى الأساسي موازيًا للمحور الرئيس.
7. تتكون الصورة عند موقع التقاء الشعاعين المنعكسين 1 و 2 أو امتداديهما، وتكون الصورة ممثلة بسهم عمودي من المحور الرئيس إلى I_1 (نقطة التقاء الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 12–5** تعكس المرآة الكروية المقعرة جزءًا من الأشعة، بحيث تتجمع في نقاط غير البؤرة (**a**). تُجمّع مرآة القطع المكافئ الأشعةَ المنعكسة جميعها وتركّزها في نقطة واحدة (**b**).

عيوب الصور الحقيقية في المرايا المقعرة عند رسم الأشعة في المرايا الكروية فإنّك تعكس الأشعة عن المستوى الأساسي؛ وهو الخط الرأسي الذي يمثل المرآة، إلا أن الأشعة في حقيقة الأمر تنعكس عن المرآة نفسها، كما في **الشكل 12a–5**. لاحظ أن الأشعة المتوازية القريبة من المحور الرئيس (الأشعة المحورية) فقط هي التي تنعكس مارَّة بالبؤرة. أما الأشعة الأخرى فتلتقي في نقاط أقرب إلى المرآة. لذا فإنّ الصورة المتكوّنة نتيجة انعكاس الأشعة التي تسقط متوازية على مرآة كروية ذات قطر (ارتفاع) كبير ونصف قطر تكوّر صغير، ستكون على هيئة قرص، وليست نقطة. ويُسمى هذا العيب **الزوغان (التشوّه) الكروي**، وهو ما يجعل الصورة تبدو غير واضحة.

والمرآة المقعرة التي تكون على شكل قطع مكافئ ـ كما في **الشكل 12b–5** ـ لا تعاني من الزوغان الكروي. ونظرًا لارتفاع تكلفة تصنيع المرايا الكبيرة التي تأخذ شكل القطع المكافئ تمامًا، فإن أغلب التلسكوبات الجديدة تستعمل مرايا كروية ومرايا ثانوية صغيرة مصمّمة على هيئة خاصة، أو عدسات صغيرة، لتصحيح الزوغان الكروي. ويمكن تقليل الزوغان الكروي كذلك بتقليل نسبة ارتفاع المرآة، الموضحة في **الشكل 12a–5**، إلى مقدار نصف قطر تكوّرها. وتُستخدم المرايا ذات التكلفة الأقل في التطبيقات التي لا تحتاج إلى دقة عالية.

الطريقة الرياضية لتحديد موقع الصورة
Mathmatical Method of Locating the Image

يمكن استعمال نموذج المرآة الكروية لإيجاد معادلة بسيطة خاصة بالمرايا الكروية. ولتكوين الصورة يجب مراعاة الاعتماد على الأشعة المحورية؛ وهي الأشعة القريبة من المحور الرئيس والمتوازية معه. واستخدام هذا التقريب إلى جانب استخدام قانون الانعكاس يقود إلى معادلة المرايا الكروية عن طريق ربط الكميات الآتية معًا: البعد البؤري للمرآة الكروية f، وبعد الجسم d_o، وبعد الصورة d_i.

معادلة المرايا الكروية

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

مقلوب البعد البؤري للمرآة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الجسم ومقلوب بُعد الصورة عن المرآة.

من المهم أن تتذكر عند استخدام هذه المعادلة في حل المسائل أنها صحيحة تقريبًا؛ حيث لا تتنبأ بالزوغان الكروي؛ لأنها تعتمد على الأشعة المحورية في تكوين الصور. وفي الحقيقة

تطبيق الفيزياء

مشكلة هابل

Hubble Trouble

أطلقت وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) في عام 1990 تلسكوب هابل الفضائي في مدار حول الأرض، وكان من المتوقع أن يُزوّد الوكالة بصور واضحة دون التشوه الحادث بسبب الغلاف الجوي، إلّا أنّه وجد بعد إطلاقه مباشرة زوغان كروي في الصور. وفي عام 1993 أُجريت تصحيحات بصرية، سميت كوستار COSTAR، على تلسكوب هابل ليتمكن من إعطاء صور واضحة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

◀ الرياضيات في الفيزياء

جمع الكسور وطرحها عند استخدام معادلة المرايا، استعمل الرياضيات أولًا لنقل الكسر الذي يتضمن الكمية التي تبحث عنها إلى الطرف الأيسر للمعادلة، وانقل الكسرين الآخرين إلى الطرف الأيمن، ثم اجمع الكسرين الموجودين عن يمين المعادلة باستخدام توحيد المقامات عن طريق ضرب المقامات بعضها في بعض.

الرياضيات	الفيزياء
$\frac{1}{x} = \frac{1}{y} + \frac{1}{z}$	$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$
$\frac{1}{y} = \frac{1}{x} - \frac{1}{z}$	$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o}$
$\frac{1}{y} = \frac{1}{x}\left(\frac{z}{z}\right) - \left(\frac{1}{z}\right)\left(\frac{x}{x}\right)$	$\frac{1}{d_i} = \left(\frac{1}{f}\right)\left(\frac{d_o}{d_o}\right) - \left(\frac{1}{d_o}\right)\left(\frac{f}{f}\right)$
$\frac{1}{y} = \frac{z-x}{xz}$	$\frac{1}{d_i} = \frac{d_o - f}{f d_o}$
$y = \frac{xz}{z-x}$	$d_i = \frac{f d_o}{d_o - f}$

وباستخدام هذه الطريقة يمكنك اشتقاق العلاقات الآتية لحساب بُعد الصورة، وبُعد الجسم، والبعد البؤري.

$$f = \frac{d_i d_o}{d_o + d_i} \qquad d_o = \frac{f d_i}{d_i - f} \qquad d_i = \frac{f d_o}{d_o - f}$$

تكون الأشعة الصادرة عن الجسم مشتتة، لذا لا تكون جميع الأشعة موازية للمحور الرئيس أو قريبة منه. وتعطي هذه المعادلة صفات الصورة بدقة كبيرة، إذا كان ارتفاع المرآة صغيرًا مقارنة بنصف قطر تكوّرها، بحيث يحدّ من الزوغان الكروي.

التكبير للمرايا الكروية خاصية **التكبير** m؛ ويُقصد به كم مرّة تكون الصورة أكبر من الجسم أو أصغر منه. والتكبير عمليًا هو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم. ويمكن استخدام هندسة تطابق المثلثات لكتابة هذه النسبة بدلالة كلٍّ من بُعد الجسم وبُعد الصورة.

التكبير

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

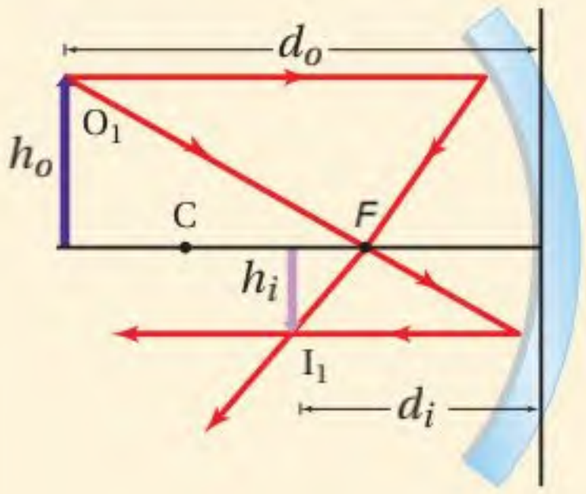
يُعرّف تكبير مرآة كروية لجسم ما على أنه: طول الصورة مقسومًا على طول الجسم. ويساوي حاصل قسمة سالب بُعد الصورة عن المرآة على بُعد الجسم عن المرآة.

عند استعمال المعادلة السابقة يكون بُعد الصورة الحقيقية موجبًا، لذا يكون التكبير سالبًا، وهذا يعني أن الصورة مقلوبة مقارنة بالجسم. وإذا كان الجسم واقعًا خلف مركز التكور C تكون القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أقل من 1؛ وهذا يعني أن الصورة تكون أصغر من الجسم (مصغّرة). أما إذا وضع الجسم بين البؤرة F ومركز التكور C فتكون القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أكبر من 1؛ أيْ أن الصورة أكبر من الجسم (مكبّرة).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 2

الصورة الحقيقية التي تكوّنها مرآة مقعرة وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 20.0 cm، وعلى بُعد 30.0 cm منها. فما بُعد الصورة؟ وما طولها؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطّطاً للجسم وللمرآة.
- ارسم شعاعين أساسيّين لتحديد موقع الصورة على المخطّط.

المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0\ \text{cm}$	$d_i = ?$
$d_o = 30.0\ \text{cm}$	$h_i = ?$
$r = 20.0\ \text{cm}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

الكسور

احسب البعد البؤري

عوّض مستخدمًا $r = 20.0\ \text{cm}$

$$f = \frac{r}{2} = \frac{20.0\ \text{cm}}{2} = 10.0\ \text{cm}$$

استخدم معادلة المرايا الكروية، وحل لإيجاد بُعد الصورة:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

$$d_i = \frac{f d_o}{d_o - f}$$

عوّض مستخدمًا $f = 10.0\ \text{cm}$، و $d_o = 30.0\ \text{cm}$

$$= \frac{(10.0\ \text{cm})(30.0\ \text{cm})}{30.0\ \text{cm} - 10.0\ \text{cm}}$$

$$= 15.0\ \text{cm} \quad \text{(صورة حقيقية أمام المرآة)}$$

استخدام علاقة التكبير لحساب طول الصورة:

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

عوّض مستخدمًا $d_o = 30.0\ \text{cm}$، $h_o = 2.0\ \text{cm}$، $d_i = 15.0\ \text{cm}$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = \frac{-(15.0\ \text{cm})(2.0\ \text{cm})}{30.0\ \text{cm}}$$

$$= -1.0\ \text{cm} \quad \text{(صورة مقلوبة ومصغرة)}$$

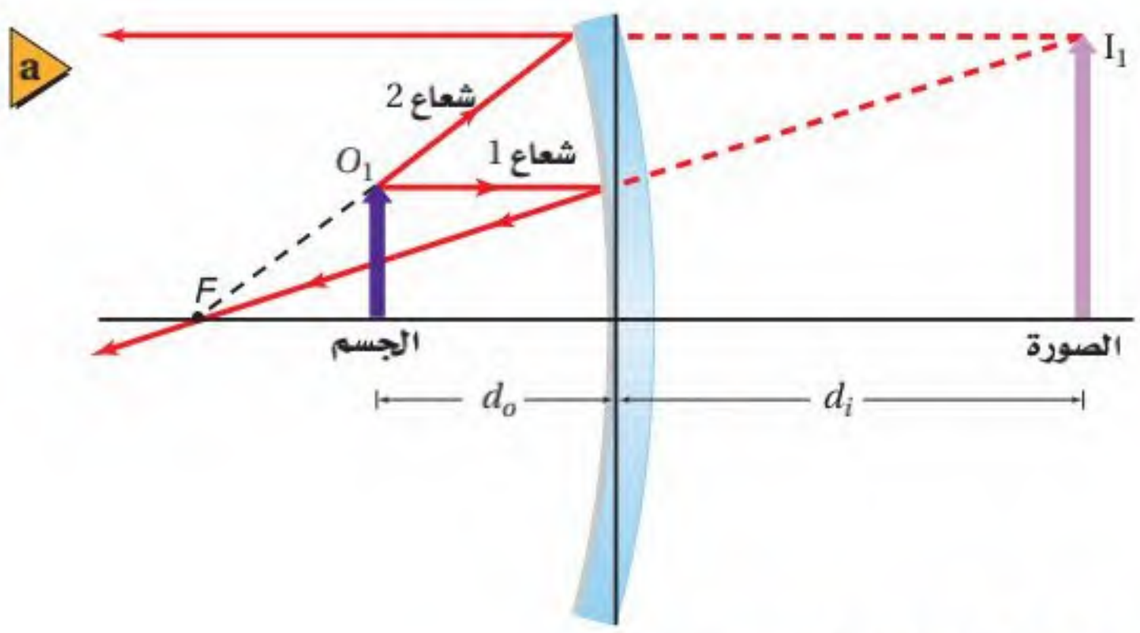
3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** جميع الوحدات بالسنتمتر cm.
- **هل للإشارة معنى؟** الموقع الموجب والطول السالب متفقان مع الرسم.

مسائل تدريبية

11. وضع جسم على بُعد 36.0 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري 16.0 cm. أوجد بُعد الصورة.
12. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 16.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 7.0 cm. أوجد طول الصورة.
13. وضع جسم بالقرب من مرآة مقعرة بعدها البؤري 10.0 cm، فتكوّن له صورة مقلوبة طولها 3.0 cm على بُعد 16.0 cm من المرآة. أوجد طول الجسم وبُعده عن المرآة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 13–5 عند وضع جسم بين البؤرة والمرآة الكروية المقعرة تتكون له صورة مكبّرة ومعتدلة وخيالية خلف المرآة (**a**)، كما هو موضّح في الشكل (**b**). ما الصفات الأخرى التي تراها للصورة أيضًا في هذا الشكل؟

الصور الخيالية في المرايا المقعرة

Virtual Images with Concave Mirrors

لاحظت أنه كلّما اقترب الجسم من بؤرة المرآة المقعرة F ابتعدت الصورة عن المرآة. وإذا وضع الجسم في البؤرة تمامًا كانت الأشعة المنعكسة جميعها متوازية، ومن ثم لا تتقاطع، لذا نقول إن الصورة تكوّنت في المالانهاية، ولا تُرى صورة للجسم في هذه الحالة. ماذا يحدث إذا اقترب الجسم من المرآة أكثر؟

ماذا تلاحظ عندما تقرّب وجهك من مرآة مقعرة أكثر فأكثر؟ تكون صورة وجهك معتدلة وخلف المرآة. فالمرآة المقعرة تكوّن صورةً خيالية إذا وضع الجسم بين المرآة والبؤرة، كما في **الشكل 13a–5**. ولتحديد صورة نقطة من نقاط الجسم يُرسم مرة أخرى شعاعان، وكما ذُكر سابقًا يُرسم الشعاع 1 ساقطًا بموازاة المحور الرئيس وينعكس مارًّا بالبؤرة. أمّا الشعاع 2 فيُرسم من نقطة على الجسم ليصل إلى المرآة، بحيث يمر امتداد هذا الشعاع في البؤرة، وينعكس هذا الشعاع موازيًا المحور الرئيس. تلاحظ أن الشعاعين 1 و2 يتشتّتان عندما ينعكسان عن المرآة، لذا لا يمكن أن يُكوّنا صورة حقيقية، في حين يلتقي امتدادَا الشعاعين المنعكسين خلف المرآة مُكوّنين صورة خيالية.

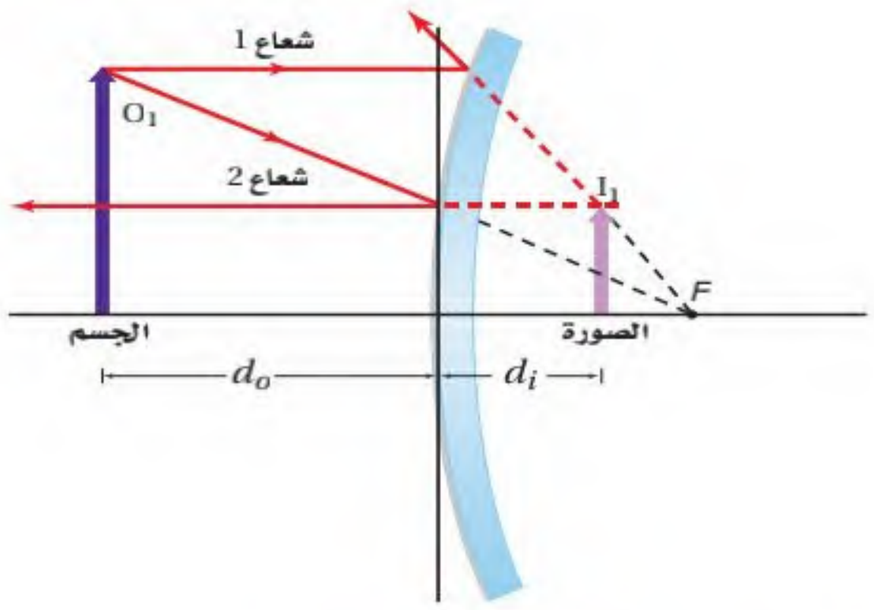
وعندما تستخدم معادلة المرآة المقعرة لتحديد بُعد صورة جسم يقع بين البؤرة والمرآة تجد أن بُعد الصورة يكون سالبًا. وستعطي معادلة التكبير تكبيرًا موجبًا أكبر من 1، وهذا يعني أن الصورة معتدلة ومكبّرة، مقارنة بالجسم، كما في الصورة الموضحة في **الشكل 13b–5**.

مسألة تحفيز

وضع جسم طوله h_o على بعد d_o من مرآة مقعرة بعدها البؤري f.

1. ارسم شكلاً لمخطّط أشعة يوضح البعد البؤري وموقع الجسم إذا كان بُعد الصورة الناتجة يساوي ضعف بُعد الجسم عن المرآة، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا. واحسب البعد البؤري بوصفه دالّة رياضية في بُعد الجسم في هذه الحالة.
2. ارسم شكلاً لمخطّط أشعة يوضح بُعد الجسم إذا كان بُعد الصورة عن المرآة يساوي ضعف البعد البؤري، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا، واحسب طول الصورة بوصفه دالّة رياضية في طول الجسم في هذه الحالة.
3. أين يجب وضع الجسم بحيث لا تتكوّن له صورة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 14–5** تُكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورًا خيالية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

المرايا المحدبة Convex Mirrors

تعلمت في بداية هذا الفصل أن السطح الداخلي لملعقة مصقولة يعمل عمل مرآة مقعرة. وإذا قلبت المعلقة فإن السطح الخارجي سيعمل عمل مرآة محدبة. **والمرآة المحدبة** سطح عاكس حوافه منحنية بعيدًا عن المشاهد. ماذا ترى عندما تنظر إلى ظهر ملعقة؟ سترى صورتك معتدلة ومصغرة.

وخصائص المرآة الكروية المحدبة موضحة في **الشكل 14–5**. فالأشعة المنعكسة عن المرآة المحدبة مشتّتة دائمًا، لذا تكوّن المرايا المحدبة صورًا خيالية. وتكون النقطتان C وF واقعتين خلف المرآة. وعند تطبيق معادلة المرآة ستكون قيمتا f، d_i سالبتين دائمًا؛ لأنهما خلف المرآة.

ويبيّن مخطّط الأشعة في **الشكل 14–5** كيفية تكوّن الصورة بواسطة المرآة الكروية المحدبة، فعند أخذ شعاعين من العدد اللانهائي من الأشعة الصادرة عن الجسم فإن الشعاع 1 يسقط على المرآة موازيًا المحور الرئيس، وينعكس عنها، بحيث يمرّ امتداد الشعاع المنعكس في البؤرة F خلف المرآة . ويسقط الشعاع 2 على المرآة بحيث يمرّ امتداده في البؤرة F خلف المرآة، لماذا؟ سيكون كلّ من الجزء المنعكس من الشعاع 2 وامتداد الشعاع 2 المنعكس خلف المرآة موازيين للمحور الرئيس، وسيتشتّت الشعاعان المنعكسان، في حين يلتقي امتداداهما خلف المرآة ليكوّنا صورة خيالية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

تكون معادلة التكبير مفيدة لتحديد الأبعاد الظاهرية للجسم كما سيرى في المرآة الكروية المحدبة. فإذا علمت قطر الجسم فاضربه في مقدار التكبير لمعرفة مدى تغير القطر عندئذٍ. وستجد أن القطر صغير، مثله مثل باقي الأبعاد، وهذا يفسّر لماذا يبدو بُعد الصور المتكونة لأجسام في مرآة محدبة أكبر من بُعدها الحقيقي.

■ **الشكل 15–5** تكوّن المرايا المحدبة صورًا أصغر من الأجسام، وهذا يزيد من مجال الرؤية للمراقب.

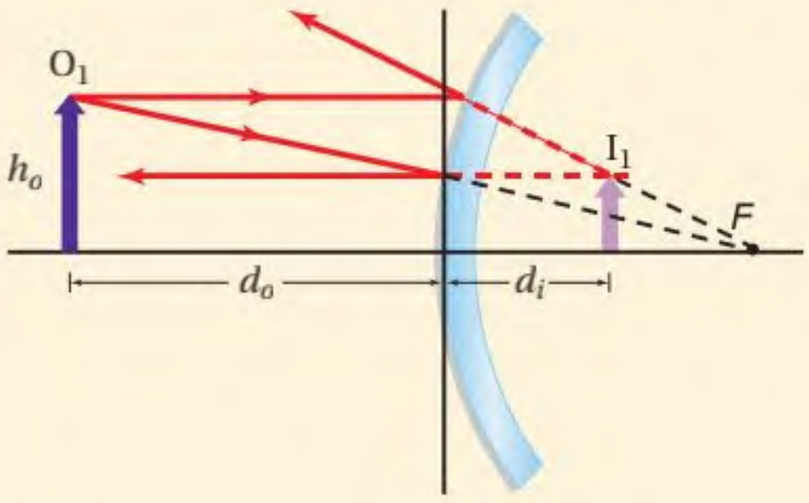
مجال الرؤية قد يبدو أن استعمالات المرايا المحدبة محدودة بسبب الصور المصغّرة التي تكوّنها للأجسام، إلا أنّ هذه الخاصية جعلت للمرايا المحدبة استخدامات عملية؛ فمن خلال تكوينها صورًا مصغّرة للأجسام تؤدي المرايا المحدبة إلى توسيع المساحة، أو مجال الرؤية، التي يراها المراقب، كما في **الشكل 15–5**. كما أن مركز مجال الرؤية مشاهد من أي زاوية للناظر بالنسبة للمحور الرئيس للمرآة، ومن ثم يكون مجال الرؤية واضحًا بمشهدٍ أوسع. لذا تُستخدم المرايا المحدبة على نحوٍ واسع على جوانب السيارات للرؤية الخلفية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 3

الصورة في مرآة المراقبة تُستخدم مرآة محدبة بُعدها البؤري 0.50 m- من أجل الأمن في المستودعات، فإذا كان هناك رافعة شوكية طولها 2.0 m على بُعد 5.0 m من المرآة فما بُعد الصورة المتكوّنة وما طولها؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم مخطّطًا للمرآة والجسم.
- ارسم شعاعين أساسيّين لتحديد موقع الصورة على المخطّط.

المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0\ \text{m}$	$d_i = ?$
$d_o = 5.0\ \text{m}$	$h_i = ?$
$f = -0.50\ \text{m}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة المرايا الكروية، لحساب بُعد الصورة.

عوّض مستخدمًا $f = -0.50\ \text{m}$ ، $d_o = 5.0\ \text{m}$

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$$

$$= \frac{(-0.50\ \text{m})(5.0\ \text{m})}{5.0\ \text{m} + 0.50\ \text{m}}$$

$$= -0.45\ \text{m}\ \text{(صورة خيالية)}$$

استخدم معادلة التكبير، وحل لإيجاد طول الصورة:

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

دليل الرياضيات

فصل المتغير

عوّض مستخدمًا $d_i = -0.45\ \text{m}$ ، $h_o = 2.0\ \text{m}$ ، $d_o = 5.0\ \text{m}$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$

$$= \frac{-(-0.45\ \text{m})(2.0\ \text{m})}{(5.0\ \text{m})}$$

$$= 0.18\ \text{m}\ \text{(الصورة معتدلة ومصغرة)}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** جميع الوحدات بالمتر m.
- **هل للإشارة معنى؟** تدل الإشارة السالبة في بُعد الصورة على أنها خيالية، وتدل الإشارة الموجبة في طول الصورة على أنها معتدلة. وهذا يتفق مع المخطّط.

مسائل تدريبية

14. إذا وضع جسم على بُعد 20.0 cm أمام مرآة محدبة بُعدها البؤري 15.0 cm- فأوجد بُعد الصورة المتكوّنة عن المرآة باستخدام الرسم التخطيطي وفق مقياس رسم، وباستخدام معادلة المرايا.
15. إذا وضع مصباح ضوئي قطره 6.0 cm أمام مرآة محدبة بعدها البؤري 13.0 cm-، وعلى بُعد 60.0 cm منها، فأوجد بُعد صورة المصباح وقطرها.
16. تكوّنت صورة بواسطة مرآة محدبة، فإذا كان بُعد الصورة 24 cm خلف المرآة، وحجمها يساوي $\frac{3}{4}$ حجم الجسم، فما البعد البؤري لهذه المرآة؟
17. تقف فتاة طولها 1.8 m على بُعد 2.4 m من مرآة، فتكونت لها صورة طولها 0.36 m. ما البعد البؤري للمرآة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجدول 1–5

خصائص الصور في مرآة مُفردة

نوع المرآة	f	d_o	d_i	m	الصورة
مستوية	لا يوجد	$d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert = d_o$ (سالب)	الحجم نفسه	خيالية
مقعرة	+	$d_o > r$	$r > d_i > f$	مصغرة ومقلوبة	حقيقية
		$r > d_o > f$	$d_i > r$	مكبرة ومقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert > d_o$ (سالب)	مكبرة ومعتدلة	خيالية
محدبة	−	$d_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ (سالب)	مصغرة ومعتدلة	خيالية

مقارنة المرايا Mirror comparison

كيف تقارن بين الأنواع المختلفة من المرايا؟ يوضح **الجدول 1–5** مقارنة بين خصائص أنظمة مرآة مُفردة (أحادية) لأجسام موضوعة على المحور الرئيس للمرآة. وتلاحظ من الجدول أنّ بُعد الصورة الخيالية دائمًا سالب؛ لأنها تقع دائمًا خلف المرآة. وعندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر و 1 تكون الصورة أصغر من الجسم. والتكبير السالب يعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. لاحظ أيضًا أن المرآة المستوية والمرآة المحدبة تكوّنان دائمًا صورًا خيالية، في حين تُكوّن المرآة المقعرة صورًا خيالية وصورًا حقيقية. وتعطي المرايا المستوية انعكاسًا واقعيًّا للأشياء، أمّا المرايا المحدبة فتعمل على توسيع مجال الرؤية. وتعمل المرآة المقعرة على تكبير الصورة إذا كان الجسم واقعًا بين المرآة وبعدها البؤري.

2–5 مراجعة

18. **صفات الصورة** إذا كنت تعرف البعد البؤري لمرآة مقعرة فأين يجب أن تضع جسمًا بحيث تكون صورته مكبّرة ومعتدلة بالنسبة للجسم؟ وهل تكون هذه الصورة حقيقية أم خيالية؟
19. **التكبير** وضع جسم على بُعد 20.0 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 9.0 cm. ما تكبير الصورة؟
20. **بعد الجسم** عند وضع جسم أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 12.0 cm، تكوّنت له صورة على بُعد 22.3 cm من المرآة، فما بُعد الجسم عن المرآة؟
21. **بعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 22.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 12.0 cm. ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتي المرايا والتكبير.
22. **مخطّط الأشعة** وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 14.0 cm من مرآة محدبة بُعدها البؤري 12.0 cm–. ارسم مخطّطًا بمقياس رسم مناسب يبين بُعد الصورة وطولها، وتحقق من إجابتك باستخدام معادلتي المرايا والتكبير.
23. **نصف قطر التكوّر** وضع جسم طوله 6.0 cm على بُعد 16.4 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول الصورة المتكوّنة 2.8 cm فما نصف قطر تكور المرآة؟
24. **البعد البؤري** استخدمت مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها يساوي $\frac{2}{3}$ حجم الجسم على بُعد 12.0 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟
25. **التفكير الناقد** هل يكون الزوغان الكروي للمرآة أقل إذا كان ارتفاعها أكبر من نصف قطر تكورها أم إذا كان ارتفاعها أقل من نصف قطر تكورها؟ وضّح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

صور المرايا المقعرة Concave Mirror Images

تعكس المرآة المقعرة الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيس للمرآة مارّةً ببؤرتها. وتتكوّن أنواع مختلفة من الصور في المرآة المقعرة حسب بُعد الجسم عن المرآة، وتتكوّن الصور الحقيقية على حاجز، في حين لا تتكوّن الصور الخيالية على حاجز. ستستقصي في هذه التجربة أثر تغيير موقع الجسم في موقع الصورة ونوعها.

سؤال التجربة

ما الشروط الواجب توافرها لتكوين صور حقيقية وأخرى خيالية باستخدام مرآة مقعرة؟

الأهداف

- **تجمع وتنظّم البيانات** الخاصة بموقعي الجسم والصورة.
- **تلاحظ** الصور الحقيقية والخيالية.
- **تلخص** شروط تكوّن الصور الحقيقية والخيالية في المرايا المقعرة.

احتياطات السلامة

- **لا تنظر إلى انعكاس الشمس في المرآة، ولا تستعمل مرآة مقعرة لتجميع ضوء الشمس وتركيزه.**

المواد والأدوات

مرآة مقعرة	مصباح يدوي
حامل شاشة	حامل مرآة
مسطرتان متريتان	شاشة
مصباح W 15 (أو شمعة)	4 دعامات للمساطر المترية

الخطوات

1. حدّد البعد البؤري للمرآة المقعرة المستخدمة باتباع الخطوات الآتية: **تحذير: لا تستخدم أشعة الشمس لتنفيذ هذه الخطوة.** ضع المصباح على مسافة بعيدة من المرآة ثم اعكس ضوءه على الشاشة مع تحريكها ببطء نحو المرآة أو بعيدًا عنها حتى تحصل على أصغر صورة واضحة له، ثم قس المسافة بين الشاشة والمرآة على امتداد المحور الرئيس، وسجّل هذه القيمة على أنها البعد البؤري للمرآة f.
2. ثبّت المسطرتين المتريتين على الدعائم الأربع على شكل حرف V، واجعل صفري المسطرتين عند نقطة التقائهما.
3. ضع المرآة على حاملها عند نقطة التقاء المسطرتين.
4. ضع المصباح (الجسم) على طرف إحدى المسطرتين البعيد عن نقطة التقاء المسطرتين، وضع الشاشة على دعامتها على الطرف البعيد الآخر للمسطرة الثانية.
5. أطفئ أنوار الغرفة.
6. أضئ المصباح. **تحذير: لا تلمس زجاجة المصباح الساخنة.** قس بُعد الجسم d_o، وسجّله في المحاولة 1. وقس طول الجسم h_o، وسجّله أيضًا في المحاولة 1، حيث يمثّل هذا القياس طول المصباح أو طول فتيلته إذا كان المصباح شفافًا.
7. عدّل المرآة أو المسطرتين، كلّما تطلّب الأمر ذلك، بحيث تسقط الأشعة المنعكسة على الشاشة، وحرّك الشاشة ببطء إلى الأمام أو الخلف حتى تتكوّن صورة واضحة على الشاشة، ثم قس بعد الصورة d_i وطولها h_i وسجّلهما في المحاولة 1.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات				
المحاولة	d_o (cm)	d_i (cm)	h_o (cm)	h_i (cm)
1				
2				
3				
4				
5				

جدول الحسابات					
المحاولة	$\frac{1}{d_o}$ (cm^{-1})	$\frac{1}{d_i}$ (cm^{-1})	$\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}$ (cm^{-1})	$f_{\text{محسوب}}$ (cm)	النسبة المئوية للخطأ (%)
1					
2					
3					
4					
5					

8. حـرّك المصباح في اتجاه المـرآة بحيث يصبـح على بُعدٍ يسـاوي ضعفي البعد البؤري $d_o = 2f$، وسجّل قيمة d_o في المحاولة 2. ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، ثم قس d_i ، h_i وسجّلهما في المحاولة 2.
9. حرّك المصباح في اتجاه المـرآة بحيث يكون بعده عن المرآة d_o أكبر عدة سنتمترات من البعد البؤري f، وسجّل ذلك في المحاولة 3، ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، وقس d_i، h_i وسجّلهما في المحاولة 3.
10. حـرّك المصباح بحيث تصبح $d_o = f$، وسـجّل ذلك في المحاولة 4، ثم حرّك الشاشـة إلى الأمـام والخلف محاولاً الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟
11. حـرّك المصباح بحيث تصبح $d_o < f$، وسـجّل ذلك في المحاولة 5، ثم حرّك الشاشـة إلى الأمـام والخلف محاولاً الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟

التحليل

1. **استعمل الأرقام** احسـب $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّلهما في جدول الحسابات.
2. **استعمل الأرقام** احسب مجموع $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّل النتيجة في جدول الحسـابات. ثم احسب مقلوب كل نتيجة من هذه النتائج، وسجّله في جدول الحسابات في عمود $f_{\text{محسوب}}$.
3. **تحليل الخطأ** قـارن البعد البـؤري التجريبي، $f_{\text{محسوب}}$، بالبعد البؤري المقبول بإيجاد النسبة المئوية للخطأ.

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

$$\%\ \text{error} = \left(\frac{f - f_{\text{محسوب}}}{f}\right) \times 100\%$$

الاستنتاج والتطبيق

1. **صنّف** ما نوع الصورة التي شوهدت في كل محاولة؟
2. **حلّل** ما الشروط التي تطلّبها تكوين صور حقيقية؟
3. **حلّل** ما الشروط التي تطلبها تكوين صور خيالية؟

التوسع في البحث

1. ما الشروط اللّازم تحقيقها لتكون الصورة أكبر من الجسم؟
2. راجع طرائق جمع البيانات، وحدّد مصادر الخطأ، وما الذي يتعين عليك عمله حتى يكون القياس أكثر دقة؟

الفيزياء في الحياة

ما الميزة التي تكمن في استخدام المنظار الفلكي ذي المرآة المقعرة؟

تقنية المستقبل

Adaptive Optical Systems الأنظمة البصرية المتكيفة

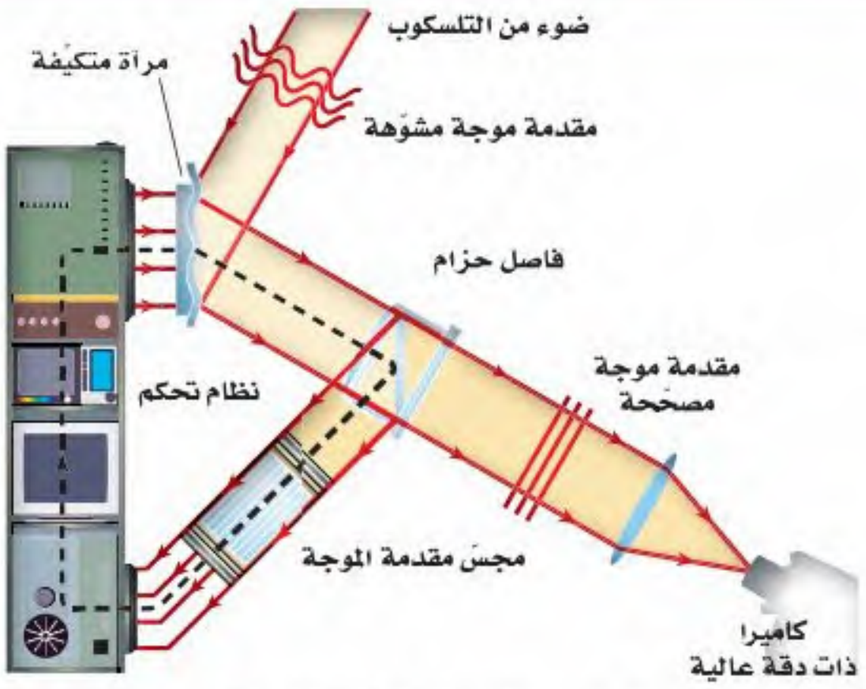
الأجسام الموجودة في الفضاء يصعب ملاحظتها من الأرض لأنها برّاقة ومتلألئة؛ حيث تؤدي حركة الغلاف الجوي والتسخين غير المتساوي له، إلى انكسار الضوء القادم من تلك الأجسام بصورة فوضوية، ويمكن تشبيه ذلك بمحاولة النظر إلى جسم صغير من خلال الجزء السفلي لبرطمان فارغ مصنوع من الزجاج الشفاف في أثناء تدويره.

المرآة المتكيّفة المرنة يعوِّض النظام البصري المتكيّف AOS باستمرار التشوهات الناجمة عن الغلاف الجوي من خلال إزالة اللمعان من صور النجوم؛ حتى يتمكن الفلكيون من مشاهدة صور ثابتة لأبعد الأجسام في الكون المرئي وتصويرها.

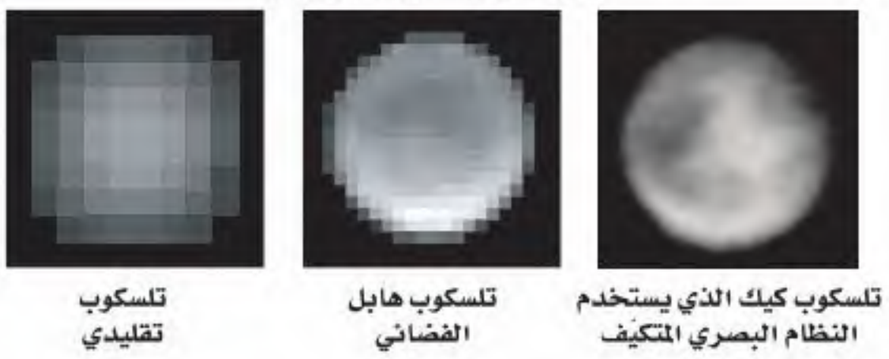
ينقل النظام البصري المتكيّف AOS صورة النجم المكبّرة من المقراب إلى مرآة متكيّفة مرنة مصنوعة من زجاج رقيق، وتشد هذه المرآة بواسطة 20 -30 مكبسًا متحركًا؛ إذ تؤدي تلك المكابس إلى دفع سطح المرآة أو سحبه إلى أي شكل مهما كان معقدًا أو صعبًا. ويعمل كل مكبس بواسطة محرك سريع، يتم التحكم فيه آليًّا عن طريق حاسوب. وعندما يصبح سطح المرآة مطابقًا تمامًا للنمط المحدّد في الوقت المحدّد فإنها تُعوِّض عن حركة الحمل الحراري في الغلاف الجوي بين التلسكوب والنجم، وستعكس صورة واضحة نحو المراقب أو الكاميرا.

مجس مقدمة الموجة يُوجَّه مجس مقدمة الموجة نحو نجم واحد خلال التلسكوب للكشف عن التشوه الناجم بفعل الغلاف الجوي في كل لحظة؛ إذ تحتوي هذه الأداة على مجموعة مرتبة من العدسات الرقيقة في صفوف متعدّدة، وتكوّن كل مجموعة عدسات صورة للنجم على شاشة حساسة خلفها، ويمكن أن يُقرأ موقع كل صورة بواسطة الحاسوب.

وإذا كانت الصورة لا تقع خلف مجموعة العدسات الخاصة بها تمامًا فإن برمجيّات الحاسوب تميّز أن موجات النجم الضوئية تكون مشتتّة بفعل الغلاف الجوي. لاحظ أن النجم يمثّل مصدرًا ضوئيًّا نقطيًّا بعيدًا، لذا فإنه يُنتج موجات مستوية.



يلغي النظام البصري المتكيّف التشويه في صورة تيتان – أكبر أقمار زحل



تلسكوب كيك الذي يستخدم النظام البصري المتكيّف | تلسكوب هابل الفضائي | تلسكوب تقليدي

والصورة المشوهة للنجم ناتجة عن موجات ضوء غير مستوية، وهذه الموجات غير المستوية تؤدي إلى إزاحة صور النجم خلف بعض مجموعات العدسات فتختفي الصورة.

وتعالج برمجيّة الحاسوب هذا الخطأ، وتحسب كيف يجب أن تُثنى المرآة لإعادة الصور المختفية جميعها إلى مكانها؛ إذ تنعكس صورة النجم نحو المشاهد (المراقب) ثم تُصحّح، ولذا سترى صورة جميع الأجسام (مثل المجرات والكواكب) القريبة بوضوح. ونستطيع تغيير شكل المرآة المتكيّفة 1000 مرة تقريبًا في الثانية.

التوسع

1. **ابحث** ما الإجراء المتّبع إذا لم يكن هناك نجم مناسب لتحليله أو دراسته باستخدام مجس مقدمة الموجة وذلك في منطقة من الفضاء تحت المراقبة؟
2. **طبّق** ابحث في كيفية استخدام المتكيّف البصري في المستقبل لتصحيح الرؤية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5

دليل مراجعة الفصل

5–1 الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from Plane Mirrors

المفردات

- انعكاس منتظم
- انعكاس غير منتظم
- مرآة مستوية
- جسم
- صورة
- صورة خيالية

المفاهيم الرئيسة

- وفق قانون الانعكاس، فإن الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام على السطح عند النقطة نفسها.

$$\theta_r = \theta_i$$

- يُطبَّق قانون الانعكاس على السطوح الخشنة والسطوح المصقولة، حيث يكون العمود المقام على السطح الخشن في اتجاهات كثيرة مختلفة، وهذا يعني أن الأشعة الساقطة المتوازية تنعكس مشتّتة.
- يُنتج السطح المصقول انعكاسًا منتظمًا، في حين يُنتج السطح الخشن انعكاسًا غير منتظم.
- يُسبّب الانعكاس المنتظم تكوّن الصور التي تظهر كأنها خلف المرايا المستوية.
- الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية خياليّة دائمًا، وحجمها يساوي حجم الجسم نفسه، ولها اتجاه الجسم نفسه، وبعدها عن المرآة يساوي بُعد الجسم عن المرآة.

$$|d_i| = d_o \quad h_i = h_o$$

5–2 المرايا الكروية Curved Mirrors

المفردات

- المرآة المقعّرة
- المحور الرئيس
- البؤرة
- البعد البؤري
- الصورة الحقيقية
- الزوغان (التشـوّه) الكروي
- التكبير
- المرآة المحدّبة

المفاهيم الرئيسة

- يمكنك تحديد موقع الصورة التي تكوّنها مرآة كرويّة من خلال رسم شعاعين من نقطة على الجسم إلى المرآة، وتكون نقطة تقاطع الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما هي صورة نقطة الجسم.
- تُعبّر معادلة المرايا عن العلاقة بين بُعد الصورة وبُعد الجسم والبعد البؤري للمرآة الكروية:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

- تُعبّر النسبة بين بُعد الصورة وبُعد الجسم، أو النسبة بين طول الصورة وطول الجسم عن تكبير الصورة في المرآة.

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

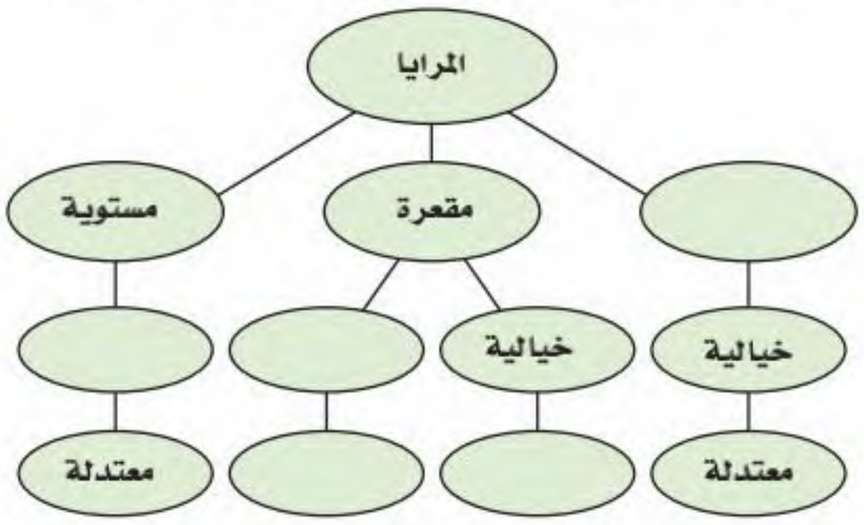
- تُكوِّن المرآة المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المقعرة صورة خيالية ومعتدلة عندما يكون بُعد الجسم أقل من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورة خيالية ومعتدلة ومصغرة.
- تبدو الصور التي تكوّنها المرايا المحدبة أبعد، كما تنتج مجال رؤية واسعًا؛ لأنها تكوّن صورًا مصغرة.
- يمكن استخدام المرايا في مجموعات أو ضمن تراكيب لإنتاج صور بأحجام وأوضاع ومواقع مختلفة حسب الحاجة أو الرغبة. ويُعدّ التلسكوب الاستخدام الأكثر شيوعًا لمثل هذه التراكيب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5
التقويم

خريطة المفاهيم

26. أكمل خريطة المفاهيم باستخدام المصطلحات الآتية: محدبة، معتدلة، مقلوبة، حقيقية، خيالية.



إتقان المفاهيم

27. كيف يختلف الانعكاس المنتظم عن الانعكاس غير المنتظم؟

28. ماذا يقصد بالعبارة "العمود المقام على السطح العاكس"؟

29. أين تقع الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية؟

30. صف خصائص المرآة المستوية؟

31. يعتقد طالب أن فيلمًا فوتوجرافيًّا حسّاسًا جدًّا يمكنه الكشف عن الصورة الخيالية، فوضع الطالب الفيلم في موقع تكوّن الصورة الخيالية. هل ينجح هذا الإجراء؟ وضّح ذلك.

32. كيف تثبت لشخص أن صورة ما هي صورة حقيقية؟

33. ما الخلل أو العيب الموجود في جميع المرايا الكروية المقعرة؟ وما سببه؟

34. ما العلاقة بين مركز تكور المرآة المقعرة وبعدها البؤري؟

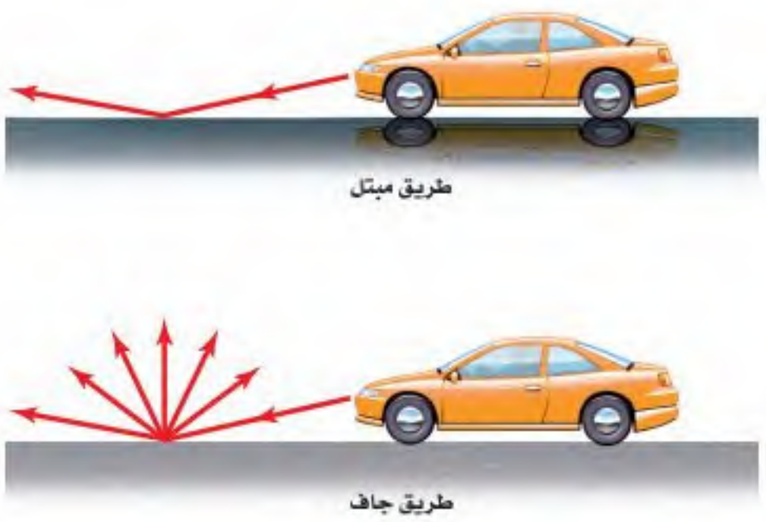
35. إذا عرفت بُعد الصورة وبُعد الجسم عن مرآة كروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير هذه المرآة؟

36. لماذا تستخدم المرايا المحدّبة على أنها مرايا مخصّصة للنظر إلى الخلف؟

37. لماذا يستحيل تكوين صور حقيقية بالمرآة المحدبة؟

تطبيق المفاهيم

38. **الطريق المبتلة** تعكس الطرق الجافة الضوء بتشتّت أكبر من الطرق المبتلّة. بالاعتماد على **الشكل 16-5**، اشرح لماذا تبدو الطريق المبتلّة أكثر سوادًا من الطريق الجافة بالنسبة للسائق؟



■ **الشكل 16-5**

39. **صفحات الكتاب** لماذا يُفضل أن تكون صفحات الكتاب خشنة على أن تكون ملساء ومصقولة؟

40. اذكر الصفات الفيزيائية للصورة التي تكوّنها مرآة مقعرة إذا كان الجسم موضوعًا عند مركز تكوّرها، وحدّد موقعها.

41. إذا وضع جسم خلف مركز تكور مرآة مقعرة فحدّد موقع الصورة، واذكر صفاتها الفيزيائية.

42. **المنظار الفلكي (التلسكوب)** إذا احتجت إلى مرآة مقعرة كبيرة لصنع تلسكوب يكوّن صورًا ذات جودة عالية فهل تستخدم مرآة كروية أم مرآة قطع مكافئ؟ وضّح ذلك.

43. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة حقيقية باستخدام مرآة كروية مقعرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 5

44. ما الشروط الـلازم توافرها لتكوين صورة مصغرة بمرآة كروية محدبة أو مقعرة؟

45. صف خصائص الصـورة التي كوّنتها المرآة المحدبة الموضّحة في **الشكل 17-5**.

■ **الشكل 17-5**

46. **المرايا المستخدمة للرؤية الخلفية** يُكتب على مرايا السـيارة الجانبية المسـتخدمة في النظـر إلى الخلف التحذير الآتي: "الأجسـام في المـرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرايا؟ وبمَ تمتاز عن غيرها؟

إتقان حل المسائل

5-1 الانعكاس عن المرايا المستوية

47. سـقط شـعاع ضوئي بزاوية 38° مع العمود المقام عند نقطة السقوط. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام؟

48. إذا سقط شـعاع ضوئي بزاوية 53° مع سطح المرآة؛ فأوجد مقدار:

a. زاوية الانعكاس.

b. الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

49. ارسم مخطّط أشعة لمرآة مستوية تبين فيه أنه إذا أردت رؤية نفسك من قدميك حتى قمة رأسك فيجب أن يكون طول المرآة المستخدمة على الأقل يساوي نصف طولك.

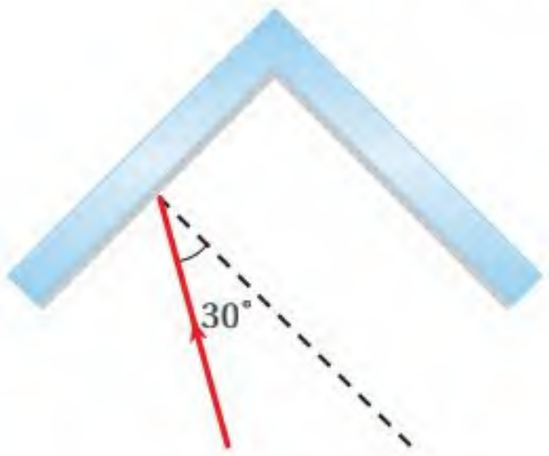
50. **الصـورة في المـرآة** أراد طالـب أن يلتقـط صـورة لصورته في مرآة مسـتوية كما في **الشكل 18-5**. فإذا كانت الكاميرا على بعد 1.2 m أمام المرآة، فعلى أي بعد يجب أن يركز عدسة الكاميرا لالتقاط الصورة؟

■ **الشكل 18-5**

51. يبين **الشكل 19-5** مرآتين مسـتويتين متجاورتين بينهما زاويـة 90°، فإذا سـقط شـعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30°، فأجب عما يأتي:

a. ما زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الأخرى؟

b. البريسـكوب العاكس هو أداة تعكس الأشعة الضوئية في اتجاه معاكس وموازٍ لاتجاه الأشـعة الضوئية السـاقطة. ارسـم مخطّطًا يبين زاوية السقوط على إحدى المرآتين بحيث يعمل نظام المرآتين عمل عاكس.



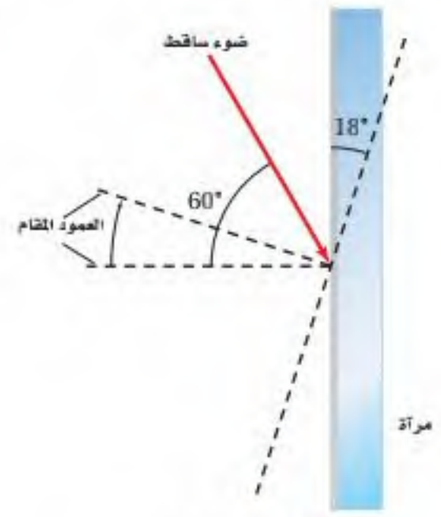
■ **الشكل 19-5**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 5

52. وضِعت مرآتان مستويتان بحيث كانت الزاوية بينهما 45°. فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30° وانعكس عن المرآة الثانية، فاحسب زاوية انعكاسه عن المرآة الثانية.

53. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية سقوط 60°. فإذا أديرت المرآة بزاوية 18° في اتجاه حركة عقارب الساعة كما في **الشكل 20-5**، فما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع المرآة؟

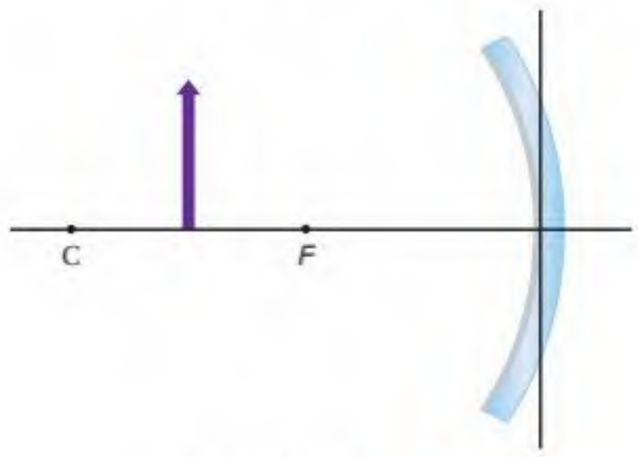


■ **الشكل 20-5**

5-2 المرايا الكروية

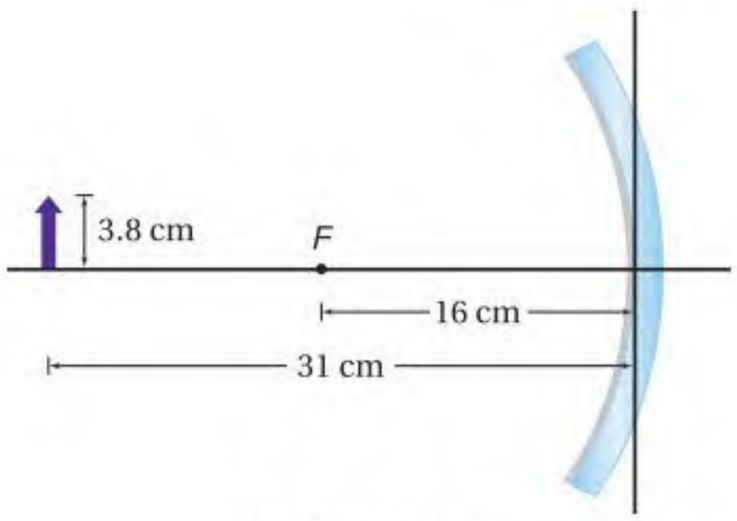
54. **بيت الألعاب** يقف طالب بالقرب من مرآة محدبة في بيت الألعاب، فلاحظ أن صورته تظهر بطول 0.60 m. فإذا كان تكبير المرآة $\frac{1}{3}$ فما طول الطالب؟

55. صف الصورة المتكوّنة للجسم في **الشكل 21-5**، مبينًا هل هي حقيقية أم خيالية، مقلوبة أم معتدلة، وهل هي أقصر من الجسم أم أطول منه؟



■ **الشكل 21-5**

56. احسب بُعد الصورة وارتفاعها للجسم الموضح في **الشكل 22-5**.



■ **الشكل 22-5**

57. **صورة نجم** جُمع الضوء القادم من نجم بواسطة مرآة مقعرة. ما بُعد صورة النجم عن المرآة إذا كان نصف قطر تكوّر المرآة 150 cm؟

58. **المرآة المستخدمة للرؤية الخلفية** على أيّ بُعد تظهر صورة سيارة خلف مرآة محدبة بعدها البؤري 6.0 m-، عندما تكون السيارة على بُعد 10.0 m من المرآة؟

59. **المرآة المستخدمة لرؤية الأسنان** يستخدم طبيب أسنان مرآة مقعرة صغيرة نصف قطرها 40 mm لتحديد نخر في إحدى أسنان مريض، فإذا كانت المرآة على بُعد 16 mm من السن، فما تكبير الصورة الناتجة؟

60. وضع جسم طوله 3 cm على بُعد 22.4 cm من مرآة مقعرة، فإذا كان نصف قطر تكوّر المرآة 34.0 cm، فما بُعد الصورة عن المرآة؟ وما طولها؟

61. **مرآة تاجر مجوهرات** يفحص تاجر مجوهرات ساعة قطرها 3.0 cm بوضعها على بُعد 8.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 12 cm.

a. على أي بُعد ستظهر صورة الساعة؟

b. ما قطر الصورة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 5

62. تسقط أشعة الشمس على مرآة مقعرة وتكوّن صورة على بُعد 3 cm من المرآة. فإذا وضع جسم طوله 24 mm على بُعد 12 cm من المرآة:

a. فارسم مخطّط الأشعة لتحديد موضع الصورة.

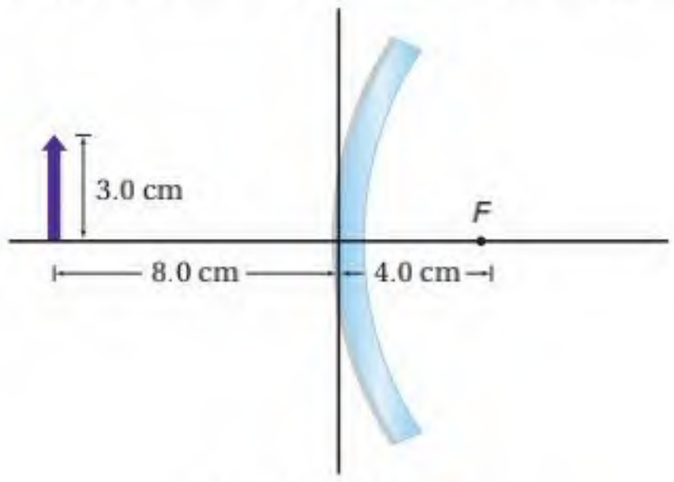
b. استخدم معادلة المرايا لحساب بُعد الصورة.

c. ما طول الصورة؟

مراجعة عامة

63. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 28°، فإذا حُرّك مصدر الضوء بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 34°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

64. انقل الشكل 23-5 إلى دفترك، ثم ارسم أشعة على الشكل لتحديد طول الصورة المتكوّنة وموقعها.



الشكل 23-5

65. وضع جسم على بُعد 4.4 cm أمام مرآة مقعرة، نصف قطر تكوّرها 24.0 cm. أوجد بُعد الصورة باستخدام معادلة المرايا.

66. وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 30.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطر تكوّرها 26.0 cm. احسب مقدار:

a. بُعد الصورة المتكوّنة.

b. طول الصورة المتكوّنة.

67. تُستخدم مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها نصف حجم الجسم على بُعد 36 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

68. ما نصف قطر تكوّر مرآة مقعرة تُكبِّر صورة جسم 3.2+ مرة عندما يوضع على بُعد 20.0 cm منها؟

69. **مرآة المراقبة** تستخدم المحال الكبيرة مرايا المراقبة في الممرات، وكل مرآة لها نصف قطر تكوّر مقداره 3.8 m. احسب مقدار:

a. بُعد الصورة المتكوِّنة لمشتري يقف أمام المرآة على بُعد 6.5 m منها.

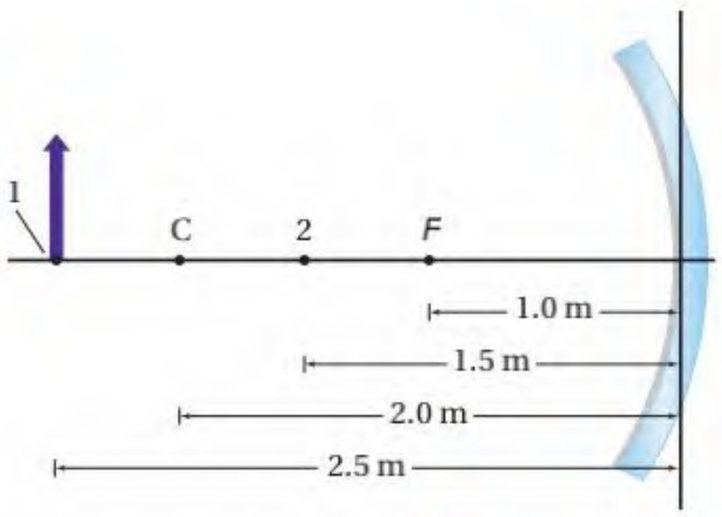
b. طول صورة المشتري طوله 1.7 m.

70. **مرآة الفحص والمعاينة** يريد مراقب خط إنتاج في مصنع تركيب مرآة تكوّن صورًا معتدلة تكبيرها 7.5 مرات عندما توضع على بُعد 14.0 mm من طرف الآلة.

a. ما نوع المرآة التي يحتاج إليها المراقب لعمله؟

b. ما نصف قطر تكوّر المرآة؟

71. تحرّك الجسم في **الشكل 24-5** من الموقع 1 إلى الموقع 2. انقل الشكل إلى دفترك، ثم ارسم أشعة تبين كيف تتغير الصورة.



الشكل 24-5

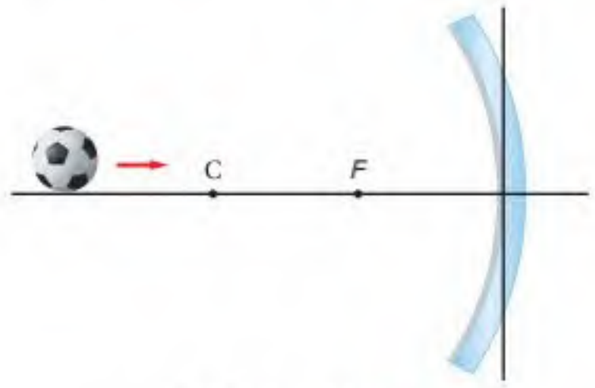
72. وضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 12.0 cm من مرآة محدبة. فإذا كان طول صورة الجسم 2.0 cm وبعدها 6.0 cm-، فما البعد البؤري للمرآة؟ ارسم مخطّط الأشعة للإجابة عن السؤال، واستخدم معادلتي المرايا والتكبير للتحقق من إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 5

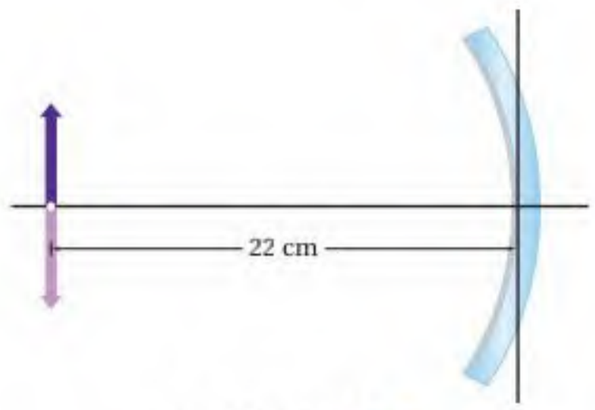
التفكير الناقد

73. تطبيق المفاهيم تتدحرج الكرة في **الشكل 25-5** ببطء إلى اليمين نحو مرآة مقعرة. صف كيف يتغيّر حجم صورة الكرة في أثناء تدحرجها نحو المرآة.



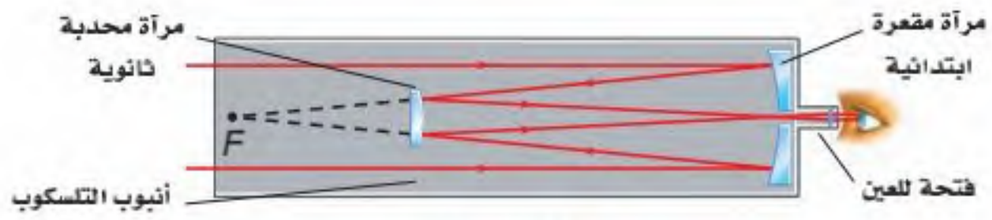
الشكل 25-5

74. التحليل والاستنتاج وضع جسم على بُعد 22 cm من مرآة مقعرة، كما في **الشكل 26-5**. ما البعد البؤري للمرآة؟



الشكل 26-5

75. التحليل والاستنتاج يستخدم ترتيب بصري في بعض التلسكوبات يُسمى (تركيز كاسيجرين) كما في **الشكل 27-5**. ويستخدم هذا التلسكوب مرآة محدبة ثانوية توضع بين المرآة الابتدائية وبؤرتها. أجب عما يأتي:



الشكل 27-5

a. تكوّن المرآة المحدبة المفردة صورًا خيالية فقط. اشرح كيف تكوّن هذه المرآة في هذا النظام من المرايا صورًا حقيقية؟

b. هل الصور المتكوّنة في هذا النظام معتدلة أم مقلوبة؟ وما علاقة ذلك بعدد مرات تقاطع الأشعة؟

الكتابة في الفيزياء

76. تعكس المرايا الأشعة لأنها مطلية بالفلزات. ابحث في واحد مما يأتي، واكتب ملخصًا حوله:

a. الأنواع المختلفة للطلاء المستخدم، ومزايا كل نوع وسلبياته.

b. صقل الألومنيوم بدرجة دقيقة من النعومة، بحيث لا تحتاج إلى زجاج لعمل مرآة.

77. ابحث في طريقة صقل وتلميع وفحص المرايا المستخدمة في التلسكوب العاكس. ويمكنك الكتابة في الطرائق التي يستخدمها الفلكي المبتدئ الذي يصنع تلسكوبه الخاص بيده، أو الطريقة التي تُستخدم في المختبر الوطني، وأعدّ تقريرًا في ورقة واحدة تصف فيه الطريقة، ثم اعرضه على طلاب الصف.

مراجعة تراكمية

78. مرآة التجميل وضعت شمعة طولها 3.00 cm على بُعد 6.00 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 14.0 cm. أوجد موقع صورة الشمعة وطولها بواسطة ما يأتي:

a. رسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم.

b. معادلتي المرايا والتكبير.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أين يجب وضع جسم بحيث تكوِّن له مرآة مقعرة صورة مصغّرة؟

(A) في بؤرة المرآة

(B) بين البؤرة والمرآة

(C) بين البؤرة ومركز التكوّر

(D) خلف مركز التكوّر

2. ما البعد البؤري لمرآة مقعرة، إذا كبّرت جسمًا موضوعًا على بعد 30 cm منها بمقدار 3.2+ مرة؟

(A) 23 cm (C) 44 cm

(B) 32 cm (D) 46 cm

3. وضع جسم على بُعد 21 cm أمام مرآة مقعرة بعدها البؤري 14 cm. ما بُعد الصورة؟

(A) −42 cm (C) 8.4 cm

(B) −8.4 cm (D) 42 cm

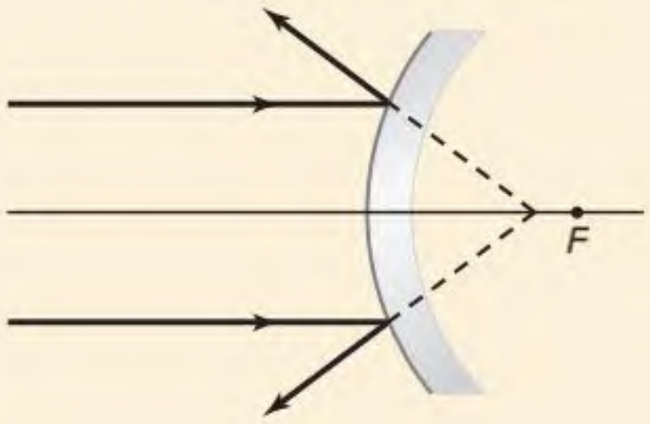
4. لا تتجمع امتدادات الأشعة الضوئية بدقة في البؤرة في الشكل أدناه. وهذه المشكلة تحدث في:

(A) المرايا الكروية جميعها

(B) مرايا القطع المكافئ جميعها

(C) المرايا الكروية المعيبة فقط

(D) مرايا القطع المكافئ المعيبة فقط



5. تكوّنت صورة مقلوبة طولها 8.5 cm أمام مرآة مقعرة على بُعد 34.5 cm منها، فإذا كان البعد البؤري للمرآة 24.0 cm، فما طول الجسم الذي مثّلته هذه الصورة؟

(A) 2.3 cm (C) 14 cm

(B) 3.5 cm (D) 19 cm

6. كوّنت مرآة مقعرة بعدها البؤري 16 cm صورة على بُعد 38.6 cm منها. ما بُعد الجسم عن المرآة؟

(A) 2.4 cm (C) 22.6 cm

(B) 11.3 cm (D) 27.3 cm

7. كوّنت مرآة محدبة صورة لجسم حجمها $\frac{3}{4}$ حجم الجسم وعلى بُعد 8.4 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

(A) −34 cm (C) −6.3 cm

(B) −11 cm (D) −4.8 cm

8. وُضعت كأس على بُعد 17 cm من مرآة مقعرة، فتكوّنت لها صورة على بُعد 34 cm أمام المرآة. ما تكبير الصورة؟ وما اتجاهها؟

(A) 0.5، (مقلوبة) (C) 2.0، (مقلوبة)

(B) 0.5، (معتدلة) (D) 2.0، (معتدلة)

الأسئلة الممتدة

9. وضع جسم طوله 5.0 cm على بُعد 20.0 cm من مرآة محدّبة بعدها البؤري −14.0 cm. ارسم مخطّط الأشعة بمقياس رسم مناسب لتبيّن طول الصورة.

إرشاد

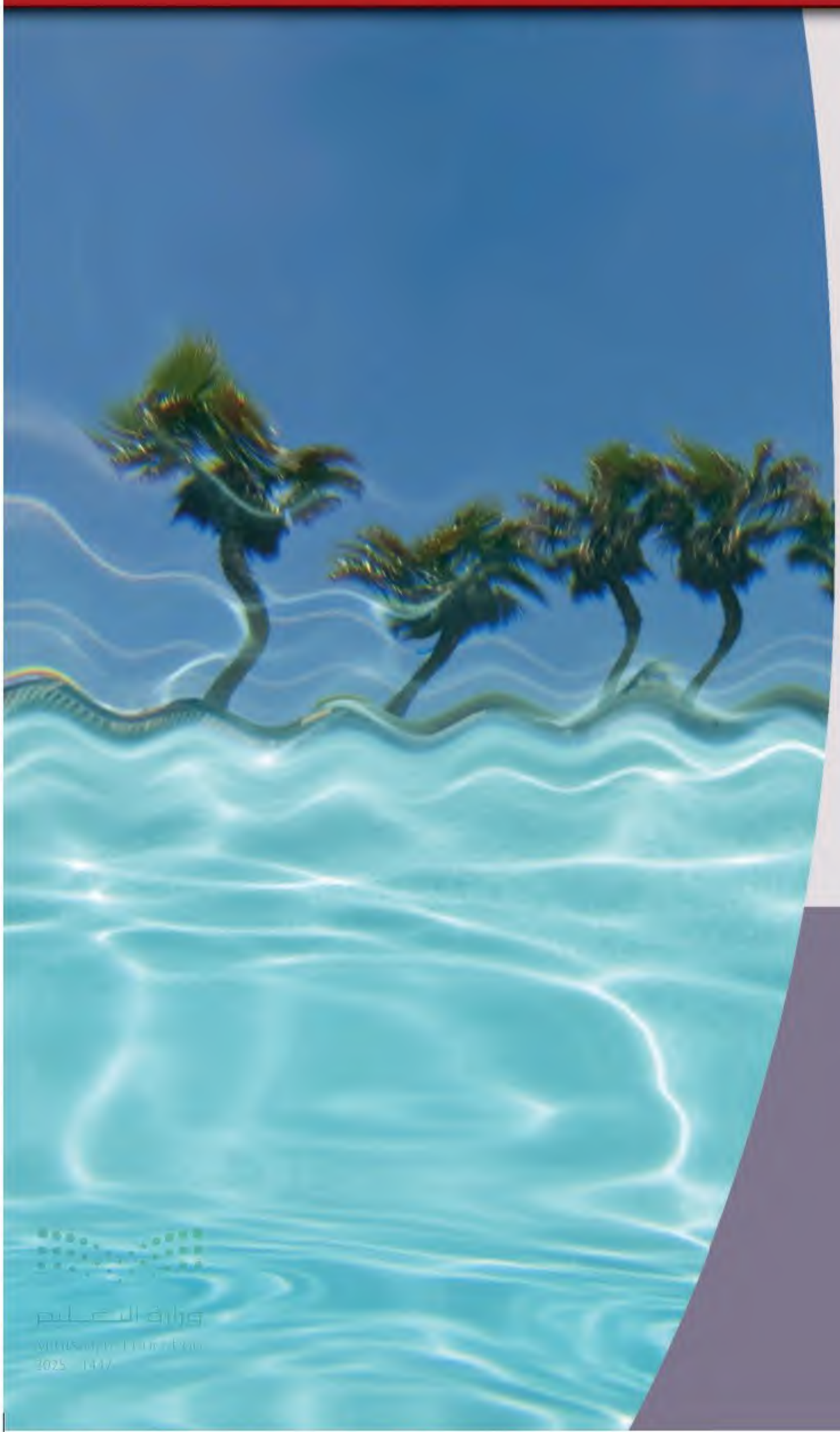
إجاباتك أفضل من إجابات الاختبار

عندما تعرف طريقة حل المسألة فحلّها قبل أن تنظر إلى خيارات الإجابة، ويكون هناك على الأغلب أكثر من خيار يبدو جيدًا، لذا أجرِ الحسابات أولاً، وزوّد نفسك بالإجابة قبل النظر إلى الخيارات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6

الانكسار والعدسات
Refraction and Lenses



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- تَعرُّف كيفية تغير اتجاه الضوء وسرعته عندما ينتقل خلال مواد مختلفة.
- مقارنة خصائص العدسات بالصور التي تكوّنها.
- تَعرُّف التطبيقات المختلفة للعدسات، وكيف تمكّنك عدسات عينيك من الرؤية.

الأهمية

تقوم عملية الرؤية وتكوُّن صور للأشياء على أساس ظاهرة الانكسار؛ حيث ينتقل بعض الضوء في خط مستقيم من الجسم إلى عينيك، وينعكس جزء منه قبل أن يصل إليك، بينما يسلك جزء آخر منه مسارًا يبدو منحنيًا؛ ليكوّن صورة له على الشبكية.

الأشجار المتموجة إذا غصت تحت الماء فستلاحظ أن الأشياء هناك تبدو طبيعية، في حين تبدو الأجسام التي فوق الماء مشوّهة بفعل الموجات التي تعلو سطحه.

فكّر ◄

ما الذي يجعل صور الأشجار متموّجة؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف يبدو قلم رصاصٍ موضوع في سائل عند النظر إليه جانبيًّا؟

سؤال التجربة هل يبدو قلم الرصاص مختلفًا عندما يشاهد خلال الماء، أو الزيت، أو شراب الذرة؟

الخطوات

1. املأ دورقًا سعته 400 ml بالماء.
2. املأ دورقًا آخر سعته 400 ml بشراب الذرة إلى منتصفه، والنصف الآخر بالماء (اسكب ببطء لتجنب امتزاج السائلين).
3. املأ دورقًا ثالثًا سعته 400 ml بالماء إلى منتصفه، والنصف الآخر بزيت طهي (اسكب ببطء لتجنب امتزاج السائلين).
4. ضع قلم رصاصٍ في كل دورق بصورة مائلة.
5. لاحظ كل قلمٍ من جانب الدورق مع تدويره ببطء.
6. أنشئ جدول بيانات لتتمكن من تسجيل وصفٍ حول شكل قلم الرصاص في كل دورق.

التحليل

أي الدوارق يبدو فيها القلم كأنه مكسور؟ وهل مقادير الكسر متساوية في الدوارق جميعها؟ ومتى لا يظهر القلم مكسورًا؟ وضّح ذلك.

التفكير الناقد ضع فرضية حول متى تبدو الأجسام الصلبة كأنها مكسورة، ومتى لا تبدو كذلك، وتأكد من أن تتضمن تفسيرًا لمقدار الانكسار.

6–1 انكسار الضوء Refraction of Light

يمكنك رؤية انعكاس ضوء الشمس عن الماء عند النظر إلى سطح الماء في بركة سباحة في يوم صيفي. كما يمكنك رؤية الأجسام الموجودة داخل البركة؛ لأن جزءًا من ضوء الشمس يمر إلى داخل الماء، وينعكس عن الأجسام. وعندما تمعن النظر في الأجسام الموجودة داخل الماء تلاحظ أنها تبدو مشوّهة. فمثلاً، تبدو الأشياء التي تحت سطح الماء أقرب من بعدها الحقيقي، كما تبدو قَدَمَا الشخص الواقف في البركة أنهما تتحركان إلى الخلف وإلى الأمام، وتبدو الخطوط التي في قاع البركة تتمايل مع حركة الماء. وتحدث هذه التأثيرات لأن الضوء يغيّر اتجاهه عند مروره من الماء إلى الهواء أو العكس.

ينحني مسار الضوء، كما تعلمت سابقًا، عند عبوره الحد الفاصل بين وسطين بسبب الانكسار. ويعتمد مقدار الانكسار على خصائص الوسطين الشفافين، وعلى الزاوية التي يسقط بها الضوء على الحد الفاصل. ويتحرك الحد الفاصل بين الهواء والماء إلى أعلى وإلى أسفل، ويميل إلى الخلف والأمام أيضًا، عند انتقال الموجات على سطح الماء. وينحرف مسار الضوء الخارج من الماء مع حركة الحد الفاصل، مما يؤدي إلى ظهور الأجسام متموجة تحت سطح الماء.

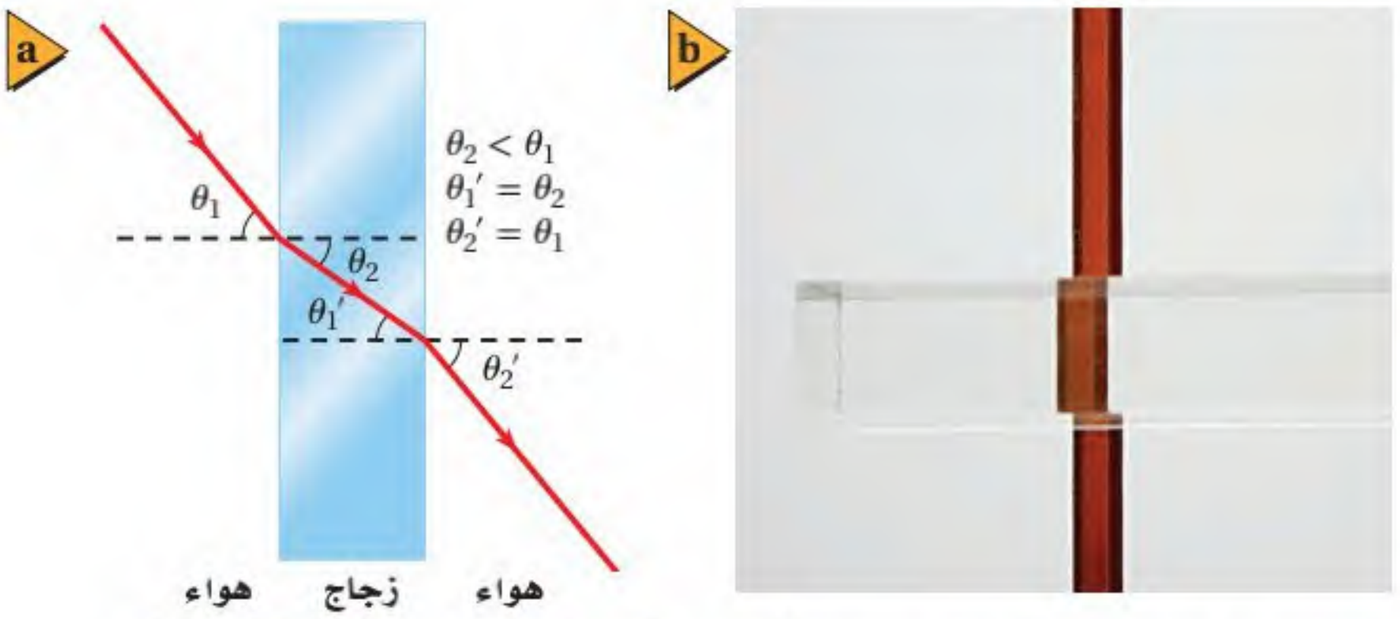
الأهداف

- **تحل** مسائل تتضمن مفهوم الانكسار في السطوح المستوية والعدسات.
- **توضّح** مفهوم الانعكاس الكلي الداخلي.
- **توضّح** بعض التطبيقات البصرية المبنية على انكسار الضوء.

المفردات

معامل الانكسار
قانون سنل في الانكسار
الزاوية الحرجة
الانعكاس الكلي الداخلي
التفريق (التحليل)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 1–6** ينحرف الضوء مقتربًا من العمود المقام على نقطة السقوط عند انتقاله من الهواء إلى الزجاج، وينحرف مبتعدًا عن العمود المقام عند انتقاله من الزجاج إلى الهواء (**a**). انحراف الضوء يجعل الأجسام وكأنها مزاحة عن مواقعها الحقيقية (**b**).

قانون سنل في الانكسار Snell's Law of Refraction

ما الذي يحدث عندما تُسقط حزمة ضوء بشكل مائل على سطح قطعة زجاج؟ سينحرف الضوء عن مساره عند مروره بالحد الفاصل بين الهواء والزجاج كما في **الشكل 1–6**. ويُسمى انحراف الضوء الانكسار، وقد درس هذه الظاهرة رينيه ديكارت وويلبرورد سنل في زمن كبلر وجاليليو.

ولمناقشة نتائج هذه الدراسات ينبغي عليك أن تتعرّف زاويتين هما: زاوية السقوط، θ_1، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع الساقط. وزاوية الانكسار، θ_2، وهي الزاوية المحصورة بين العمود المقام واتجاه الشعاع المنكسر. وقد وجد سنل في عام 1621 أنه عند مرور الضوء من الهواء إلى وسط شفاف فإن جيب كل زاوية يرتبط بالمعادلة $n = \sin\theta_1 / \sin\theta_2$؛ حيث تُمثِّل n مقدارًا ثابتًا يعتمد على المادة، ولا يعتمد على الزوايا، يُسمّى **معامل الانكسار**. ويبين **الجدول 1–6** معاملات انكسار بعض المواد. ويمكن تعميم معادلة سنل عندما يمر الضوء خلال حدٍّ فاصلٍ بين أي مادتين شفافتين مختلفتين. وتُعرف هذه المعادلة العامة **بقانون سنل في الانكسار**.

قانون سنل في الانكسار $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$

حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار.

يبين **الشكل 1–6** كيفية تطبيق قانون سنل عندما ينتقل الضوء خلال قطعة زجاج سطوحها متوازية، مثل زجاج النافذة، حيث ينكسر الضوء مرتين؛ مرة عند دخوله إلى الزجاج، ومرة أخرى عند خروجه منه. وعندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج فإنه ينتقل من مادة ذات معامل انكسار قليل إلى مادة معامل انكسارها أكبر؛ أيْ أن $n_1 < n_2$. ولكي تكون المعادلة متساوية الطرفين فإنه يجب أن يكون $\sin\theta_1 > \sin\theta_2$؛ أيْ أن حزمة الضوء تنحرف مقتربة من العمود المقام على السطح.

ويحدث العكس عندما ينتقل الضوء من الزجاج إلى الهواء، حيث يمر من مادة ذات معامل انكسار كبير إلى مادة معامل انكسارها أقل؛ أيْ أن $n_1 > n_2$. وفي هذه الحالة تكون $\sin\theta'_1 < \sin\theta'_2$؛ أيْ أن الضوء ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. لاحظ أيضًا أن اتجاه الشعاع عند خروجه من الزجاج هو نفسه كما كان قبل أن يسقط على الزجاج، ولكنه انزاح عن موضعه الأصلي.

دلالة الألوان

يكون وسط الانكسار والعدسات باللون **الأزرق الفاتح**.

الجدول 1-6

معاملات الانكسار للضوء الأصفر (في الفراغ $\lambda = 589\ nm$)

الوسط	n
الفراغ	1.00
الهواء	1.0003
الماء	1.33
الإيثانول	1.36
زجاج العدسات	1.52
الكوارتز	1.54
الزجاج الصوّاني	1.62
الألماس	2.42

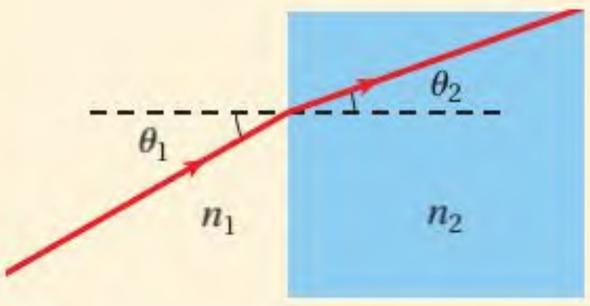
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 1

زاوية الانكسار تسقط حزمة ضوء من الهواء على قطعة من زجاج العدسات بزاوية 30.0°. ما مقدار زاوية الانكسار؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحد الفاصل بين الهواء وزجاج العدسات.
- ارسم مخطّط الأشعة.



المعلوم

$\theta_1 = 30.0^\circ$ ، $n_1 = 1.00$ ، $n_2 = 1.52$

المجهول

$\theta_2 = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم قانون سنل لإيجاد زاوية الانكسار:

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

$$\sin\theta_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1\right)$$

عوّض مستخدمًا $\theta_1 = 30.0^\circ$ ، $n_2 = 1.52$ ، $n_1 = 1.00$

$$= \sin^{-1}\left(\left(\frac{1.00}{1.52}\right)\sin 30.0^\circ\right) \quad = 19.2^\circ$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** يُعبَّر عن الزوايا بالدرجات.
- **هل الجواب منطقي؟** إن معامل الانكسار n_2 أكبر من معامل الانكسار n_1، لذا، تكون زاوية الانكسار θ_2 أقل من زاوية السقوط θ_1.

مسائل تدريبية

1. أُسقطت حزمة ليزر في الهواء على إيثانول بزاوية 37.0°. ما مقدار زاوية الانكسار؟
2. ينتقل ضوء في الهواء إلى داخل الماء بزاوية 30.0° بالنسبة للعمود المقام. أوجد مقدار زاوية الانكسار.
3. غمر قالب من مادة غير معروفة في الماء. أُسقط عليه ضوء بزاوية 31°، فكانت زاوية انكساره في القالب 27°. ما معامل الانكسار للمادة المصنوع منها القالب؟

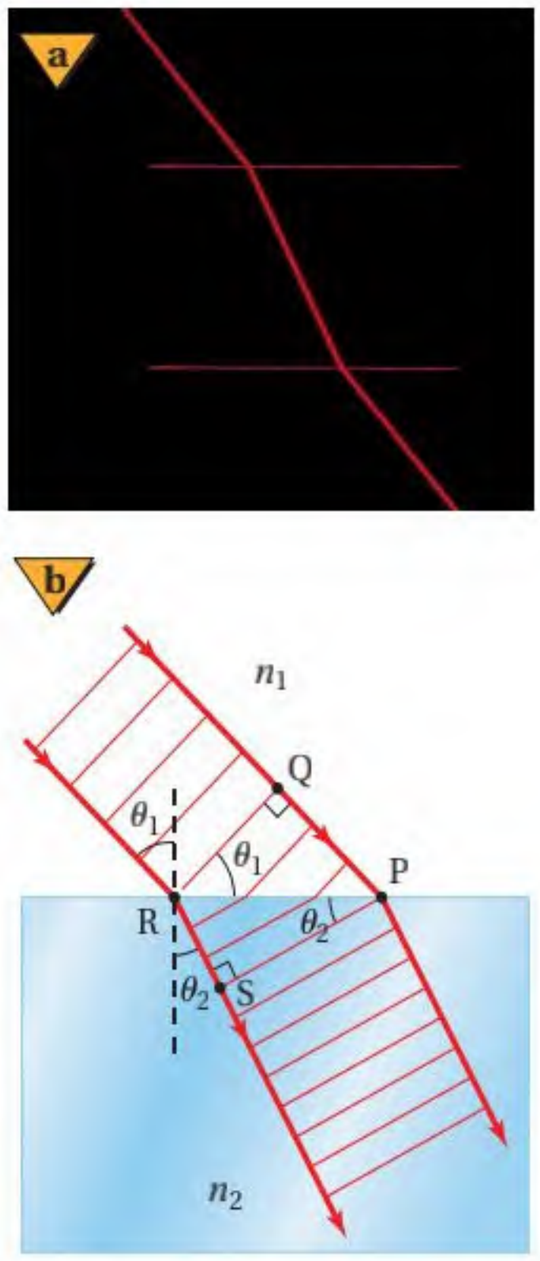
الربط مع الفلك

يرجع اللون الأحمر للقمر خلال مرحلة خسوفه إلى الانكسار؛ إذ يحدث خسوف القمر عندما تحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر. ونتيجة لهذا، قد تتوقع أن يصبح القمر معتمًا تمامًا، ولكن ما يحدث هو أن الضوء ينكسر خلال الغلاف الجوي للأرض، وينحرف حول الأرض في اتجاه القمر. ولأن الغلاف الجوي للأرض يشتّت معظم الضوء الأزرق والأخضر لذا ينير اللون الأحمر أغلب القمر. وبما أن القمر يعكس معظم ألوان الضوء بالدرجة نفسها فإنه يعكس الضوء الأحمر إلى الأرض، فيظهر القمر باللون الأحمر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

النموذج الموجي في الانكسار Wave Model of Refraction

طُـوّر النموذج الموجي للضوء بعـد 200 عام تقريبًا من نشر سـنل لبحثه. وتم التوصل بعد 300 عام من عمل سـنل إلى فهـم أن الضوء يتفاعل مع الـذرات عند انتقاله خلال الوسـط، كأن يتحـرك بسرعـة أقل ممـا هو في الفـراغ. ويمكـن كتابة علاقـة الموجة $\lambda_o = c/f$ التي درستها سـابقًا التي تخص انتقال موجة الضوء في الفراغ على النحو الآتي: $\lambda = v/f$، حيث تمثل v سرعة الضوء في أي وسط، و تمثل λ الطول الموجي. ولا يتغير تردد الضـوء f عندما يعبر الحد الفاصل؛ أيْ أن عدد الاهتـزازات لكل ثانية التي تصل الحد الفاصل هي نفسـها التي تخرج من الحد الفاصل وتنتقل خلال وسط الانكسار. لذا يجب أن يقـلّ الطول الموجي للضوء λ عندما تقل سرعة الضوء؛ فيكون الطول الموجي للضوء في أي وسط أقصر من الطول الموجي له في الفراغ.



الشكل 2–6 ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج ثم إلى الهواء مرة أخرى (**a**). يتباطأ الضوء وينحرف مقتربًا من العمود المقام عندما يدخل منطقة معامل انكسارها أكبر (**b**).

ما الذي يحدث عندما ينتقل الضوء من وسـط يتحرك فيه بسرعة أكبر إلى وسـط يتحرك فيه بسرعة أقل كما في **الشـكل 2a–6**؟ للإجابة عن ذلك انظر إلى **الشـكل 2b–6** الذي يبيِّن حزمة ضوئية مكوّنة من سلسلة متوازية من مقدمات الموجات المستقيمة، حيث تمثّل كل مقدمة موجـة قمة الموجة وتكون متعامدة مع اتجاه الحزمة الضوئية التي تسـقط على السـطح بالزاوية θ_1. وبما أن مقدمات الموجة تعامد اتجـاه الحزمة، فإن PQR ∆ في المثلث PQR تكون زاوية قائمة، و QRP ∆ تساوي θ_1 . لذا فإن $\sin\theta_1$ تساوي المسافة بين P و Q مقسومة على المسافة بين P و R.

$$\sin\theta_1 = \frac{\overline{PQ}}{\overline{PR}}$$

وترتبط زاوية الانكسار θ_2 بالطريقة نفسها مع المثلث PSR، وفي هذه الحالة:

$$\sin\theta_2 = \frac{\overline{RS}}{\overline{PR}}$$

ومن خلال حساب نسبة الجيب للمثلثين فإن $\overline{PR}$ تُلغى وتبقى المعادلة الآتية:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{\overline{RS}}{\overline{PQ}}$$

رُسم **الشكل 2b–6** بحيث كانت المسافة بين P و Q مساوية لثلاثة أطوال موجية للضوء في الوسـط 1؛ أي أن $\overline{PQ} = 3\lambda_1$. وبالطريقة نفسـها فإن $\overline{RS} = 3\lambda_2$. وبتعويض هاتين القيمتين في المعادلة السابقة واختصار العامل المشترك، الرقم 3، تنتج معادلة تربط زاويتي السقوط والانكسار بالطول الموجي للضوء في كل وسط.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{3\lambda_2}{3\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

وبالتعويـض عن الطول الموجي بـ $\lambda = v/f$ في المعادلة أعلاه وإلغاء العامل المشـترك f، يُمكننا إعادة كتابة المعادلة على الشكل الآتي:

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كما يمكن أيضًا كتابة قانون سنل في صورة نسبة لمعاملي انكسار الوسطين.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

معامل الانكسار باستخدام خاصية التعدي للمساواة، فإن المعادلتين السابقتين تؤديان إلى المعادلة الآتية:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

وبالنسبة للفراغ فإن $n = 1$ و $v = c$. فإذا كان أحد الوسطين فراغًا فإن المعادلة تبسّط إلى معادلة تربط معامل انكسار الوسط بسرعة الضوء فيه.

معامل الانكسار $n = \frac{c}{v}$

معامل انكسار الوسط يساوي سرعة الضوء في الفراغ مقسومة على سرعة الضوء في الوسط.

ويستخدم هذا التعريف لإيجاد الطول الموجي للضوء في وسط ما مقارنة بالطول الموجي للضوء في الفراغ، حيث يعبَّر عن سرعة الضوء في وسط معامل انكساره n بالعلاقة $v = c/n$، وعن الطول الموجي للضوء في الفراغ بـ $\lambda_0 = c/f$. وبحل المعادلة $\lambda = v/f$ بالنسبة للتردد، وتعويض كل من المعادلتين $f = c/\lambda_0$ و $v = c/n$ فيها، تجد أن $\lambda = (c/n)/(c/\lambda_0) = \lambda_0/n$، لذا يكون الطول الموجي للضوء في الوسط أقل من الطول الموجي له في الفراغ.

الانعكاس الكلي الداخلي Total Internal Reflection

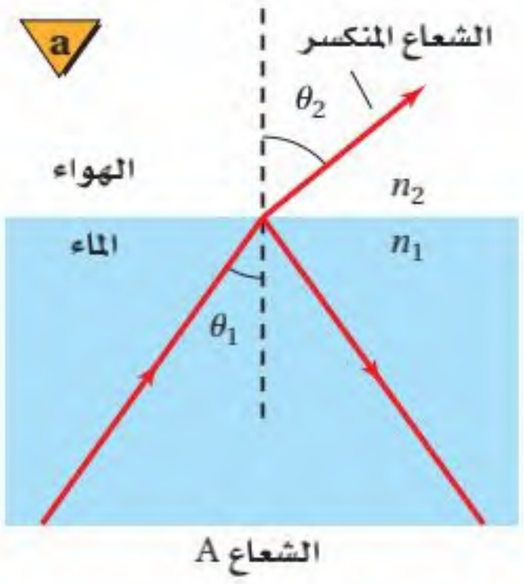
عندما ينتقل الضوء إلى وسط معامل انكساره أقل تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، كما يبين **الشكل 3a–6**. وهذا يؤدي إلى ظاهرة طبيعية؛ إذ إنه مع زيادة زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار، إلا أنه عند زاوية سقوط معينة تُسمى **الزاوية الحرجة** θ_c، ينكسر الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين، وتكون زاوية الانكسار 90.0°، كما يبين **الشكل 3b–6**.

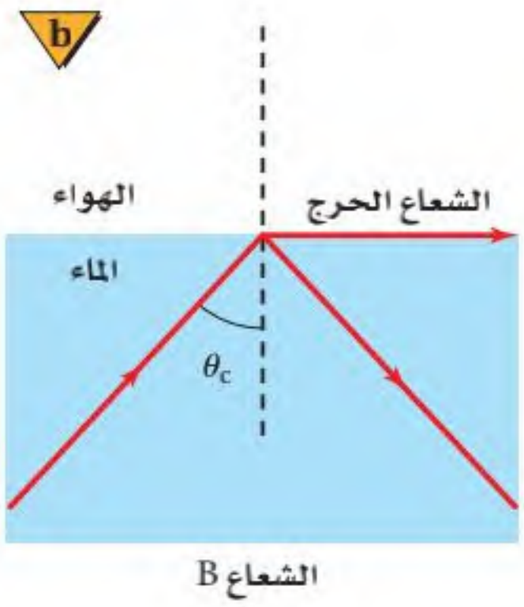
عندما يسقط ضوء على حد فاصل شفاف فإن معظم الضوء ينفذ، بينما ينعكس جزء منه، في حين يمتص الوسط جزءًا آخر منه. ويحدث **الانعكاس الكلي الداخلي** عندما ينتقل الضوء من وسط معامل انكساره كبير إلى وسط معامل انكساره أقل، ويسقط الضوء على الحد الفاصل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، إن أهم ما يميز الانعكاس الكلي الداخلي هو أن الضوء ينعكس بصورة كاملة إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر، كما يبين **الشكل 3c–6**. وتستطيع استخدام قانون سنل لإيجاد معادلة للزاوية الحرجة لأي حد فاصل، وذلك بتعويض $\theta_1 = \theta_c$ و $\theta_2 = 90.0^\circ$.

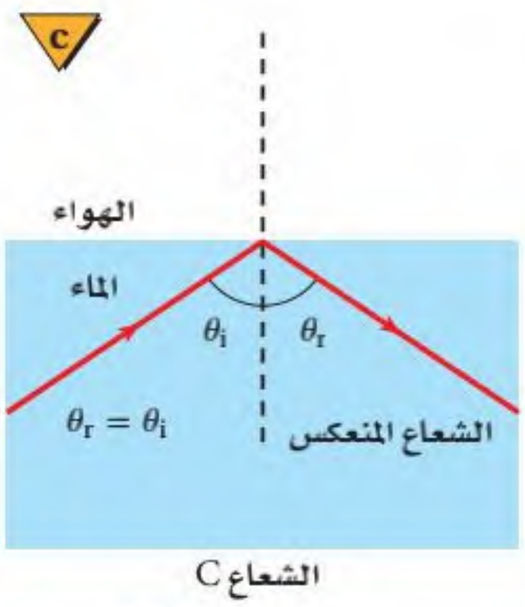
الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي $\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$

جيب الزاوية الحرجة يساوي معامل انكسار وسط الانكسار مقسومًا على معامل انكسار وسط السقوط.

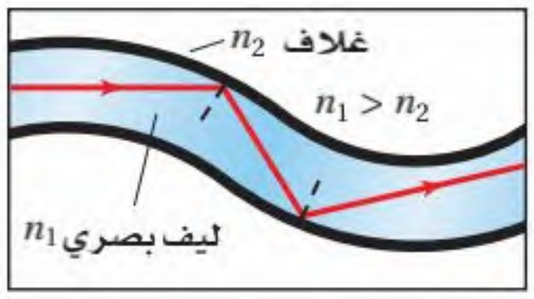
الشكل 3–6 انكسر الشعاع A جزئيًا، وكذلك انعكس جزئيًا (**a**). انكسر الشعاع B على امتداد الحدّ الفاصل بين الوسطين عندما سقط بزاوية تساوي الزاوية الحرجة (**b**). زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى حدوث انعكاس كلي داخلي للشعاع C، والذي يتبع قانون الانعكاس (**c**).







وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



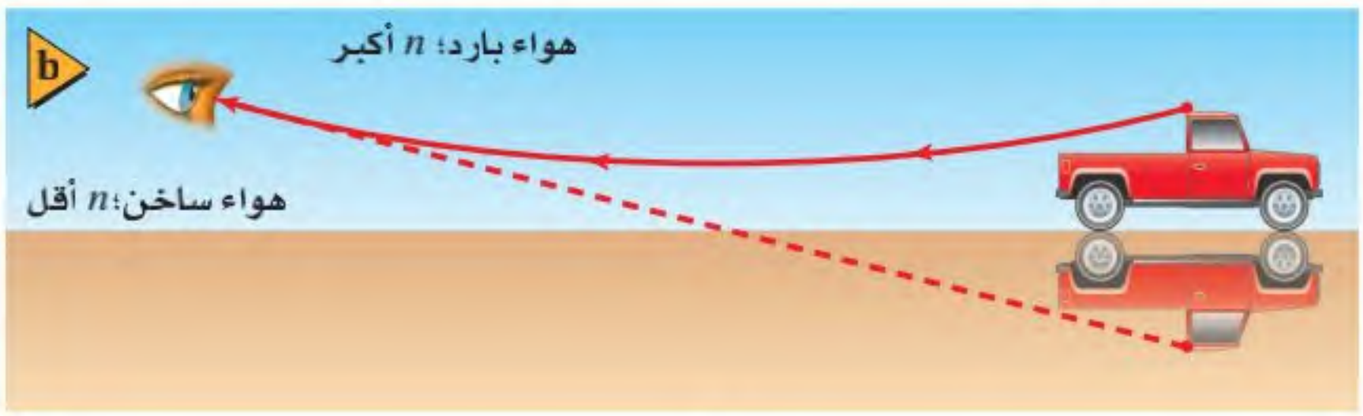
■ **الشكل 4–6** تدخل نبضات ضوء من مصدر الضوء إلى أحد طرفي الليف البصري. وفي كل مرة يصطدم فيها الضوء بالسطح، تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة، ولذا يبقى الضوء داخل الليف البصري.

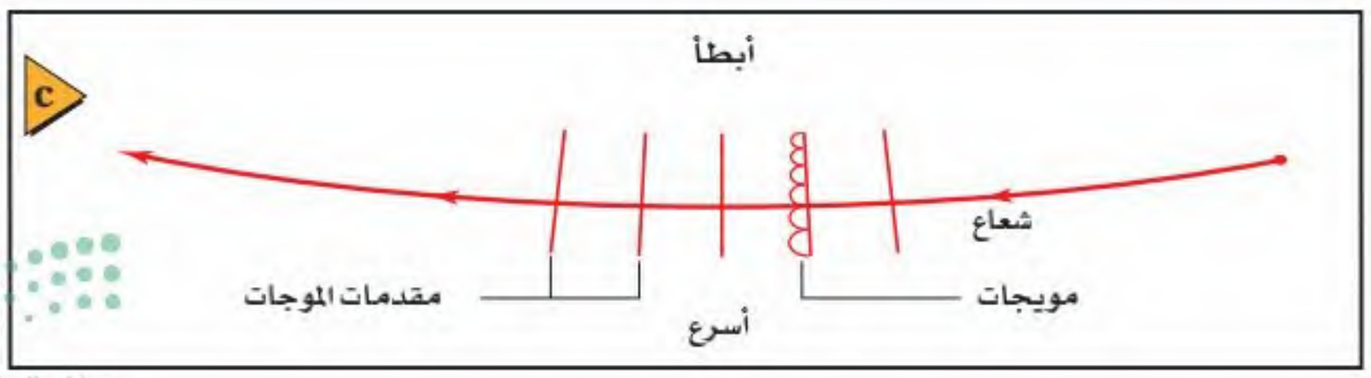
يؤدي الانعكاس الكلي الداخلي إلى بعض التأثيرات الغريبة. افترض أنك تغوص في بركة ماء ساكن، وتنظر إلى أعلى سطح الماء، فإنك قد ترى انعكاسًا مقلوبًا لجسم آخر قريب موجود أسفل الماء، أو قد ترى انعكاسًا لقاع البركة نفسها؛ إذ يعمل سطح الماء عمل المرآة. وكذلك عندما تقف بجانب بركة فإنه يمكن ألا ترى الأشياء الموجودة أسفل سطح الماء. فعندما يسبح شخص تحت الماء بالقرب من السطح وفي الجهة المقابلة لك من البركة، فإنك قد لا تراه؛ وذلك لأن الضوء القادم من جسمه ينعكس إلى الأسفل ليرتد إلى داخل البركة.

تعد الألياف البصرية تطبيقًا تقنيًّا مهمًّا للانعكاس الكلي الداخلي. فكما يبين **الشكل 4–6**، يصطدم الضوء الذي ينتقل خلال الليف الشفاف بالسطح الداخلي لليف البصري دائمًا بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، لذا ينعكس الضوء انعكاسًا كليًّا داخليًّا فلا ينفذ أي جزء منه خلال الحد الفاصل. ولذلك يحافظ الضوء على شدته على طول المسافة التي يمتدّها الليف البصري مهما بلغت، وبهذا يمكن نقل الضوء من منطقة إلى أخرى.

السراب Mirages

تــرى أحيانًا في يــوم صيفي حار تأثير الــسراب المبين في **الشــكل 5a–6**. فعندما تقود ســيارتك على طريق ترى ما يبدو كأنه انعكاس للســيارة القادمــة في بركة ماء، وتختفي البركة عندما تصل إليها، لماذا؟يتكون السراب نتيجة تسخين الشمس للطريق؛ إذ تُسخِّن الطريق الحارة الهواء فوقها وتنتج طبقة حرارية من الهواء تؤدي إلى انحراف الضوء المنتقل في اتجــاه الطريق تدريجيًّا إلى أعلى؛ مما يجعل الضوء يبدو قادمًا من انعكاس في بركة، كما في **الشكل 5b–6**.





■ **الشكل 5–6** سراب يُرى على سطح الطريق (**a**). ينحرف الضوء القادم من السيارة إلى أعلى في اتجاه عين المشاهد (**b**). يتحرك قاع مقدمة الموجة أسرع من قمتها (**c**).

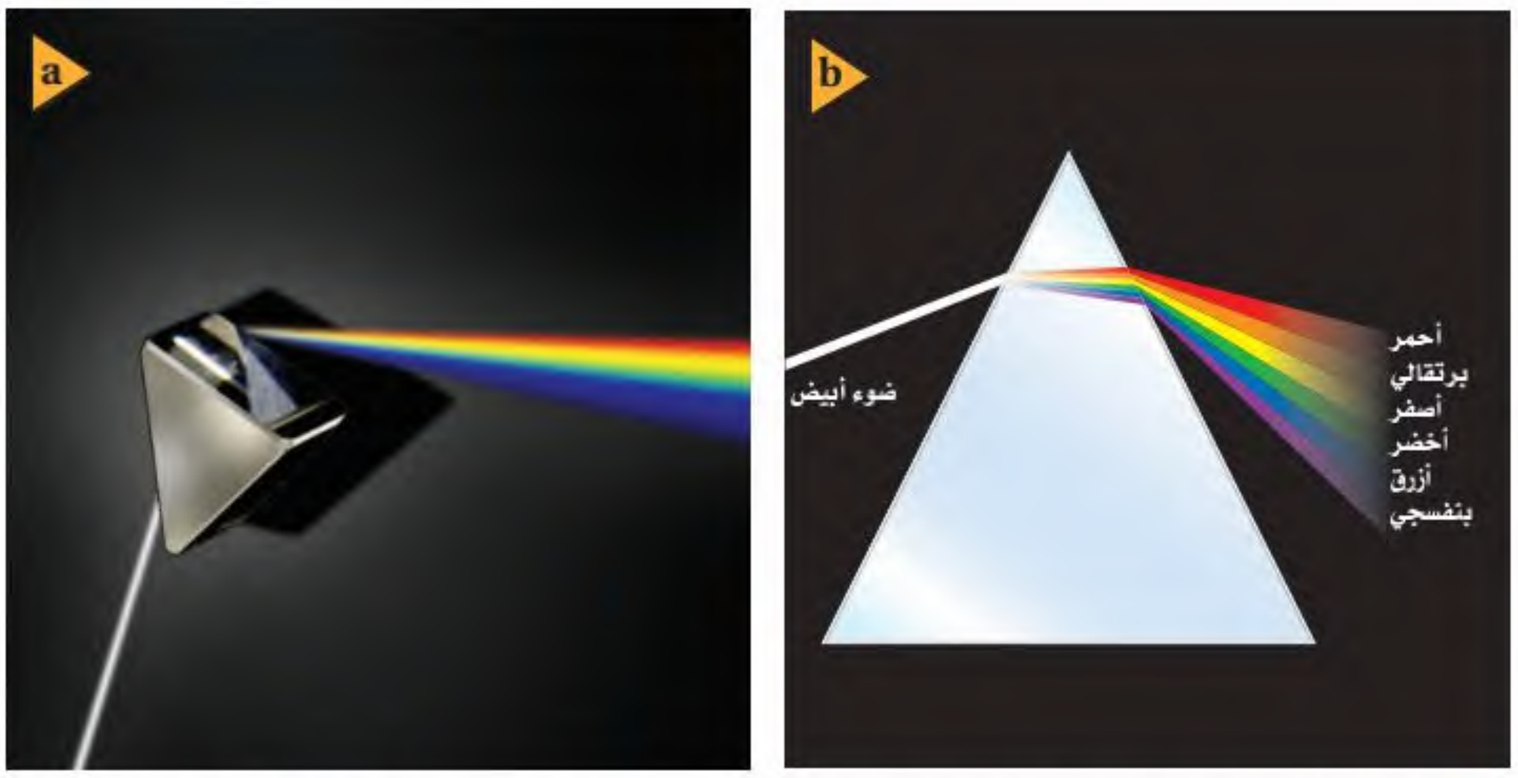
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ويبين **الشكل 5c–6** كيف يحدث هذا؛ فعندما ينتقل الضوء من جسم بعيد إلى أسفل نحو الطريق، فإن معامل انكسار الهواء يقل بسبب سخونة الهواء، ويكون تغير درجة الحرارة تدريجيًّا. تذكر من الفصول السابقة أن مقدمات موجات الضوء التي درستها تتألّف من مويجات هيجنز. وفي السراب تنتقل مويجات هيجنز القريبة من سطح الأرض أسرع من تلك المويجات التي في الأعلى، مما يؤدي إلى انحراف مقدمات الموجات تدريجيًّا إلى أعلى. وتحدث ظاهرة مشابهة تُسمّى السراب القطبي؛ عندما يبدو انعكاس قارب بعيد فوق القارب نفسه، حيث يُبقي الماء الهواء القريب من سطحه باردًا.

تفريق (تحليل) الضوء Dispersion of Light

تتحدّد سرعة الضوء في وسط ما من خلال التفاعلات بين الضوء وذرات الوسط. وتعرف من دراستك السابقة أن درجة الحرارة والضغط يرتبطان بطاقة الجسيمات على المستوى الذري، لذا تتغير سرعة الضوء، ويتغير تبعًا لذلك معامل الانكسار للوسط الغازي قليلاً مع تغيّر درجة الحرارة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن سرعة الضوء ومعامل الانكسار يختلفان للأطوال الموجية المختلفة في الوسط نفسه.

يتحلل الضوء الأبيض إلى طيف من الألوان عند مروره خلال منشور زجاجي، كما يبين **الشكل 6a–6**، حيث تُسمى هذه الظاهرة **بالتفريق**. وإذا نظرت بدقة إلى الضوء الذي يمر خلال المنشور فستلاحظ أن اللون البنفسجي ينكسر أكثر من اللون الأحمر، كما يبين **الشكل 6b–6**؛ وهذا يحدث لأن سرعة الضوء البنفسجي خلال الزجاج أقل من سرعة الضوء الأحمر؛ حيث إن تردّد الضوء البنفسجي أكبر من تردد الضوء الأحمر، مما يجعله يتفاعل بصورة مختلفة مع ذرات الزجاج، وهذا يؤدي إلى جعل معامل انكسار الزجاج للضوء البنفسجي أكبر منه للضوء الأحمر.



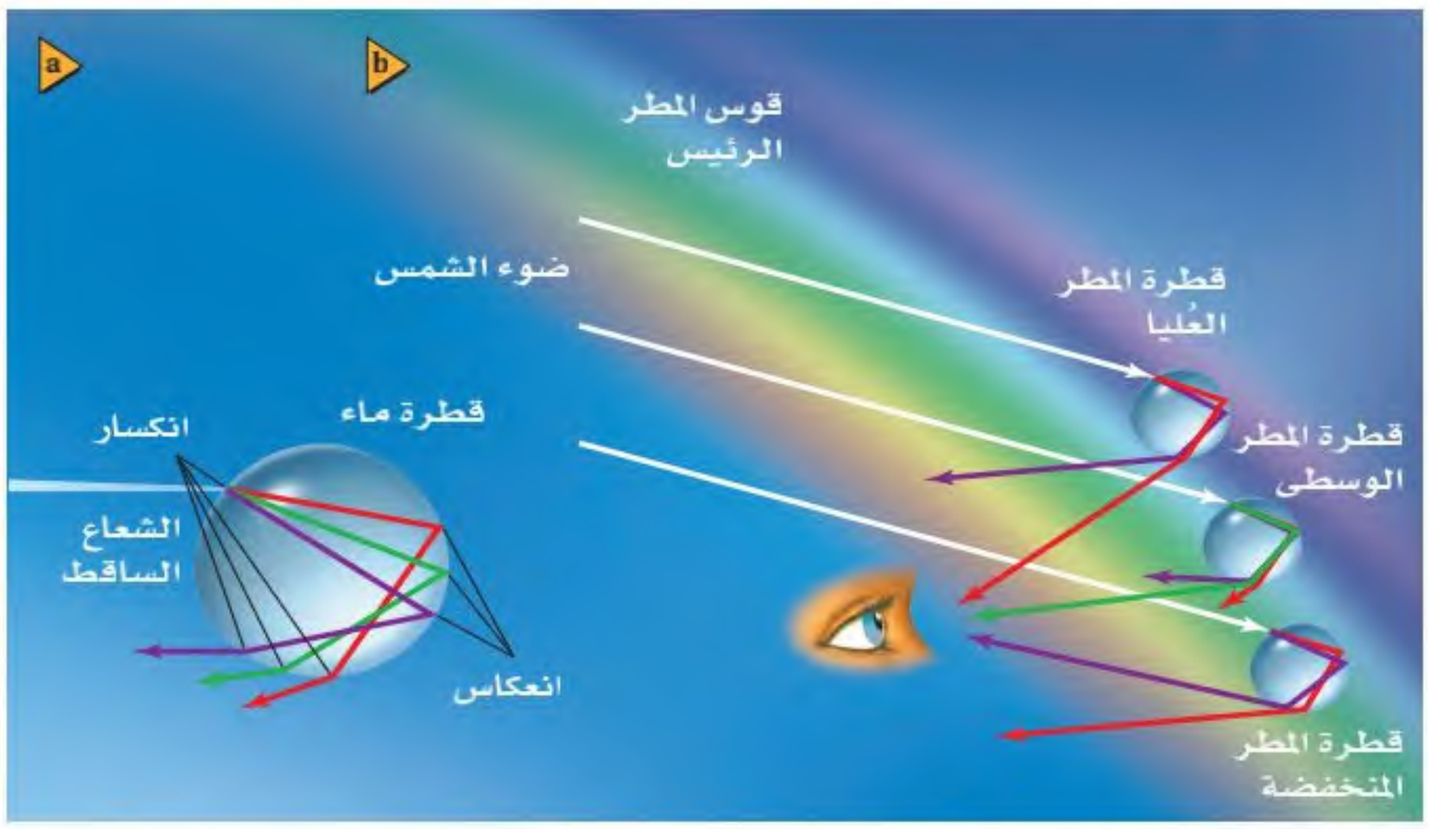
■ **الشكل 6–6** يسقط ضوء أبيض على منشور فيتفرق (يتحلل) إلى حزم من ألوان مختلفة (**a**). وتنحرف الألوان المختلفة من الضوء بدرجات مختلفة عند عبورها وسط ما (**b**).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قوس المطر المنشـــور ليس الوســـيلة الوحيدة لتفريق الضوء الأبيض ثم تحليله إلى ألوانه؛ فقوس المطر طيف يتشـــكّل عندما يتفرق ضوء الشـــمس بفعل قطـــرات الماء في الغلاف الجوي. وينكسر ضوء الشـــمس الســـاقط على قطرات الماء، حيث ينكسر كل لون بزاوية انكسار مختلفة قليلاً؛ بســـبب التفريق كما هو موضّح في **الشكل 7a–6**. ويحدث انعكاس داخلي لبعض الضوء على الســـطح الخلفي للقطرة. وعند خروج الضوء من القطرة يحدث له انكسار مرة أخرى ويزداد التفريق.

وعلى الرغم من أن كل قطرة تنتج طيفًا كاملاً إلا أن المراقب الموجود بين الشـــمس والمطر ســـيرى من كل قطرة طولاً موجيًّـــا معينًا للضوء فقط؛ حيث يعتمـــد الطول الموجي على المواقع النسبية للشـــمس، والقطرة، والمراقب، كما يبين **الشـــكل 7b–6**. وسيظهر طيف كامل؛ لأنه يوجد الكثير من القطرات في الســـماء. وستصنع القطرات التي تعكس الضوء الأحمر زاوية 42° بالنســـبة لأشعة الشـــمس؛ في حين تصنع القطرات التي تعكس الضوء الأزرق زاوية 40°.

قد ترى أحيانًا قوس مطر ثانٍ باهتٍ، كما في **الشـــكل 8–6**. ويقع قوس المطر الثاني خارج الأول، كما يكون باهتًـــا، وله ترتيب ألوان معكوس. وينتج هذا التأثير بســـبب انعكاس أشعة الضوء مرتين في داخل قطرة الماء. وقد يظهر قوس مطر ثالث خارج الإثنين، ولكن



الشكل 7–6 يتشكّل قوس المطر بسبب تفرّق (تحلّل) الضوء الأبيض عند دخوله الحد الفاصل وانعكاسه عن الحد الفاصل الداخلي، وخروجه من قطرات المطر (a). يصل لون واحد فقط إلى المراقب من كل قطرة مطر بسبب التفريق (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 8–6** يسمح وجود الضباب خلال رؤيتك للضوء المشتمل على الطيف الكامل للألوان بأن يصل إلى عينيك على صورة قوس مطر. وقد يمكّنك الانعكاس عن قطرات المطر أحيانًا من رؤية قوس مطر آخر بألوان معكوسة الترتيب.

بصورة نادرة جدًّا. مـا توقعك حول عدد مرات انعكاس الضـوء في قطرة الماء وترتيب ظهور الألوان لقوس المطر الثالث؟

1–6 مراجعة

4. **معامل الانكسار** عند نفاذ الضوء من الماء إلى سـائل معين فإنه ينحرف مقتربًـا من العمود المقام، ولكن عند نفاذ الضوء من زجاج العدسـات إلى السـائل نفسه فإنه ينحرف مبتعدًا عن العمود المقام. ما الذي تستنتجه عن معامل انكسار السائل؟
5. **معامل الانكسار** سقط شعاع ضوئي في الهواء بزاوية 30.0° على قالب من مادة غير معروفة، فانكسر فيها بزاوية 20.0°. ما معامل انكسار المادة؟
6. **سـرعة الضوء** هل يمكن أن يكون معامل الانكسار أقـل من 1؟ وما الـذي يعنيه هذا بالنسـبة لسرعة الضوء في ذلك الوسط؟
7. **سـرعة الضـوء** ما سرعة الضـوء في الكلوروفورم $(n=1.51)$؟
8. **الانعكاس الكلي الداخلي** إذا توافر لديك الكوارتز وزجاج العدسات لتصنع ليفًا بصريًّا، فأيّهما تستخدم لطبقة الغلاف؟ ولماذا؟
9. **زاويـة الانكسار** تعبر حزمة ضوئيـة الماء إلى داخل البـولي إيثيلين (معامل انكسـاره $n=1.50$). فإذا كانـت $\theta_i=57.5°$ فـما زاوية الانكسـار في البولي إيثيلين؟
10. **الزاويـة الحرجـة** هل هناك زاويـة حرجة للضوء المنتقل من الزجاج إلى الماء، وللضوء المنتقل من الماء إلى الزجاج؟
11. **التفريق** لماذا تستطيع رؤية صورة الشمس فوق الأفق تمامًا عندما تكون الشـمس نفسها قد غابت فعلاً؟
12. **التفكير الناقد** في أي اتجاه تستطيع رؤية قوس المطر في مساء يوم ماطر؟ وضّح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–2 العدسات المحدّبة والمقعّرة Convex and Concave Lenses

الأهداف

- **تصف** كيف تتكون الصور الحقيقية والخيالية بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة على الترتيب.
- **تعين** موقع الصور المتكوّنة بواسطة العدسات بالطريقتين الهندسية والرياضية.
- **توضّح** كيف يمكن تقليل الزوغان اللّوني.

المفردات

العدسة

العدسة المحدّبة

العدسة المقعّرة

معادلة العدسة الرقيقة

الزوغان اللّوني

العدسة اللّالونية

يكون انكسار الضوء في الطبيعة جميلاً؛ إذ ينتج عنه قوس المطر والخسوف الأحمر للقمر. وهناك فوائد كثيرة للانكسار في حياتنا؛ فقد كتب الفيزيائي الفرنسي برنارد أوف جوردون عام 1303 حول استخدام العدسات لتصحيح النظر. واستخدم جاليليو عام 1610 عدستين لصنع التلسكوب الذي اكتشف بواسطته أقمار المشتري. واستخدمت العدسات منذ زمن جاليليو في أجهزة عديدة، منها الميكروسكوبات وآلات التصوير. وقد تكون العدسات أكثر الأدوات البصرية فائدة.

أنواع العدسات Types of Lenses

العدسة قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور. ويمكن أن يكون أي سطح من سطحي العدسة منحنيًا أو مستويًا. وتُسمّى العدسة في **الشكل 6–9a** **عدسة محدبة**؛ لأنها أكثر سمكًا عند الوسط مما عند الأطراف. وتُسمّى العدسة المحدبة العدسة المجمِّعة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادةٍ معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر الأشعة الضوئية المتوازية والموازية للمحور الرئيس بحيث تتجمّع الأشعة المنكسرة في نقطة واحدة. وتُسمّى العدسة التي في **الشكل 6–9b** **عدسة مقعرة**؛ لأنها أدقّ وأرقّ عند الوسط مما عند الطرفين. وتُسمّى العدسة المقعرة العدسة المفرِّقة؛ وذلك لأنها عندما تُحاط بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار مادة العدسة فإنها تعمل على كسر أشعة الضوء المتوازية بحيث تتفرّق.

عندما يمر الضوء خلال عدسة يحدث الانكسار عند سطحيها. ويمكنك التنبؤ بمسار الأشعة المارة خلال العدسات باستخدام قانون سنل والهندسة. ولتسهيل مثل هذه المسائل افترض أن الانكسار يحدث كاملاً في مستوى يُسمّى المستوى الأساسي، يمر في مركز العدسة وطرفيها. ويُسمّى هذا التقريب نموذج العدسة الرقيقة، والذي سيطبق على العدسات جميعها التي تدرسها في هذا القسم.

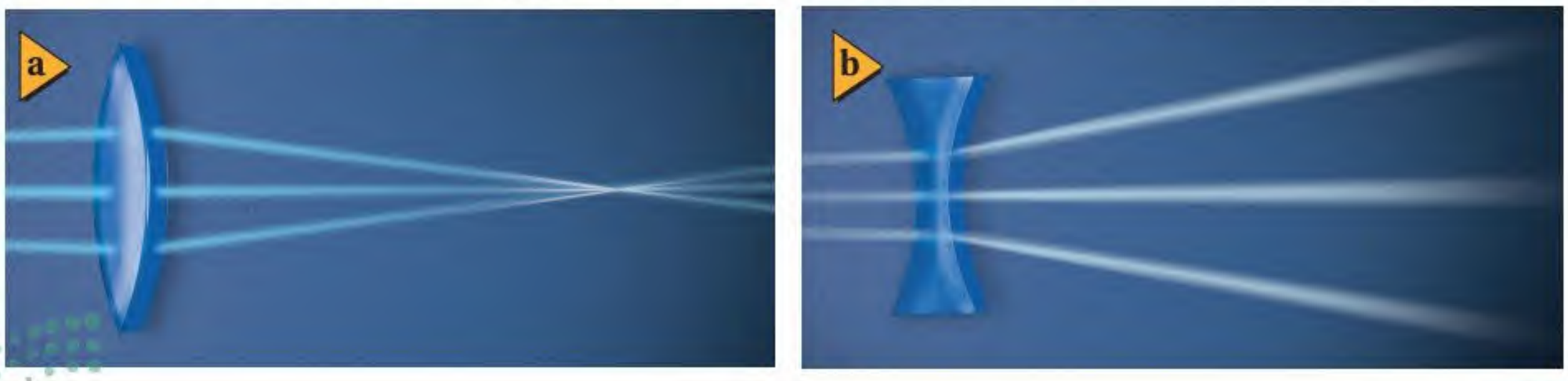
تجربة عملية

العدسات المحدبة والعدسات المقعرة

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

معادلتا العدسة تتضمن المسائل التي تحلها عدسات كروية رقيقة، أيْ عدسات لها وجوه مقوّسة بتقوّس الكرة نفسه. واعتمادًا على نموذج العدسة الرقيقة، والتبسيطات المستخدمة

الشكل 6–9 تعمل العدسة المحدبة على تجميع أشعة الضوء (a). أمّا العدسة المقعرة فتفرّق أشعة الضوء (b).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

في حل مسائل المرايا الكروية، طوّرت معادلتان للعدسات؛ إذ تربط **معادلة العدسة الرقيقة** بين البعد البؤري للعدسة الكروية الرقيقة وبُعد الجسم وبُعد الصورة.

معادلة العدسة الرقيقة

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

مقلوب البعد البؤري للعدسة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الصورة ومقلوب بُعد الجسم عن العدسة.

وتستخدم معادلة التكبير في العدسات الكروية الرقيقة كالتي استخدمت في المرايا الكروية.

التكبير

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

يعرف تكبير عدسة كروية لجسم ما بأنه نسبة طول الصورة إلى طول الجسم، ويساوي سالب بُعد الصورة عن العدسة مقسومًا على بُعد الجسم عن العدسة.

استخدام معادلتي العدسات من المهم استخدام نظام إشارات مناسب عند استخدام هاتين المعادلتين. ويبين **الجدول 2–6** مقارنة بين بُعد الصورة، والتكبير، ونوع الصورة المتكوّنة بواسطة عدسات محدبة ومقعرة مفردة عند وضع الجسم في مواقع متعددة d_o بالنسبة للعدسة. ولاحظ التشابه بين هذا الجدول **والجدول 1–5** الخاص بالمرايا. وكما في المرايا، فإن المسافة بين المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة هي البعد البوري f. ويعتمد البعد البؤري على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها. ويمكن أن تكون الأبعاد البؤرية وأبعاد الصورة سالبة.

تكون الصورة الخيالية للعدسات دائمًا في الجانب نفسه الموجود فيه الجسم، مما يعني أن بُعد الصورة سالب. وتكون الصورة أصغر من الجسم عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر وواحد. في حين تمثّل القيمة المطلقة للتكبير التي تكون أكبر من واحد، الصور الأكبر من الأجسام. أما التكبير السالب فيعني أن الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. لاحظ أيضًا أن العدسة المقعرة تنتج صورًا خيالية فقط، في حين تنتج العدسة المحدبة صورًا حقيقية أو خيالية.

الجدول 2–6

خصائص العدسات الكروية

نوع العدسة	f	d_o	d_i	m	الصورة
محدبة	+	$d_o > 2f$	$2f > d_i > f$	مصغرة مقلوبة	حقيقية
		$2f > d_o > f$	$d_i > 2f$	مكبرة مقلوبة	حقيقية
		$f > d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert > d_o$ سالب	مكبرة	خيالية
مقعرة	−	$d_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ سالب	مصغرة	خيالية

تجربة عملية

كيف ينحرف الضوء؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تجربة

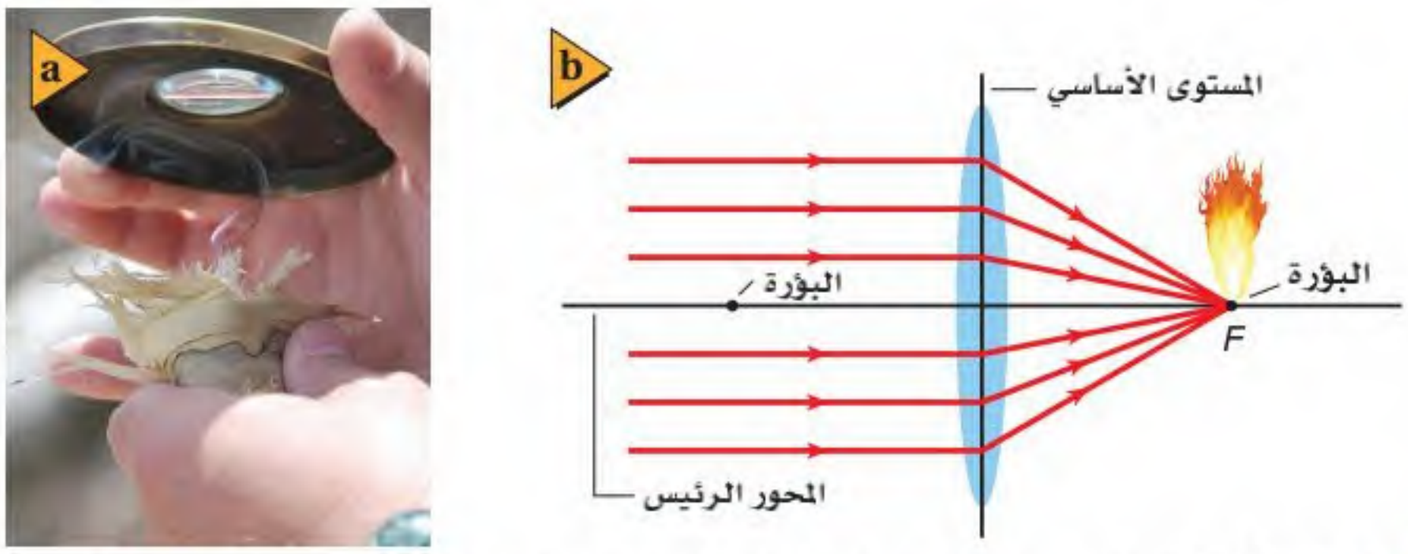
تأثيرات تغطية العدسات

ما الذي يحدث عندما تغطي جزءًا من العدسة؟ هل يؤدي ذلك إلى تكون جزء من الصورة الحقيقية فقط بواسطة العدسة؟

1. ألصق طرف العدسة المحدبة بكرة من الصلصال، وضع العدسة فوق الطاولة. تحذير: للعدسات أطراف حادة، لذا تعامل معها بحذر.
2. ضع مصباحًا صغيرًا عند أحد طرفي الطاولة، وشاشة عند الطرف الآخر للحصول على صورة واضحة للمصباح الضوئي. تحذير: قد يسخن المصباح فيحرق يدك.
3. توقع ماذا يحدث للصورة إذا وضعت يدك على النصف العلوي للعدسة؟ هذا ما يُسمّى التغطية.
4. لاحظ تأثيرات التغطية لأكبر وأقل مساحة من العدسة.

التحليل والاستنتاج

5. ما الحجم الكافي من العدسة الذي يتطلبه الحصول على صورة كاملة؟
6. ما تأثير تغطية العدسة؟



■ **الشكل 10–6** يمكن استخدام عدسة مجمّعة لحرق ورقة (a). يتجمّع الضوء الداخل بصورة موازية للمحور الرئيس عند بؤرة العدسة، ولذا تتركز الطاقة الشمسية (b).

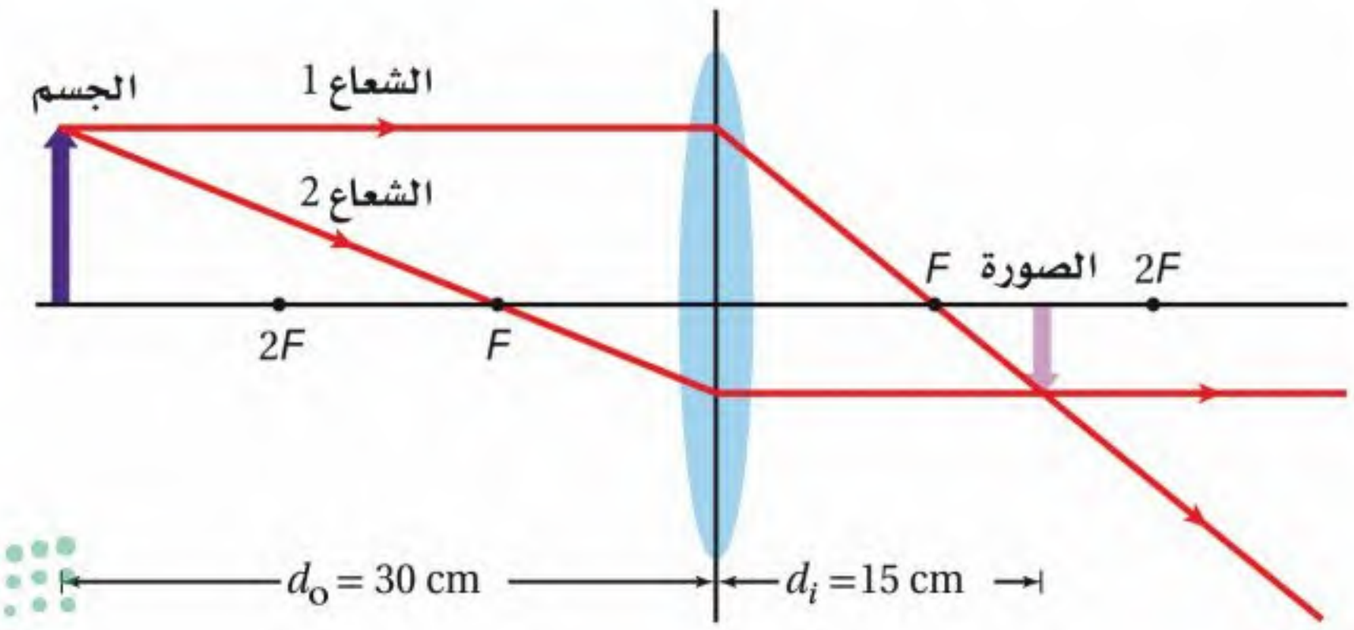
العدسات المحدّبة والصور الحقيقية

Convex Lenses and Real Images

يمكن إشعال ورقة أو ألياف خشبية ـ كما في **الشكل 10a–6** ـ بتكوين صورة للشمس عليها. تذكر من خلال دراستك السابقة أن أشعة الشمس تصل إلى الأرض بصورة متوازية تقريبًا. وتتجمّع الأشعة بعد انكسارها بواسطة العدسة عند البؤرة F للعدسة. و**الشكل 10b–6** يبين نقطتين بؤريتين، واحدة في كل جانب من جوانب العدسة، وإذا دوّرت العدسة حول نفسها، فإنها ستعمل بالطريقة نفسها.

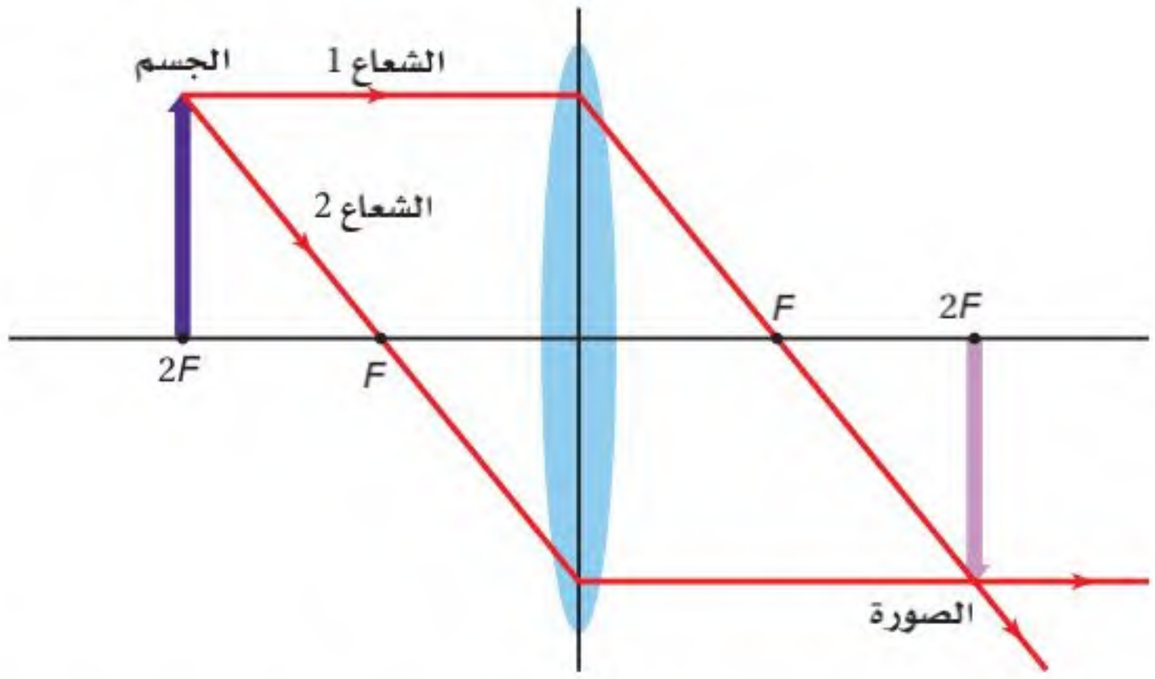
مخطّط الأشعة وفقًا لمخطّط الأشعة، الموضح في **الشكل 11–6**، ستحتاج إلى استخدام شعاعين فقط لتحديد موقع صورة نقطة على جسم؛ إذ يكون الشعاع 1 موازيًا للمحور الرئيس، وينكسر مارًّا بالنقطة F في الجانب الآخر للعدسة. ويمر الشعاع 2 بالنقطة F في طريقه إلى العدسة، ويكون مساره بعد الانكسار موازيًا للمحور الرئيس، حيث يتقاطع الشعاعان عند نقطةٍ ما بعد F ، فيحدّدان موقع الصورة. وتتقاطع الأشعة المختارة من نقاط أخرى على الجسم عند نقاط مماثلة لتكوين الصورة على نحوٍ كامل. لاحظ أن الصورة حقيقية ومقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم.

تستطيع استخدام **الشكل 11–6** لتعيين موقع الصورة لجسم يكون قريبًا من العدسة أكثر



■ **الشكل 11–6** إذا وضع جسم على بُعد أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة تتكون صورة حقيقية مقلوبة ومصغرة بالنسبة للجسم. وإذا وضع الجسم في مكان الصورة أمكنك تعيين موقع الصورة الجديدة من خلال رسم الأشعة نفسها في الاتجاه المعاكس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 12–6** عندما يوضع جسم على بعد مساوٍ لضعف البعد البؤري عن العدسة فإن أبعاد الصورة تكون مساوية لأبعاد الجسم.

من الجسم الذي في الشكل. فإذا عُكِس اتجاه الشعاع المنكسر فإنه سيتبع مساره الأصلي في الاتجاه المعاكس، وهذا يعني أنه يمكن تبادل المواقع بين الجسم والصورة بتغيير اتجاه الأشعة.

أما إذا وضع الجسم على بعد يساوي ضعف البعد البؤري من العدسة عند نقطة $2F$، كما في **الشكل 12–6**، فإن الصورة تتكون عند $2F$، ويكون للصورة والجسم البعدين نفسيهما بسبب التماثل. لذا تستطيع استنتاج أنه إذا كان بُعد الجسم عن العدسة أكبر من ضعف البعد البؤري للعدسة ستكون الصورة مصغرة. وإذا كان الجسم بين F و $2F$، ستكون الصورة مكبّرة.

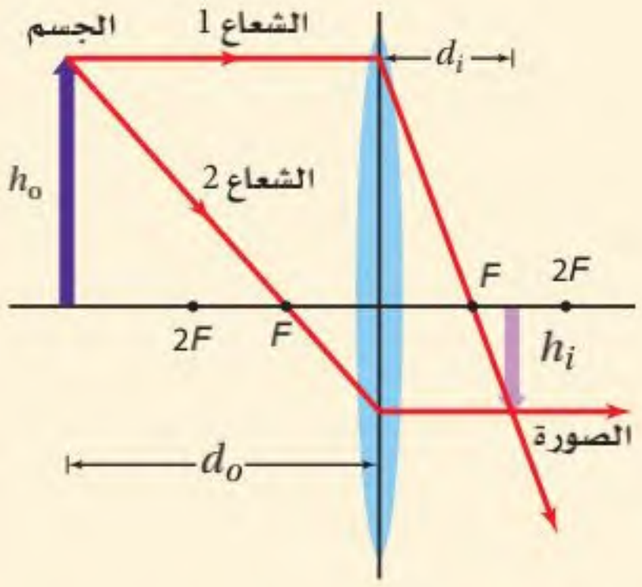
مثال 2

الصورة المتكونة بواسطة عدسة محدبة وضع جسم على بعد 32.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 8.0 cm.

a. أين تتكوّن الصورة؟

b. إذا كان طول الجسم 3.0 cm فما طول الصورة؟

c. ما اتجاه الصورة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحالة، وعيّن موقع كلٍّ من الجسم والعدسة.
- ارسم الشعاعين الأساسيّن.

المعلوم

$d_o = 32.0\ \text{cm}$ ، $h_o = 3.0\ \text{cm}$ ، $f = 8.0\ \text{cm}$

المجهول

$d_i = ?$ $h_i = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لتحديد d_i

عوّض مستخدمًا $f = 8.0\ \text{cm}$ ، $d_o = 32.0\ \text{cm}$.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f} = \frac{(8.0\ \text{cm})\ (32.0\ \text{cm})}{32.0\ \text{cm} - 8.0\ \text{cm}}$$

$= 11\ \text{cm}$ (11 cm بعيدًا عن العدسة في الجانب المعاكس للجسم)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

b. استخدم معادلة التكبير وحل لإيجاد طول الصورة.

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستخدام الأرقام المعنوية

عوّض مستخدمًا $d_o = 32.0\ \text{cm}$، $h_o = 3.0\ \text{cm}$، $di = 11\ \text{cm}$

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$

$$= \frac{-(11\ \text{cm})(3.0\ \text{cm})}{32.0\ \text{cm}}$$

$$= -1.0\ \text{cm}\ (1.0\ \text{cm}\ \text{طول الصورة})$$

c. إن الإشارة السالبة في الفرع **b** تعني أن الصورة مقلوبة.

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الأبعاد كلها بالسنتمتر cm.
- **هل تعني الوحدات أي شيء؟** بُعد الصورة موجب (صورة حقيقية)، أمّا طولها فسالب؛ أيْ مقلوبة بالنسبة للجسم، مما يدل على أن العدسة محدبة.

مسائل تدريبية

13. تكوَّن لجسم موجود بالقرب من عدسة محدبة صورة حقيقية مقلوبة طولها 1.8 cm على بُعد 10.4 cm منها. فإذا كان البعد البؤري للعدسة 6.8 cm فما بُعد الجسم؟ وما طوله؟

14. وضع جسم عن يسار عدسة محدبة بعدها البؤري 25 mm، فتكوّنت له صورة حجمها يساوي حجم الجسم. ما بُعد كل من الجسم والصورة؟

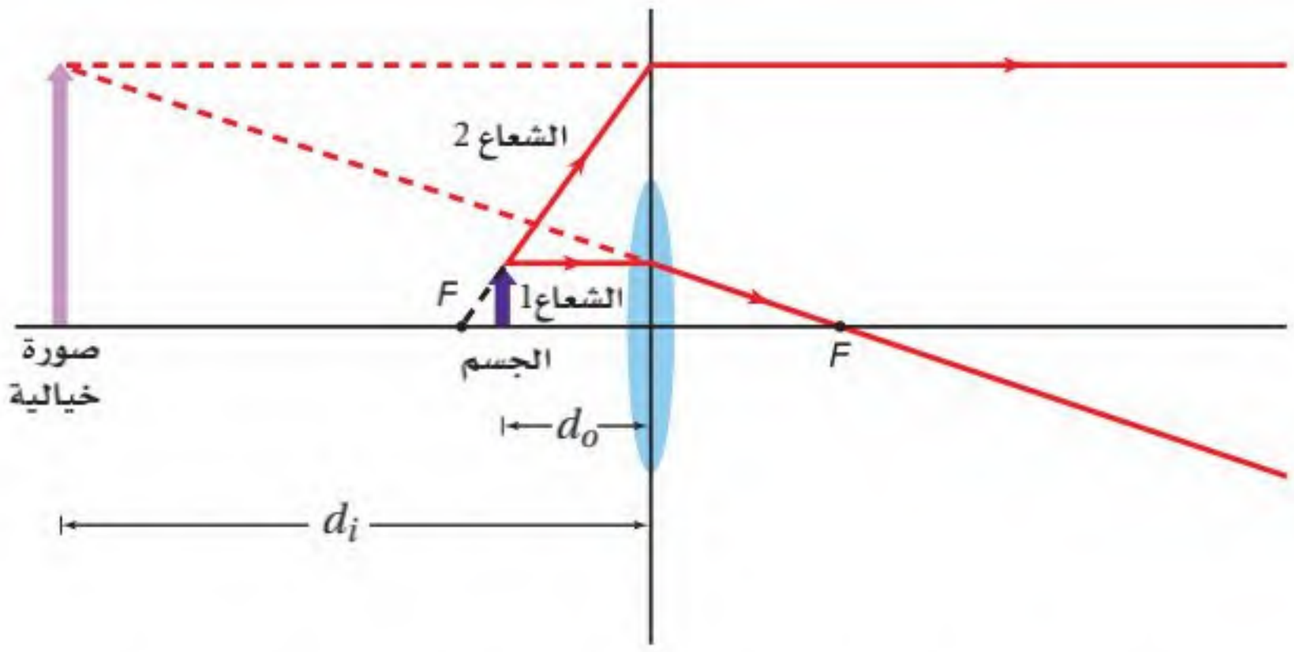
العدسات المحدّبة والصور الخيالية

Convex Lenses and Virtual Images

عندما يوضع جسم في بؤرة عدسة محدبة فإن الأشعة ستنكسر في حزمة متوازية ولا تتكوّن صورة له. وعندما يقترب الجسم من المستوى الأساسي للعدسة تنحرف الأشعة وتتشتّت في اتجاه الجانب المعاكس للعدسة، وتظهر هذه الأشعة للمشاهد كأنها قادمة من بقعة في جانب العدسة نفسه الذي فيه الجسم، وتكون الصورة خيالية، ومعتدلة ومكبّرة.

يبين **الشكل 13–6** كيف تكوِّن العدسة المحدّبة صورة خيالية. فعندما يكون الجسم بين F والعدسة يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس، وينكسر مارًّا بالبؤرة F. أمّا الشعاع 2 فينتقل من قمة الجسم، وفي اتجاه مماثل إلى الاتجاه الذي يسلكه إذا بدأ من F في جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ويبيّن الخط المتقطع من F إلى الجسم كيف ترسم الشعاع 2، حيث يخرج الشعاع 2 من العدسة موازيًا للمحور الرئيس. ويتباعد

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 13–6 يبيّن مخطط الأشعة، أن العدسة المحدّبة تكوّن صورة خيالية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالجسم عندما يكون الجسم بين العدسة والبؤرة. ولأن الأشعة الرئيسة جزء من نموذج يساعد على تعيين موقع الصورة فإنهما يجب ألا يمرّا خلال صورة العدسة في مخطط الأشعة. وتتكون الصورة في الواقع فقط بواسطة الضوء الذي يمرّ خلال العدسة.

الشـــعاعان 1 و 2 عندما يخرجان من العدســـة. لذا لا يمكن تكوين صـــورة حقيقية. إن رسم الامتداد الخلفي للشعاعين المنكسرين لتعيين مكان تقاطعهما الظاهري يحدّد موضع الصورة الخيالية، ويكون موضعها في جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم، وتكون الصورة معتدلة ومكبّرة. لاحظ أن الصورة الحقيقية تتكوّن بفعل الضوء الذي يمرّ خلال العدســـة، ولكن بإمكانك تحديد الصورة الخيالية بواسطة رسم امتدادات الأشعة التي لا تمرّ فعلًا من خلال العدسة.

مسائل تدريبية

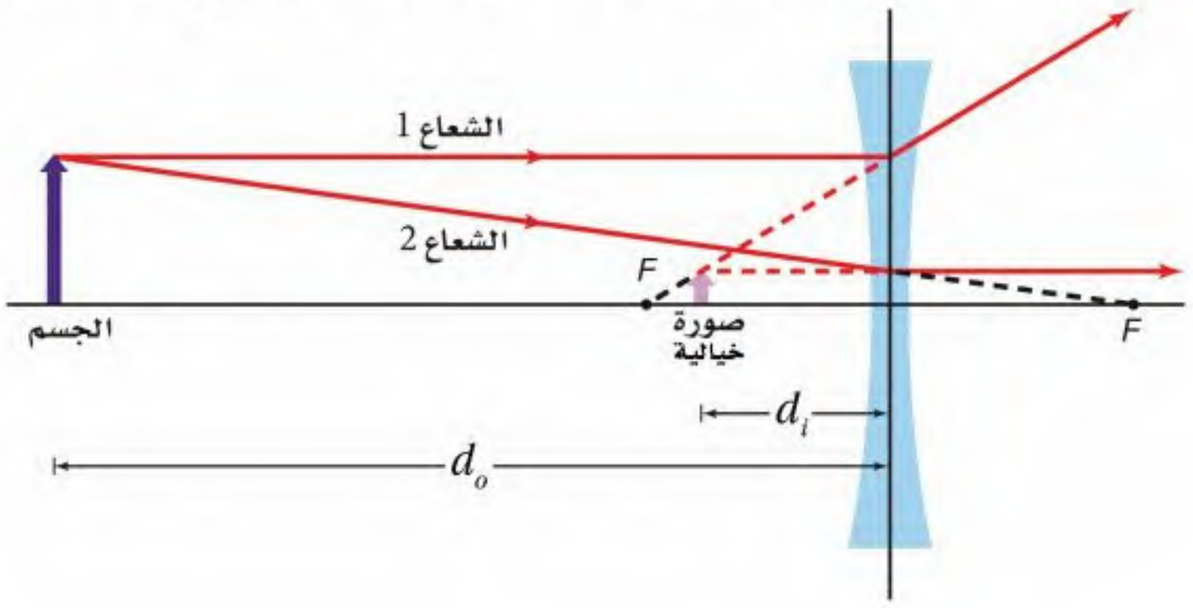
15. إذا وضعـــت صحيفـــة على بُعـــد 6.0 cm من عدســـة محدبة بعدهـــا البؤري 20.0 cm فأوجد بُعد الصورة المتكوِّنة لها.

16. إذا وضعت عملة معدنية قطرها 2.0 cm على بُعد 3.4 cm من عدســـة مُكبرِّة بعدها البؤري 12.0 cm فحدّد موقع صورة العملة المعدنية، وقطر الصورة.

17. يريد أحد هواة جمع الطوابع تكبير طابع بمقدار 4.0 مرات عندما يكون الطابع على بُعد 3.5 cm من العدسة. ما البعد البؤري للعدسة اللّازمة؟

العدسات المقعرة Concave Lenses

تفرّق العدسة المقعرة الأشعة كلّها. والشكل **14–6** يبيّن كيف تكوّن مثل هذه العدسة صورة خيالية، حيث يصل الشـــعاع 1 إلى العدسة موازيًا المحور الرئيس. ويخرج من العدسة على



الشكل 14–6 تكوّن العدسات المقعرة صورًا خيالية ومعتدلة ومصغرة فقط مقارنة بالأجسام.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

شكل شعاع يمرّ امتداده في البؤرة. أما الشعاع 2 فَيصِل إلى العدسة كما لو كان سيمر خلال البؤرة في الجانب المعاكس، ويبتعد عن العدسة موازيًا المحور الرئيس. وتتقاطع الامتدادات الخلفية للشعاعين 1 و 2 في الجانب نفسه من العدسة الذي يوجد فيه الجسم. ولأن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة، فإنها تكوّن صورة خيالية. ويكون موضع الصورة عند النقطة التي يظهر عندها أن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة منها. وتكون الصورة أيضًا معتدلة وأصغر من الجسم (مصغّرة). وهذا صحيح بغض النظر عن بُعد الجسم عن العدسة، كما يكون البعد البؤري للعدسة المقعرة سالبًا.

يجب أن تتذكّر عند استخدام معادلة العدسة الرقيقة لحل مسائل على العدسات المقعرة أن نظام الإشارات للبعد البؤري مختلف عنه للعدسة المحدّبة. فإذا كان البعد البؤري للعدسة المقعرة 24 cm فإن عليك أن تستخدم القيمة $f = -24\ \text{cm}$ في معادلة العدسة الرقيقة. وتكون الصور المتكوّنة بالعدسة المقعرة جميعها خيالية، لذا فإذا كان بُعد الصورة 20 cm عن العدسة فإن عليك أن تستخدم القيمة $d_i = -20\ \text{cm}$. أما بُعد الجسم فيكون موجبًا دائمًا.

عيوب العدسات الكروية Defects of Spherical Lenses

درست خلال هذا الفصل العدسات التي تكوِّن صورة كاملة عند مواضع محدّدة. وفي الواقع، فإن للعدسات الكروية عيوبًا جوهرية ـ مثل المرايا الكروية ـ ينجم عنها مشكلات في وضوح الصورة وألوانها. حيث تواجه العدسات الكروية تشتّتًا (زوغانًا) متعلقًا بتصميمها الكروي، مثل المرايا تمامًا. وإضافة إلى ذلك، فإن تشتّت الضوء خلال العدسة الكروية يسبّب زوغانًا لا تسبّبه المرايا.

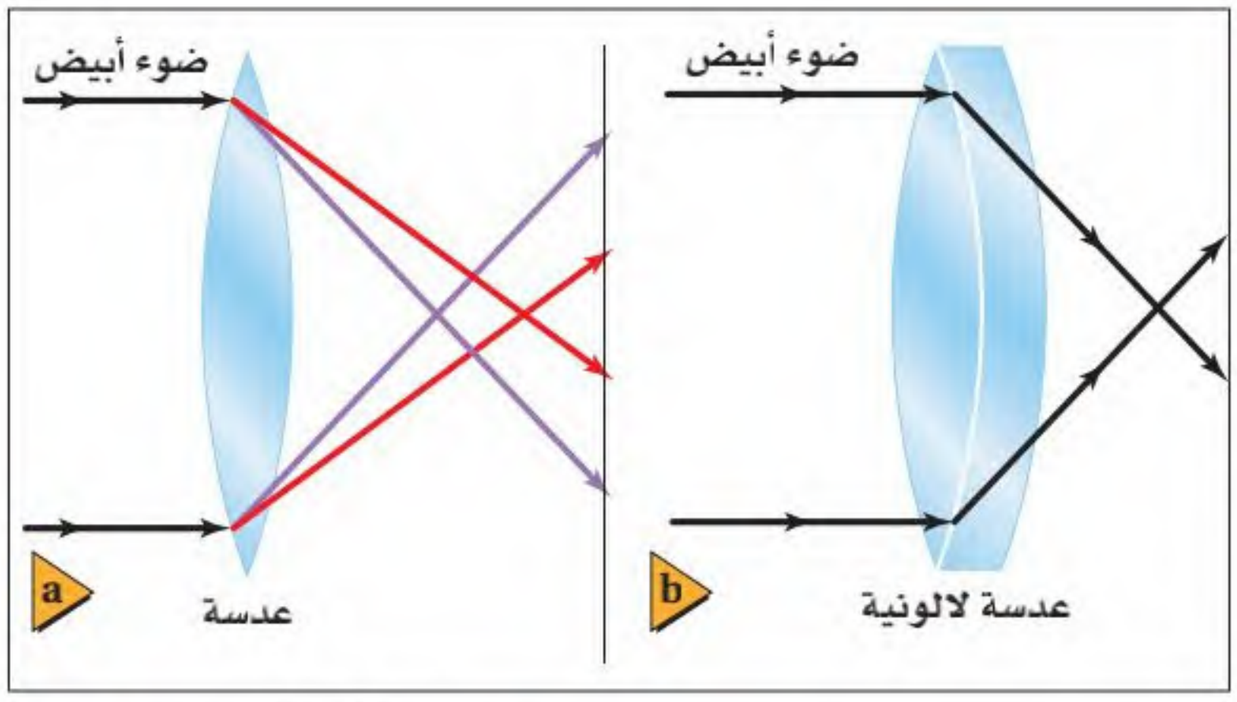
الزوغان الكروي يقترح النموذج الذي استخدمته لرسم الأشعة خلال العدسات الكروية أن الأشعة التي تسقط متوازية تتجمّع في الموضع نفسه، وهذا مجرد تقريب. وفي الحقيقة، تتجمّع الأشعة المتوازية التي تمر خلال أطراف العدسة الكروية في مواضع مختلفة عن المواضع التي تتجمّع فيها الأشعة المتوازية والقريبة من المحور الرئيس. ويُسمى عدم قدرة العدسة الكروية على تجميع الأشعة المتوازية جميعها في نقطة واحدة الزوغان الكروي، وسببه اتساع سطح العدسة. ويعالج الزوغان الكروي بمراعاة أن تكون الأشعة الضوئية التي تسقط على العدسة قريبة من المحور الرئيس، وتستخدم العديد من العدسات في الأدوات العالية الدقة، حيث تستخدم غالبًا خمس عدسات أو أكثر لتكوين صور واضحة ودقيقة.

الزوغان اللّوني هناك عيب آخر في العدسات لا يوجد في المرايا. فالعدسة مثل المنشور، تنكسر فيها الأطوال الموجية المختلفة للضوء بزوايا مختلفة، كما يبين **الشكل 6–15a**. ولذلك يتجمّع الضوء أو يتفرق عند مروره خلال العدسة المحدبة أو المقعرة على الترتيب، وخصوصًا بالقرب من الأطراف، ويظهر الجسم عند النظر إليه من خلال العدسة محاطًا

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

بالألوان. ويُسمّى هذا التأثير **الزوغان اللّوني**.

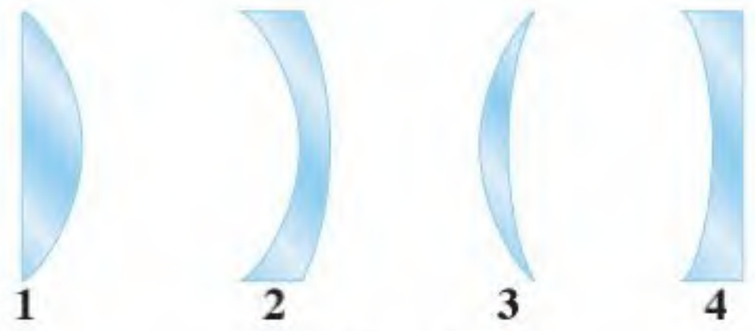
ويحدث الزوغان اللوني دائمًا عندما تستخدم عدسة مفردة. ويمكن تخفيض أثر هذا العيب كثيرًا باستخدام **العدسات اللّالونية**؛ وهي نظام مكون من عدستين أو أكثر، كعدسة محدبة مع عدسة مقعرة، لهما معاملا انكسار مختلفين. ويبّين **الشكل 15b–6** مثل هذا التركيب للعدسات. فكلتا العدستين في الشكل تشتّت الضوء، ولكن التشتّت الذي تُسبِّبه العدسة المحدبة يلغيه تقريبًا التشتّت الذي تُسبِّبه العدسة المقعرة. ويُختار معامل انكسار العدسة المحدبة على أن يؤدي النظام المكوّن من العدسات إلى تجميع الضوء.



■ **الشكل 15–6** للعدسات البسيطة جميعها زوغان لوني، حيث يتركز الضوء ذو الأطوال الموجية المختلفة في نقاط مختلفة (**a**). العدسة اللّالونية نظام من العدسات يؤدي إلى تقليل العيب اللوني (**b**).

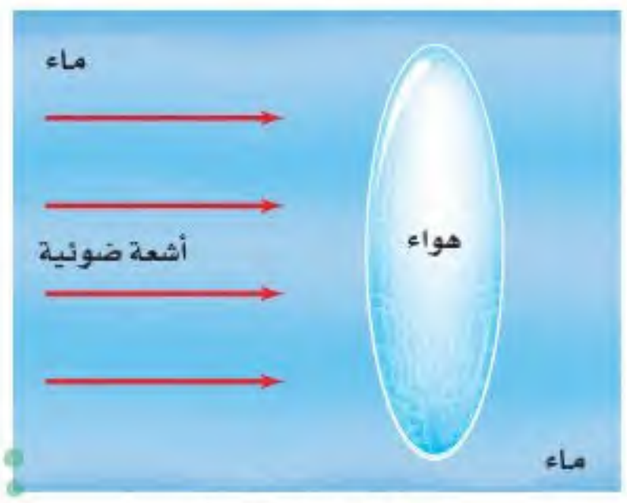
2–6 مراجعة

18. **التكبير** تُستخدم العدسات المكبّرة عادة لتكوين صور أكبر من الأجسام، ولكنها أيضًا يمكن أن تكوّن صورًا أصغر من الأجسام. وضّح ذلك.
19. **بُعد الصورة وطولها** وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 2.0 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 6.0 cm. ارسم مخطّط الأشعة لتحديد موقع الصورة وطولها، واستخدم معادلة العدسة الرقيقة ومعادلة التكبير للتحقق من إجابتك.
20. **أنواع العدسات** يبيّن **الشكل 16–6** المقطع العرضي لأربع عدسات رقيقة. أيّ هذه العدسات:
    a . محدبة؟
    b . مقعرة؟



■ **الشكل 16–6**

21. **الزوغان اللوني** للعدسات البسيطة كلها زوغان لوني. فسر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر خلال الميكروسكوب (المجهر)؟
22. **الزوغان اللوني** إذا سمحت لضوء أبيض بالمرور من خلال عدسة محدبة إلى شاشة، وضبطت المسافة بين الشاشة والعدسة لتجمّع اللون الأحمر، ففي أي اتجاه يجب أن تحرّك الشاشة لتُجمِّع الضوء الأزرق؟
23. **التفكير الناقد** تتكون عدسة هوائية من زجاجتي ساعتين، موضوعة في خزان ماء. انقل **الشكل 17–6** إلى دفترك، وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة عليها.



■ **الشكل 17–6**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6–3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

الأهداف

- **تصف** كيف تُجمِّع العين الضوء لتكوّن الصور.
- **توضّح** المقصود بكل من: قصر النظر وطول النظر، وكيف تُصحِّح عدسات النظارات هذه العيوب.
- **تصف** الأنظمة البصرية في بعض الأدوات البصرية الشائعة.

المفردات

قصر النظر

طول النظر

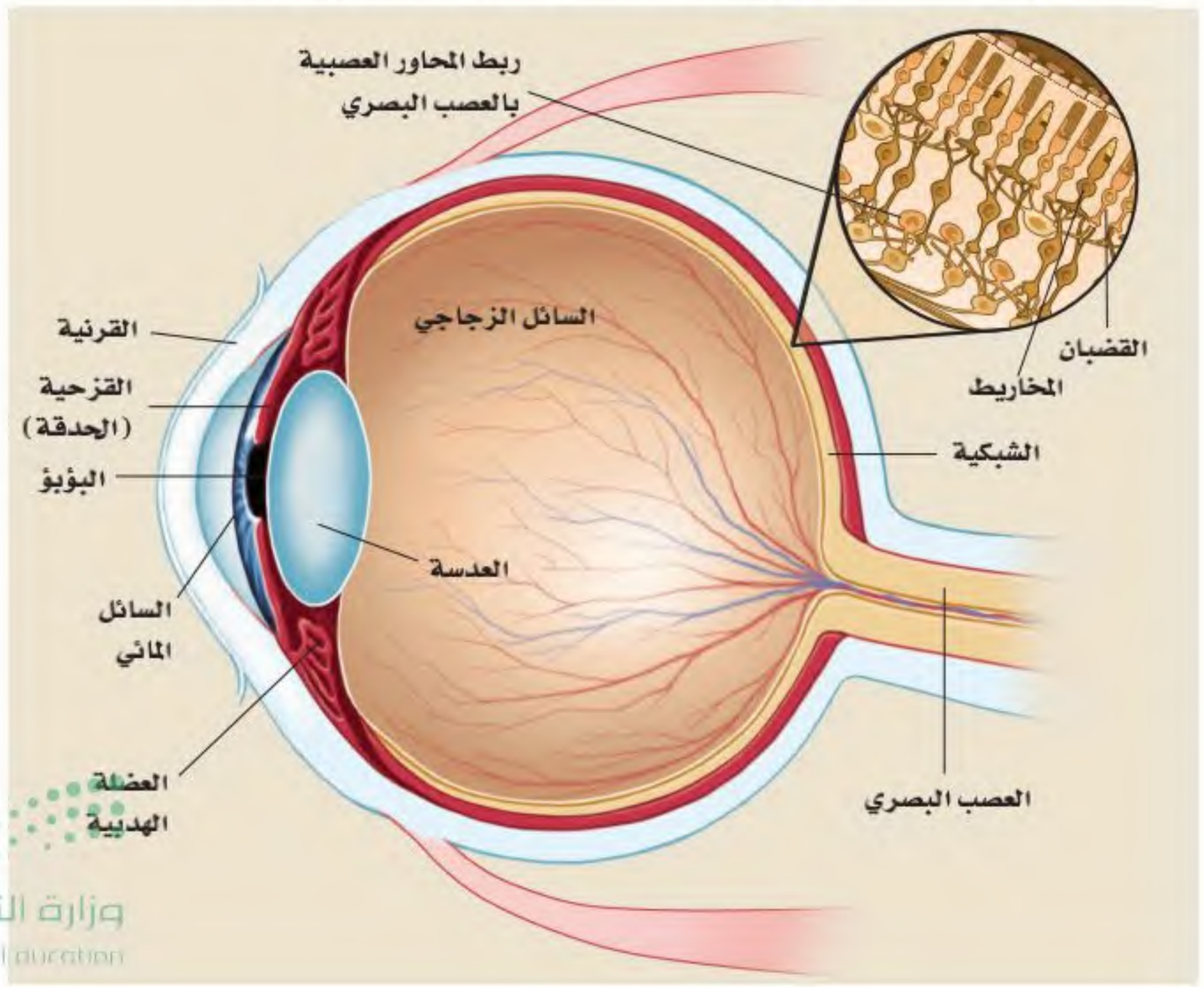
إن الخصائص التي تعلّمتها حول انكسار الضوء خلال العدسات تستخدم في أغلب الآلات البصرية. وتستخدم في حالات عديدة مجموعة من العدسات والمرايا لتكوين صورة واضحة لأجسام صغيرة أو بعيدة. إذ يحتوي كل من المنظار الفلكي (التلسكوب)، والمنظار، وآلة التصوير، والمجهر (الميكروسكوب)، وحتى العين ـ على عدسات.

العدسات في العينين Lenses in Eyes

من بديع صنع الخالق -عز وجل- خلق العين البشرية وهي أداة بصرية، مملوءة بسائل. وهي على هيئة وعاء كروي تقريبًا كما يبين **الشكل 18–6**. وينتقل الضوء المنبعث أو المنعكس عن الجسم إلى داخل العين خلال القرنية، ثم يمر الضوء بعدها خلال العدسة ويتجمّع على الشبكية الموجودة في مؤخرة العين. وتمتص خلايا متخصّصة في الشبكية الضوء وترسل المعلومات المتعلّقة بالصورة بواسطة العصب البصري إلى الدماغ.

تكوُّن الصور قد تعتقد ـ بسبب التسمية ـ أن عدسة العين هي المسؤولة عن تجميع الضوء على الشبكية. ولكن في الحقيقة، يتجمّع الضوء الداخل إلى العين أساسًا بواسطة القرنية؛ لأن الفرق بين معاملي انكسار الهواء ومادة القرنية كبير نسبيًّا. أما العدسة فهي المسؤولة عن التجميع الدقيق الذي يسمح لك برؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح تام. وتستطيع العضلات المحيطة بالعين من خلال عملية تسمى التكيّف أن تجعل العدسة تنقبض أو تنبسط، مما يغيّر من شكلها، فيؤدي بدوره إلى تغيير البعد البؤري لعدسة العين. فعندما ترتخي العضلات تتركز صورة الجسم البعيد على الشبكية. وعندما تنقبض العضلات يقل البعد البؤري للعدسة، مما يسمح لصور الأجسام القريبة بالتجمع على الشبكية.

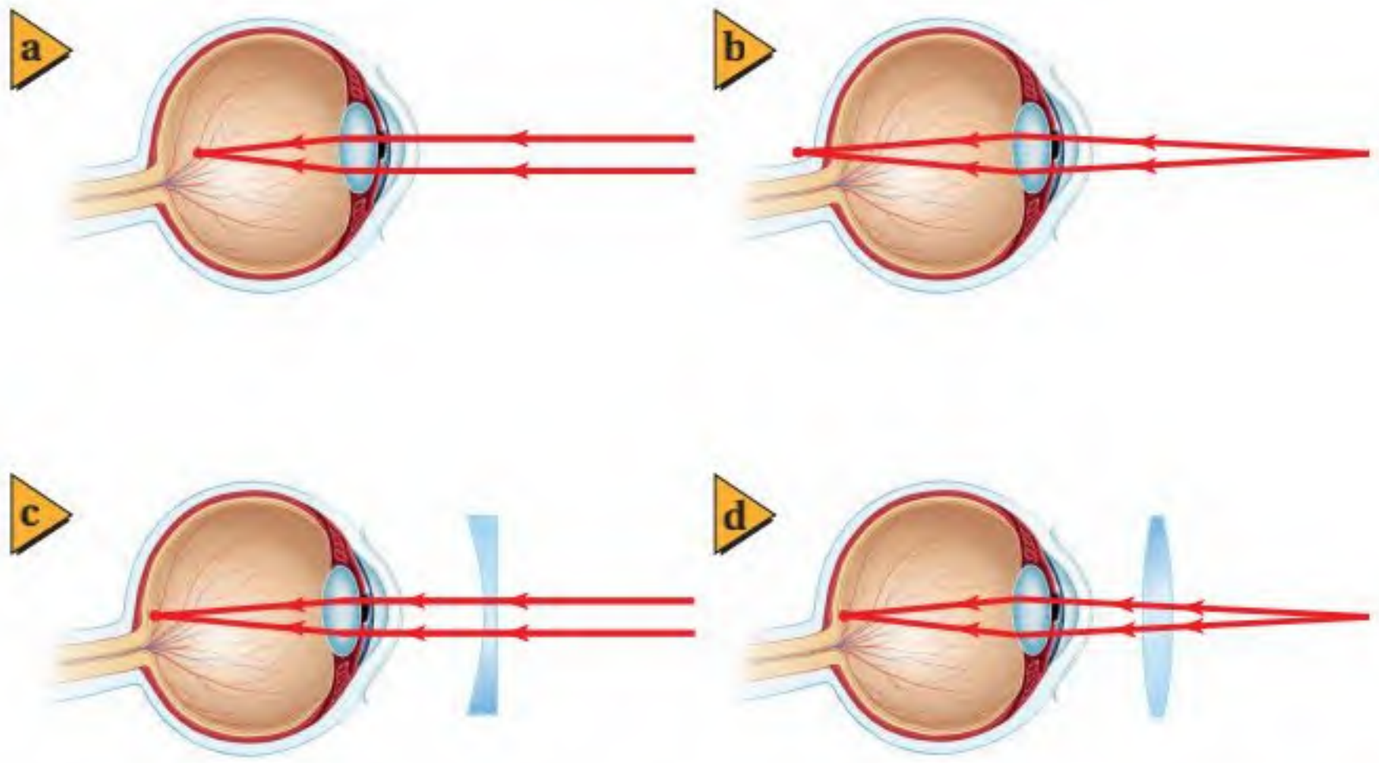
الربط مع الأحياء



الشكل 18–6 العين البشرية معقدة، وتتركّب من أجزاء متعدّدة تعمل جميعها بدقة متناهية.

صمم انفوجرافيك موظفاً فيه ما شاهدته عن أضرار تعاطي المؤثرات العقلية على العين وشاركها عبر وسائل التواصل الاجتماعي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 19–6** لا يستطيع شخص مصاب بقصر النظر رؤية الأجسام البعيدة بوضوح؛ لأن الصور تتركز أمام الشبكية (**a**). وتُصحّح العدسة المقعرة هذا العيب (**c**). ولا يستطيع شخص مصاب بطول النظر رؤية الأجسام القريبة بوضوح؛ لأن الصور تتركز خلف الشبكية (**b**). وتصحّح العدسة المحدبة هذا العيب (**d**).

قصر النظر وطول النظر لا تُكوِّن عيون بعض الناس صورًا واضحة على الشبكية؛ إذ تتكوّن الصور إما أمام الشبكية وإما خلفها. فتصبح هناك حاجة إلى العدسات الخارجية على هيئة نظارات أو عدسات لاصقة؛ لضبط الصور لتقع على الشبكية. ويبين **الشكل 19a–6** حالة **قصر النظر**؛ حيث يكون البعد البؤري للعين أقل من البعد البؤري للعين السليمة، مما لا يمكِّنها من تجميع الضوء على الشبكية، فتتكون الصور أمام الشبكية. وتُستخدم عدسات مقعرة لتصحيح ذلك بتفريق الضوء كما يبين **الشكل 19c–6**، لذا يؤدي ذلك إلى زيادة بعد الصور عن العدسة، وتكوين الصور على الشبكية.

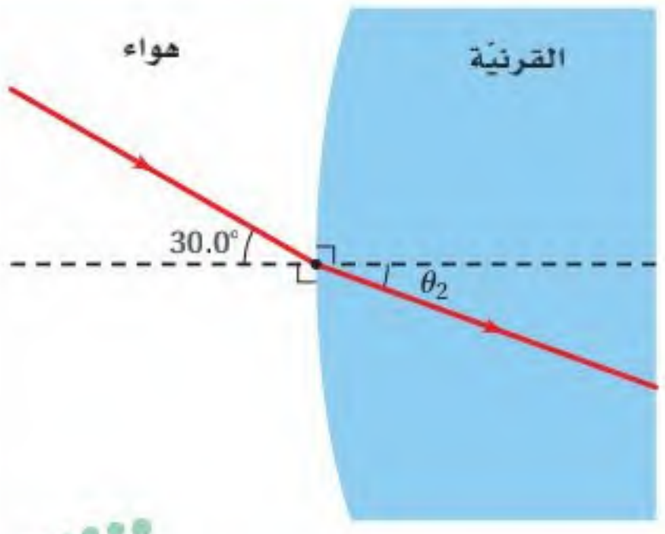
ويبين **الشكل 19b–6** حالة **طول النظر**، حيث يكون البعد البؤري للعين أكبر من البعد البؤري للعين السليمة، فتتشكّل الصور خلف الشبكية، وتحدث حالة مماثلة أيضًا للأشخاص فوق عمر 45 عامًا، حيث تزداد صلابة عدسات العينين، ولا تستطيع العضلات تقصير البعد البؤري إلى الحدّ الذي يكفي لتكوين صور الأجسام القريبة على الشبكية. وتُستخدم عدسات محدبة لتصحيح هذا العيب؛ إذ تكوِّن صورًا خيالية أبعد عن العين من أجسامها، كما يبين **الشكل 19d–6**، فتصبح الصور عندئذ هي الأجسام بالنسبة لعدسة العين، ومن ثَم تتكوّن على الشبكية.

تطبيق الفيزياء

العدسات اللاصقة تعمل العدسات اللاصقة عمل النظارات الزجاجية؛ حيث توضع هذه العدسات الصغيرة الرقيقة مباشرة على القرنية. وتعمل طبقة رقيقة من الدمع بين القرنية والعدسة على ثبات العدسة في مكانها، ويحدث أغلب الانكسار عند سطح الهواء والعدسة، حيث يكون الفرق بين معاملي الانكسار كبيرًا.

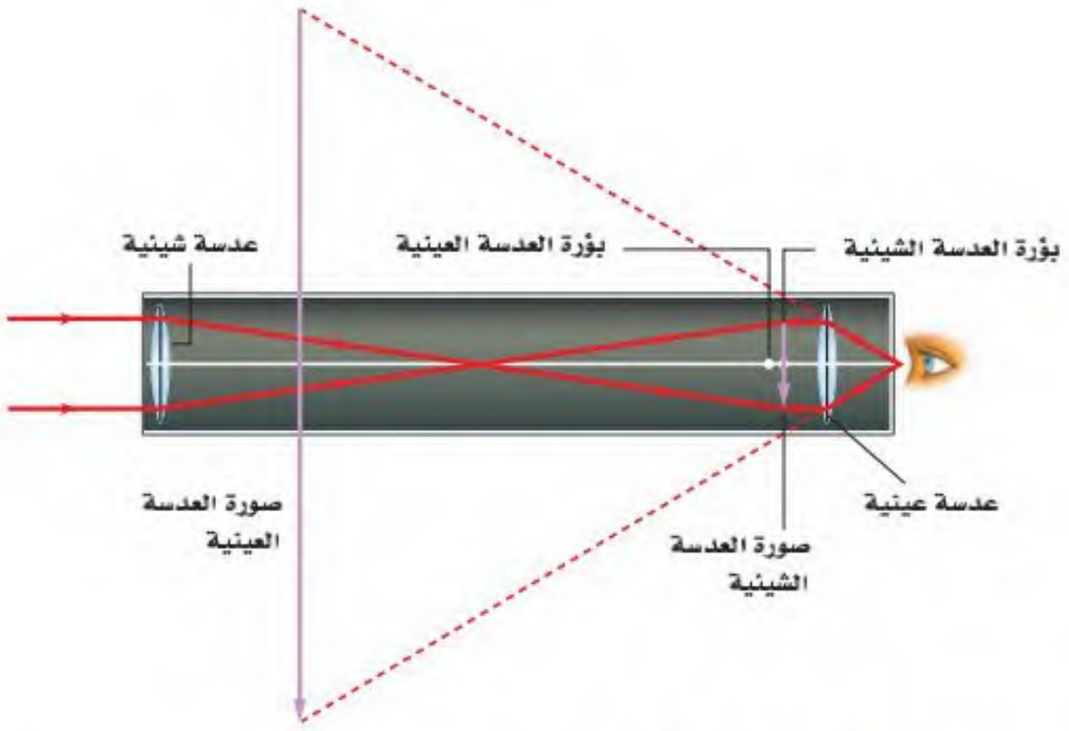
مسألة تحفيز

عندما يدخل الضوء إلى العين فإنه يواجه الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. فإذا دخل شعاع ضوء الحد الفاصل بين الهواء والقرنية لعين شخص بزاوية 30° بالنسبة للعمود المقام، وكان معامل انكسار القرنية 1.4 تقريبًا، أجب عن الأسئلة الآتية:



1. استخدم قانون سنل لحساب زاوية الانكسار.
2. ما مقدار زاوية الانكسار إذا كان الشخص يسبح أسفل الماء؟
3. أيهما أكبر: الانكسار في الهواء أم في الماء؟ وهل يعني هذا أن الأجسام التي تحت الماء تبدو أقرب أم أبعد مما لو كانت في الهواء؟
4. لو أردت أن تكون زاوية الانكسار لشعاع الضوء في الماء مساوية لها كما في الهواء فكم يجب أن تكون زاوية السقوط الجديدة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 20–6** يُكوّن المنظار الفلكي الكاسر صورة خيالية ومقلوبة مقارنة بالجسم.

المنظار الفلكي (التلسكوب) الكاسر
Refracting Telescopes

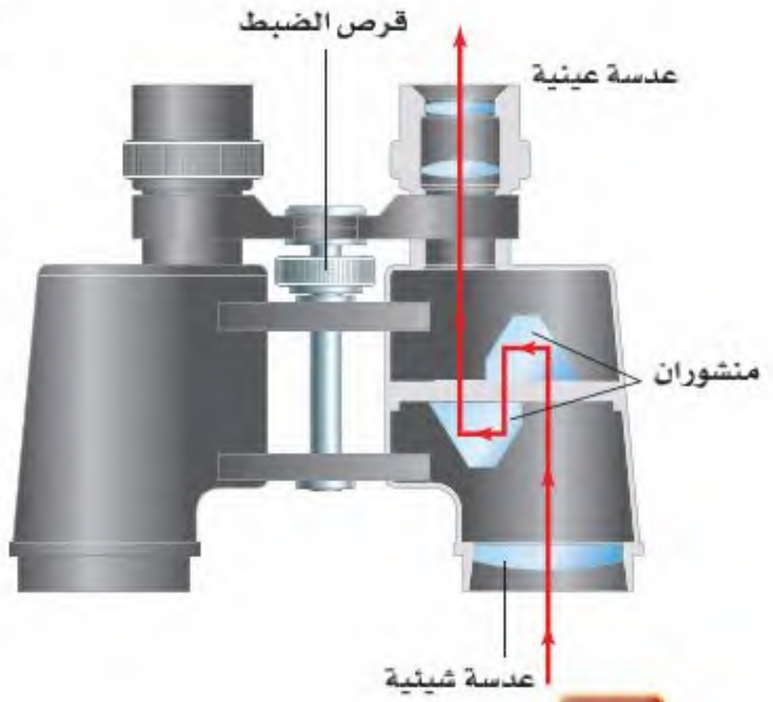
يستخدم المنظار الفلكي الكاسر العدسات لتقريب الأجسام البعيدة وتكبير صورها. ويبين **الشكل 20–6** النظام البصري للمنظار الكبلري؛ حيث يكون الضوء القادم من النجوم والأجسام الفلكية الأخرى عادة بعيدًا جدًّا؛ لذا يمكن اعتبار الأشعة متوازية. وتدخل أشعة الضوء المتوازية العدسة الشيئية المحدبة، وتتجمّع بوصفها صورة حقيقية عند بؤرة العدسة الشيئية، وتكون الصورة مقلوبة بالنسبة للجسم. ثم تصبح هذه الصورة بمنزلة الجسم بالنسبة للعدسة العينية المحدبة. لاحظ أن العدسة العينية موضوعة بحيث تقع بؤرة العدسة الشيئية بين العدسة العينية وبؤرتها. وذلك يعني أنه تتكوّن صورة خيالية معتدلة وأكبر من الصورة الأولى عن طريق العدسة العينية. ولأن الصورة الأولى كانت مقلوبة فإن الصورة النهائية تبقى مقلوبة. ويعد انعكاس الصورة مقبولاً لمشاهدة الأجسام الفلكية.

وتستخدم عدسات عينية محدبة لالونية في المنظار دائمًا. وتعمل مجموعة العدسات هذه على إزالة الألوان المحيطة، أو التخلّص من الزوغان اللّوني المتشكّل مع الصورة.

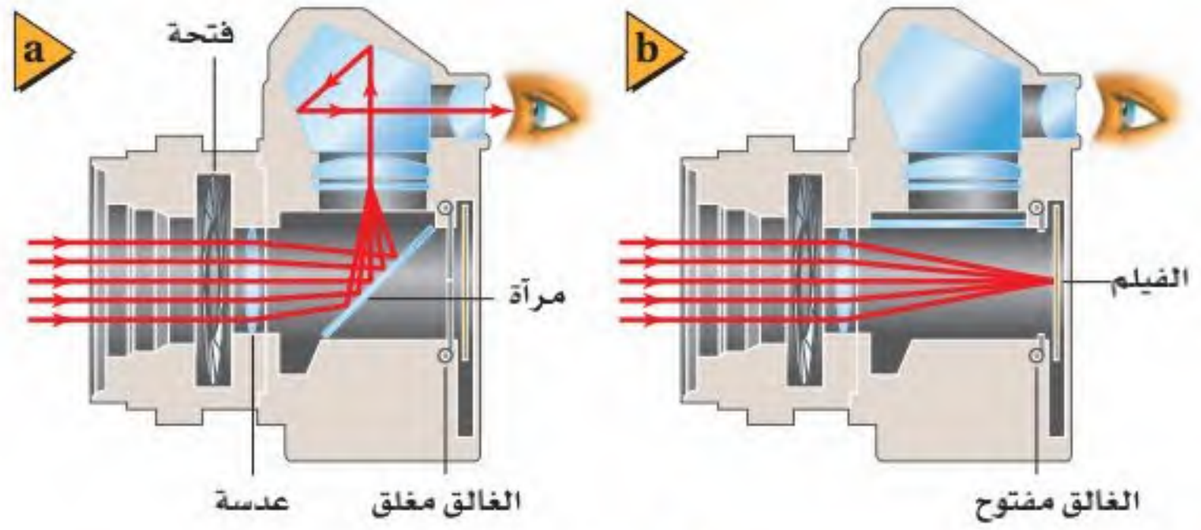
■ **الشكل 21–6** المنظار عبارة عن تلسكوبين كاسرين متجاورين.

المنظار Binoculars

يكوِّن المنظار ـ مثل المنظار الفلكي الكاسر ـ صورًا مكبّرة للأجسام البعيدة. ويبين **الشكل 21–6** تصميمًا لمنظار نموذجي. ويشبه كل جانب من المنظار تلسكوبًا صغيرًا؛ حيث يدخل الضوء العدسة الشيئية المحدّبة فتكون صورة مقلوبة، ثم ينتقل الضوء خلال منشورين يَستخدمان ظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي ليقلبا الصورة مرة أخرى، حيث يرى المشاهد صورة معتدلة للجسم. ويؤدي المنشوران كذلك إلى إطالة مسار انتقال الضوء وتوجيهه إلى العدسة العينية للمنظار. وكما تزوِّدك المسافة الفاصلة بين عينيك بإحساس الأبعاد الثلاثية والعمق، فإن المنشورين يؤديان إلى زيادة المسافة الفاصلة بين العدستين الشيئيتين، ممّا يحسّن من الرؤية الثلاثية الأبعاد للجسم البعيد عن المنظار.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

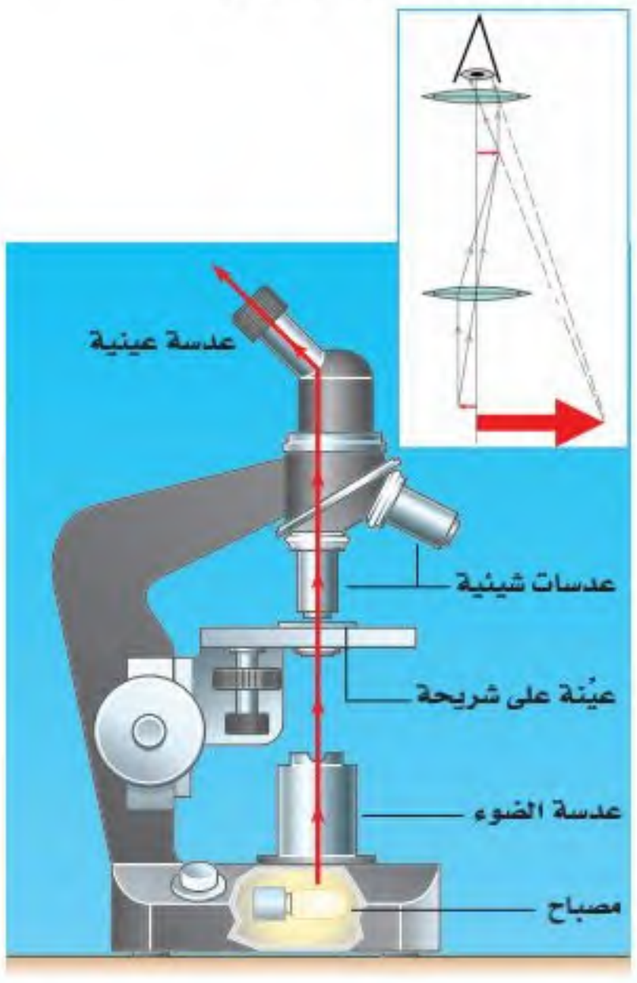


■ **الشكل 22–6** يبين الشكل آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة، التي تعكس الصورة المتكوّنة بواسطة العدسة من خلال المنشور لمشاهدتها (**a**)، أو توجيهها في اتجاه الفيلم (**b**).

آلات التصوير Cameras

يبين **الشكل 6–22a** النظام البصري المستخدم في آلة التصوير العاكسة ذات العدسة المفردة. فعندما يدخل الضوء إلى آلة التصوير، فإنه يمر خلال عدسة لالونية. ويعمل نظام العدسة هذا على كسر الضوء، بطريقة تُشبه إلى حد كبير عمل عدسة محدبة مفردة، ويكوّن صورة مقلوبة على المرآة العاكسة. وتنعكس هذه الصورة إلى أعلى في اتجاه المنشور، والذي يؤدي بدوره إلى عكس الضوء وتوجيهه إلى عين المشاهد. وعندما يحمل الشخص آلة التصوير لالتقاط صورة فإنه يضغط زر الغالق، الذي يرفع المرآة لفترة وجيزة، كما في **الشكل 6–22b**. وبدل أن يتجه الضوء إلى المنشور فإنه ينتقل في خط مستقيم ليكوّن صورة على الفيلم.

■ **الشكل 23–6** تُكوّن العدسة الشيئية والعدسة العينية في هذا المجهر صورة مقلوبة ومكبرة مقارنة بالجسم.



المجهر (الميكروسكوب) Microscopes

للمجهر عدستان محدبتان مثل المنظار الفلكي، إحداهما شيئية والأخرى عينية. ويستخدم المجهر في مشاهدة الأجسام الصغيرة. ويبين **الشكل 6–23** النظام البصري المستخدم في المجهر المركّب، حيث يوضع الجسم في المنطقة ما بين بؤرة العدسة الشيئية ومركز تكوّرها، فتتكوّن صورة حقيقية مقلوبة ومكبّرة. ثم تصبح هذه الصورة بمثابة جسم للعدسة العينية؛ إذ يكون هذا الجسم بين العدسة العينية وبؤرتها، فتتكوّن له صورة خيالية معتدلة ومكبّرة مقارنة بالصورة التي كوّنتها العدسة الشيئية. لذا يرى المشاهد صورة مقلوبة مكبَّرة جدًّا.

6–3 مراجعة

24. **الانكسار** فسّر لماذا تعدّ القرنية عنصر التجميع الرئيس للأشعة في العين؟
25. **أنواع العدسات** أيّ العدسات المحدبة أم المقعرة ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بقصر النظر؟ وأيها ينبغي أن يستخدمها الشخص المصاب بطول النظر؟
26. **الصورة** لماذا تكون الصورة المُشاهَدةُ في التلسكوب مقلوبة؟
27. **المنشور** ما المزايا الثلاث لاستخدام المنشورين في المنظار؟
28. **البعد البؤري** افترض أنك ركزت آلة التصوير التي لديك على شخص يبعد 2 m، ثم أردت أن تُركِّزها على شجرة أبعد من ذلك، فهل يتعين عليك أن تحرك العدسة قريبًا من الفيلم أم بعيدًا عنه؟
29. **التفكير الناقد** عندما تستخدم التكبير الأقصى في المجهر فإن الصورة تكون معتمة أكثر منها في حالة التكبير الأقل. ما الأسباب المحتملة لتكوّن الصورة المعتمة؟ وما الذي يمكن أن تفعله للحصول على صورة أوضح؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

العدسات المحدّبة والبعد البؤري Convex Lenses and Focal Length

تنصّ معادلة العدسة الرقيقة على أن مقلوب البعد البؤري يساوي مجموع مقلوب بُعد الصورة عن العدسة ومقلوب بعد الجسم عن العدسة.

سؤال التجربة

كيف يرتبط بُعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدّبة مع كلٍّ من بُعد الجسم والبعد البؤري؟

الأهداف

- **تنشىء الرسوم البيانية وتستخدمها** لوصف العلاقة بين بُعد الصورة عن العدسة الرقيقة المحدبة وبُعد الجسم.
- **تستخدم النماذج** لتبيّن عدم أهمية بُعد الصورة عندما يكون البعد البؤري ثابتًا.

احتياطات السلامة

- **تأكد من أن المصباح مطفأ قبل وصله بالكهرباء وبعد فصله.**
- **كن حذرًا عند التعامل مع المصابيح؛ فهي ساخنة وقد تحرق الجلد.**
- **للعدسات أطراف حادة، لذا تعامل معها بحذر.**

المواد والأدوات

مصباح كهربائي 25 W (أو شمعة)

قاعدة مصباح (أو قاعدة شمعة)

عدسة محدبة رقيقة

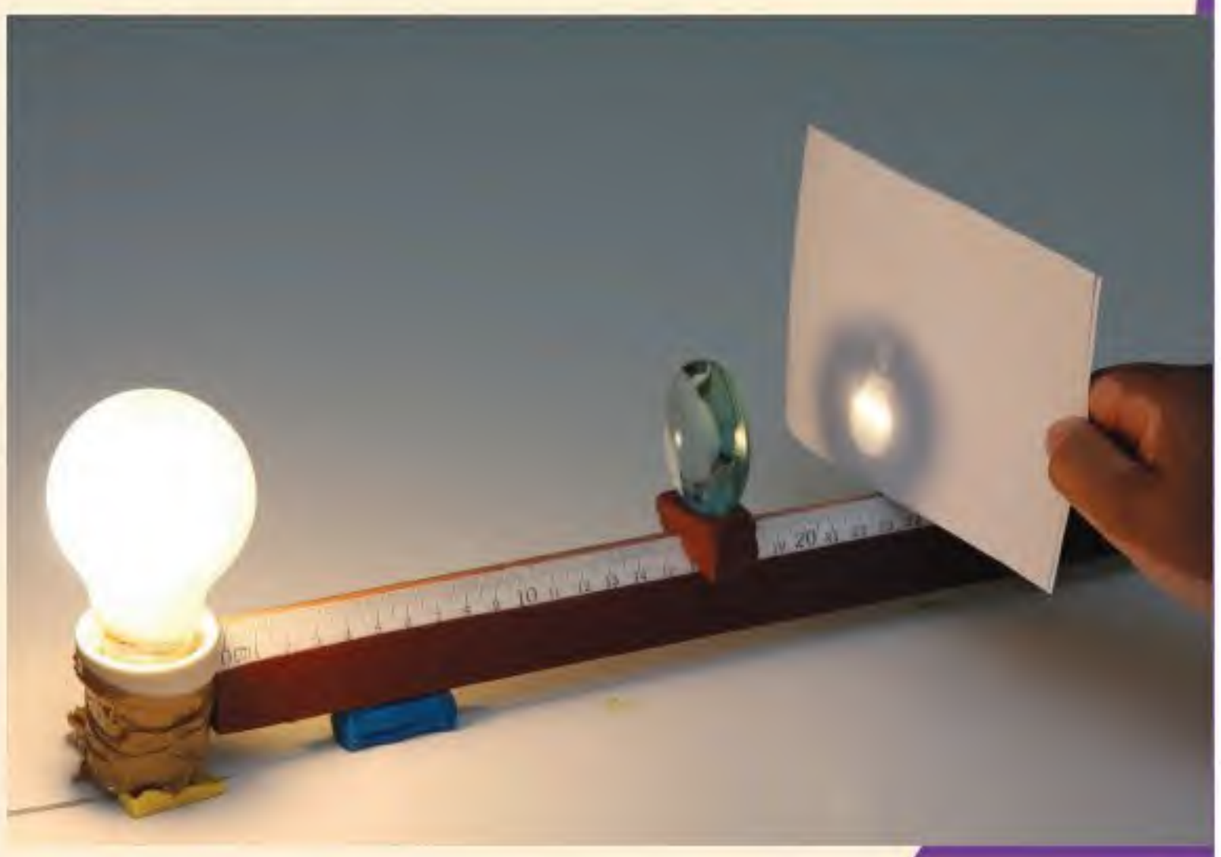
مسطرة مترية

حامل عدسات

بطاقة فهرسة (لوح كرتون)

الخطوات

1. ضع مسطرة مترية على طاولة المختبر حتى تتزن على حافتها، وتظهر الأرقام معتدلة على أحد جانبيها.
2. ضع عدسة محدبة على حامل العدسة، وثبتها على المسطرة المترية بين التدريجين 10 cm و 40 cm. (ستتفاوت المسافات اعتمادًا على البعد البؤري للعدسة المستخدمة).
3. أضئ المصباح، وضعه بجانب طرف المسطرة المترية، على أن يكون مركزه عند التدريج 0 cm للمسطرة المترية.
4. احمل بطاقة الفهرسة، بحيث تكون العدسة بين المصباح والبطاقة.
5. حرّك بطاقة الفهرسة إلى الأمام وإلى الخلف حتى تظهر صورة مقلوبة واضحة للمصباح بأطراف حادة قدر الإمكان.
6. سجّل بُعد المصباح عن العدسة d_o، وبُعد الصورة عن العدسة d_i.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات		
المحاولة	$d_o\,(cm)$	$d_i\,(cm)$
1		
2		
3		
4		
5		

جدول الحسابات				
المحاولة	$\frac{1}{d_o}(cm^{-1})$	$\frac{1}{d_i}(cm^{-1})$	$\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}(cm^{-1})$	$f(cm)$
1				
2				
3				
4				
5				

7. حرّك العدسة إلى موقع آخر بين 10 cm و 40 cm، وكرّر الخطوتين 5 و 6. (ستتفاوت المسافات اعتمادًا على البعد البؤري للعدسة المستخدمة).

8. كرّر الخطوة 7 ثلاث مرات أخرى.

التحليل

9. **إنشاء الرسوم البيانية واستخدامها** مثّل العلاقة بيانيًّا بين بُعد الصورة (على المحور الرأسي) وبُعد الجسم (على المحور الأفقي). استخدم الحاسوب أو الآلة الحاسبة لإنشاء رسم بياني إذا أمكن ذلك.

10. **استخدام الأرقام** احسب $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$ وسجّل القيم في جدول الحسابات.

11. **استخدام الأرقام** احسب مجموع $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّل القيم في جدول الحسابات. واحسب مقلوب هذا الرقم، وسجّله في جدول الحسابات على أنه القيمة f.

الاستنتاج والتطبيق

1. **تفسير البيانات** انظر إلى الرسم البياني، وصف العلاقة بين d_i و d_o.

2. **تفسير البيانات** احصل على مقدار البعد البؤري الفعلي للعدسة من معلمك. ما مدى دقة حساباتك لِـ f؟

3. **تفسير البيانات** قارن بين نتائج حسابات البعد البؤري للمحاولات الخمس. هل نتائجك متماثلة؟

4. **تقنيات المختبر** لماذا تعتقد أنه كان عليك ألا تضع العدسة عند نقطة أقرب من 10 cm أو أكثر من 40 cm؟

التوسع في البحث

1. أيّ القياسات أكثر دقة: d_i أم d_o؟ ولماذا تعتقد ذلك؟

2. ما الذي يمكنك أن تفعله لجعل أحد الحسابين أو كليهما أدق؟

الفيزياء في الحياة

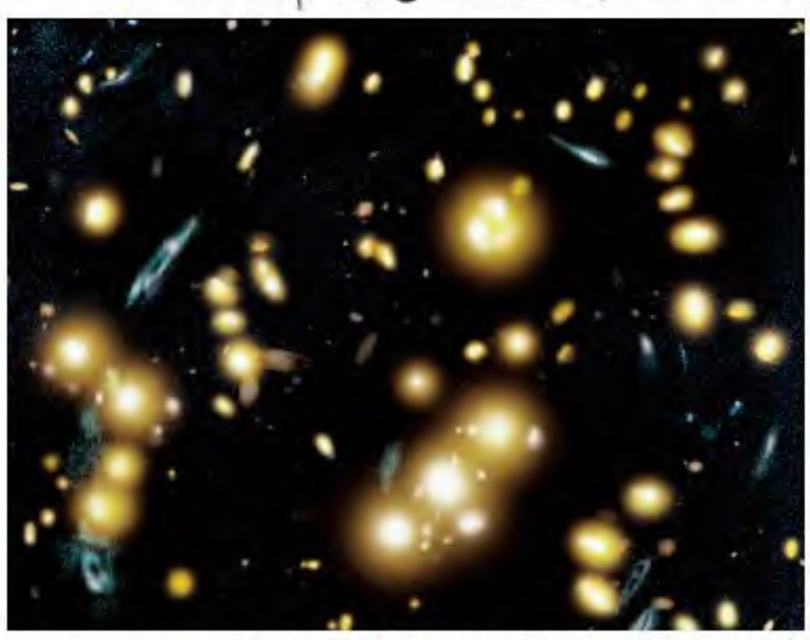
1. إذا أردت التقاط صورة بآلة التصوير لجسم بعيد، ثم لجسم آخر يبعد أقل من متر، فكيف يجب تغيير المسافة بين العدسة والفيلم؟

2. هناك فرقان بين الصورة التي تتكوّن على شبكية عينك والجسم الذي تنظر إليه، ما هما؟ (تذكر أن العدسة في عينك محدبة).

عدسات الجاذبية Gravitational Lenses

اكتشف الفلكيون عام 1979 في مرصد جودرل Jodrell Bank في بريطانيا نجمين من النجوم البعيدة (quasars) تفصل بينهما مسافة 7 ثوانٍ قوسية.

وبيّنت القياسات أنّ النجمين يبعد أحدهما عن الآخر 500 , 000 سنة ضوئية. وبدا أن النجمين يتذبذبان في السطوع وفي الإيقاع معًا، ولكنّ المدهش أنّه كان للنجمين أطياف متماثلة. فقد ظهرا وكأنهما جسمان مختلفان، ولكن في الحقيقة كان الجسمان عبارة عن جسم واحد.



الأشكال الزرقاء صور متعدّدة للمجرة نفسها ناتجة عن عدسة الجاذبية القادمة من مجرة عنقودية 1654 + 0024 في مركز الصورة.

وأكّدت دراسات أخرى لفلكيّين من مختلف أنحاء العالم أنّه لا يوجد إلاّ نجم واحد فقط، انحنى ضوؤه بفعل تجمّع من المجرّات تسيطر عليها مجرة إهليلجية ضخمة تقع على الخط البصري بين النجم والأرض. فأدرك الفلكيون أنّهم شاهدوا صورتين لنجم واحد. وأثرت المجرة كأنها عدسة محدبة ناقصة، تركّز الضوء المنحرف بطريقة ما، بحيث تتكوّن صورتان لجسم واحد. ولكن ما الذي دفعهم إلى الاعتقاد بأنّ الضوء قد انحنى؟

الجاذبية والضوء تذكّر الفلكيون أبحاث ألبرت أينشتاين ونظريته النسبية. فقد اقترح أينشتاين أن الضوء ينحني بفعل مجال الجاذبية للأجسام الضخمة. ففي نظرية الفضاء الكلاسيكية المعروفة بالفضاء الإقليدي، ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة. واستنادًا إلى أينشتاين فإنّ الضوء ينحني عندما يمر بجانب الأجسام الضخمة.

وفي عام 1919 أثبتت مقارنة لضوء نجم قبل كسوف الشمس وفي أثنائه صحة نظرية أينشتاين. فاقترح أينشتاين في عام 1936 ظاهرة عدسة الجاذبية. ولأنّ الضوء يمكنه أن ينحني بفعل مجالات الجاذبية للأجسام الضخمة، لذا على المراقبين أن يروا صور حلقات خيالية عندما يكون هناك جسم ضخم بين الأرض والجسم المراقَب. ولم يشاهد أينشتاين أبدًا مثل هذه الظاهرة، ولكن نظريته في النسبية دعمت إمكانية وجود عدسات الجاذبية هذه.

يبين الرسم أدناه كيف أنّ الضوء القادم من مجرة بعيدة ينحني حول تجمع مجرات قبل أن يصل إلى الأرض.

الدليل عندما يكتشف شخصٌ شيئًا ما للمرة الأولى فإنّ العديد من الاكتشافات الداعمة تعقُب ذلك. فمنذ قدّم أينشتاين اقتراحاته إلى أن اكتشفت الصورة المزدوجة للنجم البعيد (الكوازار) عام 1979، اكتشفت العديد من عدسات الجاذبية، كما شوهدت كل من حلقات أينشتاين والصور المتعدّدة. ونتجت حلقات أينشتاين عندما أصبحت عدسة الجاذبية والضوء القادم من الجسم على استقامة واحدة تقريبًا. وتتشكّل الصور المتعدّدة عندما لا تكون عدسة الجاذبية والضوء على استقامة واحدة. وحتى الآن اكتُشف أكثر من 50 عدسة جاذبية.

التوسع

1. **استنتج** لماذا كان اكتشاف عدسات الجاذبية مهمًّا؟
2. **قارن وميّز** فيمَ تتشابه عدسات الجاذبية والعدسات المحدبة؟ وفيمَ تختلفان؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

6–1 انكسار الضوء Refraction of Light

المفردات

- معامل الانكسار
- قانون سنل في الانكسار
- الزاوية الحرجة
- الانعكاس الكلي الداخلي
- التفريق (التحليل)

المفاهيم الرئيسة

- ينحرف مسار الضوء عندما ينتقل من وسط ذي معامل انكسار n_1 إلى وسط آخر معامل انكساره n_2 مختلف.

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

- النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ c إلى سرعته في أيّ وسط آخر تساوي معامل انكسار الوسط n.

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

- عندما ينتقل الضوء من وسط لوسط آخر معامل انكساره أقل وبزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة θ_c فإن الضوء ينعكس انعكاسًا كليًّا داخليًّا في الوسط نفسه الذي هو فيه، ولا ينفذ إلى الوسط الآخر.

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

6–2 العدسات المحدبة والمقعرة Convex and Concave Lenses

المفردات

- العدسة
- العدسة المحدبة
- العدسة المقعرة
- معادلة العدسة الرقيقة
- الزوغان اللونيّ
- العدسة اللالونيّة

المفاهيم الرئيسة

- يرتبط كلٌّ من البعد البؤري f، وبُعد الجسم d_o، وبُعد الصورة d_i للعدسة الرقيقة بالمعادلة الآتية:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

- يُعرَّف التكبير m للصورة الناتجة عن عدسة بالطريقة نفسها التي عُرّف بها التكبير للصورة الناتجة عن مرآة.

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

- تُكوِّن العدسة المحدبة المفردة صورة حقيقية مقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري، وتكون الصورة مصغّرة أو مكبّرة وفقًا لبعد الجسم.
- تُكوِّن العدسة المحدبة المفردة صورة خيالية معتدلة ومكبّرة عندما يوضع الجسم بين العدسة والبؤرة.
- تُكوِّن العدسة المقعرة صورًا خيالية دائمًا، وتكون معتدلة ومصغّرة.
- جميع العدسات لها زوغان لونيّ، وجميع العدسات التي لها سطوح كروية لها زوغان كروي.

6–3 تطبيقات العدسات Applications of Lenses

المفردات

- قصر النظر
- طول النظر

المفاهيم الرئيسة

- يُعدّ الفرق بين معاملي انكسار الهواء والقرنية المسؤول الرئيس عن تجميع الضوء في العين.
- تستخدم الآلات البصرية مجموعة من العدسات للحصول على صور واضحة للأجسام الصغيرة أو البعيدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6
التقويم

خريطة المفاهيم

30. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: مقلوبة، مكبرة، مصغّرة، خيالية.

إتقان المفاهيم

31. قارن زاوية السقوط بزاوية الانكسار عندما ينتقل شعاع الضوء من الزجاج إلى الهواء بزاوية لا تساوي صفرًا؟

32. على الرغم من أنّ الضوء القادم من الشمس ينكسر في أثناء مروره في الغلاف الجويّ للأرض، إلّا أنّ الضوء لا يتحلل إلى طيفه. فإلامَ يشير هذا بالنسبة لسرعات الألوان المختلفة للضوء المنتقلة في الهواء؟

33. فسّر لماذا يبدو القمر أحمر اللون في أثناء الخسوف؟

34. ما العامل الذي يحدّد موقع البؤرة للعدسة، غير تقوّس سطح العدسة؟

35. عند عرض صورة بواسطة آلة عرض الأفلام على شاشة فإنَّ الفيلم يوضع بين F و $2F$ لعدسة مجمِّعة. ويُنتج هذا الترتيب صورة مقلوبة، فلماذا يظهر مشهد الفيلم معتدلاً عندما يعرض الفيلم؟

36. وضّح لماذا تستخدم الآلات البصرية الدقيقة العدسات اللّالونية؟

37. ما الحالة التي يكون عندها البعد البؤري للعين قصيرًا جدًّا بحيث لا يمكنه تجميع الضوء على الشبكية؟

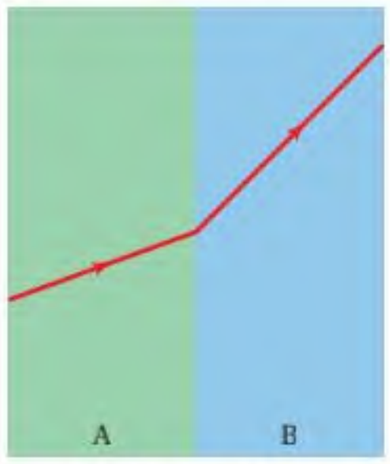
38. ما طبيعة الصورة المتكوّنة بالعدسة الشيئية في المنظار الفلكي الكاسر؟

39. لماذا تعد زيادة المسافة بين العدستين الشيئيتين في المنظار أمرًا نافعًا؟

40. ما الغرض من المرآة العاكسة في آلة التصوير؟

تطبيق المفاهيم

41. أي المادتين، A، أم B، في **الشكل 24–6** لها معامل انكسار أكبر؟ وضّح ذلك.



الشكل 24–6

42. كيف يتغير مقدار الزاوية الحرجة مع زيادة معامل الانكسار؟

43. **الزجاج الأمامي المتشقّق** إذا نظرت خلال زجاج سيارة متشقِّق فإنك ترى خطًّا فضيًّا على امتداد الشق، حيث يكون الزجاج منفصلاً عنده، وهناك هواء في الشق. ويشير هذا الخط الفضي إلى أن الضوء ينعكس عن الشق. ارسم مخطّط أشعة لتفسير سبب حدوث هذا. وما الظاهرة التي يمثّلها؟

44. **قوس المطر** لماذا لا تستطيع رؤية قوس المطر في السماء جنوبًا إذا كنت في نصف الكرة الأرضية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 6

الشمالي؟ وإذا كنت في نصف الكرة الأرضية الجنوبي فإلى أي اتجاه يجب أن تنظر لترى قوس المطر؟

45. يستخدم سبّاح عدسة مكبِّرة لمشاهدة جسم صغير في قاع بركة سباحة، واكتشف أنها لا تُكبِّر الجسم بشكل جيد، فسّر لماذا لا تعمل العدسة المكبّرة في الماء كما كانت تعمل في الهواء.

46. لماذا يكون هنالك زوغان لوني للضوء المار خلال عدسة، في حين لا يكون للضوء الذي ينعكس عن مرآة زوغان لوني؟

47. يكون بؤبؤ العينين صغيرًا عندما تتعرض لضوء الشمس الساطع مقارنة بالتعرض لضوء أخفت، وضّح لماذا تستطيع عيناك تجميع الضوء بشكل أفضل في الضوء الساطع؟

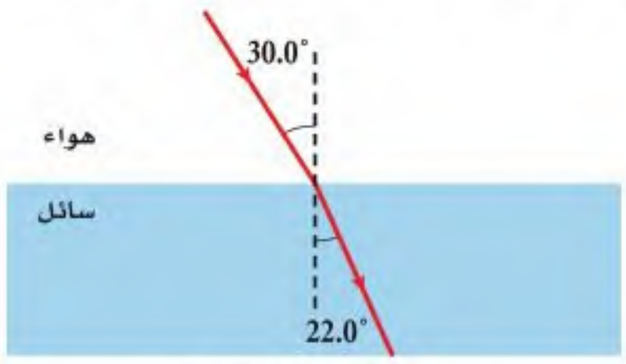
إتقان حل المسائل

6–1 انكسار الضوء

48. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائل ما، كما في **الشكل 25–6**، حيث يسقط الشعاع على السائل بزاوية 30.0°، وينكسر بزاوية 22.0°.

a. احسب معامل انكسار السائل باستخدام قانون سنل.

b. قارن معامل الانكسار الذي حسبته بالقيم الموجودة في الجدول 1–6، وماذا يمكن أن يكون هذا السائل؟



الشكل 25–6

49. يسقط شعاع ضوئي على زجاج مسطح لأحد جوانب حوض سمك، بزاوية مقدارها 40.0° بالنسبة للعمود المقام. فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج $n = 1.50$، فاحسب مقدار:

a. زاوية انكسار الضوء في الزجاج.

b. زاوية انكسار الضوء في الماء.

50. ارجع إلى الجدول 1–6، واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء فيه.

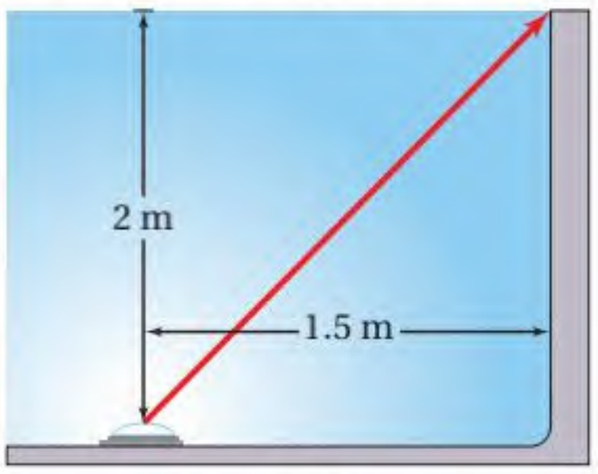
51. ارجع إلى الجدول 1–6، وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

52. **حوض سمك** استخدمت صفيحة سميكة من البلاستيك $n = 1.500$، في صنع حوض سمك، فإذا انعكس ضوء عن سمكة موجودة في الماء وسقط على صفيحة البلاستيك بزاوية 35.0°، فما مقدار الزاوية التي سيخرج فيها الضوء إلى الهواء؟

53. **أضواء حوض السباحة** وضع مصدر ضوء في قاع حوض سباحة على عمق 2.0 m من سطح الماء ويبعد عن طرف الحوض 1.5 m كما في **الشكل 26–6**. وكان الحوض مملوءًا بالماء إلى قمته.

a. ما مقدار الزاوية التي يصل فيها الضوء طرف المسبح خارجًا من الماء؟

b. هل تؤدي رؤية الضوء بهذه الزاوية إلى ظهوره بشكل أعمق أم أقل عمقًا مما هو عليه في الواقع؟



الشكل 26–6

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 6

54. إذا كانت سرعة الضوء في بلاستيك شفاف $1.90\times10^{8}\,m/s$. وسقط شعاع ضوء على البلاستيك بزاوية 22.0°، فما مقدار الزاوية التي ينكسر بها الشعاع؟

6–2 العدسات المحدبة والمقعرة

55. إذا وضع جسم على بُعد 10.0 cm من عدسة مجمّعة بعدها البؤري 5.00 cm، فعلى أيّ بُعد من العدسة تتكوَّن الصورة؟

56. إذا أردنا استخدام عدسة محدبة لتكوِّن صورة حجمها يساوي 0.750 من حجم الجسم، وأن تكون الصورة على بُعد 24 cm من الجانب الآخر للعدسة، فما البعد البؤري للعدسة الذي يحقق ذلك؟

57. وضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 15 cm أمام عدسة مجمّعة، فتكوّنت له صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة.

a. ما البعد البؤري للعدسة؟

b. إذا استُبدِلت العدسة الأصلية، ووُضِع مكانها عدسة أخرى لها ضعفا البعد البؤري، فحدّد موقع الصورة وطولها واتجاهها.

58. وضع جسم بالقرب من عدسة مفرّقة بعدها البؤري 15 cm، فتكوّنت له صورة طولها 2.0 cm على بُعد 5.0 cm من العدسة.

a. ما بُعد الجسم عن العدسة؟ وما طوله؟

b. إذا استُبدِلت العدسة المفرِّقة، ووُضِع مكانها عدسة مجمّعة لها البعد البؤري نفسه فما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟ وهل هي خيالية أم حقيقية؟

6–3 تطبيقات العدسات

59. **النظارات** يجب أن يكون الكتاب على بُعد 25 cm من العين لقراءته بوضوح. فإذا كان هناك فتاة تعاني من طول النظر، وتحتاج أن يكون الكتاب على بُعد 45 cm من عينيها لقراءته بوضوح، فما البعد البؤري اللازم لعدستي نظارتها؟

60. **آلة نسخ** البعد البؤري للعدسة المحدبة الخاصة بآلة نسخ يساوي 25.0 cm. فإذا وضعت رسالة على بُعد 40.0 cm من العدسة لنسخها

a. فعلى أي بُعد من العدسة يجب أن تكون ورقة النسخ؟

b. ما تكبير ورقة النسخ؟

61. **الميكروسكوب (المجهر)** وضعت شريحة من خلايا البصل على بُعد 12 mm من عدسة المجهر الشيئية، فإذا كان البعد البؤري لهذه العدسة 10.0 mm:

a. فما بُعد الصورة المتكوّنة عن العدسة؟

b. ما تكبير هذه الصورة؟

c. تتكوّن الصورة الحقيقية على بُعد 10.0 mm تحت العدسة العينية. فإذا كان بعدها البؤري 20.0 mm فما موقع الصورة النهائية؟

d. ما التكبير النهائي لهذا النظام المركّب؟

مراجعة عامة

62. **العمق الظاهري** ينعكس ضوء الشمس من قاع حوض سمك وينتشر في جميع الاتجاهات. ويوضّح **الشكل 6-27** شعاعين من هذه الأشعة المنعكسة من نقطة في قاع الحوض ينتقلان إلى السطح، فتنكسر الأشعة في الهواء كما هو مبين. إنّ امتداد الخط الأحمر المتقطع إلى الخلف، من شعاع الضوء المنكسر هو

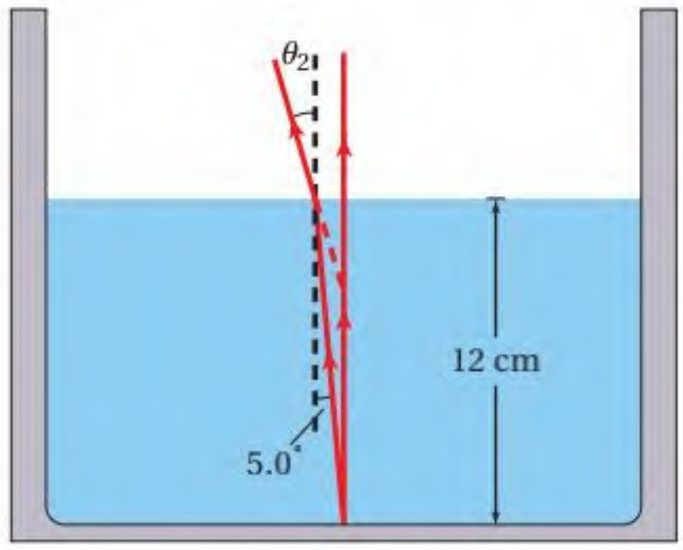
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 6

خط النظـر الذي يتقاطع مع الشـعاع الرأسي عند الموقع الذي سيرى فيه المشاهد صورة قاع الحوض.

a. أوجد زاوية انكسار الشعاع في الهواء.

b. على أيّ عمق سـيبدو قاع الحوض عندما تنظر إلى الماء؟ اقسـم العمق الظاهـري على العمق الحقيقي وقارن هذه النسبة بمعامل الانكسار.



6–27 ■

63. إذا كانت الزاوية الحرجة لقالب زجاجي 45.0° فما معامل انكساره؟

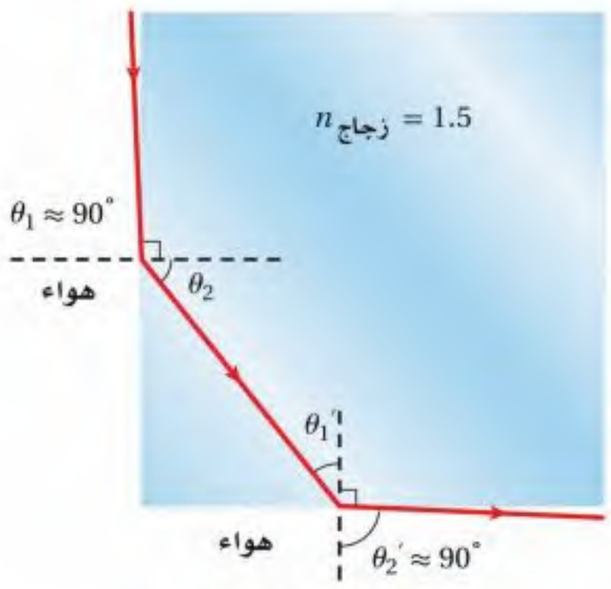
64. أوجـد سرعة الضـوء في حجـر ثالث أوكسـيد الأنتيموني (antimony trioxide)، إذا كان معامل انكساره 2.35.

65. وضع جسـم طولـه 3 cm على بُعـد 20 cm أمام عدسـة مجمّعة. فتكوّنت له صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة. ما البعد البؤري للعدسة؟

66. اشتق العلاقة $n=sin\ \theta_1/sin\ \theta_2$ من الصيغة العامة لقانون سنل في الانكسار $n_1\ sin\ \theta_1=n_2\ sin\ \theta_2$. واذكر الافتراضات والمحدّدات.

67. **الفلك** كم دقيقة إضافية يستغرق وصول الضوء من الشـمس إلى الأرض إذا امتلأ الفضـاء بينهما بالماء بدلاً من الفراغ؟ علمًا بأن بُعد الشمس عن الأرض 1.5×10^8 km.

68. من غير الممكن الرؤية من خلال الجوانب المتجاورة لقوالب مربعة الشـكل من زجاج معامل انكساره 1.5. حيث يؤثّر الجانب المجاور للجانب الذي يَنظر من خلاله مراقبٌ كأنّه مرآة. ويمثل **الشكل 28-6** الحالـة المحدّدة لجانـب مجاور لا يؤثـر كأنه مرآة. اسـتخدم معلوماتك في الهندسة، والزوايا الحرجة، لتثبت أنّ هيئة هذا الشـعاع لا يمكن تحقيقها عندما تكون $n_{\text{زجاج}} = 1.5$.



■ الشكل 28–6

التفكير الناقد

69. **إدراك العلاقـة المكانيـة** ينتقل ضوء أبيض في هواء معامل انكسـاره 1.0003، ويدخل شريحة زجاجية بزاوية سقوط $45°$. فإذا كان معامل انكسار الزجاج الصواني الكثيف يساوي 1.7708 للضوء الأزرق، ويسـاوي 1.7273 للضوء الأحمر، فما مقدار زاوية الانكسار (التشتت) التي ينحصر فيها الطيف المرئي؟ علمًا بأن الطول الموجي للضوء الأزرق 435.8 nm، والطول الموجي للضوء الأحمر 643.8 nm.

70. **قـارن** أوجد الزاوية الحرجـة للجليد الذي معامل انكسـاره 1.31. في المناطق الباردة جدًّا، هل تكون أسلاك الألياف الضوئية المصنوعة من الجليد أفضل من تلك المصنوعة من الزجاج لحفظ الضوء داخل السلك؟ وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 6

71. التفكير الناقد تستخدم عدسة لعرض صورة جسم على شاشة. افترض أنك غطيت النصف الأيمن من العدسة، فما الذي يحدث للصورة؟

الكتابة في الفيزياء

72. إنّ عمليــة تكيّف العــين ـ وهي عمليــة انقباض العضلات المحيطة بعدسة العين أو انبساطها لرؤية الأجسام القريبة أو البعيدة ـ تختلف من كائن لآخر. ابحــث هذه الظاهــرة في حيوانــات مختلفة، وأعدّ تقريرًا للصف تبــين من خلاله كيفيــة التكيّف في عيونها لرؤية الأشياء.

73. ابحــث في نظام العدســات المســتخدم في الآلات البصرية، ومنها جهاز عرض الشــفافيات أو آلات التصويــر الخاصة أو التلســكوب، وحضر عرضًا تصويريًّا للصف تبين مــن خلاله كيف تكوّن هذه الآلات الصور.

مراجعة تراكمية

74. وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرهــا 48.0 cm، وعــلى بُعــد 12.0 cm منها. احسب بُعد الصورة وطولها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبـار مقـنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. وُجِّه شعاع من مصباح يدوي على بركة سباحة في الظلام بزاوية 46° بالنسبة للعمود المقام على سطح الماء. ما مقدار زاوية انكسار الشعاع في الماء؟ (معامل انكسار الماء 1.33)

(A) 18° (C) 33°

(B) 30° (D) 44°

2. إذا كانت سرعة الضوء في الألماس 1.24×10^8 m/s فما معامل انكسار الألماس؟

(A) 0.0422 (C) 1.24

(B) 0.413 (D) 2.42

3. أيّ مما يأتي لا يؤثر في تشكيل قوس المطر؟

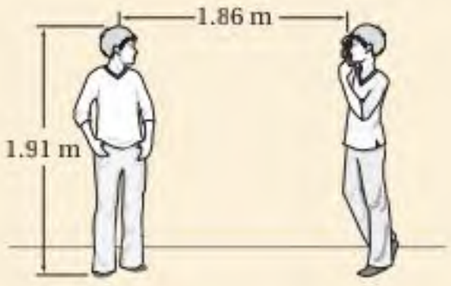
(A) الحيود (C) الانعكاس

(B) التشتّت (D) الانكسار

4. التقط أحمد صورة لأخيه أسامة كما في الشكل مستخدمًا كاميرا بعدسة محدبة بعدها البؤري 0.0470 m حدّد موضع صورة أسامة.

(A) 1.86 cm (C) 4.82 cm

(B) 4.70 cm (D) 20.7 cm



5. أيّ مما يأتي لا يؤثر في تشكيل السراب؟

(A) تسخين الهواء القريب من الأرض

(B) مويجات هيجنز

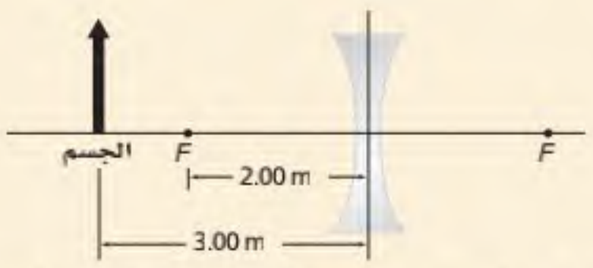
(C) الانعكاس

(D) الانكسار

6. ما بُعد الصورة للحالة الموضحة في الشكل؟

(A) -6.00 m (C) 0.167 m

(B) -1.20 m (D) 0.833 m



7. ما الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي، عندما ينتقل الضوء من زجاج معامل انكساره 1.52 إلى الماء الذي معامل انكساره 1.33؟

(A) 29.0° (C) 48.8°

(B) 41.2° (D) 61.0°

8. ماذا يحدث للصورة المتكوّنة من عدسة محدبة عندما يُغطَّى نصفها؟

(A) تختفي نصف الصورة (C) تصبح الصورة ضبابية

(B) تعتم الصورة (D) تنعكس الصورة

الأسئلة الممتدة

9. إذا كانت الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي عند الحدّ الفاصل بين الألماس والهواء 24.4°، فما زاوية الانكسار في الهواء إذا كانت زاوية سقوط الشعاع على الحد الفاصل 20°؟

10. يتكوّن لجسم يبعد 6.98 cm عن عدسةٍ صورةٌ تبعد 2.95 cm عن العدسة في الجانب نفسه. حدّد نوع العدسة، ووضّح كيف عرفت ذلك؟

إرشاد

أعطِ نفسك الوقت الكافي

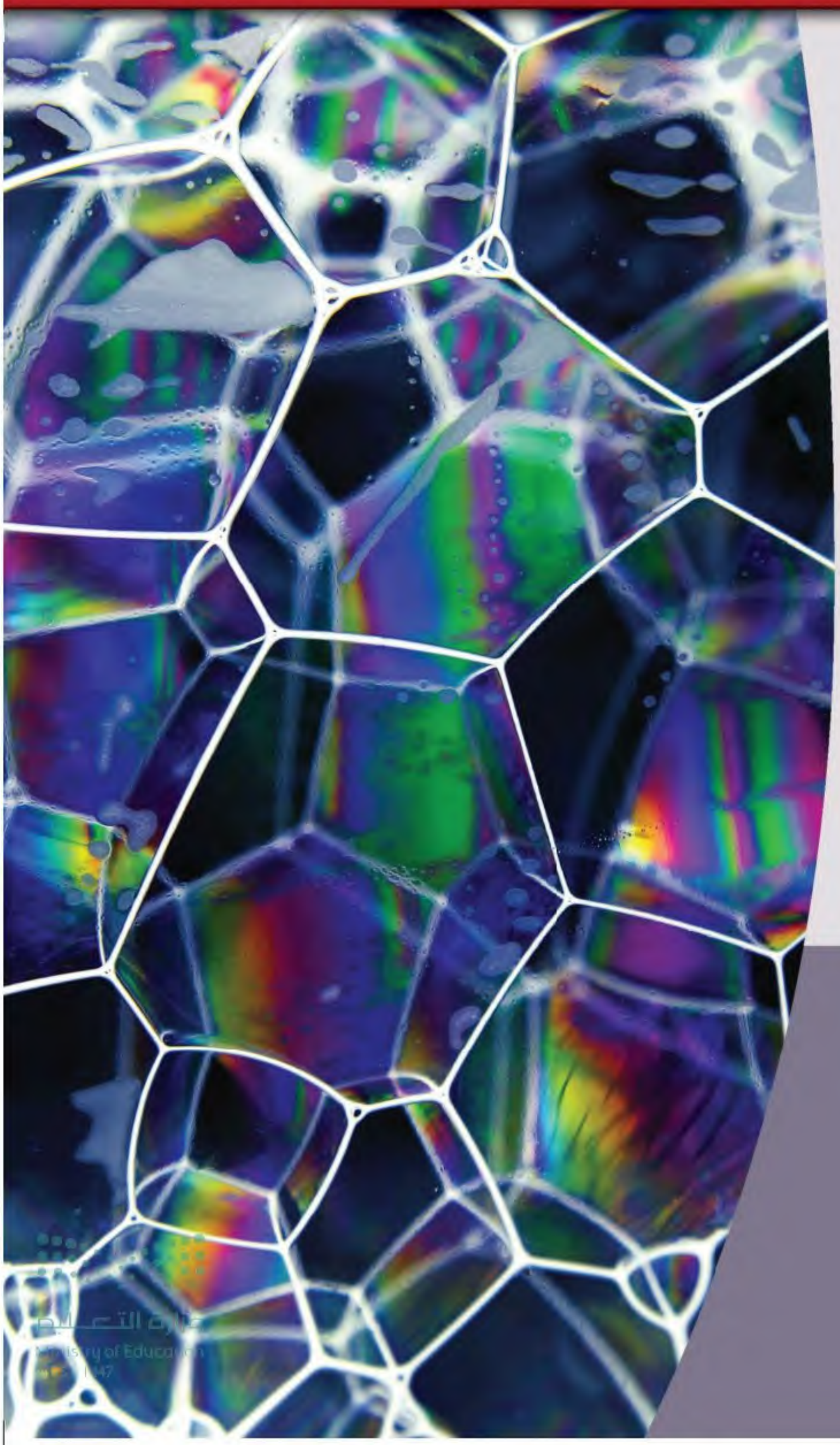
لن تحصل على نقاط إضافية إذا أنهيت الاختبار مبكرًا. لذا اعمل ببطء وبحذر؛ تجنّبًا للوقوع في أخطاء عدم الانتباه الذي يمكن أن يحدث عندما تريد إنهاء الاختبار بسرعة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 7

التداخل والحيود

Interference and Diffraction



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- معرفة كيف تُظهر أنماط التداخل والحيود أن الضوء يسلك سلوك الموجات.
- توضيح كيفية حدوث أنماط التداخل والحيود في الطبيعة، وكيفية استخدامها.

الأهمية

يمكن رؤية كل من ظاهرتي التداخل والحيود في الأشياء المحيطة بك؛ إذ تُظهر الأقراص المدمجة الحيود بوضوح، كما يظهر التداخل في الفقاعات، في حين تُظهر أجنحة الفراشة الزرقاء كلًّا من التداخل والحيود معًا.

محلول الفقاعات يكون محلول فقاعات الصابون في الإناء شفافًا، ولكن إذا علّقت الفقاعات على شبكة بلاستيكية أمكنك رؤية مجموعة من الألوان. ولا تنتج هذه الألوان بسبب وجود الأصباغ أو الملوّنات في الصابون، ولكن تظهر بسبب الطبيعة الموجية للضوء.

فكّر ◄

كيف يُظهر محلول فقاعات الصابون ألوان قوس المطر؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

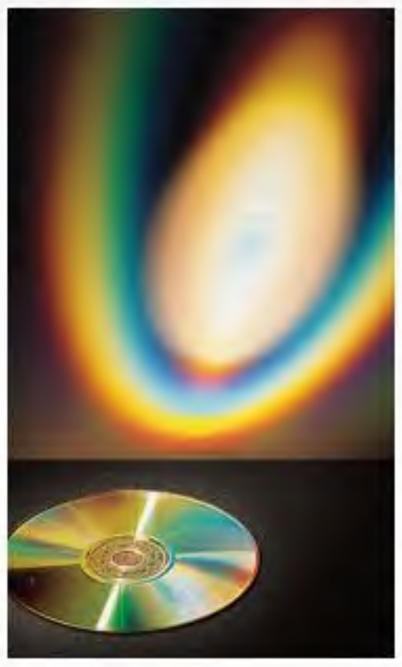
تجربة استهلالية

لماذا يعكس القرص المدمج الضوء بألوان قوس المطر؟

سؤال التجربة كيف يتأثر الضوء عندما ينعكس عن قرص مدمج؟

الخطوات

1. احصل على قرص مدمج (CD أو DVD) وجهاز عرض الضوء، ومرشِّحات ضوئية - من معلمك.
2. ضع القرص المدمج على سطح الطاولة، بحيث يكون سطحه العاكس إلى أعلى.
3. ضع مرشِّح لون على جهاز عرض الضوء.
4. شغّل جهاز عرض الضوء، وأسقِط الضوء الصادر على سطح القرص المدمج، بحيث يسقط الضوء المنعكس عن القرص على شاشة بيضاء. **تحذير: لا تنظر مباشرة إلى الضوء الصادر عن جهاز عرض الضوء.**
5. سجّل ملاحظاتك حول الضوء الذي تشاهده على الشاشة.
6. أطفئ جهاز عرض الضوء، وغيّر مرشّح اللون مستخدمًا مرشّح لون آخر.
7. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام مرشّح لون جديد.
8. كرّر الخطوات من 4 إلى 5 باستخدام ضوء أبيض.



التحليل

هل يؤثر لون الضوء في النمط المتكوّن؟ كيف يختلف انعكاس الضوء الأبيض عن انعكاس الضوء الأحادي اللون؟

التفكير الناقد تأمّل ملاحظاتك حول الضوء الأبيض المنعكس عن القرص، واقترح مصادر أخرى مُمكنة تُظهر حزمًا من الألوان.

7-1 التداخل Interference

تعلّمت أن الضوء يسلك سلوك الموجات أحيانًا؛ إذ يمكن أن يحيد عندما يمرّ بحافة، كما تفعل موجات الماء والموجات الصوتية تمامًا. وتعلمت أيضًا أنه يمكن تفسير كل من ظاهرتي الانعكاس والانكسار بناءً على النموذج الموجي للضوء، واللتين يفسرهما أيضًا نموذج الشعاع الضوئي. فما الذي دفع العلماء للاعتقاد بأن للضوء خصائص موجية؟ لقد اكتشف العلماء أن سلوك الضوء يرتبط بالطبيعة الموجية نفسها؛ حيث يحيد ويتداخل.

فعندما تنظر إلى الأجسام التي أُضيئت بمصدر ضوء أبيض - مثل مصباح ضوئي قريب - ترى **ضوءًا غير مترابط**؛ وهو ضوء ذو مقدمات موجية غير متزامنة. ويمكن مشاهدة تأثير عدم الترابط في الموجات عند سقوط مطر بغزارة على بركة سباحة؛ حيث يكون سطح الماء مضطرباً، ولا يظهر فيه أي نمط منتظم لمقدمات موجة أو موجات مستقرة. ولأن تردّد موجات الضوء كبير جدًّا فإن الضوء غير المترابط لا يظهر لك متقطّعًا أو غير مترابط. فعندما يُضاء جسم من مصدر ضوئي أبيض غير مترابط فإنك ترى تراكب موجات الضوء غير المترابط كأنها ضوء أبيض منتظم.

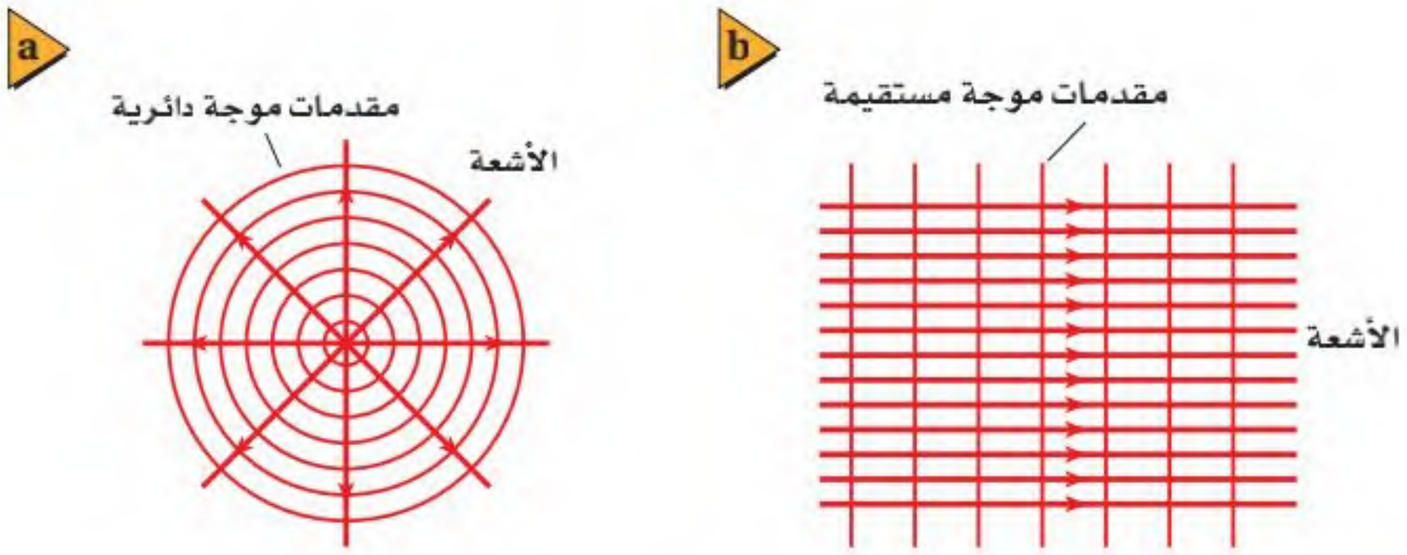
الأهداف

- **تفسر** تكون نمط تداخل بإسقاط الضوء على شقّين.
- **تحسب** الأطوال الموجية للضوء من أنماط التداخل.
- **تطبق** النمذجة على التداخل في الأغشية الرقيقة.

المفردات

الضوء غير المترابط
الضوء المترابط
أهداب التداخل
الضوء الأحادي اللون
التداخل في الأغشية الرقيقة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 1–7** تتولد مقدمات موجات الضوء المنتظمة من المصادر النقطية (**a**)، وأشعة الليزر (**b**).

تداخل الضوء المترابط (المتزامن)

Interference of Coherent Light

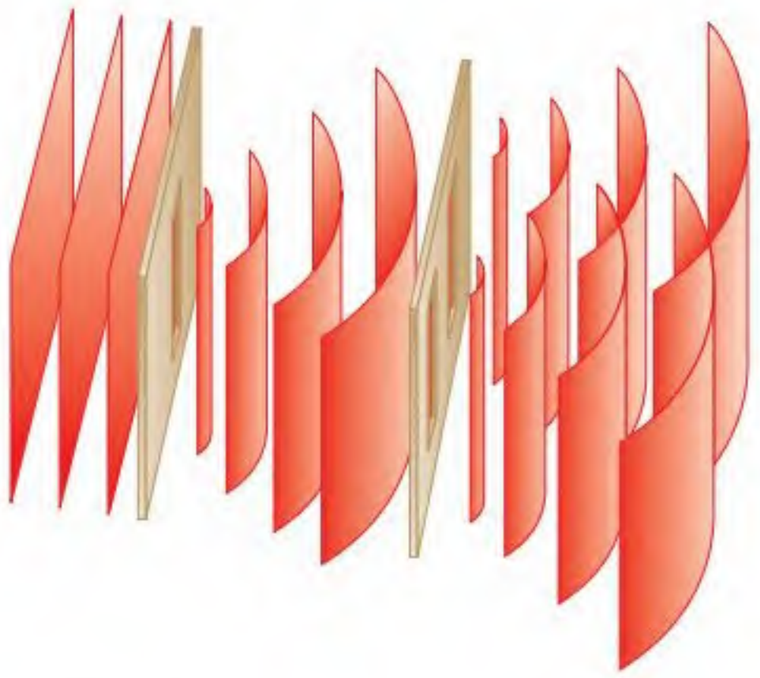
إن نقيض الضوء غير المترابط هو **الضوء المترابط**؛ وهو الضوء الناتج عن تراكب ضوء صادر من مصدرين أو أكثر، مُشكّلًا مقدمات موجات منتظمة. ويمكن توليد مقدمة موجة منتظمة من مصدر نقطي، كما يتضح من **الشكل 1a–7**، كما يمكن توليدها أيضًا من مصادر نقطية عدّة عندما تتزامن هذه المصادر النقطية جميعها، كما في أشعة الليزر، وكما هو موضح في **الشكل 1b–7**. وتحدث ظاهرة التداخل نتيجة تراكب موجات ضوئية صادرة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط، كما ستلاحظ في هذا الفصل.

■ **الشكل 2–7** أنماط تداخل الشقّ المزدوج للضوء الأزرق (**a**)، وللضوء الأحمر (**b**)، وللضوء الأبيض (**c**).

أثبت الفيزيائي الإنجليزي توماس يونج أن للضوء خصائص موجية، وذلك عندما أنتج نمط تداخل من إسقاط ضوء من مصدر نقطي مترابط أحادي خلال شقّين. فقد وجَّه يونج ضوءًا مترابطًا على شقّين ضيّقين وقريبين في حاجز. وعند تداخل الضوء الخارج من الشقّين وسقوطه على الشاشة لوحظ أن الضوء المتداخل لم يُنتج إضاءة منتظمة، وبدلاً من ذلك ولّد نمطًا مكوّنًا من حزم مضيئة وأخرى معتمة، سمّاها يونج **أهداب التداخل**. وقد فسّر يونج تكوّن هذه الحزم نتيجة التداخل البنّاء والتداخل الهدّام للموجات الضوئية الصادرة من الشقّين في الحاجز.

في تجربة تداخل الشقّ المزدوج (تجربة يونج) حيث استخدم **ضوء أحادي اللون**؛ وهو ضوء له طول موجي واحد فقط، يُنتج التداخل البنّاء حزمة ضوئية مركزية مضيئة (هدبًا مضيئًا) بلون معين على الشاشة، كما يُنتج على كل جانب حزمًا مضيئة أخرى تفصلها فراغات متساوية تقريبًا، وعرضها متساوٍ تقريبًا، كما يتضح من **الشكلين 2a–7** و **2b–7**. وتتناقص شدة إضاءة الأهداب المضيئة كلما ابتعدنا عن الهدب المركزي. ويمكنك ملاحظتها بسهولة في **الشكل 2a–7**. وتوجد بين الأهداب المضيئة مساحات معتمة (أهداب معتمة)؛ بسبب حدوث تداخل هدّام. وتعتمد مواقع حزم التداخل البناء والهدّام على

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

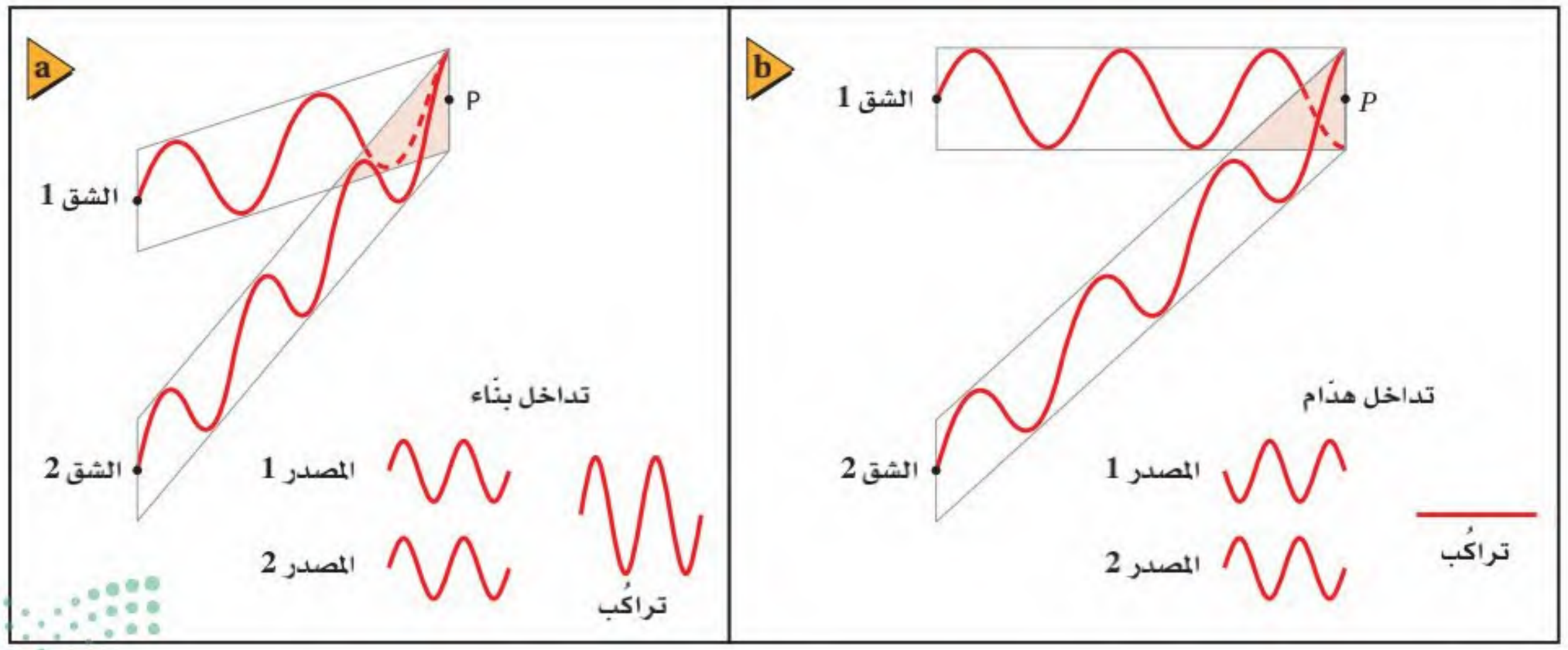


■ **الشكل 3–7** مصدر الضوء المتوافق الذي يتكوّن بواسطة الشقّ الأحادي الضيّق يُنتج موجات متوافقة أسطوانية الشكل تقريبًا، تنتقل إلى شقّين في الحاجز الثاني. وتغادر موجتان متوافقتان أسطوانيتا الشكل تقريبًا الشقّ المزدوج.

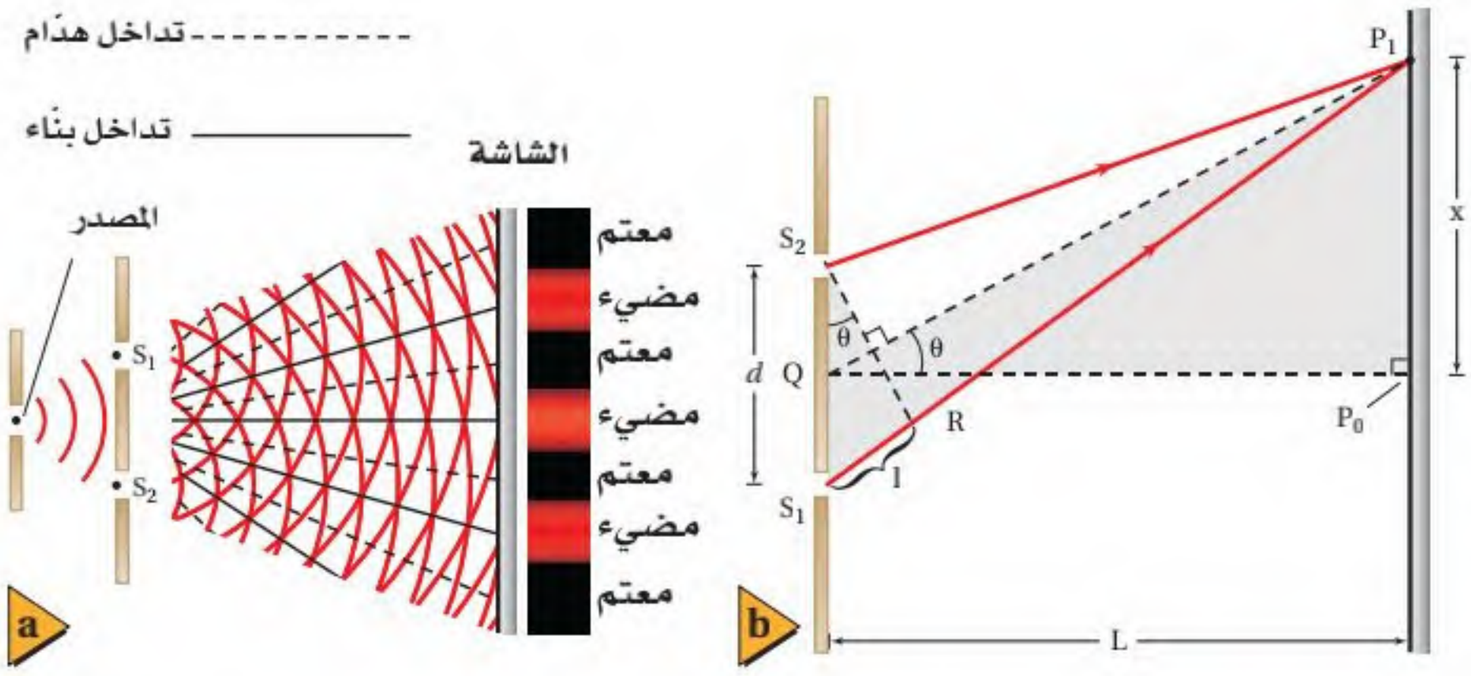
الطول الموجي للضوء الســاقط. وعندما يُســتخدم ضوء أبيض في تجربة شقّي يونج فإن التداخل يســبّب ظهور أطياف ملوّنة بدلاً من الأهــداب المضيئة والمعتمة، كما يتضح من **الشكل 2c–7**. وتتداخل الأطوال الموجية جميعها تداخلًا بنّاءً في الهدب المركزي المضيء؛ لذا يكون هذا الهدب أبيض دائمًا. وتنتج مواقع الأهداب الأخرى الملوّنة عن تراكب أهداب التداخــل التي تحدث، حيث تتداخــل الأطوال الموجية لكل لون منفصــل تداخلًا بنّاءً.

تداخل الشق المزدوج لتوليد ضوء مترابط من ضوء غير مترابط، وضع يونج حاجزًا ضوئيًّا ذا شــقّ ضيّق أمام مصدر ضوئي أحادي اللون. ولأن عرض هذا الشقّ كان صغيرًا جدًّا، فقد نفذ الجزء المترابط من الضوء فقط، ثم حاد هذا الجزء بواسطة الشقّ، فتولّدت مقدمات موجات أســطوانية تقريبًا بسبب حيودها، كما في **الشــكل 3–7**. وبسبب تماثل مقدمات الموجة الأسطوانية فإن جزأيْ مقدمة الموجة يصلان إلى الحاجز الثاني ذي الشقّين متفقين في الطور. ثم ينتج عن الشقّين في الحاجز الثاني مقدمات موجات مترابطة وأسطوانية الشكل تقريبًا تتداخل بعد ذلك، كما في **الشــكل 3–7**، تداخلًا بنّاءً أو هدّامًا؛ اعتمادًا على العلاقة بين طوريهما، كما موضّح في **الشكل 4–7**.

■ **الشكل 4–7** تولّد عند الشقّين زوج من الموجات المتفقة في الطور. ويمكن أن يحدث للموجات عند بعض المواقع تداخل بنّاء لتشكيل أهداب مضيئة (**a**)، أو تداخل هدّام لتشكيل أهداب معتمة (**b**).



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 5–7 يولّد تداخل الضوء الأحادي اللون الذي يمر خلال الشقّ المزدوج أهدابًا مضيئة وأخرى معتمة على الشاشة (**a**). يمثّل هذا الشكل (**b**) تحليلاً للهدبة المضيئة الأولى؛ حيث تكون المسافة الفاصلة بين الشقّين والشاشة L أكبر بـ 105 مرة تقريبًا من المسافة الفاصلة بين الشقّين d. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قياس الطول الموجي للضوء يوضّح الشكل **5a–7** منظرًا علويًّا لمقدمات موجات أسطوانية الشكل تقريبًا وتجربة شقّي يونج، حيث تتداخل مقدمات الموجات تداخلات بنّاءة وهدّامة لتشكيل أنماط الأهداب المضيئة والمعتمة. ويوضّح **الشكل 5b–7** الرسم التخطيطي النموذجي الذي يستخدم لتحليل تجربة يونج. وتلاحظ من الشكل أن الموجتين تتداخلان تداخلاً بنّاءً على الشاشة لتكوين الهدب المركزي المضيء عند النقطة P_o؛ وذلك لأن للموجتين الطور نفسه، وتقطعان المسافة نفسها من كل شقّ إلى النقطة. كما يوجد أيضًا تداخل بنّاء عند الهدب المضيء P_1 على جانبي الحزمة المركزية؛ لأن القطعة المستقيمة P_1S_1 أطول من القطعة المستقيمة P_1S_2 بمقدار طول موجي واحد λ، لذا تصل الموجات عند النقطة P_1 بالطور نفسه. ويمكن إيجاد الطول الموجي باستخدام المعادلة الآتية:

الطول الموجي من تجربة شقي يونج $\lambda = \frac{xd}{L}$

الطول الموجي للضوء المقيس بتجربة شقّي يونج يساوي المسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء الأول على الشاشة، مضروبة في المسافة بين الشقّين، ومقسومة على المسافة بين الشقّين والشاشة.

يحدث تداخل بنّاء للضوء النافذ من شقّين عند مواقع، x_m، على جانبي الهدب المركزي المضيء، ويتم تحديد هذه المواقع باستخدام المعادلة $m\lambda = \frac{x_m d}{L}$؛ حيث $m = 0, 1, 2...$، والمحدّدة باستخدام التبسيطات الناجمة عن كون الزاوية صغيرة. ويتولّد الهدب المركزي المضيء عند $m=0$، في حين يسمّى الهدب الناتج عند $m=1$ هدب الرتبة الأولى، وهكذا لسائر المواقع.

وقد نشر العالم يونج نتائج أبحاثه عام 1803، إلا أنه قوبل بالسخرية من المجتمع العلمي، ولم تُقبل نتائجه حتى عام 1820، حينما اقترح العالم جين فريسنل حلاًّ رياضيًّا للطبيعة الموجية للضوء من خلال مسابقة. وبيّن أحد حكّام المسابقة سيمون دينس بويسون أنه إذا كان اقتراح فريسنل صحيحًا فسوف تتكون بقعة مضيئة عند مركز ظل جسم دائري مُضاء بضوء مترابط. وأثبت حكَمٌ آخر ـ اسمه جين آرجو ـ وجودَ تلك البقعة تجريبيًّا؛ حيث كان كل من بويسون وآرجو متشكّكين حول الطبيعة الموجية للضوء قبل هذا الإثبات.

تجربة عملية
ما الطول الموجي؟
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

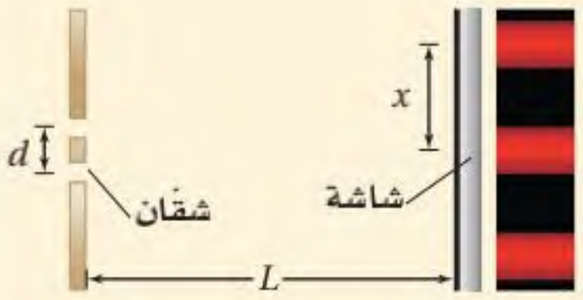
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 1

الطـول الموجي للضوء طُبّقت تجربــة يونج لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر، فتكوّن الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى على بُعد 21.1 mm من الهدب المركزي المضيء. فإذا كان البعد بين الشقّين 0.0190 mm، ووضعت الشاشة على بُعد 0.600 m منهما، فما الطول الموجي للضوء الأحمر؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الشقّين والشاشة برسم تخطيطي.
- ارسم نمط التداخل موضّحًا فيه الأهداب في مواقعها المناسبة على الشاشة.



المعلوم	المجهول
$d = 1.90\times10^{-5}\ \text{m}$	$\lambda = ?$
$x = 2.11\times10^{-2}\ \text{m}$	
$L = 0.600\ \text{m}$	

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

2 إيجاد الكمية المجهولة

عوّض مستخدمًا $x = 2.11\times10^{-2}\ \text{m}$ ،$d = 1.90\times10^{-5}\ \text{m}$ ،$L = 0.600\ \text{m}$

$$\lambda = xd/L$$

$$= \frac{(2.11\times10^{-2}\ \text{m})(1.90\times10^{-5}\ \text{m})}{(0.600\ \text{m})}$$

$$= 6.68\times10^{-7}\ \text{m}$$

$$= 668\ \text{nm}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة الطول، وهي صحيحة بالنسبة للطول الموجي.
- **هل الجواب منطقي؟** الطول الموجي للضوء الأحمر 700 nm تقريبًا، وللضوء الأزرق 400 nm تقريبًا، لذا فإن الإجابة منطقية.

مسائل تدريبية

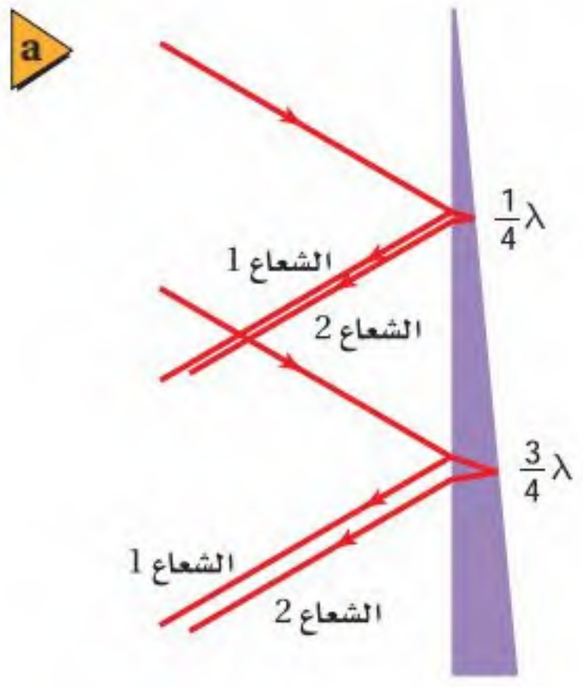
1. ينبعث ضوء برتقالي مُصفر من مصباح غاز الصوديوم بطول موجي 596 nm، ويسقط على شــقّين البعد بينهما $1.90\times10^{-5}\ \text{m}$. ما المسافة بين الهدب المركزي المــضيء والهدب الأصفــر ذي الرتبة الأولى إذا كانت الشاشــة تبعد مســافة 0.600 m من الشقّين؟
2. في تجربة يونج، اســتخدم الطلاب أشــعة ليزر طولها الموجي 632.8 nm. فإذا وضع الطلاب الشاشــة على بُعد 1.00 m من الشــقّين، ووجــدوا أن الهدب الضوئي ذا الرتبة الأولى يبعد 65.5 mm من الخط المركزي، فما المسافة الفاصلة بين الشقّين؟

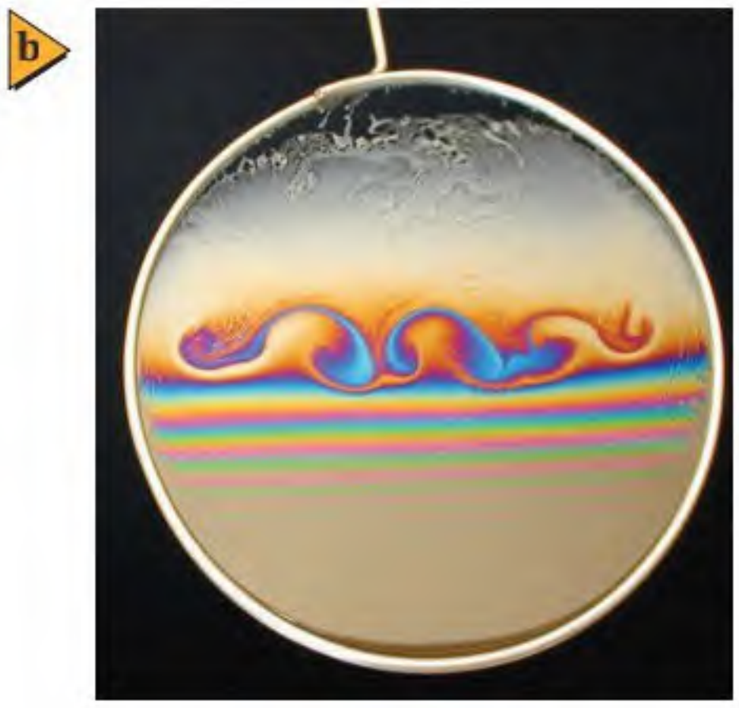
تجربة عملية

ما الهولوجرام؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447





الشكل 6–7 يحدث تقوية لكل طول موجي عندما يكون سُمك غشاء الصابون $5\lambda/4$، $3\lambda/4$، $\lambda/4$ (**a**). ولأن كل لون له طول موجي خاص به فإن سلسلة الأهداب التي تنعكس عن غشاء الصابون تكون ملوّنة (**b**).

التداخل في الأغشية الرقيقة Thin-film Interference

هل سبق أن شاهدت ألوان الطيف التي كوَّنتها فقاعة صابون أو غشاء زيتي عائم على سطح تجمع مائي صغير في ساحة مواقف سيارات؟ هذه الألوان لم تنتج عن تحليل الضوء الأبيض بواسطة منشور، أو عن امتصاص الألوان بواسطة الأصباغ، بل كان طيف الألوان هذا نتيجة للتداخل البنّاء والهدّام للموجات الضوئية؛ بسبب انعكاسها عن الغشاء الرقيق، وتسمى هذه الظاهرة **التداخل في الأغشية الرقيقة**.

تطبيق الفيزياء

النظارات غير العاكسة يمكن وضع غشاء رقيق على عدسات النظارات ليمنع عكس الأطوال الموجية للضوء التي تكون حساسية العين البشرية لها عالية جدًّا؛ ممّا يمنع وهج الضوء المنعكس.

إذا حُمِلَ غشاء الصابون رأسيًّا ـ كما في **الشكل 6–7** ـ فإن وزنه يجعله أكبر سمكًا عند القاع منه عند القمة، ويتغير السمك تدريجيًّا من أعلى إلى القاع. وعندما تسقط موجة ضوء على الغشاء ينعكس جزء منها، كما يوضح الشعاع 1، بينما ينفذ جزء آخر منها أيضًا، ويكون للموجتين المنعكسة والنافذة تردّد الموجة الضوئية الأصلية نفسه. وتنتقل الموجة النافذة خلال الغشاء إلى السطح الخلفي، حيث ينعكس جزء منها مرة أخرى، كما يوضح الشعاع 2. إن عملية تجزئة كل موجة ضوئية من المصدر غير المترابط إلى زوج متماثل من الموجات تعني أن الضوء المنعكس عن الغشاء الرقيق ضوء مترابط.

تحسين (تعزيز) اللون كيف نجعل الانعكاس لضوء أحادي اللون معزَّزًا (شدة إضاءته أكبر)؟ يحدث هذا عندما يكون للموجتين المنعكستين الطّور نفسه بالنسبة لطول موجي محدّد. فإذا كان سمك غشاء الصابون في **الشكل 6–7** يساوي ربع الطول الموجي $\lambda/4$ للموجة في الغشاء، فإن طول المسار ذهابًا وإيابًا داخل الغشاء يساوي $\lambda/2$. وسيبدو في هذه الحالة أن الشعاع 2 يعود إلى السطح الأمامي مختلفًا في الطّور مع الشعاع 1 بنصف طول موجي، وأن كلًّا من الموجتين ستُلغي أثر الأخرى اعتمادًا على مبدأ التراكُب. ولكن عندما تنعكس موجة مستعرضة عن وسط ما سرعتها فيه أقل فإنها تنقلب. ويحدث هذا للضوء عند الوسط الذي يكون معامل انكساره أكبر. ونتيجة لما سبق، ينعكس الشعاع 1 وينقلب، في حين ينعكس الشعاع 2 عن وسط معامل انكساره صغير (الهواء) ولا ينقلب. لذا يتفق الشعاعان 1 و 2 في الطّور.

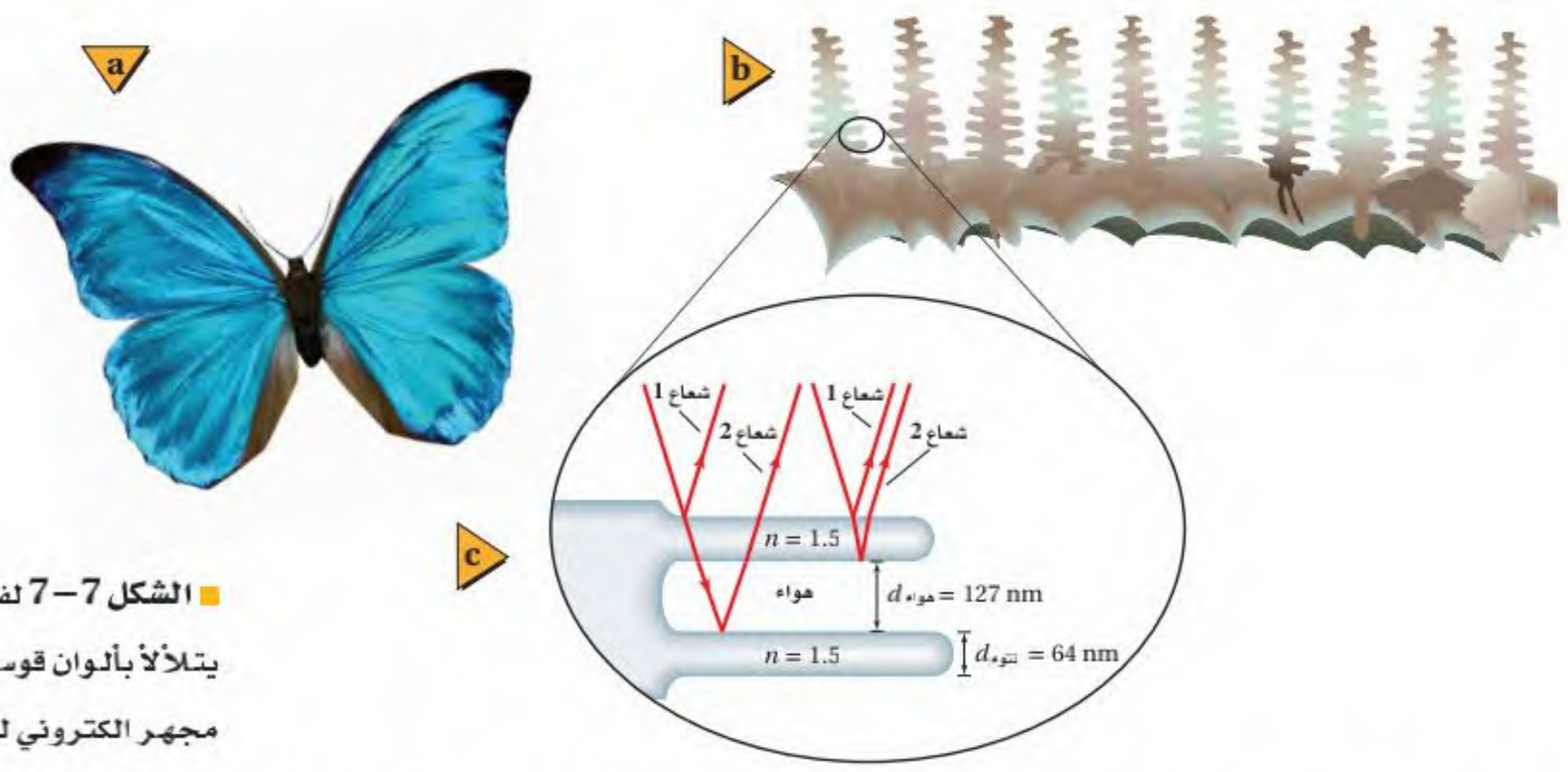
إذا كان سمك الغشاء d، يحقّق الشرط $d = \lambda/4$، فسينعكس لون الضوء الذي له ذلك الطول الموجي بشدّة كبيرة، ويحدث تعزيز لهذا اللون نتيجة ذلك. ولأن الطول الموجي للضوء في الغشاء أقصر من الطول الموجي له في الهواء فإن $d = \lambda_{\text{الغشاء}}/4$، أو بدلالة الطول

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الموجي في الهـــواء $d = \lambda_{\text{الفراغ}} / 4n_{\text{الغشاء}}$. لاحظ أن كلتا الموجتين تعــزّز إحداهما الأخرى عندما تغادران الغشـــاء. بينما يحدث تداخل هدّام للضوء عند الأطوال الموجية الأخرى.

وكما تعلم فإن ألوان الضوء المختلفة لها أطوال موجية مختلفة. أما الغشـــاء المتغيّر السمك -ومنه الغشاء الموضح في **الشكل 6–7** - فإن شرط الطول الموجي سيتحقق عند درجات سُمْك مختلفة للألوان المختلفة. والنتيجة هي تكوّن ألوان قوس المطر. وعندما يكون الغشاء رقيقًـــا جدًّا بحيث لا يُنتج تداخلًا بنّاءً لأيّ طول موجي من ألوان الضوء، يبدو الغشـــاء معتمًا. لاحظ تكرار الطيف في **الشـــكل 6b–7**؛ فعندما يكون سمك الغشاء $3\lambda / 4$ تكون مسافة الذهاب والإياب $3\lambda / 2$، ويحدث التداخل البنّاء مرة أخرى. وسيحقّق أي سمك للغشاء مساويًا لـ $\lambda / 4$ ، $3\lambda / 4$، $5\lambda / 4$، ... إلخ شروطَ التداخل البنّاء لطول موجيّ محدّد.

تطبيقـات التداخل في الأغشـية الرقيقة إن مثال غشـــاء المـــاء المحتوي على الصابون في الهواء يتضمن تداخلًا بنّاء مع انقـــلاب إحدى الموجتين عند الانعكاس. ففي المثال الذي اســـتُهِلَّ به الفصل حول فقاعات الصابون، كلما تغير سُـــمك غشاء محلول الفقاعات فإن الطول الموجـــي الذي يحدث له تداخل بنّاء يتغير. وهذا يؤدي إلى تكوّن طيف مُزاح للّون على سطح الغشـــاء الصابوني عندما يضاء بضوء أبيض. وفي أمثلة أخرى على التداخل في الأغشـــية الرقيقة يمكن أن تنقلب كلتا الموجتـــين أو لا ينقلب أيّ منهما. ويمكنك أن تحل أي مســـألة تتضمن تداخل الغشاء الرقيق، وذلك باستخدام اســـتراتيجيات حل المسألة أدناه. ويمكنك أن تضع حلًّا لأي مسألة تتضمن التداخل في الأغشية الرقيقة، باستخدام استراتيجيات حل المسألة أدناه.



■ **الشكل 7–7** لفراشة المورفو لون أزرق يتلألأ بألوان قوس المطر (**a**). استُخدم مجهر الكتروني لعرض المقطع العرضي لجزء من نتوءات جناحها الشبيه بالنتوءات البارزة (**b**)، وللنتوءات البارزة تركيب مشابه للدرج. ويمكن أن تتداخل الأزواج المتماثلة من الأشعة الضوئية المنعكسة عن نتوء مفرد والأشعة المنعكسة عن نتوءات متعدّدة (**c**).

ويحدث تداخل الغشـــاء الرقيق طبيعيًّا في جناحي فراشـــة المورفو، كما في **الشكل 7a–7**. فاللون الأزرق المتلألئ للفراشة هو نتيجة للنتوءات التي تبرز خارجة من القشور الداخلية لجناح الفراشة، كما في **الشـــكل 7b–7**؛ حيث ينعكس الضوء وينكسر خلال سلسلة من التراكيب التي تشبه الدرج، كما في **الشكل 7c–7**، مما يؤدي إلى تكوين نمط تداخل أزرق اللون؛ يؤدي بدوره إلى ظهور الفراشة كأنها تصدر وميضًا يمكن ملاحظته عند النظر إليها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

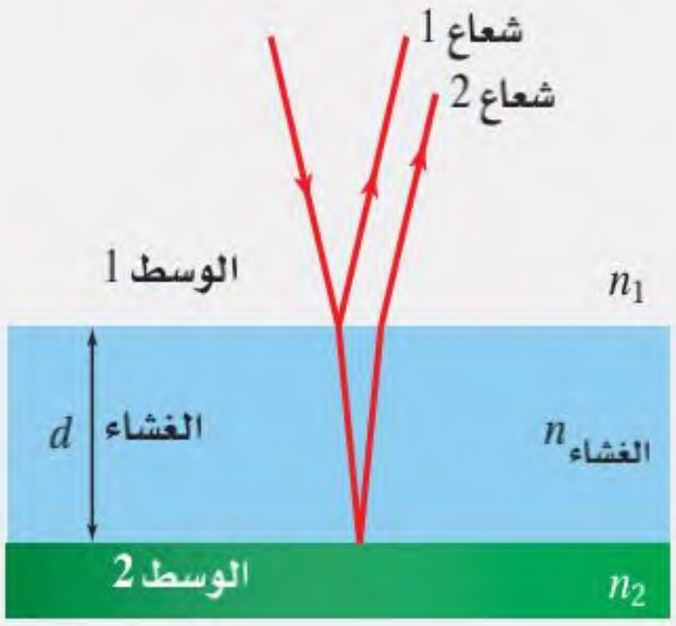
استراتيجيات حل المسألة

التداخل في الأغشية الرقيقة

عند حل المسائل المتعلقة بالتداخل في الأغشية الرقيقة كوّن المعادلة الخاصة بالمسألة، وذلك باستخدام الاستراتيجيات الآتية:

1. ارسم رسمًا توضيحيًّا للغشاء الرقيق وللموجتين المترابطتين. وللتسهيل ارسم الموجات على شكل أشعة.
2. اقرأ المسألة، وحدّد هل حدث تقوية أم إضعاف للضوء المنعكس؟ فإذا حدثت تقوية له تكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا بنّاء، أما إذا ضعف فتكون الموجات المنعكسة قد تداخلت تداخلًا هدّامًا.
3. هل تنقلب إحدى الموجتين أو كلتاهما عند الانعكاس؟ إذا تغيّر معامل الانكسار من قيمة أقل إلى قيمة أكبر تكون الموجة المنعكسة منقلبة، أما إذا تغير معامل الانكسار من قيمة أكبر إلى قيمة أقل فلن تنقلب الموجة المنعكسة.

انعكاس عن غشاء رقيق



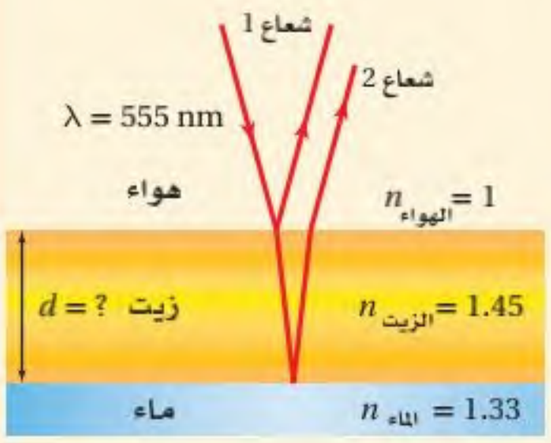
4. أوجد المسافة الإضافية التي يجب أن تقطعها الموجة الثانية في الغشاء الرقيق لتوليد التداخل المطلوب.
   a. إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت إحدى الموجتين مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت كلتاهما مقلوبة أو غير مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا فرديًّا من أنصاف الطول الموجي: $\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda_{\text{الغشاء}}$ حيث $m = 1, 2, 3\ldots$.
   b. إذا أردت تداخلاً بنّاءً وكانت كلتا الموجتين مقلوبة أو غير مقلوبة، أو أردت تداخلاً هدّامًا وكانت إحدى الموجتين مقلوبة فإن الفرق في المسافة يكون عددًا صحيحًا من الأطوال الموجية: $m\lambda_{\text{الغشاء}}$، حيث $m = 1, 2, 3,\ldots$.
5. حدّد المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع الثاني بحيث تساوي ضعف سمك الغشاء، $2d$.
6. تذكّر مما درسته سابقًا أن $n_{\text{الغشاء}} / \lambda_{\text{الفراغ}} = \lambda_{\text{الغشاء}}$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــــال 2

الزيت والماء لاحظت حلقات ملوّنة في بركة ماء صغيرة، واستنتجت أنه لا بدّ من وجود طبقة رقيقة من الزيت على سطح الماء. فنظرت مباشرة إلى أسفل نحو البركة، فشاهدت منطقة صفراء مخضرة (λ=555 nm). فإذا كان معامل الانكسار للزيت 1.45، وللماء 1.33، فما أقل سمك لطبقة الزيت تسبّب ظهور هذا اللون؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- مثّل الغشاء الرقيق والطبقتين؛ الطبقة التي فوقه والطبقة التي تحته.
- ارسم الأشعة مبيّنًا الانعكاس عن سطح الغشاء العلوي وعن سطحه السفلي.

المعلوم	المجهول
$n_{\text{الماء}} = 1.33$	$d = ?$
$n_{\text{الزيت}} = 1.45$	
$\lambda = 555\ \text{nm}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لأن $n_{\text{الهواء}} < n_{\text{الزيت}}$ فسيؤدي ذلك إلى اختلاف في الطور بمقدار 180° (انقلاب في الطور) في الانعكاس الأول، ولأن $n_{\text{الزيت}} > n_{\text{الماء}}$ فلن يحدث انقلاب في الطور في الانعكاس الثاني. لذا يحدث انقلاب موجي واحد فقط، ويكون الطول الموجي للضوء في الزيت أقل منه في الهواء.

طبّق استراتيجية حل المسائل لتكوين المعادلة:

$$2d = [m+\tfrac{1}{2}]\frac{\lambda}{n_{\text{الزيت}}}$$

ولأنك تريد أقل سمك، فإن $m=0$.

عوّض مستخدمًا $m = 0$

عوّض مستخدمًا $n_{\text{الزيت}} = 1.45$, $\lambda = 555\ \text{nm}$

$$d = \frac{\lambda}{4n_{\text{الزيت}}}$$
$$= \frac{555\ \text{nm}}{4\,(1.45)}$$
$$= 95.7\ \text{nm}$$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** إن الإجابة بوحدة nm، وهي صحيحة بالنسبة للسُّمْك.
- **هل الجواب منطقي؟** إن أقل سمك يكون أقل من طول موجي واحد، والذي يمثل ما يجب أن يكون.

مسائل تدريبية

3. ارجع إلى المثال 2، ثم أوجد أقل سُمْك ممكن للغشاء لتكوين حزمة ضوء منعكسة لونها أحمر ($\lambda = 635\ \text{nm}$).
4. وضع غشـــاء من فلوريد الماغنســيوم معامل انكســاره 1.38 على عدســة زجاجية مطلية بطبقة غير عاكسة معامل انكسارها 1.52. كم يجب أن يكون سمك الغشاء بحيث يمنع انعكاس الضوء الأصفر المخضر؟
5. ما أقل سُمْك لغشاء صابون معامل انكساره 1.33 ليتداخل عنده ضوء طوله الموجي 521 nm تداخلاً بنّاءً مع نفسه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

7–1 مراجعة

6. **سمك الغشاء** يمسك خالد بلعبة الفقاعات، وينفخ في غشاء الصابون المعلّق رأسيًّا في الهواء مكوّنًا فقاعات. ما العرض الثاني الأقل سمكًا لغشاء الصابون الذي يتوقع عنده رؤية شريط مضيء إذا كان الطول الموجي للضوء الذي يضيء الغشاء 575 nm؟ افترض أن معامل انكسار محلول الصابون 1.33.

7. **الأنماط المضيئة والمعتمة** تم تكوين شقين متقاربين جدًّا في قطعة كبيرة من الكرتون، وأضيء الشقّان بضوء أحمر أحادي اللون. وعند وضع ورقة بيضاء بعيدًا عن الشقّين شوهد نمط من الأهداب المضيئة والمعتمة على الورقة. صف كيف تسلك الموجة عندما تقابل شقًّا. وفسّر لماذا تظهر أهداب مضيئة وأخرى معتمة.

8. **أنماط التداخل** وضّح بالرسم النمط الذي وصِف في المسألة السابقة.

9. **أنماط التداخل** مثّل ما يحدث لنمط التداخل في المسألة 7 عند استخدام ضوء أزرق بدلًا من الضوء الأحمر.

10. **سمك الغشاء** غشاء بلاستيكي عاكس معامل انكساره 1.83، ثبّت على نافذة زجاجية، فإذا علمت أن معامل انكسار الزجاج 1.52:

a. فما أقل سُمك ينعكس عنده الضوء الأصفر المخضر؟

b. إذا علمت أن هذا الغشاء لا يمكن صناعته بهذا السُّمك، فما السُّمك الآتي الذي يحدث التأثير نفسه؟

11. **التفكير الناقد** تستخدم معادلة الطول الموجي المشتقة من تجربة يونج عندما تكون الزاوية θ صغيرة جدًّا، وعندها يكون $\sin\theta \approx \tan\theta$. إلى أيّ زاوية يبقى هذا التقريب جيدًا؟ وهل تزداد الزاوية العظمى للتقريب الجيد والصحيح أم تتناقص عندما تزيد دقة قياسك لها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

7–2 الحيود Diffraction

درست سابقًا أن مقدمات الموجات الضوئية المنتظمة تنحني حول حواف فتحة في حاجز في أثناء نفاذها خلال هذه الفتحة؛ أي يحدث لها حيود. وقد أمكن تفسير ذلك وفقًا لمبدأ هيجنز، الذي يبين أن النقاط جميعها على مقدمات الموجات تُمثِّل مصادر ضوئية نقطية، فإذا عبر الضوء المترابط حافتين متقاربتين يتكوّن **نمط حيود**؛ وهو نمط يتكوّن على شاشة نتيجة التداخل البنّاء والهدّام لمويجات هيجنز.

حيود الشق الأحادي Single-Slit Diffraction

عندما يمر الضوء الأزرق المترابط خلال شقّ صغير عرضه أكبر من الطول الموجي للضوء فإن الضوء يحيد عن كلتا الحافتين، وتتكوّن سلسلة من الأهداب المضيئة والمعتمة على شاشة بعيدة، كما في **الشكل 8–7**. وتلاحظ أنه بدلاً من تكوّن أنماط تفصلها مسافات متساوية كتلك التي تكوّنت من مصدرين ضوئيين مترابطين في تجربة يونج يتكوّن في هذه الحالة نمط عبارة عن هدب مركزي عريض ومضيء مع أهداب أقل سمكًا وأقل إضاءة على كلا الجانبين. ويزداد عرض الحزمة المركزية المضيئة عندما نستخدم الضوء الأحمر بدلاً من الضوء الأزرق، وعند استخدام الضوء الأبيض يكون النمط مزيجًا من أنماط ألوان الطيف جميعها.

ولملاحظة كيف تُنتج مويجات هيجنز نمط الحيود، تخيّل شقًّا عرضه w مُجزّأ إلى عدد زوجي من نقاط هيجنز، كما في **الشكل 9–7**، حيث تعمل كل نقطة من هذه النقاط بوصفها مصدرًا نقطيًّا لمويجات هيجنز. جزّئ الشقّ ذهنيا إلى جزأين متساويين، واختر مصدرًا واحدًا من كل جزء، على أن يفصل كل زوج مسافة w /2 عن الآخر. سيُنتج هذا الزوج من المصادر الموجات الأسطوانية المترابطة التي ستتداخل.

ويقابل كل مويجة هيجنز تتكوّن في النصف العلوي من الشقّ مويجة هيجنز أخرى تتكوّن في النصف السفلي منه، وتفصلهما مسافة w /2 ممّا يؤدي إلى تداخلهما تداخلاً هدّامًا وتكوين هدب معتم على الشاشة، وتتداخل كل الأزواج المماثلة من مويجات هيجنز تداخلاً هدّامًا

الأهداف

- **توضّح** كيف تتشكّل أنماط الحيود بواسطة محزوزات الحيود.
- **تصف** كيفية استخدام محزوزات الحيود في المطياف.
- **تناقش** كيف يحد الحيود من المقدرة على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا بواسطة عدسة.

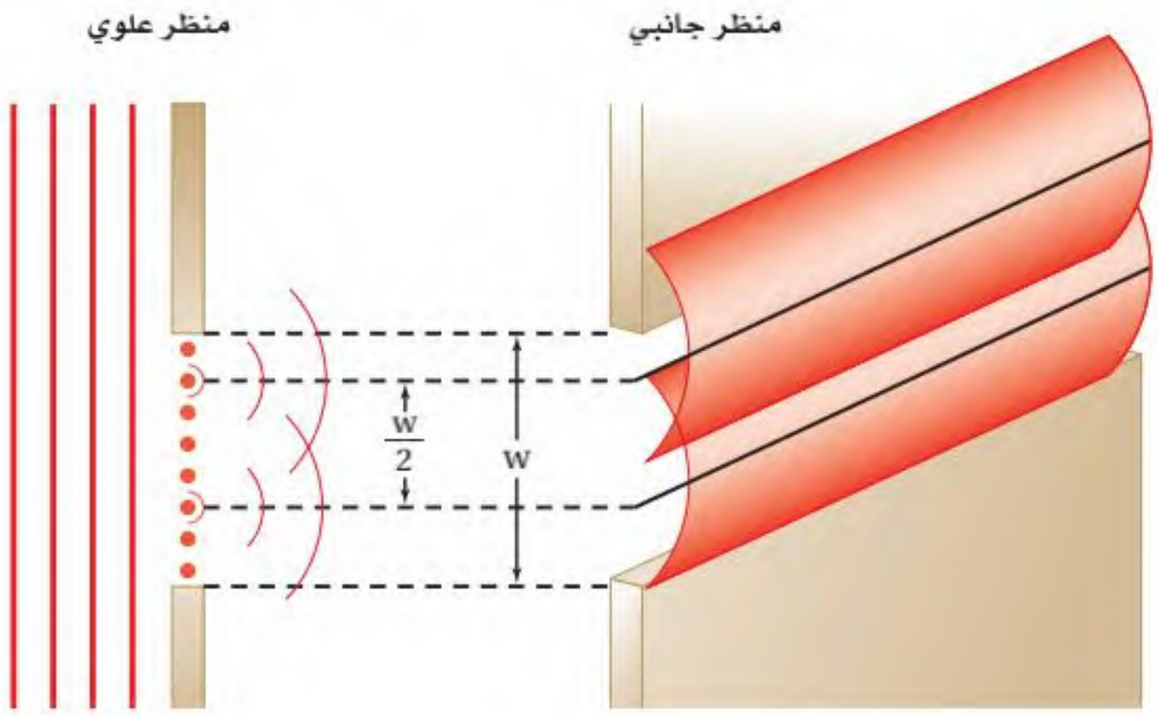
المفردات

نمط الحيود

محزوز الحيود

معيار ريليه

الشكل 8–7 لاحظ الهدب المركزي العريض والأهداب الضيّقة على كلا الجانبين. إن نمط حيود الشقّ المفرد للضوء الأحمر له هدب مركزي أكثر عرضًا من الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستخدم شقّ له الحجم نفسه لكلا اللونين.

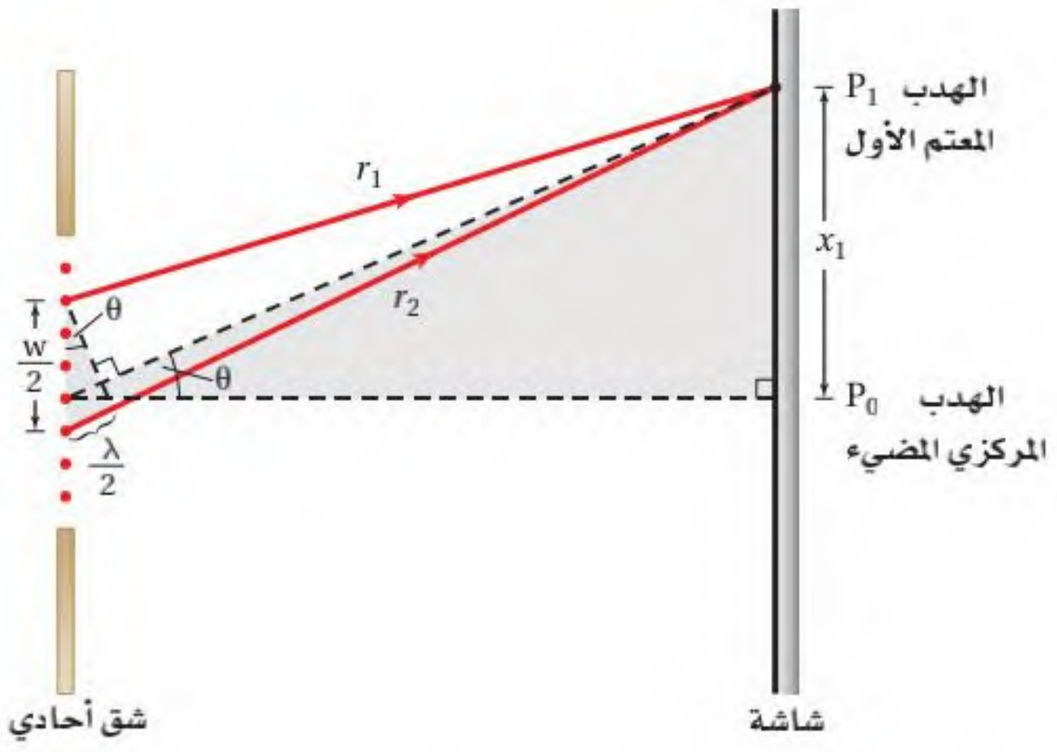


الشكل 9–7 شقّ عرضه W جُزّئ إلى أزواج من الخطوط التي تشكّل مويجات هيجنز، ويفصل بين كل زوج مسافة مقدارها W/2.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

عند الأهداب المعتمة. أما الأهداب المضيئة على الشاشة فهي نتيجة تداخل أزواج من مويجات هيجنز تداخلاً بنّاءً، في حين يحدث تداخل هدّام جزئيًّا في المنطقة ذات الإضاءة الخافتة التي تقع بين الأهداب المضيئة والمعتمة.

نمط الحيود عندما يُضاء الشقّ المفرد يظهر هدب مركزي مضيء عند الموقع P_0 على الشاشة، كما في **الشكل 10–7**. ويظهر الهدب المعتم الأول عند الموقع P_1، لأن طولي المسارين r_1 و r_2 لمويجتي هيجنز يختلف أحدهما عن الآخر بمقدار نصف طول موجي عند هذا الموقع، لذا ينتج هدب معتم نتيجة للتداخل الهدّام، وهذا النموذج مشابه رياضيًّا لتداخل الشق المزدوج. إن مقارنة نمط حيود الشقّ الأحادي بنمط تداخل الشقّ المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه، تُظهر أن جميع أهداب التداخل المضيئة لنمط تداخل الشقّ المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية المضيئة لنمط حيود الشقّ الأحادي؛ وذلك لأن تداخل الشقّ المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشقّ الأحادي للموجات الناتجة عن الشقّين.



■ **الشكل 10–7** يمثل هذا الرسم تحليلًا للهدب المعتم الأول. ويكون بعد الشقّ عن الشاشة L أكبر كثيرًا من عرضه w.

ويمكننا الآن تطوير معادلة لنمط الحيود الذي ينتج بواسطة شقّ أحادي باستخدام التبسيطين نفسيهما اللذين استخدمتهما في تداخل الشقّ المزدوج، بافتراض أن البعد عن الشاشة أكبر كثيرًا من w، والمسافة الفاصلة بين مصدري الموجتين المتداخلتين تساوي $w/2$. ولإيجاد المسافة المقيسة على الشاشة للحزمة المعتمة الأولى x_1 تلاحظ أن فرق المسار يساوي $\lambda/2$ بسبب حدوث تداخل هدّام عند الحزمة المعتمة، لذا فإن $x_1/L = \lambda/w$.

تلاحظ من **الشكل 10–7** أنه يصعب قياس المسافة من مركز الحزمة المركزية المضيئة إلى الحزمة المعتمة الأولى. والطريقة المثلى لحساب x_1 هي أن تقيس عرض الحزمة المركزية المضيئة $2x_1$. وتُعطي المعادلة الآتية عرض الحزمة المركزية المضيئة في حيود الشقّ الأحادي:

عرض الحزمة المضيئة في حيود الشق المفرد $2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$

عرض الحزمة المركزية المضيئة يساوي حاصل ضرب ضعف الطول الموجي في البعد عن الشاشة مقسومًا على عرض الشقّ.

وباختصار العدد 2 من طرفي المعادلة أعلاه تحصل على المسافة بين مركز الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول. ويمكن إيجاد موقع الأهداب المعتمة الأخرى عندما يكون الفرق في أطوال المسارات مساويًا لـ $3\lambda/2$، $5\lambda/2$ وهكذا، ويُعبَّر عنها بالمعادلة $x_m = m\lambda L/w$، حيث $m = 1, 2, 3 \ldots$، مع مراعاة أن تكون الزوايا صغيرة وفقًا للتبسيط الذي تم تناوله. وبتعويض قيمة $m=1$ في هذه المعادلة نُحدّد موقع الهدب المعتم ذي الرتبة الأولى، أمّا الهدب المعتم ذو الرتبة الثانية فيحدث عند $m=2$، وهكذا لسائر الأهداب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

12. يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.095 mm. إذا كان بُعد الشقّ عن الشاشة يساوي 75 cm، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

13. سقط ضوء أصفر على شقّ مفرد عرضه 0.0295 mm، فظهر نمط على شاشة تبعد عنه مسافة 60.0 cm. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 24.0 mm، فما الطول الموجي للضوء؟

14. سقط ضوء أبيض على شقّ مفرد عرضه 0.050 mm، فإذا وضعت شاشة على بُعد 1.00 m منه، ووضع طالب مرشّحًا أزرق- بنفسجيًّا ($\lambda = 441\ nm$) على الشقّ، ثم أزاله ووضع مرشّحًا أحمر ($\lambda = 622\ nm$)، ثم قاس الطالب عرض الهدب المركزي المضيء:

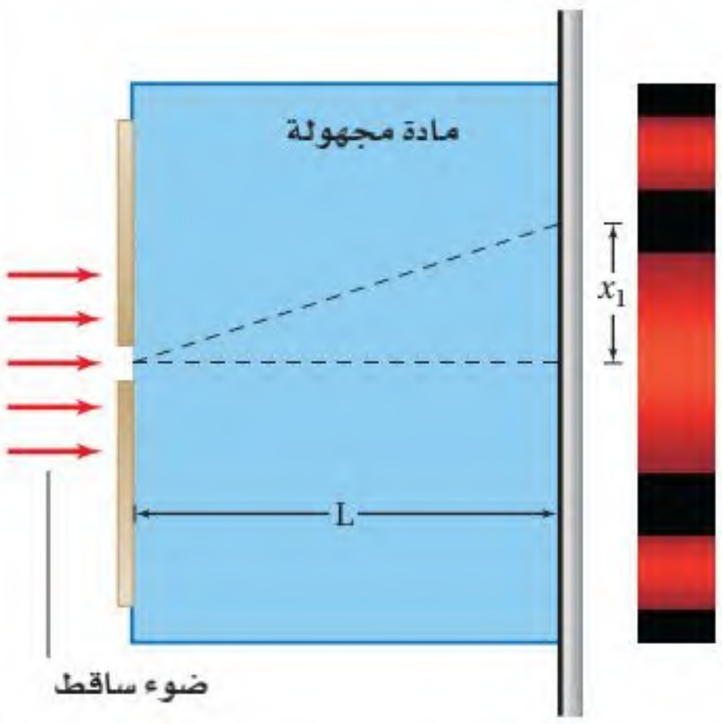
a. فأيّ المرشّحين ينتج هدبًا ضوئيًّا أكثر عرضًا؟

b. احسب عرض الهدب المركزي المضيء لكل من المرشّحين.

يُقدِّم حيود الشقّ الأحادي تصورًا واضحًا للطبيعة الموجية للضوء عندما يتراوح عرض الشقّ بين 10و 100 ضعف الطول الموجي للضوء. أما إذا كانت الفُتحات أكبر من ذلك فإنها تكوّن ظلالاً حادّة، وكان العالم إسحق نيوتن أول من لاحظ ذلك. وفي حين يعتمد نمط الشقّ الأحادي على الطول الموجي للضوء، فإن الحيود يزوّدنا بأداة فعّالة لقياس الطول الموجي للضوء فقط عند استخدام عدد كبير من الشقوق بعضها بجانب بعض.

مسألة تحفيز

لديك مجموعة من المواد غير المعروفة، وأردّت أن تتعرف أنواعها باستخدام أدوات حيود الشقّ المفرد، فقرّرت وضع عينة من المادة المجهولة في المنطقة بين الشقّ والشاشة، واستخدمت البيانات التي حصلت عليها لتحديد نوع كل مادة، وذلك بحساب معامل الانكسار. اعتمادًا على ذلك، أجب عما يأتي:



1. اكتب صيغة عامة لمعامل الانكسار لمادة مجهولة بدلالة الطول الموجي للضوء في الفراغ $\lambda_{\text{الفراغ}}$، وعرض الشق w، والمسافة بين الشقّ والشاشة L، والمسافة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المعتم الأول x_1.

2. إذا كان الطول الموجي لضوء المصدر الذي تستخدمه 634 nm، وعرض الشقّ 0.10 mm، والبعد بين الشقّ والشاشة 1.15 m، وغمرت الأدوات في الماء ($n_{\text{المادة}} = 1.33$) فكم تتوقع أن يكون عرض الهدب المركزي؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 11–7** تستخدم محزوزات الحيود لتكوين أنماط الحيود من أجل تحليل مصادر الضوء.

محزوزات الحيود Diffraction Gratings

درســت أن تداخل الشقّ المزدوج وحيود الشقّ المفرد يعتمدان على الطول الموجي للضوء المســتخدم، لذا فإنّنا بحاجة إلى قياسات دقيقة للطول للموجي. ومن أجل ذلك تُستخدم محزوزات الحيود الموضّحة في **الشــكل 11–7**. **ومحزوز الحيود** أداة مكوّنة من شقوق عدة مفردة تسبّب حيود الضوء، وتكوّن نمط حيود ناتجًا عن تراكُب أنماط ناتجة عن حيود شقّ مفرد. ويمكن أن يتكوّن محزوز الحيود من 10,000 شــقّ لكل سنتمتر. لذا فإن المسافة بين الشقوق تكون صغيرة جدًّا تصل إلى 10^{-6} m أو 1000 nm.

من أنواع محزوزات الحيود ما يُسمّى محزوز النفاذ. ويصنع هذا المحزوز بعمل خدوش على زجاج منفذ للضوء في صورة خطوط رفيعة جدًّا بواســطة رأس من الألماس؛ حيث تعمل الفراغات بين خطوط الخدوش كالشــقوق. والنوع الأقل تكلفة من محزوزات الحيود هو المحزوز طبق الأصل أو المحزوز الغشائي. ويُصنع هذا المحزوز بضغط صفيحة رقيقة من البلاستيك على محزوز زجاجي، وعندما تسحب صفيحة البلاستيك الرقيقة خارج المحزوز يتكوّن أثر على سطحها مماثل للمحزوز الزجاجي. وتُصنع المجوهرات أحيانًا على صورة محزوزات نفاذ تنتج أطيافًا ضوئية، كما هو موضح في **الشكل 12a–7**.

وهناك نوع آخر من محزوزات الحيود تُسمّى محزوزات الانعكاس. ويُصنع هذا النوع بواسطة حفر خطوط رفيعة جدًّا على سطوح طبقة معدنية أو زجاج عاكس. وطيف الألوان الناتج عندما ينعكس الضوء الأبيض عن سطح قرص مدمج CD أو DVD هو نتيجة لعمل هذا القرص عمل محــزوز انعكاس، كما هو موضح في **الشــكل 12b–7**. فإذا وجّهت ضوءًا أحاديَّ اللون إلى DVD فسيُكوّن الضوء المنعكس نمط حيود على شاشة. وتُنتج محزوزات النفــاذ ومحزوزات الانعكاس أنماطَ حيود متشــابهة يُمكن تحليلها بالطريقة نفســها. يبين **الشكل 13–7** إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

■ **الشــكل 12–7** جوهرة مصنوعة في صورة محزوز نفاذ تُنتج أطيافًا ضوئية (**a**). تُعدّ الأقراص المدمجة محزوزات انعكاس؛ إذ تكوّن نمط طيف الحيود عندما يسقط عليها ضوء أبيض (**b**).

■ **الشــكل 13–7** خط زمني يبين إسهامات بعض العلماء في تطور علم البصريات.

القرن التاسع الميلادي

القــرن التاســع (م) يعقــوب بن إســحاق الكندي أحــد العلماء المســلمين، فسّر اختلاف أطوال الظلال للأجســام، والانعكاس في المرايا، وبيّن أن الضوء يسير في خطوط مستقيمة.

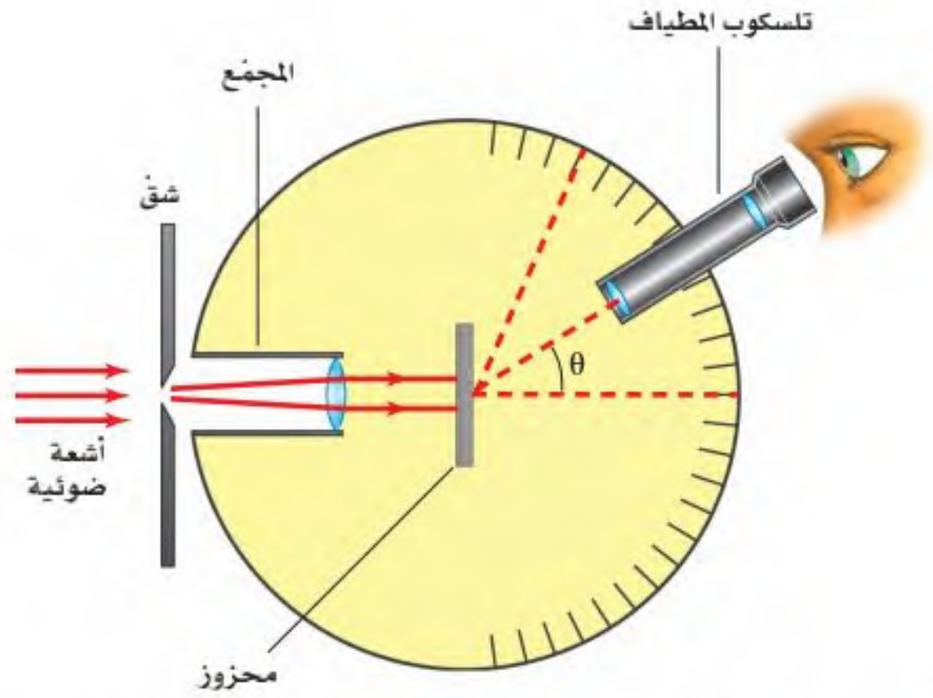
القرن العاشر

القــرن العاشــر (م) ابــن ســهل أحــد العلماء المسلمين، وضَع أول قانون للانكسار واستخدمه لاســتخلاص أشــكال العدســات التي تعمل عــلى تركيز الضوء. وهــو أول من وصف قانون الانكسار وصفًا صحيحًا.

القرن الحادي عشر

القــرن الحادي عشــر (م) ابن الهيثم أحد العلماء المسلمين، أوجد علــم البصريــات معتمدًا عــلى التجربة والبرهــان، كما ولدت على يديه نظريــة الورود (الانعكاس)، وفســّر كيفية رؤية العين للأجســام، ودرس العين البشرية وعرّف أجزاءها، وأعطى كل جزء الاسم الخاص به.

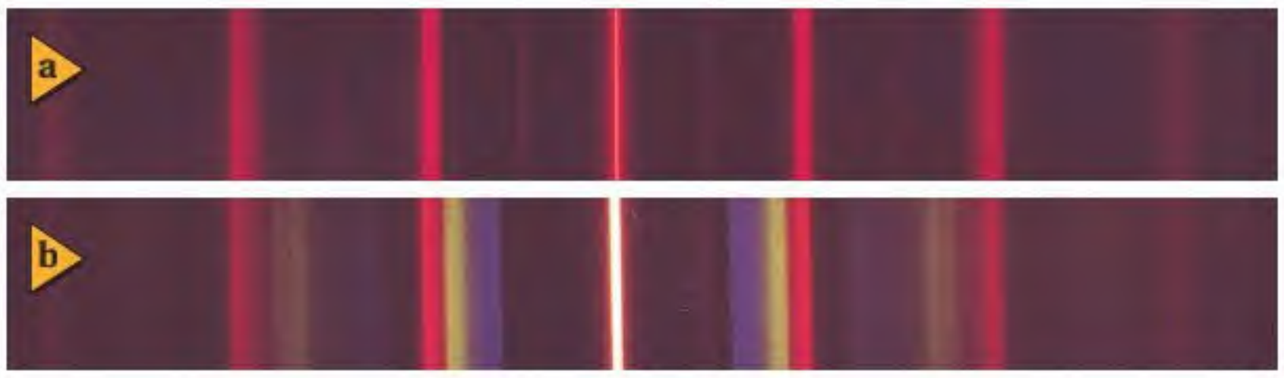
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 14–7** يستخدم المطياف لقياس الأطوال الموجية للضوء المنبعث من مصدر ضوئي.

قياس الطول الموجي الجهاز الـذي تُقاس به الأطوال الموجية للضوء باسـتخدام محزوز الحيود يُسمّى المطيافَ، كما هو موضح في **الشكل 14–7**. حيث يبعث المصدر المراد تحليله ضوءًا يوجّه نحو شـقّ، وينفذ الضوء عبر الشقّ ليسقط على محزوز الحيود، فيُنتج المحزوز نمط حيود يمكن مشاهدته بتلسكوب المطياف.

ويكون نمط الحيود المتكوّن بوساطة محزوز حيود عبارة عن أهداب مضيئة ضيّقة تفصلها مسـافات متساوية، كما في **الشـكل 15–7**. وكلّما زاد عدد الشقوق لكل وحدة طول من المحزوز تكوّنت أهداب أكثر ضِيقًا في نمط الحيود. لذا يمكن قياس المسـافة بين الأهداب المضيئة باستخدام المطياف بدقة أكبر، مقارنة باستخدام الشقّ المزدوج.



■ **الشكل 15–7** استُخدم محزوز لإنتاج أنماط الحيود للضوء الأحمر (**a**) وللضوء الأبيض (**b**).

القرن السابع عشر (م) رينيه ديكارت وضَع بعض النظريـات البصرية التي فسّرت مجموعـة من الظواهر البصرية مثل الانعكاس والانكسار.

القرن السابع عشر (م) سنل وضع قانون الانكسار.

القرن الثامن عشر (م) إسحاق نيوتن وصَفَ الضوء بأنه انبعاث جسـيمات، واكتشـف أنه مكون من سـبعة ألوان سـمّاها الطيف المرئي. وأن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

القرن التاسع عشر (م) ماكسويل استنتج أن الضوء موجات كهرومغناطيسية.

القرن السابع عشر (م) كريستيان هيجنز وضع أساسًا لبنـاء النظرية الموجية للضـوء، وطـوَّر نظرية تقول إن الضوء ينتقل على شـكل موجـات، وفسّر ظواهر الحيود والتداخل وغيرها. وبيّن أن كل نقطة على صدر (مقدمة) الموجة تصبح مصدرًا لموجة أخرى.

القرن الثامن عشر

القرن التاسع عشر (م) تومـاس يونج بداية توصّل إلى دليل مقنع للطبيعة الموجية للضوء، واسـتطاع قياس الأطوال الموجية للضـوء المرئـي. وهو صاحـب التجربة الشهيرة لتداخل الشقّ المزدوج.

القرن التاسع عشر

القرن العشرون (م) بـور أعطـى أول تفسـير منطقـي صحيـح لآلية (ميكانيكيـة) انبعـاث الضـوء من الذرات، وفسّر الظاهرة الكهروضوئية.

القرن العشرين

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

درســت سابقًا في هذا الفصل أنه يمكن اســتخدام نمط التداخل الناتج بواسطة شــقّ مزدوج لحساب الطول الموجي للضوء المســتخدم. ويمكن الحصول على معادلة محزوز الحيود بالطريقة نفسها التي اتبعت للحصول على معادلة الشقّ المزدوج. ولكن الزاويــة θ في محزوز الحيود تكون كبيرة؛ لذا لا يُطبّق التبســيط الخاص بالزاوية الصغــيرة. ويمكن إيجاد الطول الموجي بقياس الزاوية θ بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى.

الطول الموجي من محزوز الحيود $\lambda = d \sin \theta$

الطول الموجي للضوء يساوي المسافة الفاصلة بين الشقوق مضروبة في جيب الزاوية التي يتكوّن عندها الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى.

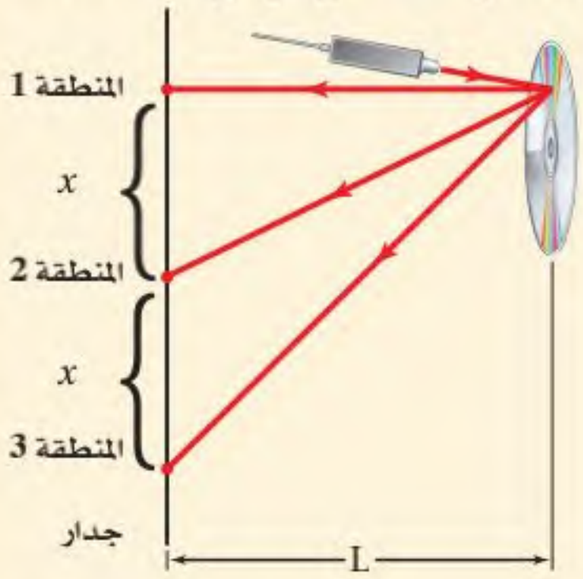
ويحــدث التداخل البنّاء بوســاطة محزوز الحيود عند زوايا عــلى جانبي الهدب المركزي المضيء، ويعبَّر عنــه من خلال المعادلة $m\lambda = d \sin \theta$، حيث $m = 0,1,2\ldots$، ويحدث الهدب المضيء المركزي عند $m=0$.

مثـــال 3

استخدام قرص DVD بوصفه محزوز حيود أسقط طالب شعاعًا ضوئيًّا من مصدر ضوئي أخضر اللون على قرص DVD، ولاحظ انعكاس ثلاث مناطق مضيئة على جدار يبعد عن القرص 1.25 m. فإذا كان الطول الموجي لضوء المصدر 532 nm، ووجد الطالب أن الفراغات بين هذه المناطق 1.29 m، فما مقدار التباعد بين الفراغات على قرص الـ DVD؟

1 تحليل المسألة ورسمها

• مثّل التجربة، مبيّنًا المناطق المضيئة على الجدار، وقرص الـ DVD بوصفه محزوزًا.



المعلوم	المجهول
$\lambda = 532\ \text{nm}$، $L = 1.25\ \text{m}$، $x = 1.29\ \text{m}$	$d = ?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

أوجد الزاوية المحصورة بين المنطقة المركزية المضيئة ومنطقة أخرى تليها مستخدمًا $\tan \theta = x/L$

$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{x}{L}\right)$

عوّض مستخدمًا $L = 1.25\ \text{m}$، $x = 1.29\ \text{m}$

$= \tan^{-1}\left(\frac{1.29\ \text{m}}{1.25\ \text{m}}\right) = 45.9°$

استخدم الطول الموجي للضوء الساقط على محزوز الحيود، وحلّ المسألة بالنسبة للمتغير d.

$\lambda = d \sin \theta$

عوّض مستخدمًا $\lambda = 532 \times 10^{-9}\ \text{m}$، $\theta = 45.9°$

$d = \frac{\lambda}{\sin \theta} = \frac{532 \times 10^{-9}\ \text{m}}{\sin 45.9°}$

$= 7.41 \times 10^{-7}\ \text{m}$

3 تقويم الجواب

• **هل الوحدات صحيحة؟** الإجابة بوحدة m، وهي وحدة صحيحة للمسافة الفاصلة.

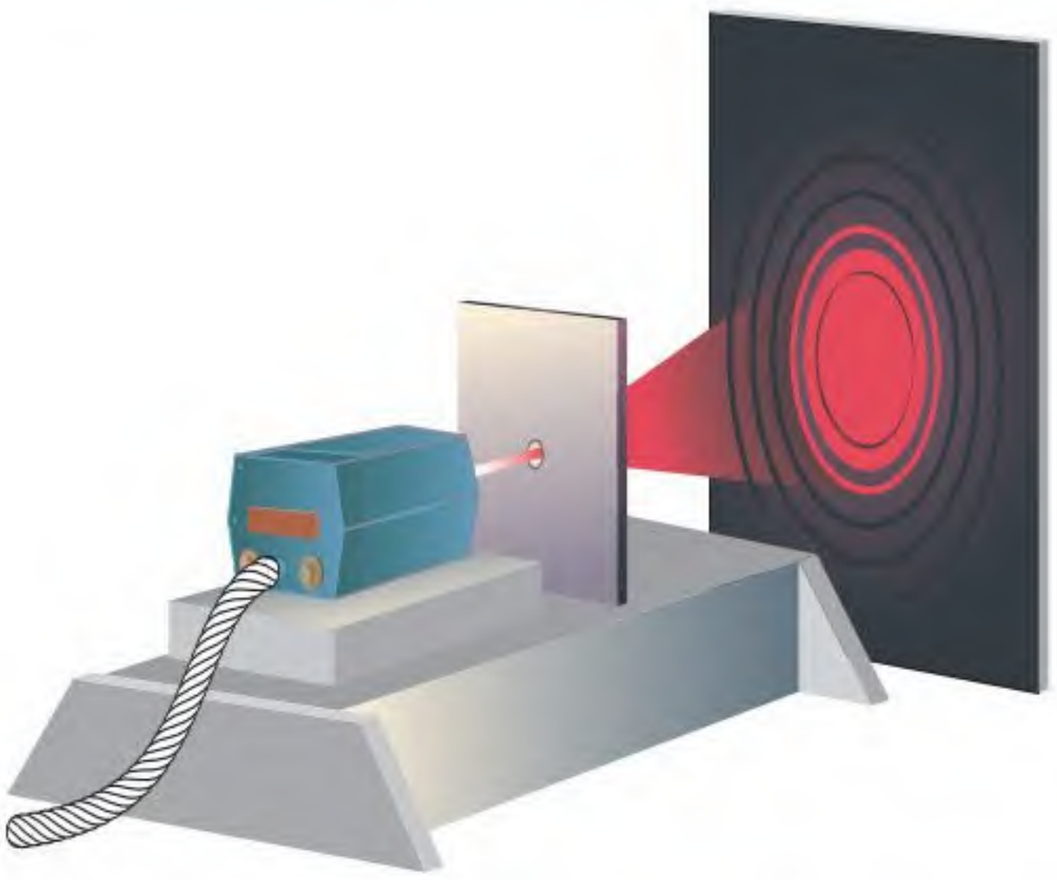
• **هل الجواب منطقي؟** عندما يكون لـ x و L المقدار نفسه تكون قيمة d قريبة من قيمة λ.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

15. يسقط ضوء أبيض من خلال محزوز على شاشة. صف النمط المتكوّن.
16. يسقط ضوء أزرق طوله الموجي 434 nm على محزوز حيود، فتكوّنت أهداب على شاشة على بعد 1.05 m. إذا كانت الفراغات بين هذه الأهداب 0.55 m، فما المسافة الفاصلة بين الشقوق في محزوز الحيود؟
17. يُضاء محزوز حيود تفصل بين شـقوقه مسافة 8.60×10^{-7} m بضوء بنفسجي طوله الموجي 421 nm. فإذا كان البعد بين الشاشة والمحزوز 80.0 cm، فما مقدار المسافات الفاصلة بين الأهداب في نمط الحيود؟
18. يسـقط ضوء أزرق على قرص DVD في المثال 3، فإذا كانت المسـافات الفاصلة بين النقاط المتكوّنة على جدار يبعد 0.65 m تساوي 58.0 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟
19. يمر ضوء طوله الموجي 632 nm خلال محزوز حيود، ويكوّن نمطًا على شاشـة تبعد عن المحزوز مسـافة 0.55 m. فإذا كان الهدب المضيء الأول يبعد 5.6 cm عن الهدب المركزي المضيء، فما عدد الشقوق لكل سنتمتر في المحزوز؟

يمكن رؤية نمط التداخل في الأغشية الرقيقة ضمن زاوية نظر صغيرة، عند النظر رأسـيًّا من فوق الغشاء. وكذلك الحال بالنسبة لفراشة المورفو الزرقاء، ذات نمط التداخل المتلألئ، فلو لم تكن طبقة القشور الداخلية التي تشبه طبقة الزجاج موجودة لما حدث هـذا التداخل، ولما بدت هذه الفراشة بهذا اللون؛ إذ تعمل طبقة القشور الداخلية عمل محزوز الحيود، وتسبِّب انتشار نمط تداخل الضوء الأزرق المتلألئ لينتج نمط حيود بزاوية نظر أوسع. ويعتقد العلماء أن ذلك يجعل فراشة المورفو أكثر وضوحًا لجذب شريك التزاوج.



الشكل 16–7 نمط الحيود لثقب دائري ينتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

قوة التمييز للعدسات Resolving Power of lenses

تعمل العدسـة المسـتديرة في المنظار الفلكي والمجهر - وحتى في عينك - عمل ثقب أو فتحة تسمح للضوء بالمرور من خلالها. وتسبب الفتحة حيود الضوء تمامًا كما يفعل الشقّ الأحادي، وتنتج حلقات مضيئة ومعتمة متعاقبة بواسطتها، كما في **الشكل 16–7**. وتكون معادلة الفتحة مماثلة لمعادلة الشقّ المفرد، إلا أن للفتحة حافة دائرية بدلًا من حافتي الشقّ. لذا يُعوَّض قطر الفتحة D بدلًا من عرض الشـقّ w، بالإضافة إلى معامل هندسي إضافي مقداره 1.22 يتم إدخاله ضمن المعادلة لتصبح على الشكل الآتي: $x_1 = 1.22\ \lambda L / D$.

عندما يُرى الضوء المنبعث من نجم بعيد بواسـطة فتحة المنظار الفلكي فإن الصورة تنتشر بسبب الحيود. وإذا كان هناك نجمان قريبان جدًّا أحدهما إلى الآخر فإن صورتيهما تتداخلان

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

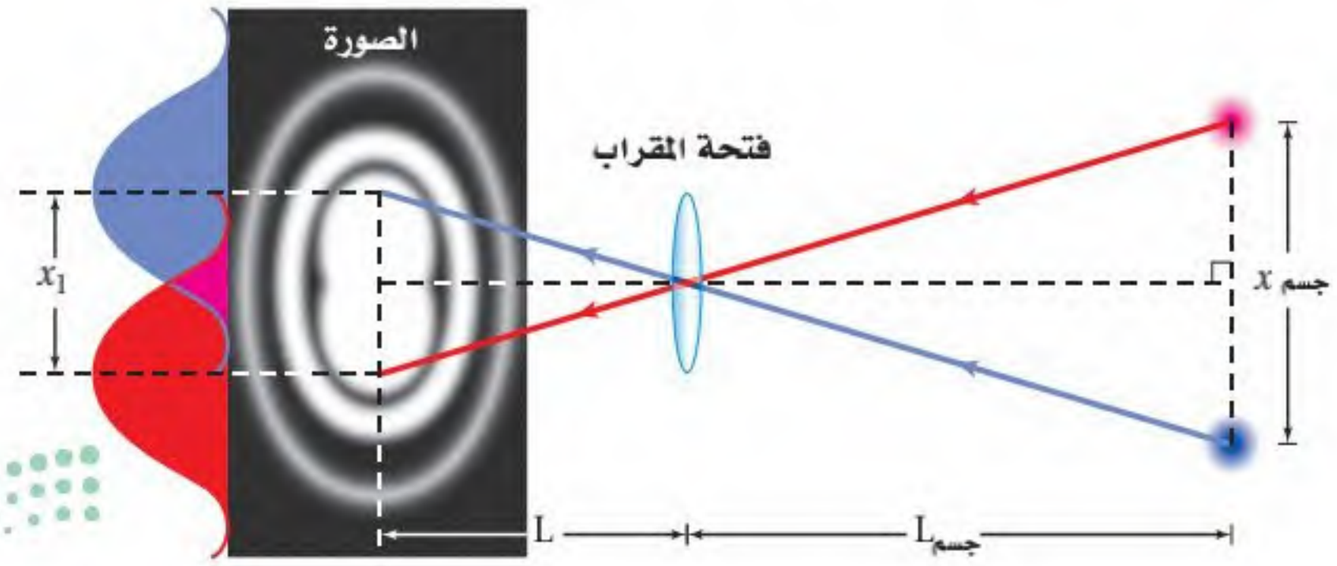
معًا، كما في **الشكل 17–7**. وفي عام 1879 وضع الفيزيائي والرياضي البريطاني لورد ريليه، الحائز على جائزة نوبل، معيارًا لتحديد ما إذا كان هناك نجم أو نجمان في مثل هذه الصورة. وينص **معيار ريليه** على أنه إذا سقط مركز البقعة المضيئة لصورة أحد النجمين على الحلقة المعتمة الأولى للنجم الثاني فإن الصورتين تكونان عند حدّ الفصل أو التمييز؛ أي يكون المُشاهد قادرًا على تحديد وجود نجمين بدلاً من نجم واحد فقط.

إذا كانت الصورتان عند حدّ التمييز فكم يبعد الجسمان أحدهما عن الآخر؟ يبعد مركزا البقعتين المضيئتين للصورتين أحدهما عن الآخر مسافة x_1، وذلك باستخدام معيار ريليه. ويوضح **الشكل 17–7** أنه يمكن استخدام تشابه المثلثات لإيجاد أن $x_1 / L = x_{\text{الجسم}} / L_{\text{الجسم}}$. وبتعويض قيمة x_1 من المعادلة $x_1 = 1.22\lambda L / D$ في المعادلة السابقة لحذف المقدار x_1 / L، ثم إعادة ترتيب حدود المعادلة للحصول على المسافة التي تفصل بين الجسمين $x_{\text{الجسم}}$، يمكن التوصل إلى المعادلة الآتية:

معيار ريليه $$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

المسافة الفاصلة بين جسمين عندما يكونان عند حد التمييز تساوي 1.22 مضروبًا في الطول الموجي للضوء والمسافة من الفتحة المستديرة إلى الجسمين مقسومًا على قطر الفتحة المستديرة.

الحيود في العين البشرية عندما يكون الضوء ساطعًا يكون قطر بؤبؤ العين 3 mm تقريبًا. وحساسيّة العين البشرية كبيرة للون الأصفر- المخضر؛ حيث الطول الموجي يساوي 550 nm. وبتطبيق معيار ريليه على العين يُعطي $x_{\text{الجسم}} = 2 \times 10^{-4} L_{\text{الجسم}}$. وحيث إن المسافة بين البؤبؤ والشبكية 2 cm تقريبًا، فإنه من الصعب التمييز بين مصدرين نقطيين عندما تفصل بينهما مسافة مقدارها 4 µm على شبكية العين. والمسافة الفاصلة بين كاشفين ضوئيين داخل العين - وهي المخاريط التي تقع في أكثر أجزاء العين حساسية للضوء - تساوي 2 µm تقريبًا. لذا تُسجّل المخاريط الثلاثة المتجاورة في الحالة المثالية ضوءًا، وعتمة، وضوءًا، وعندئذٍ تبدو العين مثالية التركيب. وإذا كانت المخاريط متقاربة جدًّا فإنها سترى تفاصيل نمط الحيود لا المصادر. أما إذا كانت المخاريط متباعدة فلن يكون باستطاعتها تمييز التفاصيل الممكنة كلها.



■ **الشكل 17–7** تسمح لك هندسة المثلثات المتماثلة بحساب المسافة الفعلية التي تفصل بين جسمين. تم استخدام اللونين الأزرق والأحمر فقط بغرض التوضيح. (التوضيح ليس بمقياس رسم).

الربط مع الفلك

تجربة

شاشات عرض الشبكة

هل تعلم أنك تستطيع اتخاذ شبكية عينك شاشة؟ **تحذير: لا تنفذ الخطوات الآتية مستخدمًا أشعة الليزر أو ضوء الشمس.**

1. صل مصباحًا متوهجًا له فتيل مستقيم بمصدر طاقة، ثم أشعله، وقف على بُعد 2 m من المصباح.
2. أمسك بمحزوز حيود، وضعه أمام عينك على أن يكون طيف الألوان المتكوّن أفقيًا.
3. **لاحظ** أنماط ألوان الأطياف المتكونة، وسجّل ملاحظاتك مستخدمًا أقلامًا ملوّنة.

التحليل والاستنتاج

4. ما اللون الأقرب إلى الهدب المركزي المضيء (ضوء الفتيل)؟ وما اللون الأبعد؟
5. ما عدد الأطياف التي يمكنك رؤيتها على كل جانب للضوء؟
6. **فسّر البيانات** هل بياناتك متطابقة مع معادلة الطول الموجي من محزوز الحيود؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إن تطبيق معيار ريليه لإيجاد قدرة العـــين على التمييز بين مصدرين متباعدين يدل على أن العـــين لديها القدرة على التمييز بين الضوئين الأماميين لمركبة (المســـافة بينهما 1.5 m) من بُعـــد 7 km. وعمليًّا، لا يحـــدّ الحيود من عمل العين؛ إذ يؤدي الســـائل الذي يملأ العين والعيوب في العدســـة إلى التقليل من قدرة التمييز للعين بمقدار خمس مرات، وفق معيار ريليه. ويســـتخدم معظم الناس أعينهم لأغراض غير التمييز بين المصادر النقطية، فمثلاً يبدو أن للعين قدرة ذاتية للكشف عن الحواف المستقيمة.

ويعلـــن بعض صانعي أجهزة المنظار الفلكي أن أجهزتهـــم محدودة الحيود؛ أي يدّعون أن لأجهزتهـــم القدرة على التمييز بـــين مصدرين نقطيين عند حدّ معيـــار ريليه. وللوصول إلى هذا الحدّ يتعين عليهم صقل المرايا والعدســـات بدقـــة تصل إلى عُشر (1/ 10) الطول الموجـــي أو 55 nm تقريبًا. وكلما كبر قطـــر المرآة زادت قدرة التمييـــز للمنظار الفلكي. إلّا أن الضـــوء المنبعث مـــن الكواكب أو النجـــوم يجب أن يمر خـــلال الغلاف الجوي للأرض، حيث تؤدي التغيرات نفسها التي تحدث في الغلاف الجوي والتي تجعل النجوم تتلألأ إلى عدم وصول المنظار الفلكي إلى حد الحيود. وتعد قدرة تمييز ودقة صور تلسكوب هابل الفضائي أفضل كثيرًا من التلسكوبات الكبرى الموجودة على سطح الأرض؛ وذلك بسبب وجوده فوق الغلاف الجوي للأرض.

2–7 مراجعة

20. **المسافة بين الأهداب المعتمة ذات الرتبة الأولى** يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طـــول موجته 546 nm على شقّ مفرد عرضه 0.080 mm. ويقع الشـــقّ على بُعد 68.0 cm من شاشـــة. ما المســـافة الفاصلة بين الهدب المعتـــم الأول على أحد جانبي الهدب المركزي المضيء والهـــدب المعتم الأول على الجانب الآخر؟

21. **معيـار ريليـه** نجم الشِّـــعرى اليمانية (ســـيريوس) أكثر النجوم ســـطوعًا في الســـماء في فصل الشتاء في نصف الكرة الأرضية الشـــمالي. ونجم الشعِّرى-في الحقيقـــة- نظام مكوّن من نجمين يـــدور كل منهما حول الآخر فإذا وجّه تلسكوب هابل الفضائي (قطر فتحتـــه 2.4 m) نحو هذا النظـــام الذي يبعد 8.44 ســـنوات ضوئية عن الأرض، فما أقل مسافة فاصلة بـــين النجمين تلزمنـــا للتمييـــز بينهما باســـتخدام التلسكوب؟ (افترض أن متوســـط الطول الموجي للضوء القادم من النجمين يساوي 550 nm)

22. **التفكير الناقد** شـــاهدت جهاز مطياف، إلا أنك لا تعلم ما إذا كان الطيف الناتج عنه باستخدام منشور أو محـــزوز. كيف تعرف ذلك من خـــلال النظر إلى طيف الضوء الأبيض؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

تداخل الضوء بواسطة الشق المزدوج Double-Slit Interference of Light

يسلك الضوء أحيانًا سلوك الموجة؛ فعندما يسقط ضوء مترابط على شقّين قريبين جدًّا أحدهما إلى الآخر يكوّن الضوء النافذ خلال الشقّين نمطًا من التداخل البنّاء والتداخل الهدّام على شاشة. وفي هذا الاستقصاء ستطوّر إجراءات وخطوات قياس الطول الموجي لمصدر ضوء أحادي اللون باستخدام شقّين.

سؤال التجربة

كيف يمكن استخدام نمط تداخل الشقّ المزدوج في قياس الطول الموجي للضوء الأحادي؟

الأهداف

- **تلاحظ** نمط التداخل للشق المزدوج لضوء أحادي اللون.
- **تحسب** الطول الموجي للضوء مستخدمًا نمط التداخل للشق المزدوج.

احتياطات السلامة

- **استخدم واقي العين من أشعة الليزر.**
- **لا تنظر مباشرة إلى ضوء الليزر.**

المواد والأدوات

مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر لاختباره

شقّ مزدوج

مؤشر ليزر أو مصدر لأشعة الليزر معلوم الطول الموجي

مشبك غسيل لحمل مؤشر الليزر

كرة صلصال لتثبيت لوحة الشقّ المزدوج

مسطرة مترية

الخطوات

1. حدّد المعادلة التي تطبّق على تداخل الشقّ المزدوج.
2. استخدم شقًّا مزدوجًا على أن تكون المسافة الفاصلة بين الشقّين معلومة d، أو طوِّر طريقة لتحديد d.
3. وضّح بالرسم التخطيطي كيف ينفذ الضوء خلال شقّ مزدوج؛ لكي يساعدك ذلك على تحديد كيفية قياس كل من x و L.
4. استخدم الرسم من الخطوة 3 وقائمة المواد والأدوات المذكورة في هذه التجربة، ثم صمّم التجربة، وسجّل خطوات تنفيذها.
5. حدّد قيم m غير الصحيحة بالنسبة للمعادلة.
6. **تحذير: النظر مباشرة إلى أشعة الليزر يلحق الأذى بعينيك.**
7. تأكد من أن معلمك قد تفحّص تجربتك، كما يتعين عليك الحصول على موافقته قبل بدء تنفيذ التصميم.
8. نفّذ تجربتك، وسجّل بياناتك في جدول بيانات مماثل للجدول الموجود في الصفحة الآتية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات						
المصدر	اللون	λ المقبولة (m)	d (m)	m	x (m)	L (m)
				1		
				2		
				3		
				4		
				5		

التحليل

1. اضبط المسافة بين الشقّين والشاشة. هل توجد مسافة معينة تسمح لك بجمع معظم البيانات بدقة كبيرة؟
2. احسب الطول الموجي λ لمصدر الضوء مستخدمًا m وقياسات كل من x وd وL.
3. **تحليل الخطأ** قارن بين الطول الموجي الذي حسبته والقيمة المقبولة، وذلك بحساب النسبة المئوية للخطأ.

الاستنتاج والتطبيق

1. **استخلص** هل مكّنتك الخطوات التي نفّذتها من استخدام نمط التداخل للشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي للضوء؟ وضّح إجابتك.
2. **قدّر** ما النتائج التي ستحصل عليها إذا استخدمت لوحة تكون فيها المسافة الفاصلة d بين الشقّين أقل، مقارنة بالحالة الأولى، وأجريت التجربة مرة أخرى وبالطريقة نفسها تمامًا؟
3. **استنتج** ما التغيرات التي تطرأ على ملاحظاتك إذا استخدمت ضوءًا أخضر، وكانت لوحة الشقّ المزدوج هي نفسها التي استخدمتها سابقًا، والمسافة بين الشقّين والشاشة هي نفسها كذلك؟

التوسع في البحث

1. **استخدام التفسير العلمي** صف لماذا يخفت نمط التداخل للشقّ المزدوج، ثم يسطع، ثم يخفت، كلما ازداد البعد عن مركز النمط؟
2. **تحليل الخطأ** صف بعض الأمور التي يمكنك تنفيذها في المستقبل لتقليل الخطأ المنهجي في تجربتك.
3. **قوّم** افحص أداة القياس التي استخدمتها، وحدّد أيّ الأدوات قلّلَت من دقة حساباتك؟ وأيّها حقّقت لك دقة أكبر؟
4. **تقنيات المختبر** كيف يمكنك أن تعدّل في إعدادات التجربة لكي تستخدم ضوءًا أبيض من مصباح كهربائي عادي لتوليد نمط تداخل الشقّ المزدوج؟

الفيزياء في الحياة

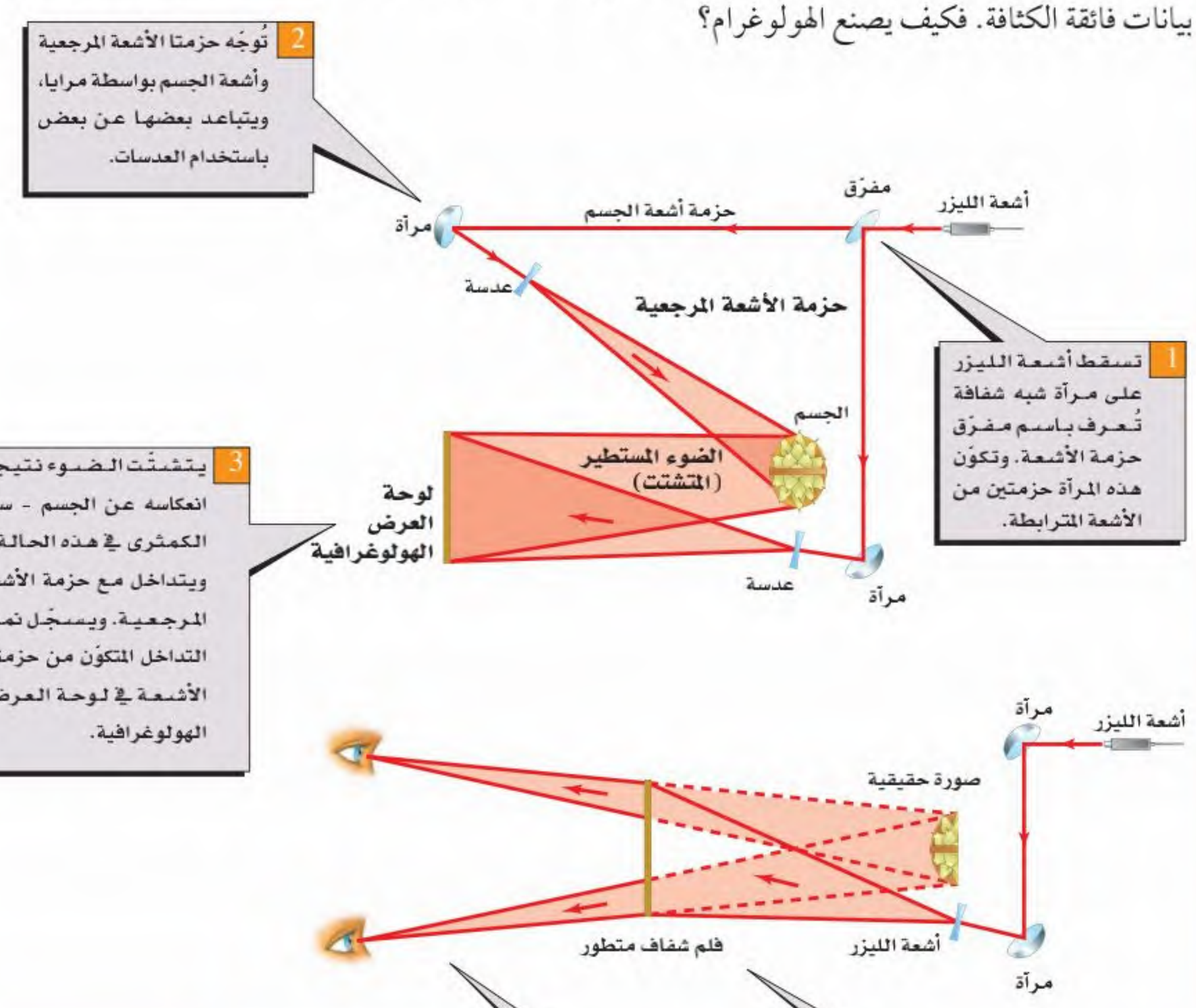
1. إذا سقط ضوء أبيض على شقوق باب شبكي يمنع دخول الحشرات فلماذا لا يُرى نمط تداخل في ظل الباب على الجدار؟
2. إذا كان جميع الضوء الذي ينير العالم مترابطًا، فهل ستبدو الأشياء مختلفة؟ وضح ذلك.

كيف يعمل

الهولوغرافي؟

How it works Holography

يُعدّ الهولوغرافي أحد أشـكال التصوير الفوتوغرافي الذي يعطي صورة ثلاثية الأبعاد. لقد صنع دينس جابور أول جهاز هولوغرام عام 1947، وبقي التصوير الهولوغرافي غير عملي إلى أن اختُرع ليزر الغاز عام 1960. ويسـتخدم الهولوغرام في بطاقات الاعتماد البنكية للمساعدة على منع عمليات التزييف، ويمكن أن يستخدم مستقبلاً في تخزين بيانات فائقة الكثافة. فكيف يصنع الهولوغرام؟



التفكير الناقد

1. **استنتج** يُسـجّل الهولوغـرام نمطًا معقّـدًا لأهداب التداخل البنّـاء والتداخل الهدّام. فلـماذا تفترض أن الحصول على نتائج جيدة يتطلب سطح اهتزاز معزولًا؟
2. **استخدام التوضيح العلمي** حدّد أين تحدث الخصائص الموجية الآتية في الرسوم البيانيّة ووضّحها: الانعكاس، والانكسار، والتداخل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 7

دليل مراجعة الفصل

7-1 التداخل Interference

المفردات

- الضوء غير المترابط
- الضوء المترابط
- أهداب التداخل
- الضوء الأحادي اللون
- التداخل في الأغشية الرقيقة

المفاهيم الرئيسة

- يضيء الضوء غير المترابط الجسم بالتساوي، كما يضيء المصباح الكهربائي سطح مكتبك.
- ينتج نمط التداخل من تراكُب موجات ضوئية ناتجة عن مصادر ضوئية مترابطة فقط.
- يبرهن التداخل أن للضوء خصائص موجيّة.
- يُنتج الضوء المار خلال شـقّين ضيقين متقاربين نمطًا من أهداب معتمة ومضيئة على شاشـة تُسـمّى أهداب التداخل.
- يمكن استخدام أنماط التداخل لقياس الطول الموجي للضوء.

$$\lambda = \frac{xd}{L}$$

- يمكن أن تنتج أنماط التداخل عندما ينتج ضوء مترابط عند حدّ الانكسار لغشاء رقيق.

7-2 الحيود Diffraction

المفردات

- نمط الحيود
- محزوز الحيود
- معيار ريليه

المفاهيم الرئيسة

- يحيد الضوء المار خلال شقّ ضيّق، أو ينتشر بعيدًا عن مسار الخط المستقيم، ويُنتج نمط حيود على شاشة.
- يكوّن نمط الحيود من شـقّ مفرد حزمة مركزية مضيئة عرضها يساوي المسافة بين الحزمة المعتمة الأولى على كلا جانبي الحزمة المركزية المضيئة.

$$2x_1 = \frac{2\lambda L}{w}$$

- تتكوّن محزوزات الحيود من عدد كبير من الشقوق المتقاربة جدًّا، وتنتج خطوطًا ضيقة ناتجة عن تراكُب أنماط التداخل للشقّ المفرد لجميع الشقوق في المحزوز.
- تُستخدم محزوزات الحيود لقياس الطول الموجي للضوء بدقة كبيرة، أو تُستخدم لتحليل الضوء المتكوّن من أطوال موجية مختلفة.

$$\lambda = d \sin\theta$$

- يحدّ الحيود من قدرتنا على التمييز بين جسمين متقاربين جدًّا عند النظر إليهما من خلال فتحة أو ثقب.

$$x_{\text{الجسم}} = \frac{1.22\lambda L_{\text{الجسم}}}{D}$$

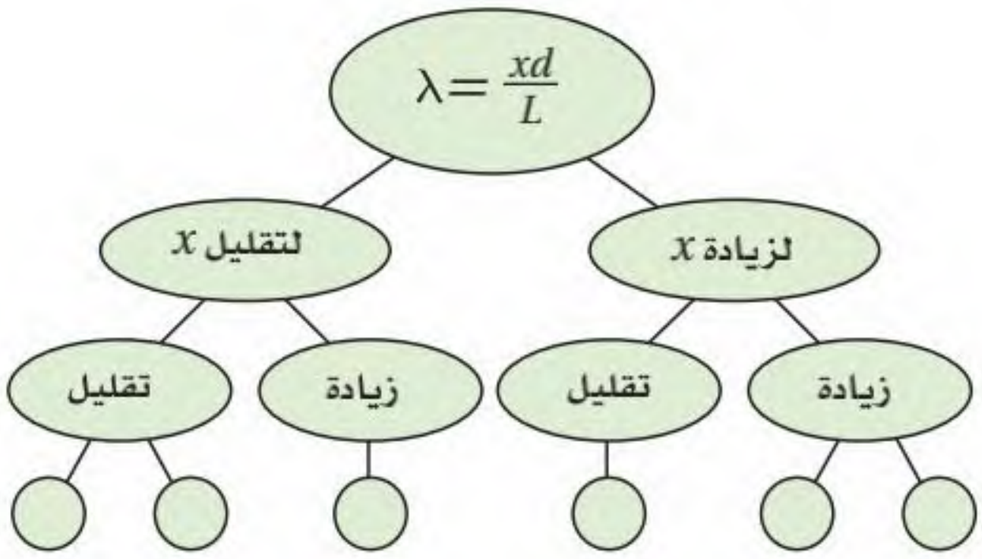
- إذا سـقطت البقعة المركزية المضيئـة لإحدى الصور على الحلقـة المعتمة الأولى للصـورة الثانية فإن الصورتين تكونان عند حد التمييز.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 7 التقويم

خريطة المفاهيم

23. يضيء ضوء أحادي اللون طوله الموجي λ شقّين في تجربة يونج. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين d، وتكوّن نمط على شاشة تبعد مسافة L عن الشقّين، فأكمل خريطة المفاهيم الآتية مستخدمًا λ وL وd لتبيّن كيف يمكنك تغيرها لتحصل على التغير المشار إليه في الفراغ بين الأهداب المضيئة المتجاورة x.



إتقان المفاهيم

24. لماذا يُعدّ استخدام ضوء أحادي اللون مهمًّا في تكوين نمط التداخل في تجربة التداخل ليونج؟

25. وضّح لماذا لا يمكن استخدام موقع الهدب المركزي المضيء لنمط تداخل الشقّ المزدوج لحساب الطول الموجي لموجات الضوء؟

26. اقترح طريقة تمكنك من استخدام ضوء معلوم الطول الموجي لإيجاد المسافة بين شقّين.

27. يشع ضوء أبيض خلال محزوز حيود. هل تكون الفراغات بين الخطوط الحمراء الناتجة متقاربة أم متباعدة أكثر مقارنة بالخطوط البنفسجية الناتجة؟ ولماذا؟

28. ما لون الضوء المرئي الذي ينتج خطًّا ساطعًا قريبًا جدًّا من الهدب المركزي المضيء بالنسبة لمحزوز حيود معين؟

29. لماذا يكون التلسكوب ذو القطر الصغير غير قادر على التمييز بين صورتين لنجمين متقاربين جدًّا؟

تطبيق المفاهيم

30. حدّد في كل من الأمثلة الآتية ما إذا كان اللون ناتجًا عن التداخل في الأغشية الرقيقة، أم عن الانكسار، أم نتيجة وجود الأصباغ.

a. فقاعات الصابون
b. بتلات الوردة
c. غشاء زيتي
d. قوس المطر

31. صف التغيرات في نمط حيود الشقّ المفرد عندما يتناقص عرض الشقّ.

32. **معرض العلوم** إحدى المعروضات في معرض العلوم عبارة عن غشاء كبير جدًّا من الصابون ذي عرض ثابت تقريبًا، ويُضاء بواسطة ضوء طوله الموجي 432 nm، فيظهر السطح كاملاً تقريبًا على شكل ظل أرجواني اللون. فماذا ستشاهد في الحالات الآتية؟

a. عندما يتضاعف سمك الغشاء.
b. عندما يزداد سمك الغشاء بمقدار نصف الطول الموجي للضوء الساقط.
c. عندما يتناقص سمك الغشاء بمقدار ربع الطول الموجي للضوء الساقط.

33. **تحدّي مؤشر الليزر** إذا كان لديك مؤشرا ليزر؛ أحدهما ضوءه أحمر والأخر ضوءه أخضر، واختلف زميلاك أحمد وفيصل في تحديد أيهما له طول موجي أكبر، وأصرّ أحمد على أن اللون الأحمر طوله الموجي أكبر، بينما فيصل متأكد أن الضوء الأخضر له طول موجي أكبر. فإذا كان لديك محزوز حيود فَصِفْ

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

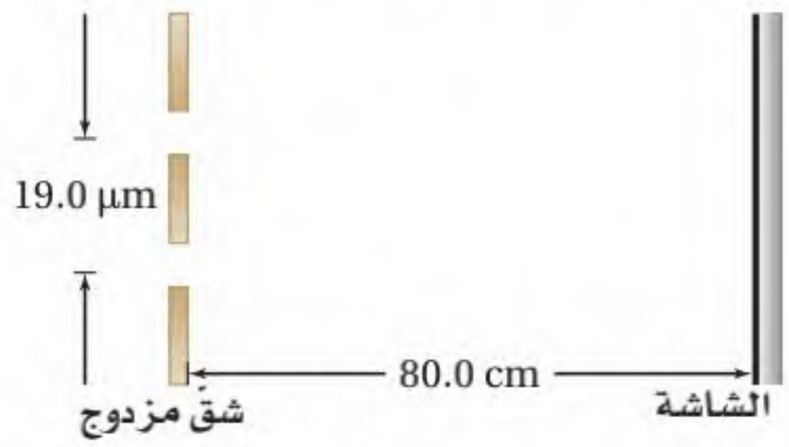
تقويم الفصل 7

العرض الذي ستنفّذه بواسطة هذه الأداة، وكيف يمكنك توضيح النتائج التي توصّلت إليها لكل من أحمد وفيصل لحل الخلاف بينهما؟

إتقان حل المسائل

7–1 التداخل

34. يسقط ضوء على شقّين متباعدين بمقدار 19.0 μm، ويبعدان عن شاشة 80.0 cm، كما في **الشكل 18–7**. فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد 1.90 cm عن الهدب المركزي المضيء فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



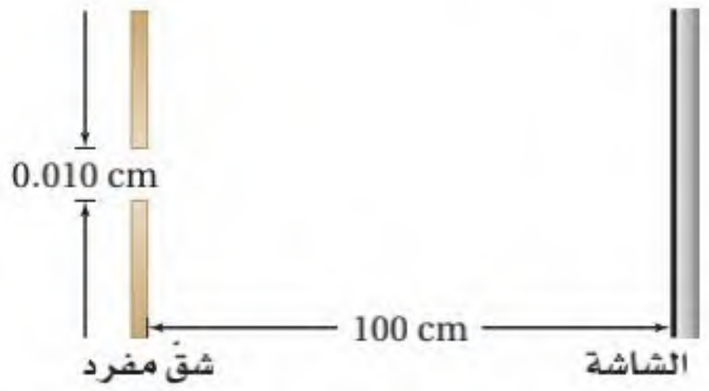
■ **الشكل 18–7**

35. **البقع النفطية** خرج أسامة وعمر في نزهة قصيرة بعد المطر، ولاحظَا طبقة نفطية رقيقة معامل انكسار مادتها 1.45 على سطح بركة صغيرة تُنتج ألوانًا مختلفة. ما أقل سمك لطبقة النفط، عندما تُكوّن تداخلاً بنّاءً لضوء طوله الموجي 545 nm؟

36. يوجّه علي مؤشر ليزر أحمر نحو ثلاث مجموعات من الشقّوق المزدوجة المختلفة. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين في المجموعة A 0.150 mm، وبُعد الشاشة عن الشقّين 0.60 m، أما في المجموعة B فكانت المسافة الفاصلة بين الشقّين 0.175 mm، وبُعد الشاشة عنهما 0.80 m، وفي المجموعة C كانت المسافة الفاصلة بين الشقّين 0.150 mm وبُعد الشاشة عنها 0.80 m، فرتّب المجموعات الثلاث اعتمادًا على المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الأولى، وذلك من المسافة الفاصلة الأصغر إلى الأكبر.

7–2 الحيود

37. يعبر ضوء أحادي اللون خلال شقّ مفرد عرضه 0.010 cm، ثم يسقط على شاشة تبعد عنه مسافة 100 cm، كما في **الشكل 19–7**. فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء 1.20 cm، فما مقدار الطول الموجي للضوء؟



■ **الشكل 19–7**

38. يمرّ ضوء طوله الموجي 4.5×10^{-5} cm خلال شق مفرد ويسقط على شاشة تبعد 100 cm. فإذا كان عرض الشق 0.015 cm، فما مقدار المسافة بين مركز النمط والهدب المعتم الأول؟

39. يمر ضوء أحادي اللون طوله الموجي 425 nm خلال شقّ مفرد، ويسقط على شاشة تبعد 75 cm. فإذا كان عرض الحزمة المركزية المضيئة 0.60 cm، فما عرض الشقّ؟

40. **المطياف** يستخدم في جهاز المطياف محزوز حيود يحوي 12000 خط/cm. أوجد الزاويتين اللتين توجد عندهما الأهداب المضيئة ذات الرتبة الأولى لكل من الضوء الأحمر الذي طوله الموجي 632 nm، والضوء الأزرق الذي طوله الموجي 421 nm.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 7

مراجعة عامة

41. يوضع طـلاء مانـع للانعكاس معامل انكسـاره 1.2 على عدسة، فإذا كان سـمك الطلاء 125 nm، فما لون/ ألوان الضـوء التي يحدث عندهـا تداخل هدّام بصورة كاملة؟ **تلميح: افترض أن العدسة مصنوعة من الزجاج.**

التفكير الناقد

42. **تطبيق المفاهيم** سقط ضوء أصفر على محزوز حيود، فتكوّنـت ثلاث بقع على الشاشـة خلف المحزوز؛ إحداها عند الدرجة صفـر حيث لا يحدث حيود، والثانيـة عنـد $+30°$، والثالثـة عنـد $-30°$. فإذا أسـقطتَ ضوءًا أزرق متماثل الشدة في اتجاه الضوء الأصفر نفسـه، فما نمـط البقع التي سـتراها على الشاشة الآن؟

43. **تطبيـق المفاهيـم** يمر ضـوء أزرق طوله الموجي λ عبر شـقّ مفرد عرضه w، حيـث يظهر نمط حيود على شاشة. فإذا استخدمت الآن ضوءًا أخضر طوله الموجي 1.5λ بـدلًا من الضوء الأزرق، فكم يجب أن يكون عرض الشقّ للحصول على النمط السابق نفسه؟

الكتابة في الفيزياء

44. ابحث، ثم صِفْ مسـاهمات العالم توماس يونج في الفيزياء. وقـوّم تأثير أبحاثه في الفكّر العلمي حول طبيعة الضوء.

45. ابحث ثم فسر دور الحيـود في كل من الطب وعلم الفلك. وصِفْ على الأقل تطبيقين لكل منهما.

مراجعة تراكمية

46. وضعت شمعة طولها 2.00 cm على بعد 7.50 cm من عدسة محدبة بعدها البؤري 21.0 cm. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لحساب بُعد الصورة وطولها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. تبدو ألوان الغشاء الرقيق مثل فقاعات الصابون أو الزيت على الماء كأنها تتغير وتتحرك عندما تنظر إليها؛ لأن:

(A) تيارات الحمل الحراري في طبقة الهواء التي تلي الغشاء الرقيق تشوّه الضوء.

(B) سمك الغشاء عند أي موقع محدّد يتغير مع الزمن.

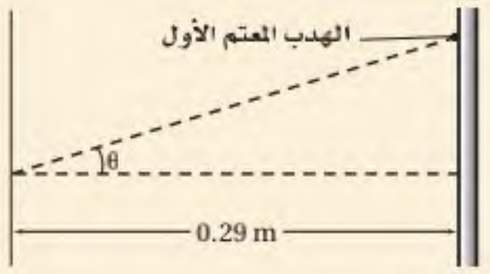
(C) الأطوال الموجية في ضوء الشمس تتغير مع الزمن.

(D) رؤيتك تتغير على نحو قليل مع الزمن.

2. يشع ضوء طوله الموجي 410 nm خلال شقّ، ويسقط على شاشة مسطحة ومستوية، كما في الشكل أدناه. فإذا كان عرض الشقّ 3.8×10^{-6} m، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

(A) 0.024 m (C) 0.048 m

(B) 0.031 m (D) 0.063 m



3. في المسألة السابقة، ما مقدار الزاوية θ للهدب المعتم الأول؟

(A) 3.1° (C) 12.4°

(B) 6.2° (D) 17°

4. نجمان على بعد 6.2×10^{4} سنة ضوئية عن الأرض، والمسافة بينهما تساوي 3.1 سنة ضوئية. ما أقل قطر لفتحة تلسكوب تلزمنا للتمييز بينهما باستخدام ضوء طوله الموجي 610 nm؟

(A) 5.0×10^{-5} m (C) 1.5×10^{-2} m

(B) 6.1×10^{-5} m (D) 1.5×10^{7} m

5. محزوز حيود، المسافة الفاصلة بين شقوقه 0.055 mm. ما مقدار زاوية الهدب المضيء ذي الرتبة الأولى لضوء طوله الموجي 650 nm؟

(A) 0.012° (C) 1.0°

(B) 0.68° (D) 11°

6. يضيء شعاع ليزر طوله الموجي 638 nm شقّين ضيقين. فإذا كان بُعد الهدب ذي الرتبة الثالثة من النمط الناتج عن الهدب المركزي المضيء يساوي 7.5 cm، وبُعد الشاشة عن الشقّين 2.475 m، فما المسافة بين الشقّين؟

(A) 5.8×10^{-8} m (C) 2.1×10^{-5} m

(B) 6.3×10^{-7} m (D) 6.3×10^{-5} m

7. وضعت شاشة مسطّحة على بعد 4.200 m من زوج من الشقوق، وأُضيء الشقّان بحزمة ضوء أحادي اللون. فإذا كانت المسافة الفاصلة بين الهدب المركزي المضيء والهدب المضيء ذي الرتبة الثانية 0.082 m، والمسافة الفاصلة بين الشقّين 5.3×10^{-5} m، فحدّد الطول الموجي للضوء.

(A) 2.6×10^{-7} m (C) 6.2×10^{-7} m

(B) 5.2×10^{-7} m (D) 1.0×10^{-6} m

الأسئلة الممتدة

8. ينتج محزوز حيود له 6000 شقّ في كل cm نمط حيود له خط مضيء ذو رتبة أولى عند زاوية مقدارها 20° من الخط المركزي المضيء. ما مقدار الطول الموجي للضوء؟

إرشاد

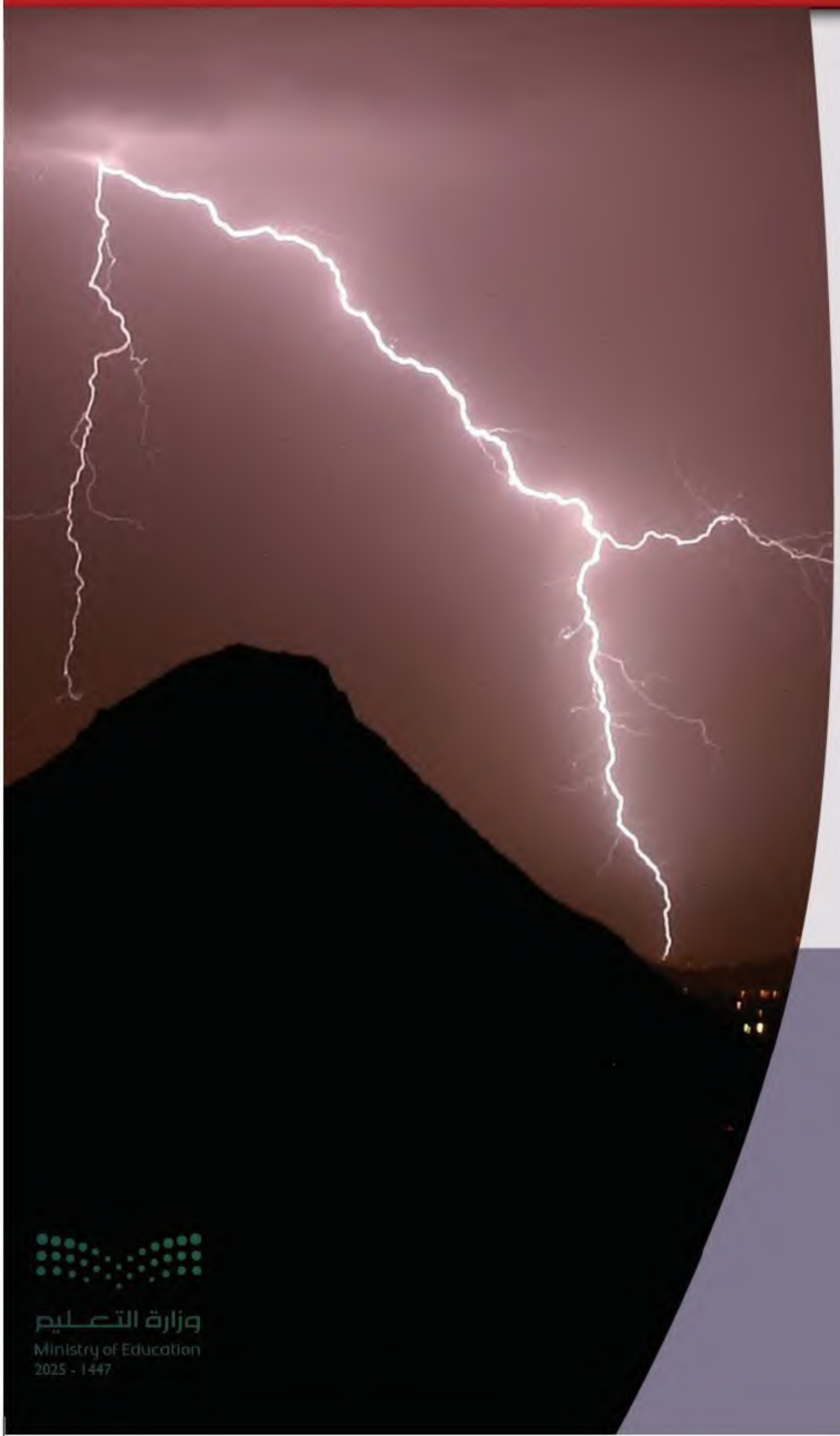
اطلب المساعدة دون خجل أو تردد

إذا كنت تتدرب على إجابة اختبار، وكانت لديك صعوبة في فهم السؤال أو الوصول إلى الإجابة، فاسأل أحد المشرفين على الاختبار ليساعدك. وعليك أن تطلب المساعدة قبل بدء الاختبار لا في أثنائه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل
8

الكهرباء الساكنة
Static Electricity



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ملاحظة سلوك الشحنات الكهربائية، وتحليل طريقة تفاعلها مع المادة.
- اختبار القوى التي تؤثر بين الشحنات الكهربائية.

الأهمية

تتحكم الكهرباء الساكنة في عمل بعض الأجهزة، ومنها آلة الطباعة وآلة تصوير الأوراق، إلا أن لها آثارًا سلبية على بعض المكونات الإلكترونية للأجهزة، كما أن لها دورًا في تشكّل البرق.

البرق مثالًا على تفريغ الكهرباء الساكنة، ومن ذلك أيضًا الشرارة الكهربائية الصغيرة التي تشعر بها عندما تلمس مقبض الباب الفلزي في يوم جاف. وتختلف عمليتا الشحن والتفريغ - في حالتي الشرارة الكهربائية الصغيرة والبرق - إلى حد كبير من حيث المقدار، إلا أنهما متماثلتان في طبيعتيهما الأساسية.

فكّر ◄

ما أسباب تراكم الشحنات على السحب الرعدية؟ وكيف يحدث تفريغها على شكل برق؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

أيّ القوى تؤثر عن بُعد؟

سؤال التجربة ماذا يحدث عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف ثم تقريبها إلى قصاصات ورقية؟

الخطوات

1. ضع 100- 150 قصاصة ورق (مما ينتج عن استعمال الخرامة) على الطاولة.
2. خذ مسطرة بلاستيكية، وادلكها بقطعة صوف.
3. قرّب المسطرة إلى القصاصات، ولاحظ تأثيرها فيها.

التحليل

ماذا حدث لقصاصات الورق عندما قرّبت المسطرة البلاستيكية إليها؟ وماذا حدث للقصاصات التي التصقت بالمسطرة؟ هل لاحظت نتائج غير متوقعة عندما قربت المسطرة إلى قصاصات الورق؟ إذا كان هناك نتائج غير متوقعة فصِفها.

التفكير الناقد ما القوى المؤثرة في قصاصات الورق قبل تقريب المسطرة إليها؟ وماذا يمكنك أن تستنتج عن القوى المؤثرة في هذه القصاصات بعد تقريب المسطرة البلاستيكية إليها؟

ضع فرضيات توضّح التأثير الذي أحدثته المسطرة في القصاصات الورقية، مستعينًا بإجاباتك عن السؤالين السابقين.

8–1 الشحنة الكهربائية Electric Charge

لعلك مشيت يومًا على سجادة، وقد احتكّ حذاؤك بنسيجها، مما ولّد شرارة كهربائية ظهرت عندما لمست شخصًا آخر. هل هناك تشابه بين هذه الشرارة والبرق؟ لاختبار ذلك، أجرى بنيامين فرانكلين عام 1752م تجربة على طائرة ورقية؛ حيث طيّر الطائرة، وربط مفتاحًا في نهاية الخيط المتصل بها، وعندما اقتربت عاصفة رعدية من الطائرة لاحظ أن ألياف الخيط الرخوة قد انتصبت وتنافر بعضها عن بعض. وعندما قرّب فرانكلين إصبعه من المفتاح لاحظ حدوث شرارة كهربائية. وكانت هذه تجربة رائعة ولكنها مجازفة خطيرة، ومن حسن حظّه أنه نجا، فقد حاول أحد العلماء إعادة التجربة نفسها إلا أنه مات مصعوقًا. وقد انطلقت بعد ذلك سلسلة من البحوث في مجال الكهرباء، بعدما أظهرت تجربة فرانكلين أن البرق يشبه الشرر الناجم عن الاحتكاك. وتسمى التأثيرات الكهربائية التي تتولّد بهذه الطريقة الكهرباء الساكنة.

وفي هذا الفصل ستستقصي **الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)**؛ وهي دراسة الشحنات الكهربائية التي تتجمع وتُحتجز في مكان ما. ويمكن ملاحظة آثار الكهرباء الساكنة على نطاق واسع؛ بدءًا بالبرق، ووصولاً إلى المستوى المجهري للذرات والجزيئات. أما الكهرباء التيارية (المتحركة) المتولدة عن البطاريات والمولّدات فستدرسها في الفصول اللاحقة.

الأهداف

- **توضح** أن الأجسام المشحونة تؤثر بقوى تجاذب وتنافر.
- **تثبت** أن عملية الشحن هي فصل للشحنات الكهربائية، وليس إنتاجها.
- **تصف** الاختلافات بين الموصلات والعوازل.

المفردات

الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)
الذرة المتعادلة
مادة عازلة
مادة موصلة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الأجسام المشحونة Charged Objects

هل لاحظت انجذاب شعرك نحو المشط عند تمشيطه في يوم جاف؟ لعلك لاحظت أيضًا التصاق الجوارب أحيانًا بعضها ببعض عند إخراجها من مجفّفة الملابس. ولعلك لاحظت كذلك انجذاب قصاصات الورق إلى المسطرة البلاستيكية الموضحة في التجربة الاستهلالية وفي **الشكل 1–8**. من المؤكد وجود قوة ناتجة كبيرة نسبيًّا سبّبت تسارع القصاصات إلى أعلى بمقدار أكبر من تسارعها إلى أسفل الناتج عن قوة الجاذبية الأرضية.

وهناك اختلافات أخرى بين القوة الناتجة وقوة الجاذبية الأرضية؛ فقصاصات الورق لا تنجذب إلى المسطرة إلا بعد دلك المسطرة، كما أن المسطرة تفقد خاصية الجذب هذه بعد فترة قصيرة. أما قوة الجاذبية الأرضية فلا تحتاج إلى دلك حتى تتولّد، كما أنها لا تفقد خاصية الجذب. لقد لاحظ قدماء الإغريق آثارًا مماثلة للمسطرة المدلوكة عندما دلكوا العنبر (الكهرمان). (**وترجمة كلمة عنبر إلى اللغة اليونانية هي "إلكترون"**)، وتُسمّى خاصية الجذب هذه الآن الكهرباء. وتسمّى الأجسام التي تبدي تفاعلاً كهربائيًّا بعد الدلك الأجسامَ المشحونة.

تجربة عملية

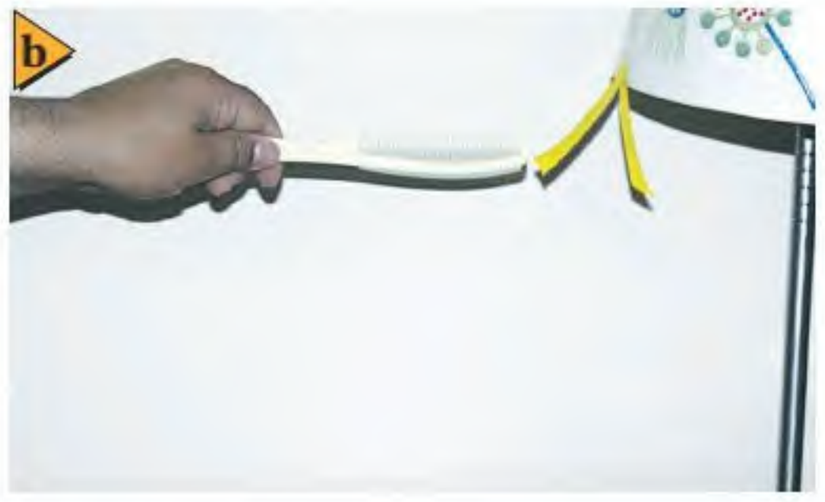
كيف تشحن الأجسام؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

الشحنات المتماثلة يمكنك استكشاف التفاعلات الكهربائية باستخدام أجسام بسيطة، مثل شريط لاصق. اطوِ 5 cm تقريبًا من الشريط حتى يُتَّخذ ذلك الجزء مقبضًا، ثم ثبّت الجزء المتبقي من الشريط 8–12 cm على سطح جاف وأملس كسطح الطاولة. بالطريقة نفسها، ثبّت شريطًا آخر مماثلًا للشريط الأول بالقرب منه، ثم اسحب الشريطين بسرعة عن سطح الطاولة، وقرّب أحدهما إلى الآخر. ستلاحظ أن هناك خاصية جديدة تجعلهما يتنافران؛ فلقد أصبحا مشحونين كهربائيًّا. ولأنهما أُعِدّا بالطريقة نفسها، فيجب أن يكون لهما النوع نفسه من الشحنات. وهكذا تتوصل إلى أن الجسمين اللذين لهما النوع نفسه من الشحنة يتنافران .

■ **الشكل 1–8** يولّد دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف قوة تجاذب بين المسطرة وقصاصات الورق. وعند تقريب المسطرة أكثر إلى قصاصات الورق تعمل قوة الجذب الكهربائية على تسارع هذه القصاصات رأسيًّا إلى أعلى في اتجاه معاكس لتسارع قوة الجاذبية الأرضية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 2–8** يمكن شحن الأشرطة بشحنات مختلفة (**a**). ويمكن استعمالها بعد ذلك لتوضيح التفاعلات بين الشحنات المتماثلة والمختلفة (**b**).

يمكنك معرفة المزيد عن هذه الشحنة بإجراء تجارب بسيطة. فلعلك لاحظت أن الشريط ينجذب إلى يدك، هل ينجذب كلا الجانبين أم أحدهما فقط؟ وإذا انتظرت فترة من الزمن، وخصوصًا في الطقس الرطب، فستلاحظ اختفاء الشحنة الكهربائية. ويمكنك إعادة شحن الشريط مرة أخرى بإلصاقه بسطح الطاولة وسحبه عنها. كما يمكنك إزالة الشحنة عن الشريط بدلك جانبيه بأصابعك بلطف.

الشحنات المختلفة ألصق الآن شريطًا على سطح الطاولة، ثم ضع الشريط الثاني فوق الأول. وكما هو موضح في **الشكل 2a–8**، استخدم مقبض الطرف السفلي لكلا الشريطين لسحبهما معًا عن سطح الطاولة، ثم ادلكهما بأصابعك حتى تختفي قوة التجاذب بينهما وبين يدك. لقد أزلت كل الشحنات الكهربائية عنهما. أمسك مقبض كل شريط بيد، وبسرعة اسحب الشريطين أحدهما بعيدًا عن الآخر، ستجد أنهما قد شُحِنا، وانجذبا ثانية إلى يديك، فهل سيتنافران؟ لا، سيتجاذبان الآن؛ لأن لهما شحنتين مختلفتين، إلا أنهما لن يبقيا مشحونين فترة طويلة؛ لأنهما سيلتصقان معًا.

هل الشريط هو الجسم الوحيد الذي يمكنك شحنه؟ للإجابة عن هذا السؤال ألصق مرة أخرى شريطًا لاصقًا على سطح الطاولة، وضع شريطًا آخر فوقه. علّم الشريط السفلي بالرمز B، والشريط العلوي بالرمز T، ثم اسحب الشريطين معًا. فرّغهما من الشحنات، ثم اسحب أحدهما بعيدًا عن الآخر، وألصق طرف مقبض كل منهما في طرف طاولة أو أسفل غطاء مصباح أو أي جسم مماثل. ينبغي أن يعلّقا بحيث يتدليان إلى أسفل، على أن تكون بينهما مسافة قصيرة. أخيرًا ادلك مشطًا بلاستيكيًّا أو قلم حبر بقطعة صوف، وقرّبه إلى أحد الشريطين، ثم قرّبه إلى الشريط الآخر. ستلاحظ أن أحد الشريطين ينجذب إلى المشط، بينما يتنافر الآخر معه، كما هو موضح في **الشكل 2b–8**. يمكنك الآن استكشاف تفاعلات الأجسام المشحونة مع الأشرطة اللاصقة.

حاول شحن أجسام أخرى، مثل كؤوس زجاجية، وأكياس بلاستيكية. ادلكها بمواد مختلفة مثل الحرير والصوف. وإذا كان الجو جافًا فحكّ حذاءَك بالسجاد وأنت تمشي، وقرّب إصبعك إلى قطعتي الشريط اللاصق. ولاختبار الحرير أو الصوف ضع يدك في كيس بلاستيكي، وادلك الكيس بقطعة الصوف أو الحرير، ثم أخرج يدك من الكيس، وقرّبه هو والقطعة التي دلكتها إلى الشريطين اللاصقين.

ستجذب معظم الأجسام المشحونة أحد الشريطين، وتتنافر مع الآخر، ولن تجد أبدًا جسمًا يتنافر مع كلا الشريطين، إلا أنه يمكن أن تجد بعض الأجسام تجذب الشريطين؛ فمثلاً ستجد أن إصبعك يجذب كلا الشريطين، وستكتشف هذا التأثير لاحقًا في هذا الفصل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الشكل 3–8 ترتب سلسلة الدلك الكهربائي قائمة المواد من حيث الأكثر فقدًا للإلكترونات عند أعلى السهم إلى الأكثر اكتسابا للإلكترونات في ذيل السهم.

أنواع الشحنات يمكنك من خلال تجاربك إعداد قائمة بالأجسام المعلّمة بـ B، التي لها نفس شحنة الشريط الملصق على سطح الطاولة. كما يمكنك إعداد قائمة أخرى للأجسام المعلّمة بـ T التي لها شحنة مماثلة لشحنة الشريط العلوي. ستلاحظ أن هناك قائمتين فقط؛ لأنه لا يوجد إلا نوعان من الشحنات، أطلق عليهما بنيامين فرانكلين الشحنة الموجبة والشحنة السالبة. ووفق تسمية فرانكلين فإن المطاط والبلاستيك يشحنان عادة بشحنات سالبة عند دلكهما، أما الزجاج والصوف فيشحنان عادة بشحنات موجبة.

وكما لاحظت أن الشريطين غير المشحونين أصبحا مشحونين بشحنتين مختلفتين بعد سحب أحدهما بعيدًا عن الآخر، لذا يمكنك توضيح أنه عند دلك البلاستيك بالصوف يصبح البلاستيك سالب الشحنة والصوف موجب الشحنة. ولا يتكوّن نوعَا الشحنات بشكل منفصل، وإنما يتكوّنان على شكل أزواج. وتشير كل هذه التجارب إلى أن المادة بطبيعتها تحتوي على نوعين من الشحنة: موجبة وسالبة. وبطريقة معينة يمكن فصل نوعي الشحنة. ولاستكشاف ذلك أكثر يتعين عليك تعرُّف الصورة المجهرية للمادة.

النظرة المجهرية للشحنة A Microscopic View of Charge

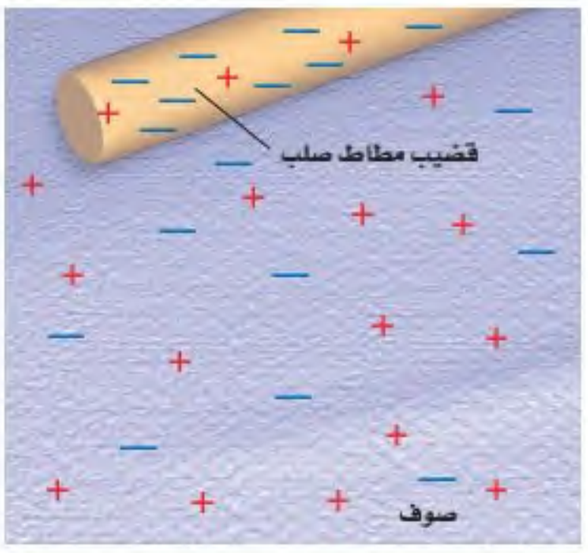
توجد الشحنات الكهربائية في الذرات. وقد اكتشف ج.ج. طومسون عام 1897م أن المواد جميعها تحتوي على جسيمات صغيرة جدًّا سالبة الشحنة تسمى الإلكترونات. وبين عامي 1909 و 1911م اكتشف أرنست راذرفورد - تلميذ طومسون من نيوزلندا- أن هناك جسمًا مركزيًّا ذا شحنة موجبة تتركز فيه كتلة الذرة تسمى النواة. وتكون الذرة **متعادلة** عندما تكون الشحنة الموجبة في النواة مساويةً للشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول النواة.

يمكن إزالة إلكترونات المدارات الخارجية للذرات المتعادلة بإضافة طاقة إليها، وعندها تصبح هذه الذرات التي تفقد إلكترونات موجبة الشحنة. وأي مادة تتكوّن من هذه الذرات الفاقدة للإلكترونات تكون موجبة الشحنة. ويمكن أن تبقى الإلكترونات المفقودة حرة غير مرتبطة، أو ترتبط مع ذرات أخرى فتصبح جسيمات سالبة الشحنة. واكتساب الشحنة - من وجهة النظر المجهرية - ما هي إلا عملية انتقال للإلكترونات.

فصل الشحنة إذا دُلك جسمان متعادلان معًا فقد يصبح كل منهما مشحونًا حسب ترتيب المواد في سلسلة الدلك الكهربائي. كما هو موضح في **الشكل 3–8**. ففي حالة دلك المطاط بالصوف - كما هو موضح في **الشكل 4–8** - تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وتعمل الإلكترونات الإضافية التي اكتسبها المطاط على جعل شحنته

دلالة الألوان

- وضِّحت الشحنات الموجبة باللون **الأحمر**.
- وضِّحت الشحنات السالبة باللون **الأزرق**.



الشكل 4–8 عند استعمال قطعة صوف لشحن قضيب مطاط تنتقل الإلكترونات من ذرات الصوف إلى ذرات المطاط. وبهذه الطريقة يُشحن الجسمان.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الكلية ســالبة، في حين تجعل الإلكترونات التي فقدها الصوف شحنته الكلية موجبة. أما المجموع الكلي للشحنة على الجسمين فيبقى هو نفسه؛ أي أن الشحنة محفوظة؛ وهذا يعني أن الشــحنات المفردة لا يمكن أن تفنى أو تســتحدث، وكل ما يحدث هو أن الشحنات الموجبة والشحنات السالبة تنفصلان من خلال عملية انتقال الإلكترونات.
العمليات المعقدة التي تؤثر في إطارات سيارة أو شاحنة متحركة يمكن أن تؤدي إلى أن تصبح الإطارات مشحونة. كما أن العمليات التي تحدث داخل السحب الرعدية تجعل أسفل السحابة سالب الشحنة، وأعلاها موجب الشحنة. وفي كلتا الحالتين السابقتين لا تُستحدث الشحنة، بل تنفصل.

الموصلات والعوازل Conductors and Insulators

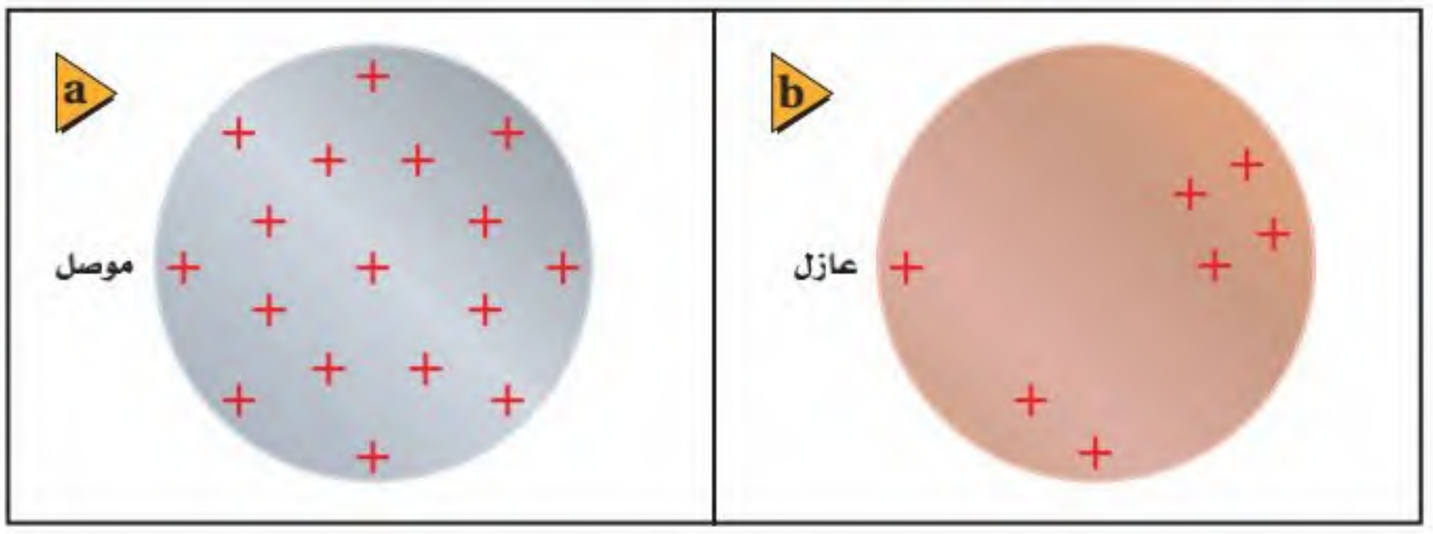
أمســك قضيبًا بلاســتيكيًّا أو مشــطًا من منتصفه وادلك أحد طرفيه، ستجد أن الطرف المدلوك فقط أصبح مشــحونًا؛ أي أن الشــحنات التي انتقلت إلى البلاســتيك بقيت في المكان الذي وضِعت فيه ولم تتحرك. وتســمّى المادة التي لا تنتقل خلالها الشحنة بسهولة **مادة عازلة**. فالزجاج والخشــب الجاف ومعظم المواد البلاستيكية والملابس والجو الجاف جميعها عوازل جيدة.

افترض أنك وضعت قضيبًا فلزيًّا فوق قضيب بلاستيكي معزول. فإذا لمست بعد ذلك أحد طرفي القضيب الفلزي بمشــط مشحون فستجد أن الشحنة تنتشر بسرعة داخل القضيب الفلزي. وتسمى المادة التي تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة **مادة موصلة**. وتعمل الإلكترونــات على نقل الشــحنة الكهربائية أو توصيلها خلال الفلز. لــذا تعد الفلزات موصــلات جيدة؛ لأنه يوجد في كل ذرة إلكترون واحد على الأقل يمكن أن ينفصل عنها بســهولة. وتؤثر هذه الإلكترونات وكأنها تابعة لذرات الفلــز جميعها وليس لذرة معينة؛ أي تتحرك هذه الإلكترونات بحرية خلال قطعة الفلز. والشــكل **5–8** يقارن بين سلوك الشــحنات عندما توضع على موصل، وســلوكها عندما توضع على عــازل. فالنحاس والألومنيوم موصلان ممتازان؛ لذا فهما يســتخدمان لنقل الكهرباء. وتعد البلازما- وهي غاز متأين بدرجة كبيرة- والجرافيت موصلين جيدين للشحنة الكهربائية.

تطبيق الفيزياء

موصل أم عازل؟

من المفيد تصنيف عنصر على أنه موصل فقط أو عازل فقط، إلا أن التصنيف قد يختلف اعتمادًا على الشكل الذي يتخذه العنصر. فالكربون مثلاً يكون عازلاً في حالة الألماس، أما في الجرافيت فيوصّل الشحنة؛ لأن ذرات الكربون في الألماس ترتبط بقوة مع أربع ذرات كربون أخرى، أما في حالة الجرافيت فتكوّن ذرات الكربون ثلاث روابط قوية، ورابطة رابعة ضعيفة تسمح للإلكترونات بحركة محدودة. لذا يكون الجرافيت أكثر موصلية من الألماس، رغم أن كليهما يتركّب من ذرات الكربون.



الشكل 5–8 تتوزع الشحنات التي توضع على موصل على كامل سطحه الخارجي (a). بينما تبقى الشحنات على العازل في المكان الذي توضع فيه (b).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الشكل 6–8 تتفرغ الشحنات الكهربائية من جسمك عند اقتراب يدك من مقبض الباب.

عندما يصبح الهواء موصلاً يعدّ الهواء عازلًا، إلا أنه تحت ظروف معيّنة تتحرك الشحنات خلاله كما لو كان موصلًا. فالشرارة الكهربائية التي تحدث بين إصبعك ومقبض الباب الفلزي بعد دلك قدميك بالسجاد تُفرّغ الشحنات من جسمك كما هو موضح في **الشكل 6–8**؛ فيصبح متعادلًا؛ لأن الشحنات الزائدة الموجودة عليه قد انفصلت عنه. وبالمثل يفرّغ البرق شحنات السحب الرعدية. وفي كلتا الحالتين يصبح الهواء موصلًا للحظات فقط. ولكنك تعرف أنه يجب أن يحتوي الموصل على شحنات حرة الحركة، فمن أين تأتي هذه الشحنات في حالة الهواء العازل؟ لكي تحدث الشرارة أو البرق يجب أن تتكوّن جسيمات مشحونة حرة الحركة في الهواء المتعادل، وفي حالة البرق تكون الشحنات الزائدة في الغيمة وعلى الأرض كبيرة بشكلٍ كافٍ لفصل الإلكترونات من جزيئات الهواء. وتتكوّن نتيجة ذلك البلازما؛ التي تتكوّن من الإلكترونات والذرات الموجبة الشحنة والذرات السالبة الشحنة، والتي تعدّ موصلًا. ويولّد تفريغ الشحنات الذي يحدث بين الأرض والسحب الرعدية - من خلال هذه الموصلات- شررًا لامعًا يسمى البرق. أما في حالة إصبعك ومقبض الباب الفلزي فيسمى تفريغ الشحنات شرارةً كهربائية.

1–8 مراجعة

1. **الأجسام المشحونة** بعد دلك مشط بسترة مصنوعة من الصوف يمكنه جذب قصاصات ورق صغيرة. لماذا يفقد المشط هذه القدرة بعد عدة دقائق؟
2. **أنواع الشحنات** من خلال التجارب التي مرت في هذا الجزء، كيف يمكنك أن تعرف أيّ الشريطين B أو T موجب الشحنة؟
3. **أنواع الشحنات** كرة البيلسان كرة صغيرة مصنوعة من مادة خفيفة، مثل البوليسترين، وتكون عادة مطلية بطبقة من الجرافيت أو الألومنيوم. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كانت كرة البيلسان المعلقة بخيط عازل متعادلة كهربائيًّا، أو ذات شحنة موجبة، أو ذات شحنة سالبة؟
4. **فصل الشحنات** يُشحن قضيب مطاط بشحنة سالبة عند دلكه بالصوف. ماذا يحدث لشحنة الصوف؟ ولماذا؟
5. **شحن الموصلات** افترض أنك علّقت قضيبًا فلزيًّا طويلًا بخيوط حرير بحيث أصبح القضيب معزولاً، ثم لامست أحد طرفي القضيب الفلزي بقضيب زجاجي مشحون. صِفْ كيف يُشحن القضيب الفلزي، وحدد نوع الشحنات عليه.
6. **الشحن بالدلك** يمكنك شحن قضيب مطاط بشحنة سالبة بدلكه بالصوف. ماذا يحدث عند دلك قضيب نحاس بالصوف؟
7. **التفكير الناقد** يمكن أن يفترض أحدهم أن الشحنة الكهربائية تشبه الموائع تتدفق من أجسام لديها فائض في المائع إلى أجسام لديها نقص فيه. لماذا يكون نموذج التيار الثنائي الشحنة أفضل من نموذج المائع الأحادي؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

8–2 القوة الكهربائية Electric Force

القوى الكهربائية قوى كبيرة؛ لأنها يمكن أن تنتج بسهولة تسارعًا أكبر من التسارع الذي ينتج بفعل قوة الجاذبيـــة الأرضية. وتعلم أن القوة الكهربائية قد تكون قوة تجاذب أو قوة تنافر. أما قوة الجاذبية الأرضية فهي قوة تجاذب فقط. وعلى مر الســـنوات الماضية أجرى الكثير من العلماء محاولات عديدة لقياس القوة الكهربائية. فأجرى دانيال برنولي المعروف بأعماله المتعلّقة بالموائع عدة قياسات بسيطة عام 1760م. وبيّن هنري كافندش في سبعينيات القـــرن الثامن عشر أن القوى الكهربائية يجب أن تخضع لقانون الـــتربيع العكسي. إلا أن خجله الشديد دفعه إلى عدم نشر عمله. ولقد اكتُشِفت مخطوطاته لاحقًا بعد أكثر من قرن، بعد أن كرّر عمله علماء آخرون.

القوى المؤثرة في الأجسام المشحونة
Forces on Charged Bodies

يمكن توضيح القوى التي سبق أن لاحظتها على الأشرطة اللاصقة من خلال تعليق قضيب مطاطي صلب ذي شحنة سالبة، بحيث يدور بسهولة، كما هو موضح في **الشكل 7–8**. إذا قرّبت قضيبًا آخر ذا شحنة سالبة من القضيب المعلّق فسوف يدور القضيب المعلّق مبتعدًا؛ حيث تتنافر الشحنات السالبة على القضيبين. وليس من الضروري أن يحدث تلامس بين القضيبين حتى يظهر هذا التأثير؛ فالقوة التي تســـمى القوة الكهربائية تؤثر عن بُعد. وإذا علّقت قضيبًا زجاجيًّا مشحونًا بشحنة موجبة، ثم قربّت إليه قضيبًا زجاجيًّا آخر مشحونًا بشـــحنة موجبة أيضًا فســـيتنافر القضيبان. أما إذا قرّبت قضيبًا مشحونًا بشحنة سالبة إلى قضيب آخر مشحون بشحنة موجبة فسيجذب كل منهما الآخر، وسيدور القضيب المعلّق مقتربًا من القضيب الآخر.

يمكن تلخيص ما توصلت إليه من تجارب الأشرطة اللاصقة وسلوك القضبان المشحونة كما يأتي:

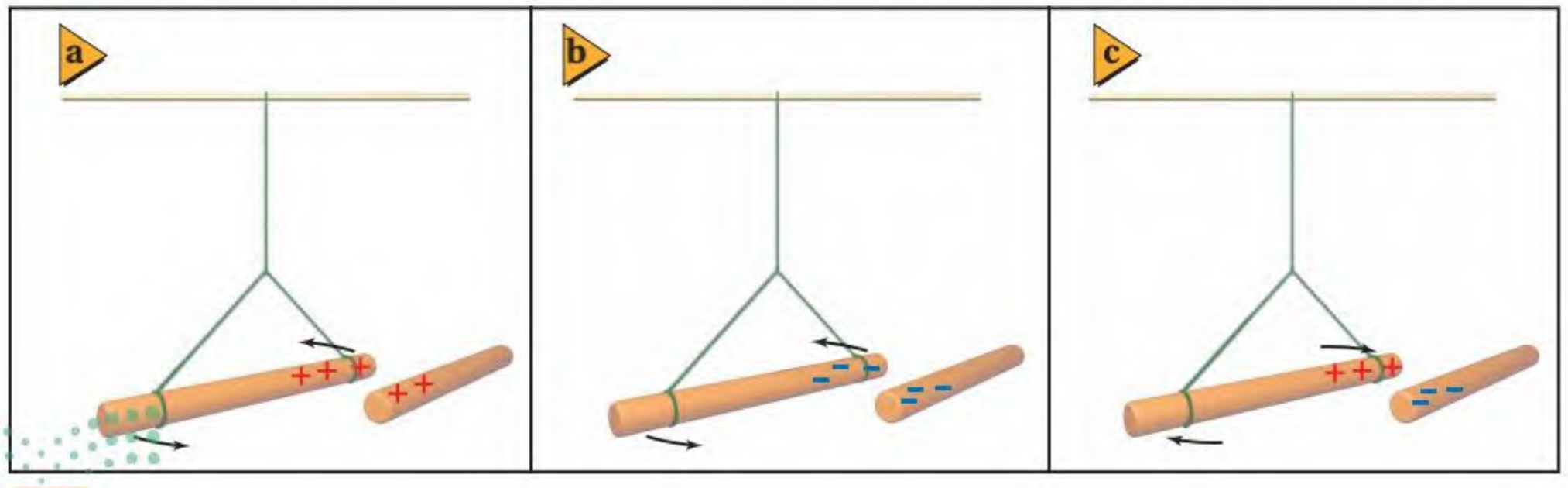
- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: موجبة وسالبة.
- تؤثر الشحنات بعضها في بعض بقوى عن بُعد.
- تكون القوة أكبر عندما تكون الشحنات متقاربة.
- الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

الأهداف

- **تلخص** العلاقات بين القوى الكهربائيـــة والشـــحنات الكهربائية والبعد بينها.
- **توضّح** كيفية شحن الأجسام بطريقتي التوصيل والحث.
- **تطوّر** نموذجًا يوضّح كيف يمكن للأجسام المشحونة أن تجذب أجسامًا متعادلة.
- **تُطبق** قانـــون كولوم في حل مســـائل في بُعـــد واحد وفي بُعدين.

المفردات

الكشّاف الكهربائي
الشحن بالتوصيل
الشحن بالحث
التأريض
قانون كولوم
الكولوم
الشحنة الأساسيّة



الشكل 7–8 عند تقريب قضيب مشحون إلى آخر معلّق ومشحون فإنهما يتجاذبان أو يتنافران.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 8–8** الكشاف الكهربائي: جهاز يستخدم للكشف عن الشحنات الكهربائية. في الكشاف الكهربائي المتعادل تكون الورقتان معلقتين رأسيًا بحرية، وتلامس إحداهما الأخرى.

لا يعد الشريط اللاصق ولا القضيب المعلّق في الهواء طريقة دقيقة أو ملائمة لتحديد الشحنة. وعوضًا عن ذلك يستخدم جهاز يسمّى **الكشّاف الكهربائي**، يتركّب من كرة فلزية مُثبّت على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسمّيان الورقتين. ويبين **الشكل 8–8** كشّافًا كهربائيًّا متعادلًا. لاحظ أن الورقتين معلّقتان بصورة حرة داخل إناء زجاجي شفاف مغلق؛ وذلك للحد من تأثير تيارات الهواء.

الشحن بالتوصيل عندما يلمس قضيب مشحون بشحنة سالبة كرة كشاف كهربائي تنتقل الإلكترونات منه إلى الكرة، وتتوزع هذه الشحنات على جميع سطوح الفلز. وكما هو موضح في **الشكل 9a–8**، تشحن الورقتان بشحنات سالبة وتتنافران، لذا تنفرجان، ويصبح الكشاف الكهربائي مشحونًا. ويُسمّى شحن الجسم المتعادل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا **الشحنَ بالتوصيل**. كما تنفرج الورقتان أيضًا عند شحن الكشاف بشحنات موجبة، فكيف يمكنك إذًا معرفة ما إذا كان الكشّاف الكهربائي مشحونًا بشحنة موجبة أم سالبة؟ يمكن تحديد نوع الشحنة بملاحظة ورقتي الكشاف الكهربائي المشحون عند تقريب قضيب مشحون بشحنة معلومة من كرته؛ إذ يزداد انفراج الورقتين أكثر عند تقريب جسم شحنته مشابهة لشحنة الكشّاف، كما في **الشكل 9b–8**، وسيقل انفراج الورقتين إذا كانت شحنة الكشاف مخالفة لشحنة الجسم المُقرّب، كما في **الشكل 9c–8**.

فصل الشحنات على الأجسام المتعادلة عرفت أن الشريط اللاصق المشحون انجذب نحو إصبعك عندما قرّبْته إليه. وبالطبع كان إصبعك متعادلًا كهربائيًّا؛ أي فيه عدد متساوٍ من الشحنات الموجبة والسالبة. وتعلم أيضًا أن الشحنات تتحرك بسهولة في الموصلات، كما أن القوى الكهربائية في حالة الشرارة الكهربائية حوّلت المادة العازلة إلى مادة موصلة. من كل هذه المعلومات يمكنك تطوير نموذج مناسب للقوة التي أثر بها إصبعك في الشريط.

■ **الشكل 9–8** تكون ورقتا الكشاف الكهربائي المشحون بشحنة سالبة منفرجتين (a). يدفع القضيب ذو الشحنة السالبة الإلكترونات من الكرة إلى الورقتين فيزداد انفراجهما (b). يجذب القضيب ذو الشحنة الموجبة بعض الإلكترونات من الورقتين إلى الكرة فيقل انفراجهما (c).

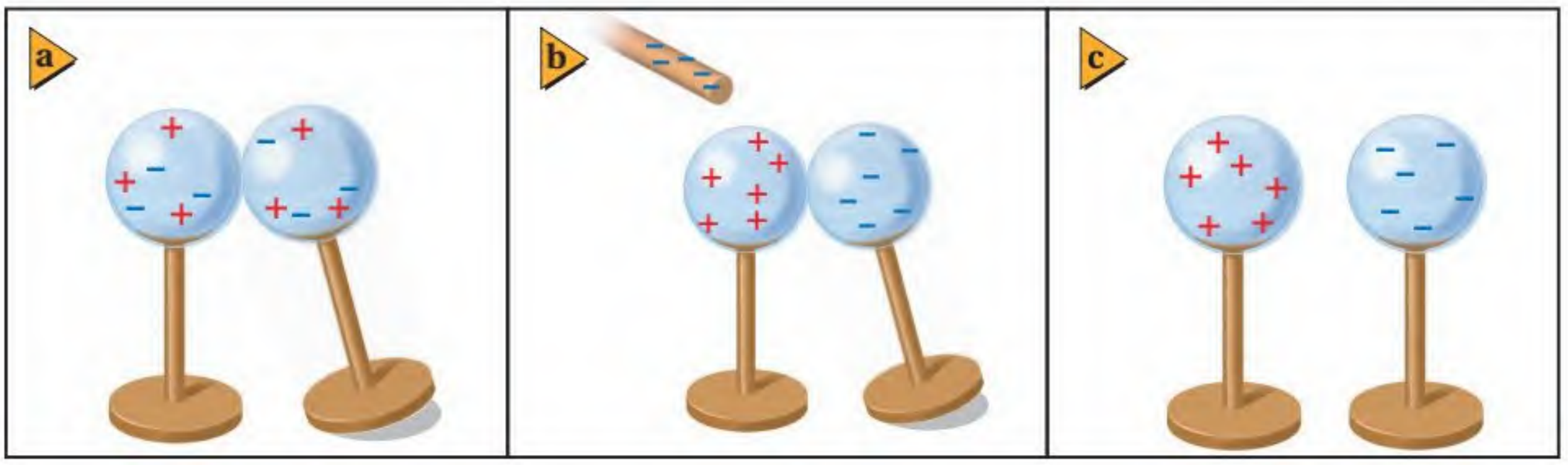
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

افترض أنك قرّبت إصبعك أو أي جسم غير مشحون إلى جسم شحنته موجبة. ستنجذب الشحنات السالبة في إصبعك نحو الجسم ذي الشحنة الموجبة، وتتنافر الشحنات الموجبة في إصبعك منه. ويبقى إصبعك متعادلاً كهربائيًّا، إلا أن الشحنات الموجبة فيه تُفصل عن الشحنات السالبة. وتكون القوة الكهربائية كبيرة بين الشحنات المتقاربة، لذا فإن فصل الشحنات ناتج عن قوة التجاذب بين إصبعك والجسم المشحون. كما أن القوة التي أثرت بها المسطرة البلاستيكية المشحونة في قصاصات الورق المتعادلة هي نتيجة لعملية فصل الشحنات بعضها عن بعض على الجسم نفسه.

ويمكن للشحنات السالبة في أسفل الغيوم الرعدية أن تؤدي أيضًا إلى فصل الشحنات على سطح الأرض؛ حيث تجذب الشحنات الموجبة على الأرض نحو سطح الأرض أسفل الغيمة. وتكون القوى الكهربائية المتبادلة بين الشحنات الموجودة على الغيوم والشحنات الموجودة على سطح الأرض قادرة على فصل الجزيئات إلى جسيمات موجبة وأخرى سالبة الشحنة. وتكون هذه الجسيمات المشحونة حرة الحركة، وتنشئ مسارًا موصلًا من الأرض إلى الغيوم. ويحدث البرق الذي تلاحظه عندما تنتقل صاعقة بسرعة 500,000 km /h تقريبًا على امتداد المسار الموصل بين الأرض والغيمة، فتؤدي إلى تفريغ شحنات الغيمة.

الشحن بالحث افترض أن كرتين فلزيتين متماثلتين متعادلتين ومعزولتين قد تلامستا، كما في **الشكل 8–10a**. عند تقريب قضيب مشحون إلى إحداهما، كما في **الشكل 8–10b**، تنتقل الإلكترونات من الكرة الأولى إلى الكرة الثانية البعيدة عن القضيب؛ بسبب قوة التنافر مع الشحنات السالبة التي على القضيب، وتصبح سالبة الشحنة، في حين تصبح الكرة الأولى (القريبة من القضيب) موجبة الشحنة. وإذا فُصلت الكرتان إحداهما عن الأخرى والقضيب قريب فإنهما ستُشحنان بشحنتين متساويتين مقدارًا ومختلفتين نوعًا، كما هو موضح في **الشكل 8–10c**. وتسمى عملية شحن الجسم دون ملامسته **الشحن بالحث**.

تستطيع شحن جسم واحد بالحث عن طريق **التأريض**؛ وهو عملية توصيل جسم بالأرض للتخلص من الشحنات الفائضة، حيث تعدّ الأرض كرة كبيرة، ولها قدرة على استيعاب كمية كبيرة من الشحنة دون أن تظهر عليها آثار هذه الشحنة. فإذا لامس جسم مشحون الأرض فإن كل شحناته تنتقل غالبًا إلى الأرض.



الشكل 8–10 من طرائق شحن الأجسام الشحنُ بالحث، حيث يبدأ بتلامس كرتين متعادلتين (a)، ثم يقرّب قضيب مشحون إليهما (b). ثم تفصل الكرتان إحداهما عن الأخرى أولاً، ثم يُبعد القضيب المشحون(c). تتساوى الشحنات على الكرتين في المقدار، ولكنها تختلف في النوع.

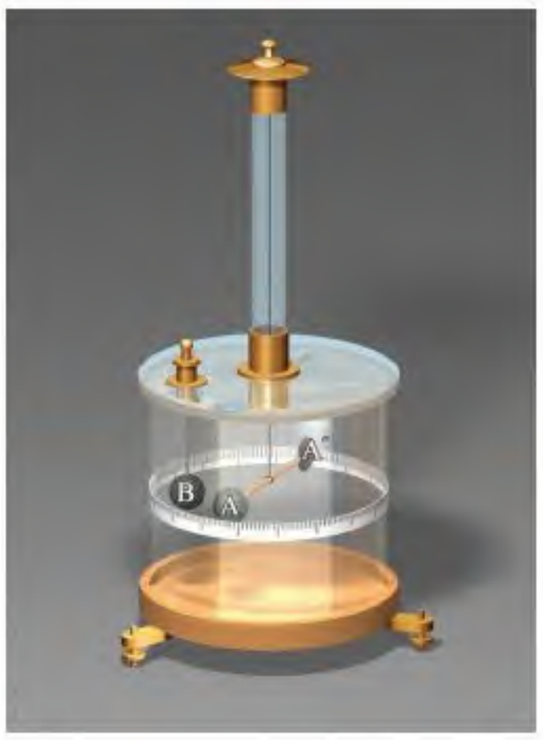
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 11–8** يحث قضيب سالب الشحنة على فصل الشحنات على الكشّاف الكهربائي (**a**). يتم تأريض الكشّاف الكهربائي عن طريق لمسه، فتنتقل الإلكترونات السالبة من الكشّاف الكهربائي إلى الأرض (**b**). يُفصل تأريض الكشاف قبل إبعاد القضيب، فيصبح الكشّاف الكهربائي موجب الشحنة (**c**).

فإذا قُرّب قضيب مشحون بشحنة سالبة إلى كرة كشّاف كهربائي متعادل، كما في **الشكل 11a–8**، فإن الشحنات السالبة (الإلكترونات) تتنافر مع شحنات القضيب، وتتحرك مبتعدة نحو الورقتين، مع بقاء الشحنات الموجبة على الكرة. وإذا أرَّضنا (لامسنا) الطرف الآخر للكرة البعيد عن القضيب المشحون فإن الإلكترونات تنتقل من الكشاف إلى الأرض إلى أن تتعادل الورقتان؛ أي تنطبقا، كما في **الشكل 11b–8**. وبفصل التأريض ثم إبعاد القضيب المشحون تصبح شحنة الكشاف موجبة، كما في **الشكل 11c–8**. ويمكن استخدام التأريض أيضًا مصدرًا للإلكترونات؛ فعند تقريب قضيب موجب الشحنة إلى كرة كشّاف كهربائي مع توصيل الطرف المقابل للكرة بالأرض فإن الإلكترونات تنجذب من الأرض نحو الكشّاف الكهربائي، ويصبح سالب الشحنة. وفي هذه الخطوة تكون الشحنات المستحثة على الكشّاف الكهربائي مخالفة لشحنة الجسم المؤثر. ولأن القضيب المشحون لم يلمس كرة الكشّاف الكهربائي فإن شحنة القضيب لم تنتقل، ولذلك يمكن استخدامه أكثر من مرة لشحن الأجسام بالحث.

قانون كولوم Coulomb's Law

عرفت أن القوة الكهربائية تؤثر بين جسمين مشحونين أو أكثر. ففي تجاربك التي أجريتها على الشريط اللاصق وجدت أن القوة تعتمد على البعد بين الجسمين المشحونين؛ فكلما قرّبت المشط المشحون أكثر إلى الشريط ازدادت القوة الكهربائية. ووجدت أيضًا أنه كلما زادت شحنة المشط زادت القوة الكهربائية. فكيف يمكنك تغيير كمية الشحنة بطريقة محكمة أو بطريقة مسيطر عليها؟ حلّ الفيزيائي الفرنسي شارل كولوم هذه المشكلة عام 1785م؛ حيث استخدم الأدوات الموضحة في **الشكل 12–8**، وهي قضيب عازل في طرفيه كرتان صغيرتان موصلتان A و A`، ومعلّق من منتصفه بسلك رفيع. ووضعت كرة مماثلة B ملامسة للكرة A، وعند ملامسة جسم مشحون لهاتين الكرتين تنتقل الشحنات من الجسم المشحون إلى الكرتين وتتوزع عليهما بالتساوي، حيث تكتسبان الكمية نفسها من الشحنة؛ لأن لهما مساحة السطح الخارجي نفسها. ولأن رمز الشحنة هو q لذا يمكن تمييز مقادير الشحنات على الكرتين بالرمزين: q_A و q_B.



■ **الشكل 12–8** استعمل كولوم جهازًا مماثلًا لقياس القوة بين كرتين، A و B. ولاحظ انحراف الكرة A مع تغير المسافة بين A وB.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تعتمد القوة الكهربائية على المسافة درس كولوم كيفية اعتماد القوة الكهربائية بين كرتين مشحونتين على المسافة بينهما. ففي البداية قاس كولوم بدقة مقدار القوة اللازمة لِلَيّ (فَتْل) سلك التعليق بزاوية معينة، ثم وضع شحنتين متساويتين على الكرتين A و B، وبدأ يغيّر المسافة r بينهما. عندها حرّكت القوة الكهربائية الكرة A، مما أدى إلى ليّ سلك التعليق، وبقياس انحراف الكرة A تمكن كولوم من حساب قوة التنافر بينهما، وأثبت كولوم أن القوة الكهربائية بين الكرتين تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة بين مركزيهما.

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

تعتمد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة لاستقصاء كيفية اعتماد القوة الكهربائية على مقدار الشحنة، تعيَّن على كولوم تغيير الشحنات على الكرات بطريقة مدروسة. فشحن أولاً الكرتين A و B بالتساوي، كما فعل ذلك سابقًا، ثم اختار كرة غير مشحونة C، مساحة سطحها الخارجي مماثلة للكرة B. عند ملامسة الكرة C للكرة B تتقاسم الكرتان الشحنة الموجودة على الكرة B فقط. لذا تكون شحنة الكرة B مساوية لنصف شحنة الكرة A. وبعد أن ضبط كولوم موضع الكرة B بحيث أصبحت المسافة r بين الكرتين A و B كما كانت في السابق تمامًا لاحظ أن القوة بين الكرتين A و B أصبحت تساوي نصف قيمتها السابقة؛ أي أن القوة الكهربائية تتناسب طرديًّا مع مقدار شحنتي الجسمين.

$$F \alpha q_A q_B$$

وبعد قياسات كثيرة مماثلة لخَّص كولوم النتائج في قانون عُرف **بقانون كولوم**؛ ينص على أن مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنتين q_A و q_B اللتين تفصلهما مسافة مقدارها r يتناسب طرديًّا مع مقدار كل من الشحنتين، وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

$$F \alpha \frac{q_A q_B}{r^2}$$

وحدة الشحنة الكهربائية: الكولوم يصعب قياس كمية الشحنة على جسم مباشرة. وقد بيّنت تجارب كولوم أنه يمكن ربط كمية الشحنة بالقوة الكهربائية، لذا تمكَّن كولوم من تعريف كمية معيارية أو قياسية للشحنة بدلالة مقدار القوة التي تولّدها. وسمّيت هذه الوحدة المعيارية للشحنة الكهربائية في النظام العالمي للوحدات SI **الكولوم** C. والكولوم الواحد يساوي مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون، ومقدار شحنة الإلكترون المفرد تساوي 1.6×10^{-19} C، ويسمّى مقدار شحنة الإلكترون **الشحنة الأساسية**. ويمكن للصاعقة أن تحمل شحنة مقدارها 5 C إلى 25 C. وحتى المواد الصغيرة -ومنها قطعة العملة المعدنية- تحتوي شحنة سالبة قد تصل إلى 10^6 C، وهذه المقدار الهائل من كمية الشحنة السالبة لا ينتج غالبًا أي تأثيرات خارجية؛ لأن العملة متعادلة ومتزنة بكمية شحنة موجبة مساوية لكمية الشحنة السالبة. أما إذا كانت الشحنات غير متعادلة فستتولد قوى كهربائية، وحتى لو كانت الشحنة صغيرة، 10^{-9} C مثلًا، فإنها يمكن أن تولّد قوى كهربائية كبيرة.

تجربة

الحث والتوصيل

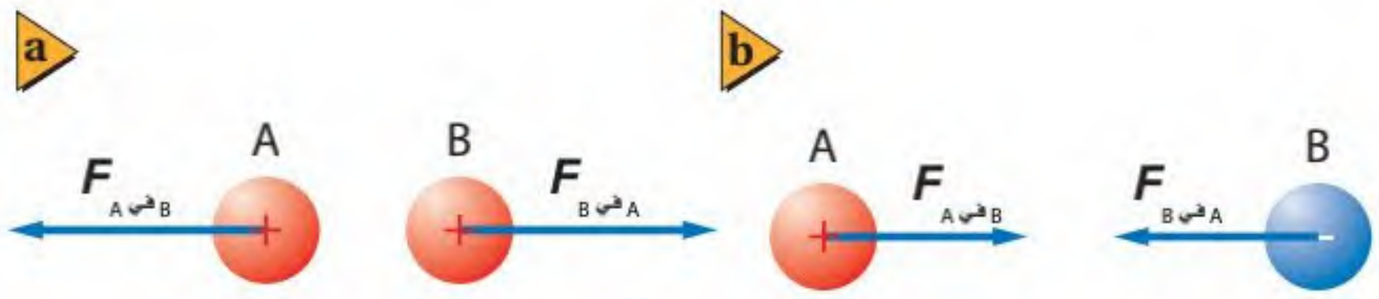
استعمل بالونًا وكشافًا كهربائيًا لاستقصاء الشحن بالحث وبالتوصيل.

1. **توقع** ماذا يحدث إذا شحنت بالونًا بدلكه بالصوف، ثم قرّبته إلى قرص كشاف كهربائي متعادل؟
2. **توقع** ماذا يحدث إذا لامس البالون قرص الكشّاف الكهربائي؟
3. **اختبر** توقعاتك.

التحليل والاستنتاج

4. **صف** نتائجك.
5. **وضح** حركة الورقتين في كل خطوة من خطوات التجربة، على أن تضمّن الشرح رسومًا توضيحية.
6. **صف** النتائج إذا استعملت الصوف لشحن الكشّاف الكهربائي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 13–8** قاعدة تحديد اتجاه القوة هي: الشحنات المتشابهة تتنافر؛ والشحنات المختلفة تتجاذب.

ووفق قانون كولوم يمكن كتابة مقدار القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة q_A والناتجة بفعل تأثير الشحنة q_B التي تقع على بعد r منها على الشكل الآتي:

قانون كولوم

$$F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$$

القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين تساوي ثابت كولوم مضروبًا في حاصل ضرب مقداري الشحنتين مقسومًا على مربع المسافة بينهما.

إذا قيست الشحنات بوحدة الكولوم، والمسافة بالأمتار، والقوة بالنيوتن، فإن ثابت كولوم K يساوي $9.0\times10^9\ N.m^2/C^2$.

يُمكِّننا قانون كولوم من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_A في الشحنة q_B، كما يُمكِّننا أيضًا من حساب مقدار القوة التي تؤثر بها الشحنة q_B في الشحنة q_A. وهاتان القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الاتجاه. ويمكنك ملاحظة هذا التطبيق على القانون الثالث لنيوتن في الحركة عمليًّا عندما تقرّب شريطين لاصقين مشحونين بشحنتين متماثلتين أحدهما إلى الآخر؛ حيث يؤثر كل منهما بقوة في الآخر.

القوة الكهربائية كمية متجهة، مثلها في ذلك مثل جميع القوى الأخرى في الطبيعة، لذا تحتاج متجهات القوة إلى تحديد المقدار والاتجاه. ولأن معادلة قانون كولوم تزوِّدنا بمقدار القوة فقط، فإننا بحاجة إلى تحديد اتجاهها، ويتم ذلك برسم مخطّط للشحنات وتفسير العلاقات بينها بدقة. فإذا قرِّب جسمان A و B مشحونان بشحنتين موجبتين أحدهما إلى الآخر فإن كلًّا منهما سيؤثر في الآخر بقوة تنافر، كما في **الشكل 13a–8**. أما إذا كانت شحنة الجسم B مثلًا سالبة فستكون القوة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر قوة تجاذب، كما كما موضح في **الشكل 13b–8**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

استراتيجيات حل المسألة

مسائل القوة الكهربائية

استخدم هذه الخطوات لإيجاد مقدار القوة المتبادلة بين الشحنات، واتجاهها.

1. ارسم مخطّطًا للنظام مبيّنًا فيه المسافات والزوايا جميعها بمقياس رسم مناسب.
2. ارسم متجهات القوى في النظام.
3. استخدم قانون كولوم لإيجاد مقدار القوة.
4. استعمل مخطّطك والعلاقات المثلثية لإيجاد اتجاه القوة.
5. نفّذ العمليات الجبرية على كل من الأرقام والوحدات. وتحقّق من أن الوحدات متوافقة مع المتغيرات في السؤال.
6. تأمل إجابتك جيدًا. هل هي منطقية؟

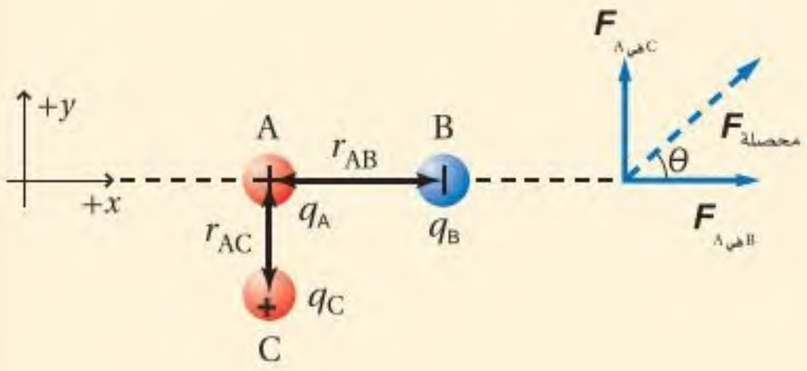
مثـــــال 1

قانون كولوم في بعدين إذا كانت الكرة A مشحونة بشحنة مقدارها $+6.0\ \mu C$، وموضوعة على بُعد $4.0\ cm$ عن يسار كرة أخرى B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها $3.0\ \mu C$ فأجب عما يأتي:

a. احسب مقدار واتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

b. إذا وضعت كرة ثالثة C مشحونة بشحنة مقدارها $+1.5\ \mu C$ مباشرة أسفل الكرة A، وعلى بُعد $3.0\ cm$ منها، فما مقدار القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- أنشئ المحاور الإحداثية، وارسم الكرات عليها.
- بيّن المسافات الفاصلة بين الكرات، وسمِّها، ودوّنها على الرسم.
- ارسم متجهات القوة، وسمِّها، ودوّنها على الرسم.

المعلوم		المجهول
$r_{AB}= 4.0\ cm$	$q_A=+6.0\ \mu C$	$F_{A\text{في}B}=?$
$r_{AC}= 3.0\ cm$	$q_B=-3.0\ \mu C$	$F_{A\text{في}C}=?$
	$q_C=+1.5\ \mu C$	$F_{\text{محصلة}}=?$

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. احسب مقدار القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

$$F_{A\text{في}B} = K\frac{q_A q_B}{r^2_{AB}}$$

بالتعويض عن $q_A=6.0\ \mu C$، $q_B=3.0\ \mu C$

$r_{AB}= 4.0\ cm$

$$=\left(9.0\times10^{9}\ N.\frac{m^2}{C^2}\right)\frac{(6.0\times10^{-6}\ C)\,(3.0\times10^{-6}\ C)}{(4.0\times10^{-2}\ m)^2}$$

$$=1.0\times10^{2}\ N$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

لأن الكرتين A و B مختلفتان في نوع الشحنة فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A إلى اليمين.

b. احسب مقدار القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A.

$$F_{\text{A في C}} = K\frac{q_A q_C}{r^2_{AC}}$$

$$= \left(9.0 \times 10^9\ \text{N.}\frac{\text{m}^2}{\text{C}^2}\right)\frac{(6.0 \times 10^{-6}\text{C})\ (1.5 \times 10^{-6}\text{C})}{(3.0 \times 10^{-2}\text{m})^2}$$

بالتعويض عن
$q_A = 6.0\ \mu\text{C}$ ، $q_c = 1.5\ \mu\text{C}$
$r_{AC} = 3.0\ \text{cm}$

$$= 9.0 \times 10^1\ \text{N}$$

للكرتين A و C شحنتان متماثلتان، لذلك ستتنافران. وسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها الكرة C في الكرة A إلى أعلى.

أوجد ناتج الجمع الاتجاهي لـ $F_{\text{A في B}}$ و $F_{\text{A في C}}$ لإيجاد $F_{\text{المحصلة}}$ المؤثرة في الكرة A.

$$F_{\text{المحصلة}} = \sqrt{F^2_{A\text{ في }B} + F^2_{A\text{ في }C}}$$

$$= \sqrt{(1.0 \times 10^2\ \text{N})^2 + (9.0 \times 10^1\ \text{N})^2}$$

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ \text{N}$
$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ \text{N}$

$$= 130\ \text{N}$$

دليل الرياضيات

معكوس الجيب، ومعكوس جيب التمام، ومعكوس الظل

$$\tan\theta = \frac{F_{A\text{ في }C}}{F_{A\text{ في }B}}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_{A\text{ في }C}}{F_{A\text{ في }B}}\right)$$

بالتعويض عن $F_{A\text{ في }B} = 1.0 \times 10^2\ \text{N}$
$F_{A\text{ في }C} = 9.0 \times 10^1\ \text{N}$

$$= \tan^{-1}\left(\frac{9.0 \times 10^1\ \text{N}}{1.0 \times 10^2\ \text{N}}\right)$$

$$= 42^\circ$$

$F_{\text{محصلة}} = 130\ \text{N}, 42^\circ$ فوق المحور x بزاوية مقدارها

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(\text{N.m}^2/\text{C}^2)(\text{C})(\text{C})/\text{m}^2 = \text{N}$، تُبسّط الوحدات فتصبح نيوتن.
- **هل للاتجاه معنى؟** الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.
- **هل الجواب منطقي؟** يتفق مقدار القوة المحصلة مع مقداري القوتين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

8. تفصل مسافة مقدارها 0.30 m بين شحنتين؛ الأولى سالبة مقدارها -2×10^{-4} C، والثانية موجبة مقدارها $+8.0\times10^{-4}$ C. ما القوة المتبادلة بين الشحنتين؟

9. إذا أثرت الشحنة السالبة -6.0×10^{-6} C بقوة جذب مقدارها 65 N في شحنة ثانية تبعد عنها مسافة 0.050 m فما مقدار الشحنة الثانية؟

10. في المثال 1، إذا أصبحت شحنة الكرة B تساوي +3.0 μC فارسم الحالة الجديدة للمثال، وأوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

11. وضعت كرة A شحنتها $+2.0\times10^{-6}$ C عند نقطة الأصل، في حين وضعت كرة B مشحونة بشحنة سالبة مقدارها -3.6×10^{-6} C عند الموقع +0.60 m على المحور x. أما الكرة C المشحونة بشحنة مقدارها $+4.0\times10^{-6}$ C فقد وضعت عند الموقع +0.80 m على المحور x. احسب القوة المحصلة المؤثرة في الكرة A.

12. في المسألة السابقة، أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.

تذكّر دائمًا عند استخدام قانون كولوم أن هذا القانون يُطبّق فقط على الشحنات النقطية أو التوزيعات الكروية المنتظمة للشحنة. وهذا يعني أنه يمكن التعامل مع كرة مشحونة وكأن كل شحنتها مجمّعة في مركزها، فقط إذا كانت الشحنة موزعة بالتساوي على سطحها أو على حجمها. فإذا كانت الكرة موصلة وقُرِّبت إليها شحنة أخرى فإن الشحنات على الكرة ستتجاذب أو تتنافر مع هذه الشحنة؛ فلا تؤثر شحنة الكرة كما لو كانت مجتمعة في مركزها. لذا يجب أخذ أبعاد الكرتين المشحونتين والبعد بين مركزيهما بعين الاعتبار قبل تطبيق قانون كولوم. والمسائل المطروحة في هذا الكتاب تفترض أن أبعاد الكرات المشحونة صغيرة، ويبعد بعضها عن بعض مسافات كافية، بحيث يمكن اعتبارها شحنات نقطية، ما لم يذكر خلاف ذلك. أما إذا كانت الأجسام المشحونة أسلاكًا طويلة أو ألواحًا مستوية فيجب تعديل قانون كولوم ليناسب توزيعات غير نقطية من الشحنات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الشكل 14–8 الرماد المتصاعد من المداخن نتيجة ثانوية لاحتراق الفحم. ويمكن استعمال مرشّحات الترسيب الكهروسكوني لتقليل هذا الرماد.

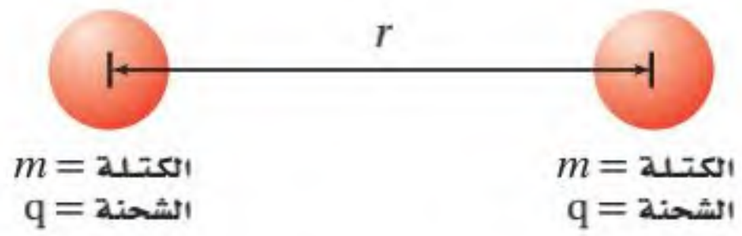
تطبيقات القوى الكهروسكونية
Applications of Electrostatic Forces

هناك العديد من تطبيقات القوى الكهربائية على الجسيمات. وتستطيع هذه القوى مثلاً تجميع السناج (السواد الناتج عن الدخان) من المداخن، ومن ثم تحدّ من تلوث الهواء، كما هو موضح في **الشكل 14–8**، كما يمكن شحن قطرات الطلاء الصغيرة جدًّا بالحث، واستعمالها لطلاء السيارات وأجسام أخرى بصورة منظمة وموحدة جدًّا. وتستخدم آلات التصوير الفوتوجرافي الكهرباء الساكنة لوضع الحبر الأسود على الورق، بحيث يتم نسخ صورة طبق الأصل للوثيقة الأصلية. ويُعدّ تجمع الشحنات الساكنة سببًا لحدوث التلف. فمثلاً تجمع الشحنات الساكنة على فيلم قد يكون سببًا في جذب الغبار عليه مما يسبب تلفه، كما يمكن أن تتعطل معدات إلكترونية عند تفريغ الشحنة الساكنة. لذا تصمّم التطبيقات في هذه الحالات لتجنّب تراكم الشحنة الساكنة، وإزالة أي شحنة قد تتراكم بطريقة آمنة.

مسألة تحفيز

يبين الشكل المجاور كرتين لهما الكتلة نفسها m، وشحنة كل منهما $+q$، والبعد بين مركزيهما r.

1. اشتق تعبيرًا للشحنة q التي يجب أن تكون على كلتا الكرتين لتكونا في حالة اتزان. هذا يعني أن هناك اتزانًا بين قوتي التجاذب والتنافر.
2. إذا تضاعفت المسافة بين الكرتين فكيف يؤثر هذا في قيمة الشحنة q التي حدّدتها في المسألة السابقة؟ وضّح ذلك.
3. إذا كانت كتلة كل من الكرتين 1.50 kg فحدّد قيمة الشحنة التي ينبغي أن تكون موجودة على كل منهما للحفاظ على حالة الاتزان.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2–8 مراجعة

13. **القوة والشحنة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والشحنة؟ صِف القوة عندما تكون الشحنات متشابهة، وعندما تكون مختلفة.

14. **القوة والمسافة** ما نوع العلاقة بين القوة الكهربائية والمسافة؟ وكيف تتغير القوة إذا زادت المسافة بين شحنتين إلى ثلاثة أمثالها؟

15. **الكشّاف الكهربائي** عند شحن كشّاف كهربائي ترتفع ورقتاه الفلزيتان لتشكّلا زاوية معينة، وتبقى الورقتان محافظتين على تلك الزاوية. لماذا لا ترتفع الورقتان أكثر من ذلك؟

16. **شحن كشّاف كهربائي** اشرح كيف يمكن شحن كشّاف كهربائي بشحنة موجبة باستخدام:

    a. قضيب موجب.

    b. قضيب سالب.

17. **جذب الأجسام المتعادلة** ما الخاصيتان اللتان تفسّران انجذاب جسم متعادل إلى كل من الأجسام المشحونة بشحنة موجبة والأجسام المشحونة بشحنة سالبة؟

18. **الشحن بالحث** ماذا يحدث عند شحن كشّاف كهربائي بالحث، وإبعاد قضيب الشحن قبل فصل تأريض الكرة؟

19. **القوى الكهربائية** كرتان A وB مشحونتان، المسافة بين مركزيهما r. إذا كانت شحنة الكرة A تساوي $+3\ \mu C$ وشحنة الكرة B تساوي $+9\ \mu C$ فقارن بين القوة التي تؤثر بها الكرة A في الكرة B والقوة التي تؤثر بها الكرة B في الكرة A.

20. **التفكير الناقد** افترض أنك تختبر صحة قانون كولوم باستخدام كرة بلاستيكية صغيرة موجبة الشحنة وكرة فلزية كبيرة موجبة الشحنة. فوفق قانون كولوم، تتناسب القوة مع $\frac{1}{r^2}$؛ حيث تمثل r المسافة بين مركزي الكرتين. وعند تقريب الكرتين إحداهما إلى الأخرى وُجد أن القوة بينهما أصغر مما هو متوقع من قانون كولوم. وضح ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفيزياء

الأجسام المشحونة

لاحظت في هذا الفصل ودرست ظواهر تنتج عن فصل الشحنات الكهربائية. وتعلّمت أن كلًّا من المطاط الصلب والبلاستيك يميل إلى أن تصبح شحنته سالبة بعد الدلك، في حين يميل كل من الصوف والزجاج إلى يصبح موجب الشحنة. ولكن ماذا يحدث إذا دلكت جسمين معًا يميل كل منهما إلى أن يصبح سالب الشحنة؟ هل تنتقل الإلكترونات؟ وإذا كان الأمر كذلك فأي المادتين ستكتسب إلكترونات، وأيهما ستفقدها؟ ستصمّم في هذه التجربة إجراءات وخطوات لمزيد من الاستقصاءات حول الشحنات الموجبة والسالبة.

سؤال التجربة

كيف يمكنك اختبار قدرة المواد على اكتساب أو فقد الشحنات السالبة؟

الأهداف

- **تلاحظ** أن المواد المختلفة تميل إلى أن تُشحن بشحنة موجبة أو تُشحن بشحنة سالبة.
- **تقارن** بين قدرة المواد على اكتساب الشحنات السالبة والشحنات الموجبة والاحتفاظ بها.
- **تفسّر البيانات** لترتّب قائمة بالمواد من الأكثر ميلاً لتصبح سالبة الشحنة إلى الأكثر ميلاً لتصبح موجبة الشحنة.

احتياطات السلامة

المواد والأدوات

مسطرة بلاستيكية طولها 15 cm
خيط
حامل
شريط لاصق
مواد قابلة للشحن، مثل: قضيب مطاطي، وقضيب بلاستيكي، وقضيب زجاجي، وأنبوب البولي فينيل كلورايد PVC، وأنبوب نحاسي، وأنبوب فولاذي، وأقلام رصاص، وأقلام حبر، وقطعة صوف، وقطعة حرير، وغلاف طعام بلاستيكي، وأكياس بلاستيكية، وورق زبد، وورق ألومنيوم.

الخطوات

1. انظر إلى الصورة المجاورة لتستفيد منها في تعليق المسطرة البلاستيكية. يُفضّل غسل المسطرة بالماء والصابون، وتجفيفها تمامًا قبل كل استعمال، وخصوصًا إذا كان الجو رطبًا. اربط الخيط بمنتصف المسطرة، على أن يفصل بينه وبين المسطرة لفة إلى ثلاث لفات من الشريط اللاصق.
2. استخدم الحالتين الآتيتين مرجعًا لأنواع الشحنات التي يمكن أن تكون للمواد: (1) عند دلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة سالبة، أما قطعة الصوف فتشحن بشحنة موجبة. (2) عند دلك مسطرة بلاستيكية بغلاف طعام بلاستيكي تشحن المسطرة البلاستيكية بشحنة موجبة، أما غلاف الطعام البلاستيكي فيشحن بشحنة سالبة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات					
المادة1	المادة2	الشحنة على المسطرة (+، −، 0)	ملاحظات على حركة المسطرة	الشحنة على المادة1 (+، −، 0)	الشحنة على المادة 2 (+، −، 0)

3. صمّم خطـوات وإجـراءات لمعرفة أي الأجسـام تميل إلى أن تُشـحن بشـحنة سـالبة، وأيها تميل إلى أن تُشحن بشـحنة موجبة. جرّب مجموعات مختلفة من المواد، ودوّن ملاحظاتك في جدول البيانات.
4. طوّر اختبارًا لتكشـف ما إذا كان جسم ما متعادلًا أم لا. وتذكّر أن المسطرة المشحونة قد تنجذب إلى جسم متعادل إذا عملت على فصل شحنات هذا الجسم بالحث.
5. تأكد من أن معلمك قد تفحّص تجربتك، وعليك الحصول على موافقته قبل متابعة تنفيذ النشاط.

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** عندما قرّبت مواد مشـحونة بعضها إلى بعض، هل لاحظت وجود قوة بين هذه المواد المشـحونة؟ صِف هذه القوة.
2. **صياغة النماذج** أنشئ رسمًا لتوزيع الشحنة على المادتين في إحدى المحاولات. واستخدم الرسم لتوضيح لماذا أثرت المادتان إحداهما في الأخرى بتلك الطريقة خلال تجربتك؟
3. **استخلص النتائج** أي المواد احتفظت بشحنة فائضة، وأيها لم تحتفظ بالشحنة جيدًا؟
4. **استخلص النتائج** أي المواد لها ميل لتشحن بشحنة سالبة، وأيها لها ميل لتشحن بشحنة موجبة؟
5. **فسّر البيانات** اسـتخدم جدول بياناتك لتعدّ قائمة بالميول النسبية للمواد لتصبح موجبة الشحنة أو سالبتها.

الاستنتاج والتطبيق

1. وضّح المقصود بتعبير الشـحنة الفائضة، وعدم التوازن في الشحنة عند الإشارة إلى الكهرباء الساكنة.
2. هل تبقى الشـحنة الفائضـة في المادة أم تنتقـل مع مرور الوقت؟
3. هل يمكنك إكمال هذا النشـاط باسـتخدام قضيب فلزي بدلاً من المسطرة البلاستيكية المعلّقة؟ وضّح إجابتك.
4. تسـتعمل الأغلفة البلاسـتيكية الشـفافة لتغطية أوعية الطعام، فلماذا يلتصق الغلاف البلاستيكي الشفاف بعضه ببعض بعد سحبه عن أوعية الطعام التي كان يغطيها؟

التوسع في البحث

راجع المعلومات في كتابك حول الكشّـاف الكهربائي. وأعِد تصميم النشاط على أن تستعمل الكشّاف الكهربائي بدلًا من المسطرة البلاسـتيكية المعلّقة؛ لتفحص نوع الشحنة التي على الجسم.

الفيزياء في الحياة

للشـاحنات غالبًا حزام مطاطي أو سلسلة متدلية منها تتصل بسطح الطريق. لماذا؟

تقنية المستقبل

المركبة الفضائية والكهرباء الساكنة Spacecraft and Static Electricity

معظم الأجسام على الأرض لا تتراكم عليها شحنات كهربائية ساكنة كبيرة؛ وذلك بسبب ملامسة سطوح هذه الأجسام لطبقة رطبة تعمل على نقل الشحنات من الأرض أو إليها؛ حيث يمكن للأرض استيعاب أي كمية من الشحنات، كما تعلّمت في هذا الفصل. أما في الفضاء فلا توجد رطوبة، كما أن الأرض بعيدة، لذا تصطدم الجسيمات المشحونة التي تنطلق خارجة من الشمس أو تلك الموجودة في طبقة الأيونوسفير بالمركبة الفضائية وتلتصق بها، فتشحن سطح المركبة الفضائية بآلاف الفولتات.

البلازما والشحن البلازما إحدى حالات المادة، وتتكون من إلكترونات حرة وأيونات موجبة. تكون المركبة الفضائية في مدارها محاطة بسحابة رقيقة من هذه البلازما. وتتحرك الإلكترونات في البلازما بسهولة أكثر من الأيونات الموجبة الضخمة، لذا يميل سطح المركبة الفضائية إلى جذب الإلكترونات، فيحدث تراكم للشحنة السالبة. وتجذب هذه الشحنة السالبة بعض الأيونات الموجبة الثقيلة، التي تصطدم بالمركبة الفضائية فتلحق الضرر بسطحها.

وحدة قواطع البلازما

نموذج PCU

هناك صعوبة إضافية على متن *محطة الفضاء الدولية*؛ ناجمة عن صفٍّ الألواح الشمسية التي تحوّل الطاقة الشمسية إلى كهرباء. فعندما تزوّد هذه الألواح محطة الفضاء بالطاقة يصبح جهد سطح المركبة قريبًا من جهد الألواح الشمسية. ونتيجة لذلك قد يحدث قوس كهربائي (تفريغ كهربائي مستمر في صورة شرر متكرر الحدوث) بين محطة الفضاء والبلازما المحيطة بها.

عواقب تكوُّن القوس درجة حرارة الأقواس الكهربائية المتكوّنة كبيرة جدًّا، كما أنها تحمل تيارًا كهربائيًّا كبيرًا، لذا يمكنها أن تُشعل الصواريخ الرجعية قبل أوان تشغيلها، ويمكنها تفجير براغي التثبيت، وتتداخل مع المعدات الإلكترونية الخاصة بتشغيل المركبة الفضائية. كما أن الألواح الشمسية معرّضة بصورة خاصة لضرر القوس الكهربائي. وإضافة إلى الأضرار التي قد تلحق بمكوِّنات المركبة الفضائية فإن تراكم الشحنة قد يعرّض طاقم المركبة إلى الخطر في أثناء سيرهم في الفضاء.

لتفريغ فرق الجهد وحماية المركبة والطاقم يجب أن يوصل السطح الخارجي لمحطة الفضاء بسحابة البلازما المحيطة به؛ وذلك بموصل كهربائي، يسمى قواطع البلازما. يبدأ التوصيل على متن المحطة في مكان تأين غاز الزينون -المتدفق من مستودع في وحدة قواطع البلازما PCU- بواسطة تيار كهربائي. ويحدث هذا التأين عند مجمّع الكاثود (القطب السالب). ويكون الزينون المتأين في حالة البلازما، ويخرج من المركبة عن طريق مجمّع الكاثود. ويعمل تيار البلازما الموصل على وصل المركبة بسحابة البلازما المحيطة بها، مما يؤدي إلى خفض فرق الجهد إلى مستويات آمنة.

تطبيقات مستقبلية قد تصمّم المركبة الفضائية المستقبلية بدمج قواطع البلازما في نظام الدفع. ففي صاروخ البلازما المغناطيسية ذي الدفع النوعي المتغير مثلًا قد يستخدم عادم البلازما الناتج لتوفير الربط الكهربائي بين المركبة الفضائية والبلازما المحيطة بها. ويعتقد العلماء أن هذا النوع من الصواريخ سيستخدم في المستقبل للسفر بين الكواكب.

التوسع

1. **طبّق** ما الغرض من استخدام قواطع البلازما؟ وإلى أي مدى تشبه استخدام إصبعك في تأريض الكشّاف الكهربائي؟
2. **ابحث** كيف يمكن للعلماء معرفة مقدار الشحنة على سطح *محطة الفضاء الدولية*؟

الفصل 8

دليل مراجعة الفصل

8–1 الشحنة الكهربائية Electric Charge

المفردات

- الكهرباء الساكنة (الكهروسكونية)
- الذرة المتعادلة
- مادة عازلة
- مادة موصلة

المفاهيم الرئيسة

- هناك نوعان من الشحنات الكهربائية: الشحنات الموجبة والشحنات السالبة، وتفاعلات هذه الشحنات معًا توضح التجاذب والتنافر الذي لوحظ في الأشرطة اللاصقة.
- الشحنة الكهربائية لا تفنى ولا تستحدث؛ أي أنها محفوظة. والشحن ما هو إلا عملية فصل للشحنات، وليس إنتاج شحنات كهربائية جديدة.
- يمكن شحن الأجسام عن طريق نقل الإلكترونات؛ فالمناطق التي فيها فائض في الإلكترونات يكون صافي شحنتها سالبًا، أما المناطق التي فيها نقص في الإلكترونات فيكون صافي شحنتها موجبًا.
- الشحنات التي تضاف إلى جزء أو موقع ما من مادة عازلة تبقى على ذلك الموقع أو الجزء. ومن المواد العازلة الزجاج، والخشب الجاف، والمواد البلاستيكية، والهواء الجاف.
- الشحنات التي تضاف إلى مادة موصلة تتوزع بسرعة على سطح الجسم كاملاً. ومن المواد الموصلة الجرافيت، والفلزات، والمادة عندما تكون في حالة البلازما.
- تحت ظروف معيَّنة، يمكن أن تنتقل شحنات خلال مادة معروفة على أنها مادة عازلة. ويعدّ البرق الذي يتحرك خلال الهواء أحد الأمثلة على ذلك.

8–2 القوة الكهربائية Electric Force

المفردات

- الكشّاف الكهربائي
- الشحن بالتوصيل
- الشحن بالحث
- التأريض
- قانون كولوم
- الكولوم
- الشحنة الأساسية

المفاهيم الرئيسة

- عند شحن كشّاف كهربائي تؤدي القوة الكهربائية إلى انفراج ورقتيه.
- يمكن شحن جسم ما بالتوصيل بملامسته جسمًا آخر مشحونًا.
- يحث جسم مشحون شحناتِ موصلٍ متعادلٍ على الانفصال عند تقريبه إليه، وتحدث هذه العملية نتيجة قوة التجاذب بين الجسم المشحون والموصل المتعادل.
- لشحن جسم موصل بالحث يقرّب إليه جسم مشحون، فيؤدي ذلك إلى انفصال شحنات الجسم الموصل المراد شحنه؛ أي تتجمّع الشحنات الموجبة عند أحد الطرفين، والشحنات السالبة عند الطرف الآخر.
- التأريض عملية التخلص من الشحنات الفائضة عن طريق ملامسة الجسم للأرض. ويستخدم التأريض في عمليات شحن كشّاف كهربائي بالحث.
- ينص قانون كولوم على أن القوة بين جسيمين مشحونين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقداري شحنتيهما وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما. $F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$

لتحديد اتجاه القوة تذكر القاعدة الآتية: الشحنات المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب.

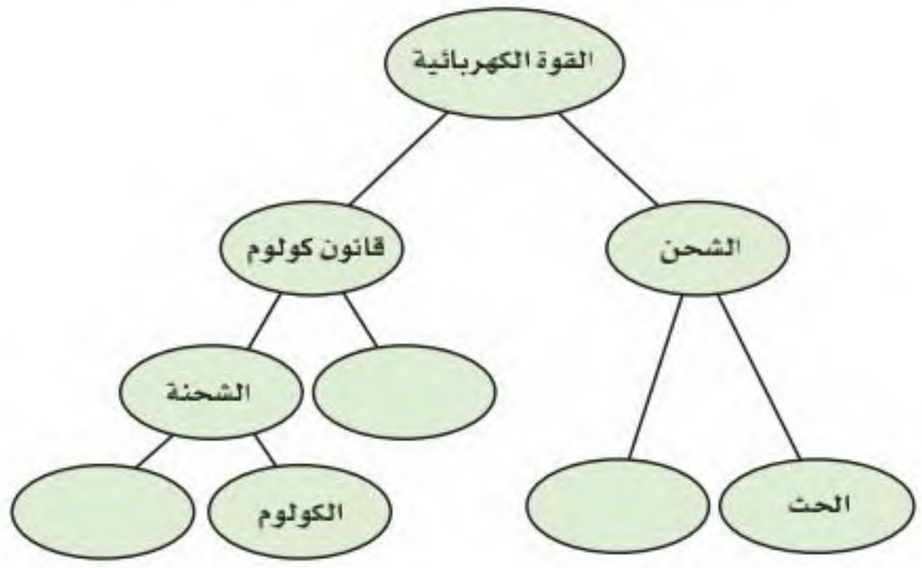
- وحدة الشحنة في النظام الدولي للوحدات SI هي الكولوم. والكولوم الواحد C هو مقدار شحنة 6.24×10^{18} إلكترون أو بروتون. والشحنة الأساسية هي شحنة البروتون أو الإلكترون، وتساوي $1.6\times10^{-19}\,C$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 8 التقويم

خريطة المفاهيم

21. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: التوصيل، المسافة، الشحنة الأساسية.



إتقان المفاهيم

22. إذا مشّطت شعرك في يوم جاف فسوف يُشحن المشط بشحنة موجبة. هل يمكن أن يبقى شعرك متعادلاً؟ وضّح إجابتك.

23. أعدّ قائمة ببعض المواد العازلة والمواد الموصلة.

24. ما الخاصية التي تجعل الفلز موصلًا جيدًا، والمطاط عازلًا جيدًا؟

25. **غسالة الملابس** عندما نخرج الجوارب من مجفّفة الملابس تكون أحيانًا ملتصقة بملابس أخرى. لماذا؟

26. **الأقراص المدمجة** لماذا يجذب قرص مدمج الغبار إذا مسحته بقطعة قماش نظيفة؟

27. **عملات معدنية** مجموع شحنة جميع إلكترونات عملة مصنوعة من النيكل تصل إلى $10^6 C$. هل يخبرنا هذا بشيء عن صافي الشحنة على هذه العملة؟ وضح إجابتك.

28. كيف تؤثر المسافة بين شحنتين في القوة المتبادلة بينهما؟ وإذا قلّت المسافة وبقي مقدار الشحنتين كما هو فماذا يحدث للقوة؟

29. اشرح كيف يمكنك شحن موصل بشحنة سالبة إذا كان لديك قضيب موجب الشحنة فقط.

تطبيق المفاهيم

30. فيم تختلف شحنة الإلكترون عن شحنة البروتون؟ وفيم تتشابهان؟

31. كيف يمكنك أن تحدّد ما إذا كان جسم ما موصلاً أم لا، باستخدام قضيب مشحون وكشّاف كهربائي؟

32. قُرّب قضيب مشحون إلى مجموعة كرات بلاستيكية صغيرة جدًّا، فانجذبت بعض الكرات إلى القضيب، إلا أنها لحظة ملامستها للقضيب اندفعت مبتعدة عنه في اتجاهات مختلفة. فسّر ذلك.

33. **البرق** يحدث البرق عادة عندما تنتقل الشحنات السالبة في الغيوم إلى الأرض. فإذا كان سطح الأرض متعادلاً فما الذي يوفر قوة الجذب المسؤولة عن سحب الإلكترونات نحو الأرض؟

34. وضّح ما يحدث لورقتي كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة عند تقريب قضيب مشحون بالشحنات الآتية إليه، مع مراعاة عدم لمس القضيب للكشّاف الكهربائي:

a. شحنة موجبة.

b. شحنة سالبة.

35. يبدو أن قانون كولوم وقانون نيوتن في الجذب العام متشابهان، كما هو موضح في **الشكل 15-8**. فيم تتشابه القوة الكهربائية وقوة الجاذبية؟ وفيم تختلفان؟

قانون كولوم $F = K\frac{q_A q_B}{r^2}$

قانون الجذب العام $F = G\frac{m_A m_B}{r^2}$

■ **الشكل 15-8** (الرسم ليس وفق مقياس رسم)

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 8

36. قيمة الثابت K في قانون كولوم أكبر كثيرًا من قيمة الثابت G في قانون الجذب العام. علامَ يدل ذلك؟

37. وَصِف هذا الفصل طريقة كولوم لشحن كرتين A و B، بحيث تكون الشحنة على الكرة B نصف الشحنة على الكرة A تمامًا. اقترح طريقة تطبقها لتصبح شحنة الكرة B مساوية ثلث شحنة الكرة A.

38. قاس كولوم انحراف الكرة A عندما كان للكرتين A وB الشحنة نفسها، وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة مقدارها r. ثم جعل شحنة الكرة B تساوي ثلث شحنة الكرة A. كم يجب أن تكون المسافة الجديدة بين الكرتين بحيث تنحرف الكرة A بمقدار مساوٍ لانحرافها السابق؟

39. يؤثر جسمان مشحونان أحدهما في الآخر بقوة مقدارها 0.145 N عندما كانا على بُعد معيّن أحدهما من الآخر. فإذا قُرِّب أحدهما إلى الآخر بحيث أصبحت المسافة بينهما رُبع المسافة السابقة فما مقدار القوة المؤثرة في كل منهما؟

40. القوى الكهربائية بين الشحنات كبيرة جدًّا عند مقارنتها بقوى الجاذبية بينها، ومع ذلك لا نشعر عادة بالقوى الكهربائية بيننا وبين المحيط من حولنا، إلا أننا نشعر بتأثيرات قوى الجاذبية مع الأرض. فسّر ذلك.

إتقان حل المسائل

8–2 القوة الكهربائية

41. شحنتان كهربائيتان، q_A و q_B، تفصل بينهما مسافة r، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها F. حلّل قانون كولوم، وحدّد القوة الجديدة التي تنتج تحت الظروف الآتية:

a. مضاعفة الشحنة q_A مرتين.

b. تقليل الشحنتين q_A و q_B إلى النصف.

c. مضاعفة r ثلاث أمثالها.

d. تقليل r إلى النصف.

e. مضاعفة q_A ثلاث أمثالها وr إلى المثلين.

42. البرق إذا نقلت صاعقة برق قوية شحنة مقدارها 25 C إلى الأرض فما عدد الإلكترونات المنقولة؟

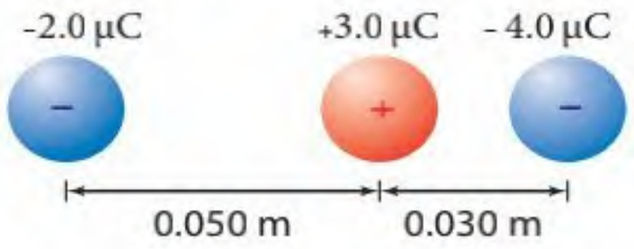
43. الذرات إذا كانت المسافة بين إلكترونين في ذرة 1.5×10^{-10} m فما مقدار القوة الكهربائية بينهما؟

44. شحنتان كهربائيتان مقدار كل منهما 2.5×10^{-5} C، والمسافة بينهما 15 cm. أوجد القوة التي تؤثر في كل منهما؟

45. إذا كانت القوة التي تؤثر في كل من الشحنتين 8.0×10^{-5} C و3.0×10^{-5} C تساوي 2.4×10^{2} N فاحسب مقدار المسافة بينهما.

46. إذا أثّرت شحنتان موجبتان متماثلتان كل منهما في الأخرى بقوة تنافر مقدارها 6.4×10^{-9} N، عندما كانت إحداهما تبعد عن الأخرى مسافة 3.8×10^{-10} m، فاحسب مقدار شحنة كل منهما.

47. تُسحب شحنة موجبة مقدارها 3.0 μC بشحنتين سالبتين، كما هو موضح في **الشكل 16–8**. فإذا كانت إحدى الشحنتين 2.0 μC – تبعد مسافة 0.050 m إلى الغرب، وتبعد الشحنة الأخرى 4.0 μC – مسافة 0.030 m إلى الشرق فما مقدار واتجاه القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة الموجبة؟

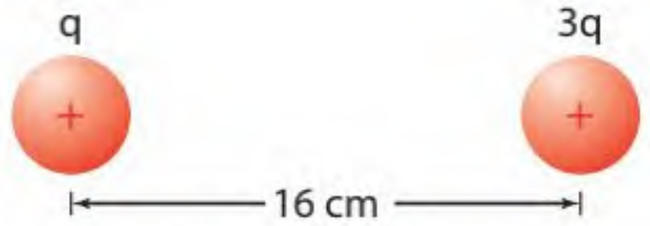


الشكل 16–8

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 8

48. يوضح **الشكل 17-8** كرتين مشحونتين بشحنتين موجبتين، شحنة إحداهما تساوي ثلاثة أمثال شحنة الأخرى، والمسافة بين مركزيهما 16 cm. إذا كانت القوة المتبادلة بينهما 0.28 N فما مقدار الشحنة على كل منهما؟



الشكل 17-8

49. **الشحنة على عملة نقدية** ما مقدار الشحنة المقيسة بالكولوم للإلكترونات الموجودة في قطعة نقدية مصنوعة من النيكل؟ استخدم الطريقة الآتية لتجد الإجابة:

a. أوجد عدد الذرات في قطعة النقد إذا كانت كتلة القطعة 5g، منها 75% نحاس، أما الـ 25% المتبقية فمن النيكل، لذا تكون كتلة كل مول من ذرات القطعة 62 g.

b. أوجد عدد الإلكترونات في قطعة النقد، علمًا أن متوسط عدد الإلكترونات لكل ذرة يساوي 28.75.

c. أوجد شحنة الإلكترونات بالكولوم.

مراجعة عامة

50. إذا لامَسَت كرة فلزية صغيرة شحنتها 1.2×10^{-5} C كرة مماثلة متعادلة، ثم وُضعت على بُعد 0.15 m منها فما القوة الكهربائية بين الكرتين؟

51. **الذرات** ما القوة الكهربائية بين إلكترون وبروتون يبعد أحدهما عن الآخر 5.3×10^{-11} m؟ (هذه المسافة تساوي نصف القطر التقريبي لذرة الهيدروجين).

52. تؤثر قوة مقدارها 0.36 N في كرة صغيرة شحنتها 2.4 μC، وذلك عند وضعها على بُعد 5.5 cm من مركز كرة ثانية مشحونة بشحنة غير معروفة. ما مقدار شحنة الكرة الثانية؟

53. كرتان متماثلتان مشحونتان، المسافة بين مركزيهما 12 cm. إذا كانت القوة الكهربائية بينهما 0.28 N فما شحنة كل كرة؟

54. في التجربة المستخدم فيها جهاز كولوم، يبعد مركز كرة شحنتها 3.6×10^{-8} C مسافة 1.4 cm عن مركز كرة ثانية غير معلومة الشحنة. إذا كانت القوة بين الكرتين 2.7×10^{-2} N فما شحنة الكرة الثانية؟

55. إذا كانت القوة بين بروتون وإلكترون 3.5×10^{-10} N فما المسافة بين الجسيمين؟

التفكير الناقد

56. **تطبيق المفاهيم** احسب نسبة القوة الكهربائية إلى قوة الجاذبية بين الإلكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين.

57. **حلّل واستنتج** وضعت الكرة A التي تحمل شحنة مقدارها +64 μC عند نقطة الأصل، ووضعت كرة ثانية B تحمل شحنة سالبة مقدارها 16 μC عند النقطة +1.00 m على محور x. أجب عن الأسئلة الآتية:

a. أين يجب وضع كرة ثالثة C شحنتها +12 μC بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة فيها صفرًا؟

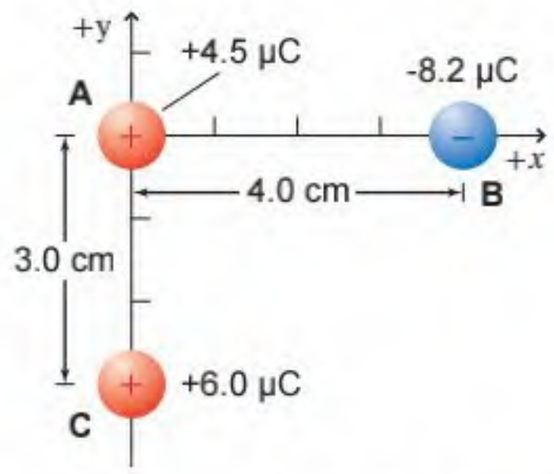
b. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة C تساوي +6 μC فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

c. إذا كانت شحنة الكرة الثالثة سالبة ومقدارها 12 μC، فأين يجب وضعها على أن تبقى محصلة القوى المؤثرة فيها صفرًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 8

58. وضعت ثلاث كرات مشحونة، كما هو موضح في الشكل **18–8**. أوجد القوة المحصلة المؤثرة في الكرة B.



■ **الشكل 18–8**

59. يوضح **الشكل 19–8** كرتي بيلسان، كتلة كل منهما 1.0 g، وشحنتاهما متساويتان؛ إحداهما معلّقة بخيط عازل، والأخرى قريبة منها ومثبتة على حامل عازل، والبعد بين مركزيهما 3.0 cm. إذا اتزنت الكرة المعلّقة عندما شكّل الخيط العازل الذي يحملها زاوية مقدارها 30.0° مع الرأسي فاحسب كلًّا مما يأتي:

a. F_g المؤثرة في الكرة المعلّقة.

b. F_E المؤثرة في الكرة المعلّقة.

c. الشحنة على كل من الكرتين.

■ **الشكل 19–8**

60. وضعت شحنتان نقطيتان ساكنتان q_A و q_B بالقرب من شحنة اختبار موجبة، q_T، مقدارها $+7.2\ \mu C$.

إذا كانت الشحنة الأولى q_A موجبة وتساوي $3.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $2.5\ cm$ من شحنة الاختبار q_T عند زاوية $35°$، والشحنة الثانية q_B سالبة ومقدارها $-6.6\ \mu C$ وتقع على بُعد $6.8\ cm$ من شحنة الاختبار عند زاوية $125°$:

a. فحدّد مقدار كل قوة من القوتين اللتين تؤثران في شحنة الاختبار q_T.

b. ارسم مخطّط القوة.

c. حدّد بالرسم القوة المحصلة المؤثرة في شحنة الاختبار q_T.

الكتابة في الفيزياء

61. **تاريخ العلم** ابحث في الأجهزة المختلفة التي كانت تستخدم في القرنين السابع عشر والثامن عشر في دراسة الكهرباء الساكنة. قد تتطرق مثلاً إلى قارورة ليدن وآلة ويمشورست. ناقش كيف تم بناؤهما، ومبدأ عمل كل منهما.

62. هناك قوى بين جزيئات الماء تؤدي إلى أن يكون الماء أكبر كثافة عندما يكون سائلًا بين $0\ °C$ و $4\ °C$ مقارنة بحالته عندما يكون صلبًا عند $0\ °C$. هذه القوى في طبيعتها ما هي إلا قوى كهروسكونية. ابحث في القوى الكهروسكونية بين الجزيئات، ومنها قوى فان درفال وقوى الاستقطاب، وصِف أثرها في المادة.

مراجعة تراكمية

63. إذا أثّرت شحنتان $2.0\times10^{-5}\ C$ و $8.0\times10^{-6}\ C$ إحداهما في الأخرى بقوة مقدارها $9.0\ N$ فاحسب مقدار البعد بينهما.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. ما عدد الإلكترونات المنتقلة من كشّاف كهربائي مشحون بشحنة موجبة إذا كان صافي شحنته 7.5×10^{-11} C؟

(A) 7.5×10^{-11} إلكترون

(B) 2.1×10^{-9} إلكترون

(C) 1.2×10^{8} إلكترون

(D) 4.7×10^{8} إلكترون

2. إذا كانت القوة المؤثرة في جسيم شحنته 5.0×10^{-9} C نتيجة تأثير جسيم آخر يبعد عنه 4 cm تساوي 8.4×10^{-5} N فما شحنة الجسيم الثاني؟

(A) 4.2×10^{-13} C

(B) 2.0×10^{-9} C

(C) 3.0×10^{-9} C

(D) 6.0×10^{-5} C

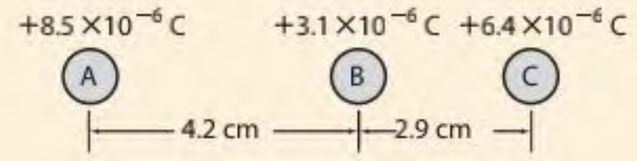
3. إذا وُضِعت ثلاث شحنات A وB وC، على خط واحد، كما هو موضح أدناه، فما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة B؟

(A) 78 N في اتجاه A

(B) 78 N في اتجاه C

(C) 130 N في اتجاه A

(D) 210 N في اتجاه C



4. ما شحنة كشّاف كهربائي إذا كان عدد الإلكترونات الفائضة عليه 4.8×10^{10} إلكترون؟

(A) 3.3×10^{-30} C

(B) 4.8×10^{-10} C

(C) 7.7×10^{-9} C

(D) 4.8×10^{10} C

5. القوة الكهربائية المتبادلة بين جسمين مشحونين تساوي 86 N. إذا حُرّك الجسمان بحيث أصبحا على بُعد يساوي ستة أمثال البعد الذي كانا عليه سابقًا فما القوة الجديدة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر؟

(A) 2.4 N

(B) 14 N

(C) 86 N

(D) 5.2×10^{2} N

6. جسمان مشحونان بالمقدار نفسه من الشحنة، ويؤثر كل منهما في الآخر بقوة مقدارها 90 N، فإذا استبدلنا بأحدهما جسمًا آخر له الحجم نفسه إلا أن شحنته أكبر من الجسم السابق ثلاث مرات فما القوة الجديدة التي يؤثر بها كل منهما في الآخر؟

(A) 10 N

(B) 30 N

(C) 2.7×10^{2} N

(D) 8.1×10^{2} N

7. إذا كانت كتلة جسيم ألفا 6.68×10^{-27} kg وشحنته 3.2×10^{-19} C فما النسبة بين القوة الكهروسكونية وقوة الجاذبية بين جسيمين من جسيمات ألفا؟

(A) 1

(B) 4.8×10^{7}

(C) 2.3×10^{15}

(D) 3.1×10^{35}

8. تسمى عملية شحن جسم متعادل عن طريق ملامسته بجسم مشحون ..... .

(A) التوصيل

(B) الحث

(C) التأريض

(D) التفريغ

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

9. دلك أحمد بالونًا بقطعة صوف، فشُحِن البالون بشحنة سالبة ومقدارها 8.9×10^{-14} C. ما القوة المتبادلة بين البالون وكرة فلزية مشحونة بـ 25 C وتبعد 2 km عنه؟

(A) 8.9×10^{-15} N

(B) 5.0×10^{-9} N

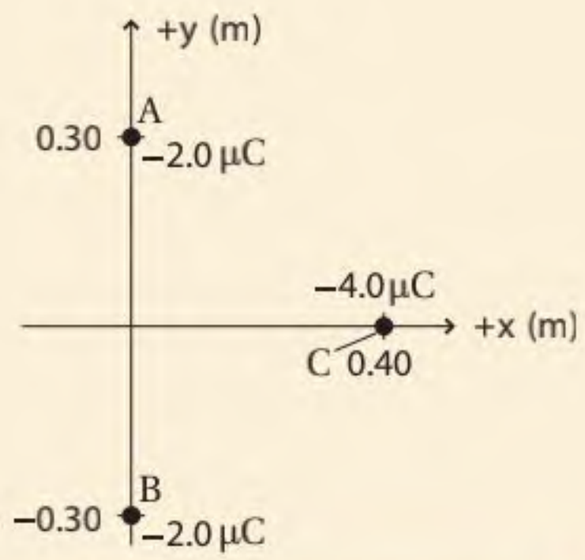
(C) 2.2×10^{-12} N

(D) 5.6×10^{4} N

الأسئلة الممتدة

10. بالرجوع إلى الرسم أدناه، ما القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة C من قبل الشحنتين A وB؟ ضمّن إجابتك رسمًا بيانيًّا يوضّح متجهات القوى.

$F_{C\text{ في }A}$ و $F_{C\text{ في }B}$ و $F_{\text{المحصلة}}$



✓ إرشاد

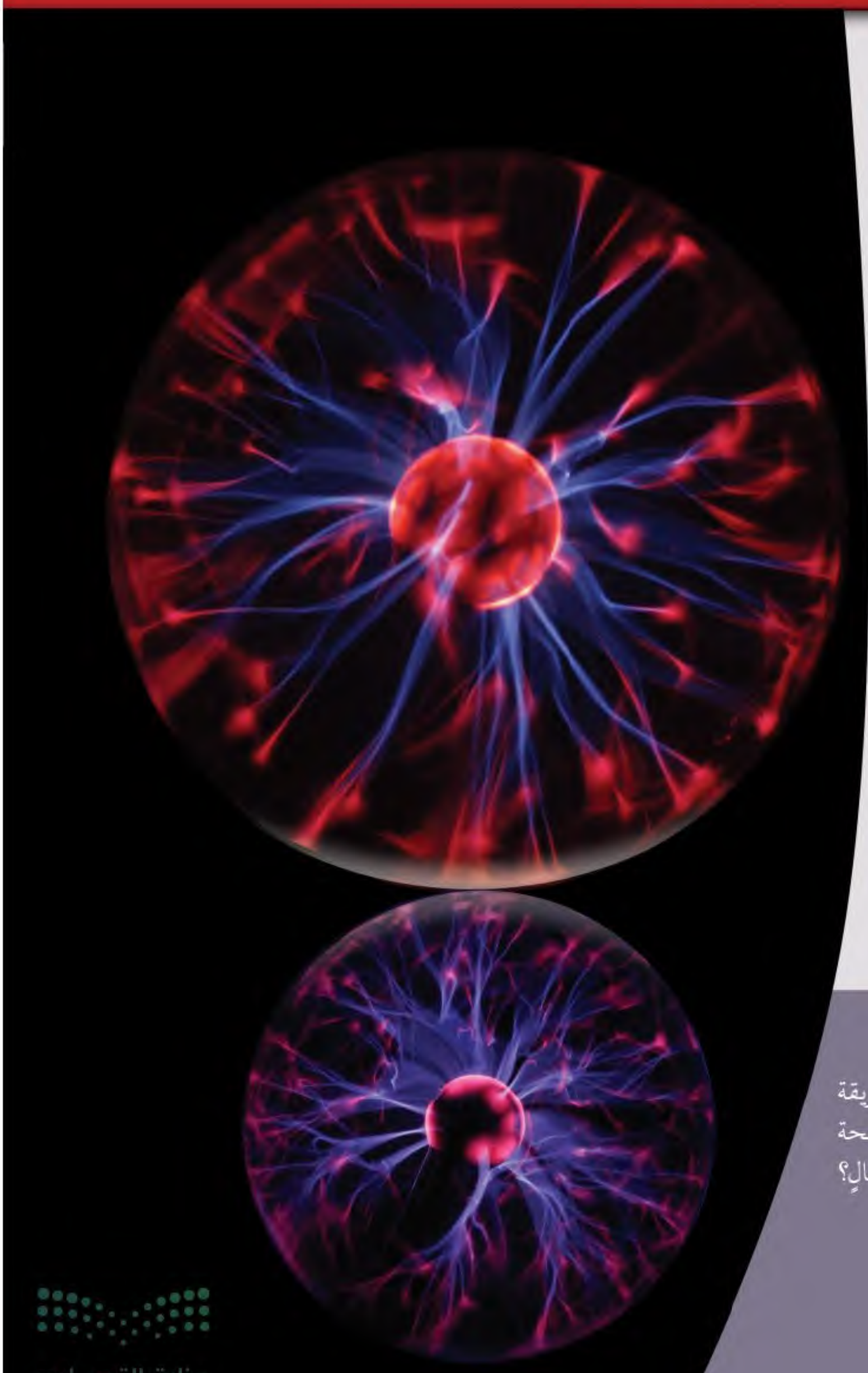
أجب بتأنٍّ

تأكد من أنك أجبت عن السؤال الذي تطرحه المسألة. اقرأ الأسئلة والخيارات برويّة وتأنٍّ. وتذكّر أن حل معظم المسائل بصورة صحيحة أفضل من أن تحلها جميعها ويكون معظمها غير صحيح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 9

المجالات الكهربائية
Electric Fields



ما الذي ستتعلمه في هذا الفصل؟

- ربط المجالات الكهربائية مع القوى الكهربائية، والتمييز بينهما.
- ربط فرق الجهد الكهربائي مع الطاقة والشغل.
- وصف كيفية توزيع الشحنات على الموصلات.
- توضيح كيف تخزّن المكثّفات الشحنات الكهربائية.

الأهمية

تعدّ الكهرباء الشكل الرئيس للطاقة بالنسبة للمجتمعات الحديثة.

تفريغ الطاقة الكبيرة يُحدث مولّد جهد عالٍ التوهّجَ الذي تشاهده داخل كرات التفريغ المجاورة.

فكّر ◄

لماذا لا يتوهّج مصباح كهربائي عادي بالطريقة نفسها التي تتوهّج بها كرات التفريغ الموضّحة في الصورة المجاورة عند وصلها بمولّد جهد عالٍ؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

تجربة استهلالية

كيف تتفاعل الأجسام المشحونة عن بُعد؟

سؤال التجربة كيف يتأثر جسم مشحون بتفاعله عن بُعد مع أجسام أخرى مشحونة؟

الخطوات

1. انفخ بالونين، ثم اربط كلًّا منهما بخيط طوله $\frac{1}{2}$ m.
2. ادلك أحد البالونين بشوبك 8-5 مرات حتى تشحنه، ثم علّقه في خزانة أو طاولة أو غيرهما من وسائل التعليق، مستعملًا شريطًا لاصقًا لتثبيت طرف الخيط.
3. ادلك البالون الثاني بالطريقة نفسها، ثم علّقه.
4. **لاحظ** قرّب البالون الثاني إلى البالون الأول ببطء، وصِفْ سلوك البالونين. ألصق طرف خيط البالون الثاني بحيث يصبح معلّقًا بجانب البالون الأول.
5. **لاحظ** قرّب يدك من البالونين المشحونين. ماذا يحدث؟

التحليل

ماذا تلاحظ عندما تقرّب أحد البالونين إلى الآخر؟ وماذا يحدث عندما تقرّب يدك إلى البالونين؟

التفكير الناقد اذكر جسمين آخرين (غير البالونين) أثّر أحدهما في الآخر عن بُعد بالطريقة نفسها التي أثر بها كل من البالونين على الآخر.

9–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

تشبه القوة الكهربائية قوة التجاذب الكتلي التي درستها سابقًا؛ حيث تتناسب القوة الكهربائية عكسيًّا مع مربع المسافة بين جسمين نقطيين مشحونين، كما تؤثر القوتان عن بُعد من مسافات كبيرة نسبيًّا، فكيف يمكن لقوةٍ ما التأثيرُ خلال ما يبدو أنه حيز فارغ؟ لاحظ مايكل فاراداي أنّ الجسم المشحون كهربائيا وليكن A يؤثر بقوة في جسم آخر مشحون كهربائيا وليكن B عندما يكون موضوعًا في أي مكان في الفراغ أو الوسط، واقترح تفسيرًا لذلك أن الجسم A يجب أن يغيّر بطريقةٍ ما من خصائص ذلك الوسط. وسيشعر الجسم B بذلك التغير في الفراغ أو الوسط، وسيتأثر بقوة ناجمة عن التغير في خصائص الوسط في موقعه. وأطلق على تغير خاصية الوسط اسم **المجال الكهربائي**. والمجال الكهربائي لا يعني التفاعل بين جسمين عن بُعد، بل يعني التفاعل بين الجسم الموضوع في المجال والمجال الكهربائي عند ذلك الموضع فيه.

ويمكن للقوى التي تؤثر بها المجالات الكهربائية أن تبذل شغلًا، فتنتقل الطاقة من المجال إلى جسم آخر مشحون. وأنت تستخدم هذه الطاقة يوميًّا؛ سواء وصلت جهازًا كهربائيًّا بمقبس، أو استعملت جهازًا كهربائيًّا متنقلًا يعمل ببطارية.

الأهداف

- **تُعرّف** المجال الكهربائي.
- **تحل** مسائل متعلقة بالشحنة والمجالات والقوى الكهربائية.
- **ترسم** خطوط المجال الكهربائي.

المفردات

المجال الكهربائي

شحنة الاختبار

خط المجال الكهربائي

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دلالة الألوان

- خطوط المجال الكهربائي باللون النيلي.
- الشحنة الموجبة باللون الأحمر.
- الشحنة السالبة باللون الأزرق.

المجال الكهربائي The Electric Field

كيف يمكن قياس شدة المجال الكهربائي؟ ضع جسيمًا صغيرًا مشحونًا في موقع معين. إذا كان هناك أي قوة كهربائية تؤثر فيه فسوف يكون هناك مجال كهربائي في ذلك الموقع. (هذه الشحنة الموجودة على الجسيم الصغير والتي استعملت لاختبار المجال تسمى **شحنة الاختبار**). ويجب أن تكون هذه الشحنة موجبة وصغيرة بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

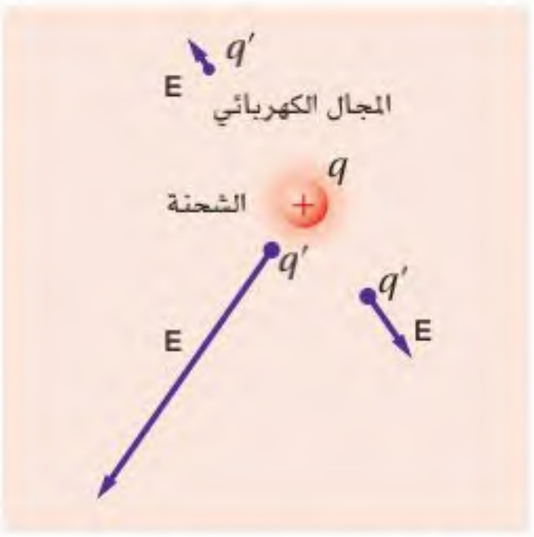
لاحظ **الشكل 1–9** الذي يوضّح جسمًا مشحونًا بشحنة مقدارها q. وافترض أنك وضعت شحنة الاختبار الموجبة في نقطة معينة، ولتكن النقطة A مثلًا، ثم حسبت القوة $\boldsymbol{F}$. ستتناسب هذه القوة طرديًّا مع مقدار شحنة الاختبار q'، وذلك وفق قانون كولوم؛ أي أنه إذا تضاعفت الشحنة ستتضاعف القوة كذلك، لذا تبقى النسبة بين القوة والشحنة ثابتة. وإذا قسمت القوة $\boldsymbol{F}$ على شحنة الاختبار q' فستحصل على كمية متجهة $\boldsymbol{F}/q'$. وهذه الكمية لا تعتمد على شحنة الاختبار، وإنما تعتمد فقط على كل من القوة $\boldsymbol{F}$ والمسافة بين الشحنة وشحنة الاختبار A. ويعبّر عن شدة المجال الكهربائي عند النقطة A؛ أي النقطة التي تمثل موقع شحنة الاختبار بالمعادلة الآتية:

شدة المجال الكهربائي

$$\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{F}_{q'}}{q'}$$

شدة المجال الكهربائي تساوي مقدار القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة مقسومًا على مقدار تلك الشحنة.

ويكون اتجاه شدة المجال الكهربائي في نفس اتجاه القوة المؤثرة في شحنة اختبار موجبة. وتقاس شدة المجال الكهربائي بوحدة نيوتن/ كولوم (N /C).



الشكل 1–9 تُستخدم الأسهم لتمثيل مقدار المجال الكهربائي المتولّد حول شحنة كهربائية عند مواقع مختلفة، واتجاهه.

يمكن تكوين صورة لشدة المجال الكهربائي باستعمال الأسهم لتمثيل متجهات المجال عند مواقع مختلفة، كما هو موضح في **الشكل 1–9**؛ حيث يستخدم طول السهم لبيان شدة المجال، أما اتجاه السهم فيمثل اتجاه المجال. ولإيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنتين عند نقطةٍ يتم إيجاد شدة المجال الكهربائي الناشئ عن كل شحنة على انفراد عند تلك النقطة، ثم يُجمع هذان المجالان جمعًا اتجاهيا. وتستخدم شحنة اختبار لرسم المجال الناشئ عن أي تجمّع للشحنات. ويوضح **الجدول 1–9** قيم شدة المجالات الكهربائية المثالية الناتجة عن تجمعات معينة للشحنات.

يجب قياس شدة المجال الكهربائي باستخدام شحنة اختبار صغيرة جدًّا فقط؛ وذلك لأن شحنة الاختبار تؤثر أيضًا بقوة في الشحنة q. ومن المهم ألّا تؤدي القوة التي تؤثر بها شحنة الاختبار إلى إعادة توزيع شحنات الموصل، مما يسبّب تحرك الشحنة q إلى موقع آخر عليه، فيؤدي ذلك إلى تغيّر القوة المؤثرة في q'، ومن ثَم تغيّر شدة المجال الكهربائي الذي يتم قياسه. لذا يجب أن تكون شحنة الاختبار صغيرة جدًّا، بحيث يمكن إهمال تأثيرها في الشحنة q.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

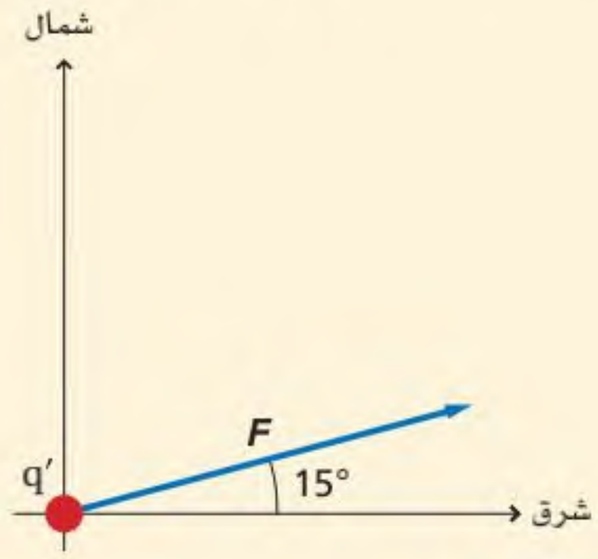
الجدول 1-9	
القيم التقريبية لمجالات كهربائية مثالية	
المجال	**المقدار (N/C)**
بالقرب من قضيب مطاط صلب ومشحون	1×10^{3}
في أنبوب الأشعة المهبطية في التلفاز	1×10^{5}
الضروري لإحداث شرارة كهربائية في الهواء	3×10^{6}
عند مدار إلكترون ذرة الهيدروجين	3×10^{11}

مثـــــال 1

شدة المجال الكهربائي قِيس مجال كهربائي في الهواء باستخدام شحنة اختبار موجبة مقدارها $3.0\times10^{-6}\ C$، فتأثرت هذه الشحنة بقوة مقدارها $0.12\ N$ في اتجاه يميل بزاوية $15°$ شمال الشرق. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم شحنة الاختبار q'.
- حدّد نظام إحداثيات على أن يكون مركزه شحنة الاختبار.
- ارسم متجه القوة بزاوية $15°$ شمال الشرق.



المعلوم	المجهول
$q' = +3.0\times10^{-6}\ C$	$E = ?$
بزاوية $15°$ شمال الشرق، $F = 0.12\ N$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

بالتعويض عن $F = 0.12\ N$، $q' = 3.0\times10^{-6}\ C$

$$E = \frac{F}{q'}$$

$$= \frac{0.12\ N}{3.0\times10^{-6}\ C}$$

$$= 4.0\times10^{4}\ N/C$$

إن كلًّا من القوة المؤثرة في شحنة الاختبار والمجال الكهربائي في الاتجاه نفسه.

$E = 4.0\times10^{4}\ N/C$، ويميل بزاوية $15°$ شمال الشرق

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة قياس شدة المجال الكهربائي N/C.
- **هل للاتجاه معنى؟** اتجاه المجال في اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة نفسه؛ لأن شحنة الاختبار موجبة.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال تتفق مع القيم الموجودة في **الجدول 1-9**.

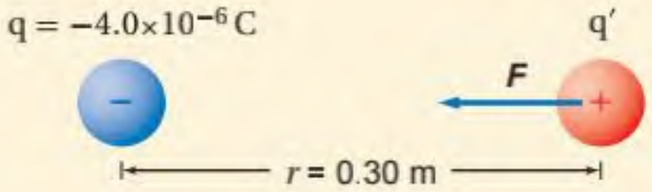
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 2

شدة المجال الكهربائي ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 0.30 m تقع عن يمين كرة صغيرة مشحونة بشحنة مقدارها $-4.0\times10^{-6}\ C$؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم الكرة، وبيّن شحنتها q وشحنة الاختبار q' على الرسم.
- حدّد المسافة بين الشحنتين، وسمِّها.
- ارسم متجه القوة المؤثرة في شحنة الاختبار q'، وسمِّه.



المعلوم	المجهول
$q = -4.0\times10^{-6}\ C$	$E = ?$
$r = 0.30\ m$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

إن مقدار كلٍّ من القوة وشحنة الاختبار مجهول، لذا استخدم قانون المجال الكهربائي وقانون كولوم معًا.

$$E = \frac{F}{q'}$$

بالتعويض عن $F = K\frac{qq'}{r^2}$

$$= K\frac{qq'}{r^2 q'}$$

$$= K\frac{q}{r^2}$$

بالتعويض عن

$q = -4.0\times10^{-6}\ C, d = 0.30\ m$

$K = 9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2$

$$= (9.0\times10^{9}\ N.m^2/C^2)\frac{(-4.0\times10^{-6}\ C)}{(0.30\ m)^2}$$

$$= -4.0\times10^{5}\ N/C$$

$E = 4.0\times10^{5}\ N/C$ في اتجاه الكرة أو في اتجاه اليسار

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $N/C = (N.m^2/C^2)(C)/m^2$. تكون الوحدات الناتجة N/C وهي صحيحة لشدة المجال الكهربائي.
- **هل للاتجاهات معنى؟** تشير الإشارة السالبة إلى أن شحنة الاختبار الموجبة تنجذب إلى الشحنة النقطية السالبة.
- **هل الجواب منطقي؟** شدة المجال متفقة مع القيم الموجودة في الجدول **1–9**.

مسائل تدريبية

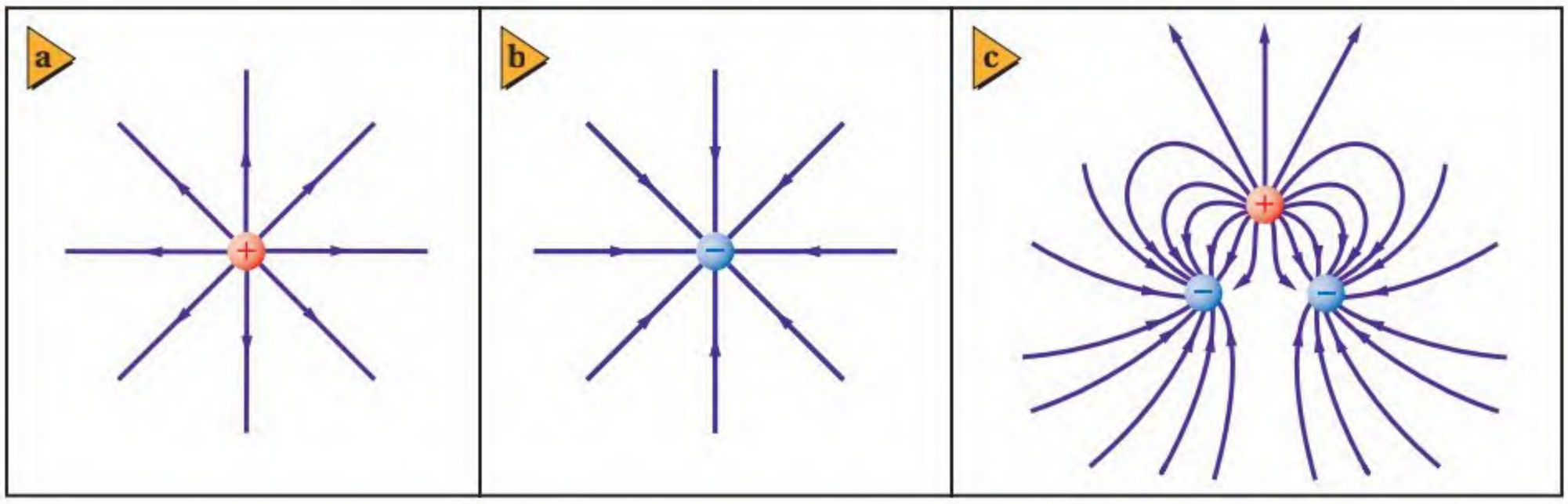
1. يؤثر مجال كهربائي بقوة مقدارها $2.0\times10^{-4}\ N$ في شحنة اختبار موجبة مقدارها $5.0\times10^{-6}\ C$. ما شدة المجال الكهربائي عند موقع شحنة الاختبار؟
2. وُضِعت شحنة سالبة مقدارها $2.0\times10^{-8}\ C$ في مجال كهربائي، فتأثرت بقوة مقدارها 0.060 N في اتجاه اليمين. ما مقدار واتجاه شدة المجال الكهربائي عند موقع الشحنة؟
3. وُضِعت شحنة موجبة مقدارها $3.0\times10^{-7}\ C$ في مجال كهربائي شدته 27 N/C يتجه إلى الجنوب. ما مقدار القوة المؤثرة في الشحنة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

4. وُضِعت كرة بيلسان وزنها $2.1\times10^{-3}\ N$ في مجال كهربائي شدته $6.5\times10^{4}\ N/C$، يتجه رأسيًّا إلى أسفل. ما مقدار الشحنة التي يجب أن توضع على الكرة ونوعها، بحيث توازِن القوة الكهربائية المؤثرة فيها قوة الجاذبية الأرضية، وتبقى الكرة معلّقة في المجال؟
5. يفحص زيد المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة مجهولة المقدار والنوع. فيرسم أولاً المجال بشحنة اختبار مقدارها $1.0\times10^{-6}\ C$، ثم يكرّر عمله بشحنة اختبار أخرى مقدارها $2.0\times10^{-6}\ C$.
   a. هل يحصل زيد على القوى نفسها في الموقع نفسه عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضّح إجابتك.
   b. هل يجد زيد أن شدة المجال هي نفسها عند استخدام شحنتي الاختبار؟ وضّح إجابتك.
6. ما مقدار المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.2 m عن شحنة نقطية مقدارها $+4.2\times10^{-6}\ C$؟
7. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تقع على بُعد يساوي ضعف البعد عن الشحنة النقطية الواردة في المسألة السابقة؟
8. ما شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد 1.6 m إلى الشرق من شحنة نقطية مقدارها $+7.2\times10^{-6}\ C$ ؟
9. إذا كانت شدة المجال الكهربائي الناشئ على بُعد 0.25 m من كرة صغيرة مشحونة يساوي 450 N /C ويتجه نحو الكرة فما مقدار ونوع شحنة الكرة؟
10. على أي بُعد من شحنة نقطية مقدارها $+4.2\times10^{-6}\ C$ يجب وضع شحنة اختبار للحصول على مجال كهربائي شدته 360 N /C؟

حسبت حتى الآن المجال الكهربائي عند نقطة مفردة. تخيّل أنك حرّكت شحنة الاختبار إلى موقع آخر. احسب مرة أخرى القوة المؤثرة فيها، ثم احسب المجال الكهربائي. كرّر هذه العملية عدة مرات إلى أن تقيس الكمية المتجهة لشدة المجال الكهربائي وتعيّنه في كل موقع من الوسط أو الفراغ المحيط بالشحنة. سيكون المجال الكهربائي موجودًا عند أي نقطة حتى لو لم يكن عندها شحنة اختبار. وستتأثر أي شحنة توضع في مجال كهربائي بقوة ناتجة عن المجال الكهربائي في ذلك الموقع، حيث يعتمد مقدار هذه القوة على مقدار كلٍّ من المجال الكهربائي $\boldsymbol{E}$ والشحنة q الموضوعة في تلك النقطة؛ أي أن $\boldsymbol{F = Eq}$. ويعتمد اتجاه هذه القوة على اتجاه المجال وعلى نوع الشحنة المتأثِّرة q.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 2–9** رُسمت خطوط القوى بصورة متعامدة خارجة من جسم شحنته موجبة (**a**)، ورُسمت بصورة متعامدة داخلة إلى جسم شحنته سالبة (**b**). ورُسمت خطوط المجال الكهربائي بين جسمين سالبي الشحنة وآخر شحنته موجبة (**c**).

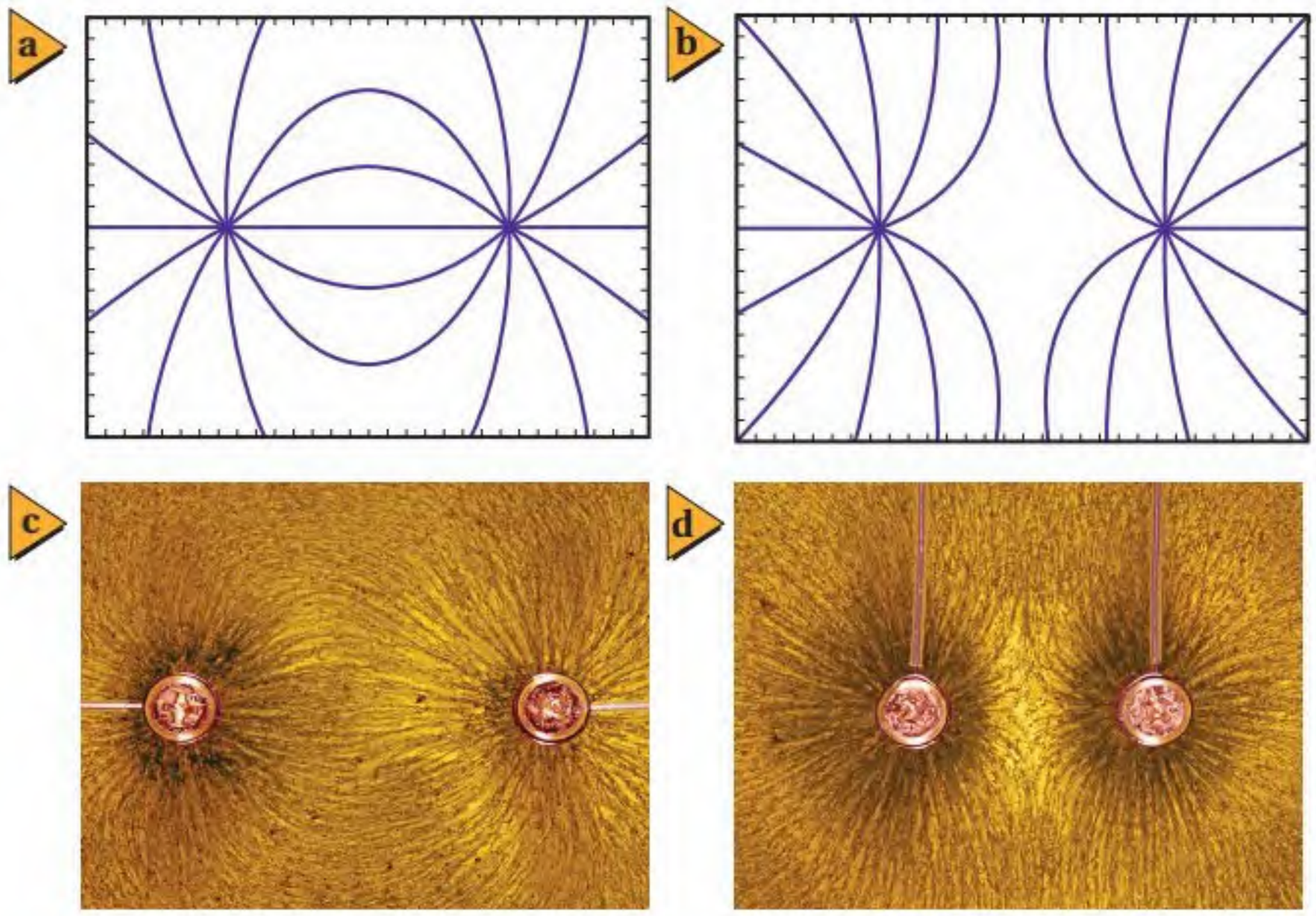
Picturing the Electric Field تمثيل المجال الكهربائي

يُظهر الرسم في **الشكل 2–9** شكل خطوط المجال الكهربائي. وكل خط من هذه الخطوط المستخدمة لتمثيل المجال الكهربائي الفعلي في الفراغ أو الوسط المحيط بالشحنة يسمى **خط المجال الكهربائي**. ويكون اتجاه المجال الكهربائي عند أي نقطة هو اتجاه المماس المرسوم على خط المجال عند تلك النقطة. وتشير المسافات الفاصلة بين خطوط المجال الكهربائي إلى شدة المجال الكهربائي؛ فكلما كانت هذه الخطوط متقاربة كان المجال الكهربائي أقوى، وكلما كانت الخطوط متباعدة كان المجال الكهربائي أضعف. وقد مُثّلت خطوط المجال هنا في بُعدين، إلا أنها - في الحقيقة - تنتشر في ثلاثة أبعاد.

يكون اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة موجبة في اتجاه الخط المبتعد عن الشحنة الموجبة؛ أي في اتجاه الخط الخارج منها. لذا تنتشر خطوط المجال شعاعيًّا إلى الخارج كما هو موضّح في **الشكل 2a–9** مثل أسلاك عجلات الدراجة الهوائية. أما اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة موضوعة بالقرب من شحنة سالبة فهو في اتجاه الخط المقترب من الشحنة السالبة؛ أي في اتجاه الخط الداخل إليها، كما هو موضح في **الشكل 2b–9**. وفي حالة وجود شحنتين أو أكثر يكون المجال الناتج عبارة عن الجمع الاتجاهي للمجالات الناتجة عن هذه الشحنات، وعندها تصبح خطوط المجال منحنية وأنماطها أكثر تعقيدًا، كما هو موضح في **الشكل 2c–9**. لاحظ أن خطوط المجال الكهربائي تخرج دائمًا من الشحنة الموجبة وتدخل إلى الشحنة السالبة، ولا يمكن أن تتقاطع مطلقًا.

هناك طريقة أخرى لتمثيل خطوط المجال الكهربائي تتلخص في استخدام بذور أعشاب في سائل عازل، مثل الزيت المعدني. حيث تؤدي القوى الكهربائية إلى فصل الشحنة التي على كل بذرة أعشاب طويلة ورفيعة، مما يسبب دوران البذور بحيث تصطف في اتجاه المجال الكهربائي، ومن ثم تشكل نمطًا لخطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في **الشكل 3–9**. وخطوط المجال الكهربائي خطوط وهميّة لا وجود لها في الواقع، وهي وسيلة لتقديم نموذج للمجال الكهربائي. أما المجالات الكهربائية فهي موجودة،

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 3–9 تصف خطوط القوة بين الشحنات المختلفة (**a** و**c**)، وبين الشحنات المتشابهة (**b** و**d**) سلوك جسم مشحون بشحنة موجبة في مجال كهربائي. والصورتان في الأعلى (**b** و **a**) رسم تصويري لخطوط المجال الكهربائي للصورتين السفليين تم تنفيذه بالحاسوب.

وعلى الرغم من أنها توفّر طريقة لحساب القوة المؤثرة في جسم مشحون إلا أنها لا توضح لماذا تؤثر الأجسام المشحونة بعضها في بعض بقوًى.

ابتكر روبرت فان دي جراف في ثلاثينيات القرن العشرين مولّد الكهرباء الساكنة ذا الفولتية الكبيرة الموضح في **الشكل 4a–9**. وهو جهاز يعمل على نقل كميات كبيرة من الشحنة الكهربائية من جزء محدّد من الآلة إلى طرفها العلوي الفلزي. ويتم ذلك بنقل الشحنة إلى حزام متحرك عند قاعدة الجهاز عند الموضع A، ثم تنتقل هذه الشحنات من الحزام إلى القبة الفلزية في الأعلى عند الموضع B. ويبذل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. ويُشحن الشخص كهربائيًّا عندما يلمس قُبّة مولّد فان دي جراف الفلزية؛ حيث تؤدي هذه الشحنات إلى تنافر شعر الشخص بعضه عن بعض، مسبّبًا تغيّر اتجاهه، فيصبح اتجاه الشعر في اتجاه خطوط المجال الكهربائي، كما هو موضح في **الشكل 4b–9**.

الشكل 4–9 في مولّد فان دي جراف (**a**)، تنتقل الشحنات إلى الحزام المتحرك عند النقطة A، ثم تنتقل من الحزام المتحرك إلى القبّة الفلزية عند B. ويبذل المحرك الكهربائي الشغل اللازم لزيادة فرق الجهد الكهربائي. وعندما يلمس شخص قبّة مولّد فان دي جراف تكون النتائج مثيرة (**b**).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

1–9 مراجعة

11. **قياس المجالات الكهربائية** افترض أنه طلب إليك قياس المجال الكهربائي في مكان أو فضاء معين، فكيف تستكشف وجود المجال عند نقطة معينة في ذلك الفضاء؟ وكيف تحدّد مقدار المجال؟ وكيف تختار مقدار شحنة الاختبار؟ وكيف تحدِّد اتجاه المجال؟

12. **شدة المجال واتجاهه** تؤثر قوة كهربائية مقدارها $1.50\times10^{-3}\ N$ في اتجاه الشرق في شحنة اختبار موجبة مقدارها $2.40\times10^{-8}\ C$، أوجد المجال الكهربائي في موقع شحنة الاختبار.

13. **خطوط المجال الكهربائي** في **الشكل 3–9**، هل يمكنك تحديد أيّ الشحنتين موجبة، وأيّهما سالبة؟ ماذا تضيف لإكمال خطوط المجال؟

14. **المجال مقابل القوة** كيف يختلف تأثير المجال الكهربائي E في شحنة اختبار عن تأثير القوة F في شحنة الاختبار نفسها؟

15. **التفكير الناقد** افترض أن الشحنة العلوية في **الشكل 2c–9** هي شحنة اختبار موضوعة في ذلك المكان؛ لقياس محصلة المجال الناشئ عن الشحنتين السالبتين. هل الشحنة صغيرة بدرجة كافية للقيام بعملية القياس بدقة؟ وضّح إجابتك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

9–2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

إن مفهوم الطاقة مفيد جدًّا في الميكانيكا، كما تعلمت من قبل. ويُمكِّننا قانون حفظ الطاقة من حل مسائل الحركة بغير حاجة إلى معرفة تفاصيل القوى المؤثرة. وينطبق الشيء نفسه على دراسة التفاعلات الكهربائية؛ فقد يؤدي الشغل المبذول في تحريك جسيم مشحون في مجال كهربائي إلى اكتساب هذا الجسيم طاقة وضع كهربائية أو طاقة حركية أو كليهما. ولأن موضوعات هذا الفصل تستقصي الشحنات الساكنة لذا سيتم مناقشة التغير في طاقة الوضع فقط.

الطاقة والجهد الكهربائيان Energy and Electric Potential

تذكّر التغير في طاقة وضع الجاذبية لكرة عند رفعها، كما هو موضّح في **الشكل 5–9**. إن كلًّا من قوة الجاذبية F ومجال الجاذبية $g = \frac{F}{m}$ يتجه نحو الأرض. فإذا رفعت كرة في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية فإنك تبذل شغلًا عليها، مما يؤدي إلى زيادة طاقة وضعها.

وهذه الحالة مماثلة لحالة شحنتين مختلفتين في النوع؛ حيث تجذب كل منهما الأخرى، لذا يجب أن تبذل شغلًا لسحب إحدى الشحنتين وإبعادها عن الأخرى. وعندما تبذل ذلك الشغل تكون قد نقلت طاقة إلى الشحنة، حيث تختزن هذه الطاقة فيها على شكل طاقة وضع كهربائية، وكلما زاد مقدار الشحنة كانت الزيادة في طاقة وضعها الكهربائية ΔPE أكبر.

على الرغم من اعتماد القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة الاختبار q' على مقدارها، إلا أن المجال الكهربائي في موقعها لا يعتمد عليه؛ حيث إن المجال الكهربائي $E = \frac{F}{q'}$ هو القوة لكل وحدة شحنة. وبطريقة مشابهة يُعرّف **فرق الجهد الكهربائي** ΔV بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك شحنة اختبار موجبة بين نقطتين داخل مجال كهربائي مقسومًا على مقدار تلك الشحنة. أي الشغل المبذول لكل وحدة شحنة.

فرق الجهد الكهربائي $\Delta V = \frac{W_{q'}}{q'}$

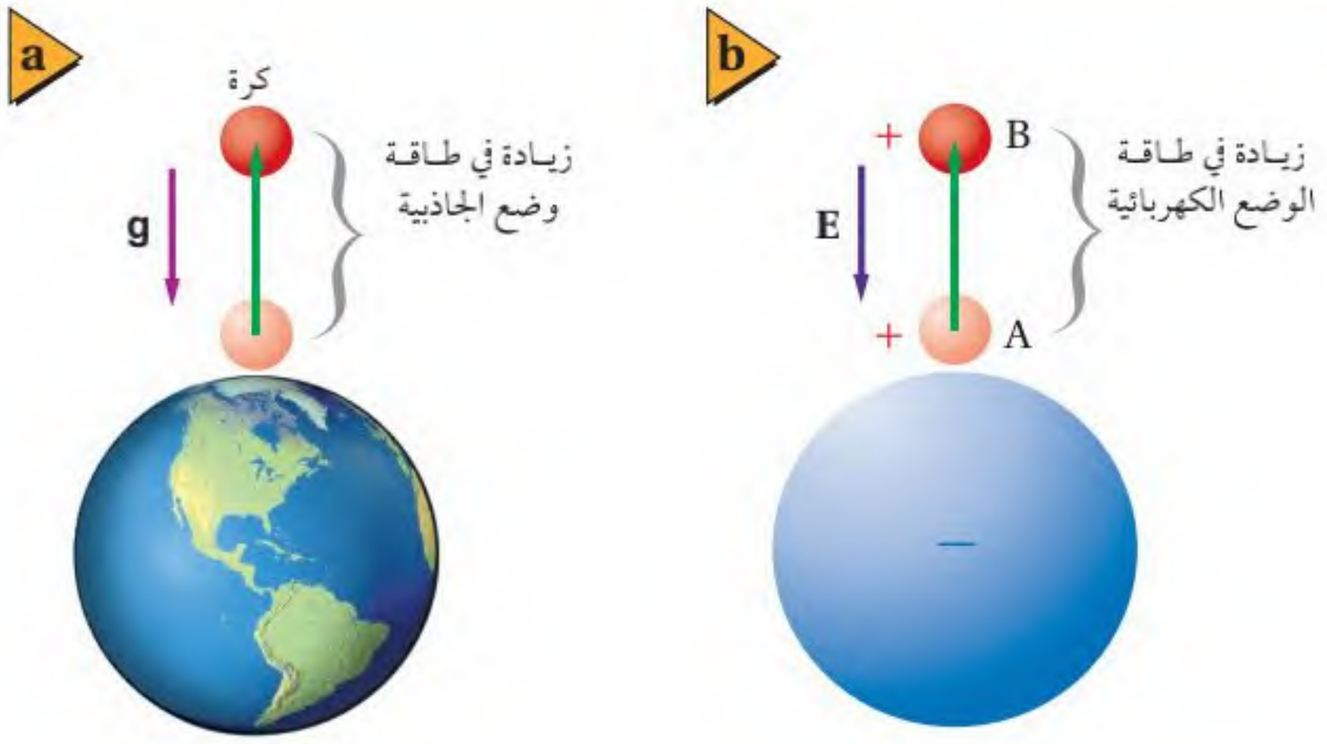
الفرق في الجهد الكهربائي هو النسبة بين الشغل اللازم لتحريك شحنة ومقدار تلك الشحنة.

الأهداف

- **تُعرّف** فرق الجهد الكهربائي.
- **تحسب** فرق الجهد من خلال الشغل اللازم لتحريك شحنة.
- **تصف** كيفية توزيع الشحنات على الموصلات المصمتة والجوفاء.
- **تحل** بعض المسائل على السعة الكهربائية.

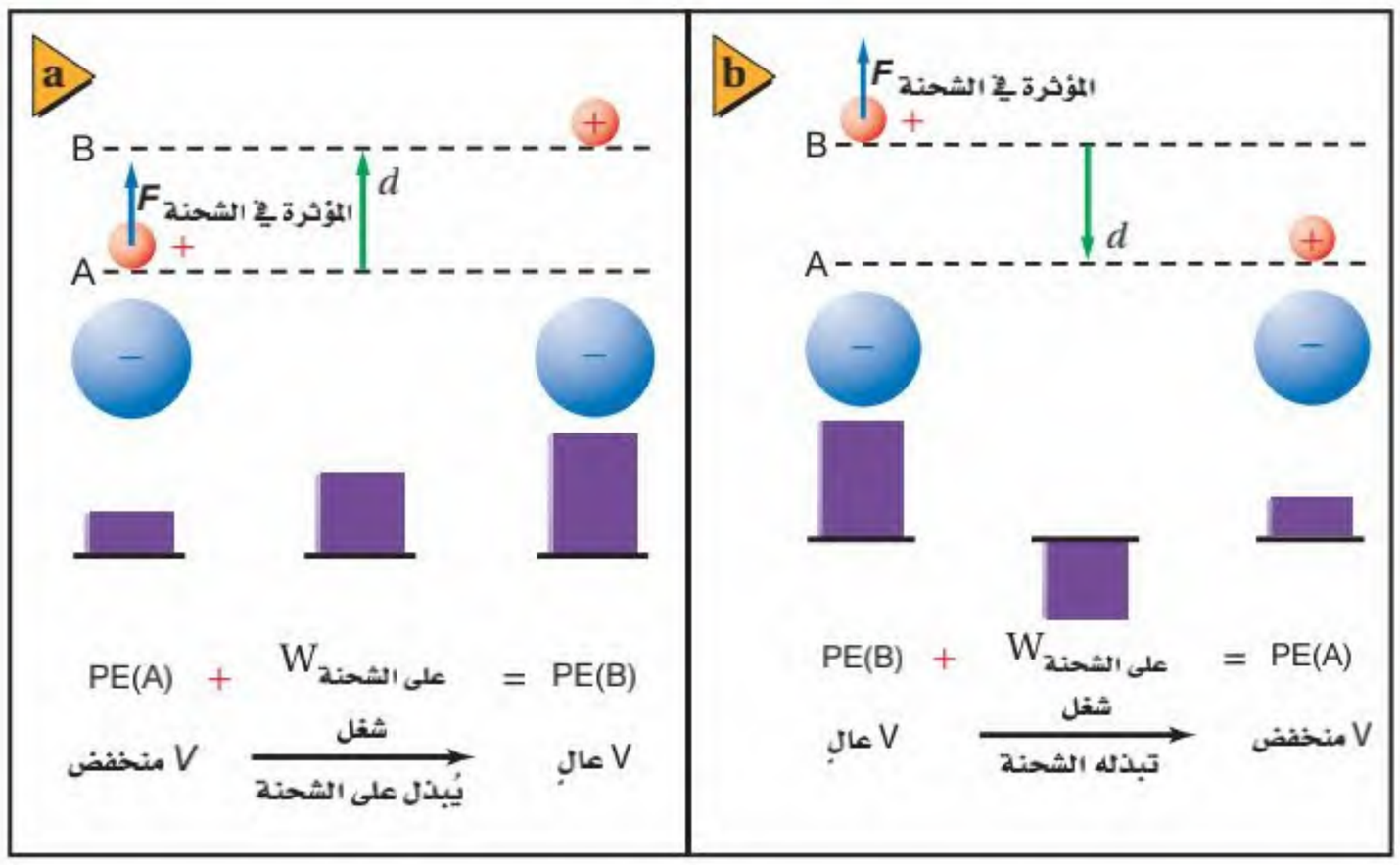
المفردات

فرق الجهد الكهربائي
الفولت
سطح تساوي الجهد
المكثف الكهربائي
السعة الكهربائية



الشكل 5–9 هناك حاجة إلى بذل شغل لتحريك جسم في اتجاه معاكس لاتجاه قوة الجاذبية الأرضية (a)، وفي اتجاه معاكس لاتجاه القوة الكهربائية (b). وفي كلتا الحالتين ستزداد طاقة وضع الجسم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



■ **الشكل 6–9** يُحسب فرق الجهد الكهربائي من خلال قياس الشغل المبذول لكل وحدة شحنة. يزداد فرق الجهد الكهربائي عند إبعاد الشحنات المختلفة بعضها عن بعض (**a**). ويقل فرق الجهد الكهربائي عند تقريب الشحنات المختلفة بعضها إلى بعض (**b**).

ويقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة جول لكل كولوم، ويسمّى الجول الواحد لكل كولوم **الفولت**، ويعبَّر عنه بالرموز $V = J/C$.

ادرس الحالة الموضّحة في **الشكل 6-9**، حيث تُولّد الشحنة السالبة مجالًا كهربائيًّا متجهًا نحوها. افترض أنك وضعت شحنة اختبار صغيرة موجبة عند النقطة A، ستتأثر عندها الشحنة بقوة في اتجاه المجال. وإذا حرّكت الآن شحنة الاختبار الموجبة بعيدًا عن الشحنة السالبة إلى النقطة B، كما هو موضّح في **الشكل 6a–9**، فعليك التأثير فيها بقوة ***F***. ولأن اتجاه القوة التي أثرت بها في شحنة الاختبار في اتجاه الإزاحة نفسه لذا يكون الشغل الذي بذلته على هذه الشحنة موجبًا. وسيكون التغير في فرق الجهد الكهربائي موجبًا أيضًا؛ فالتغير في فرق الجهد الكهربائي لا يعتمد على مقدار شحنة الاختبار، بل على المجال الكهربائي والإزاحة فقط.

افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار مرة أخرى من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضّح في **الشكل 6b–9**، فسيكون اتجاه القوة التي تؤثر بها في عكس اتجاه الإزاحة، لذا يكون الشغل الذي تبذله سالبًا. وسيكون فرق الجهد الكهربائي سالبًا أيضًا ومساويًا ومعاكسًا لفرق الجهد الكهربائي عند نقل الشحنة من النقطة A إلى النقطة B. ولا يعتمد فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين على المسار الذي يُسلك للحركة من نقطة إلى أخرى، بل يعتمد على موقع النقطتين.

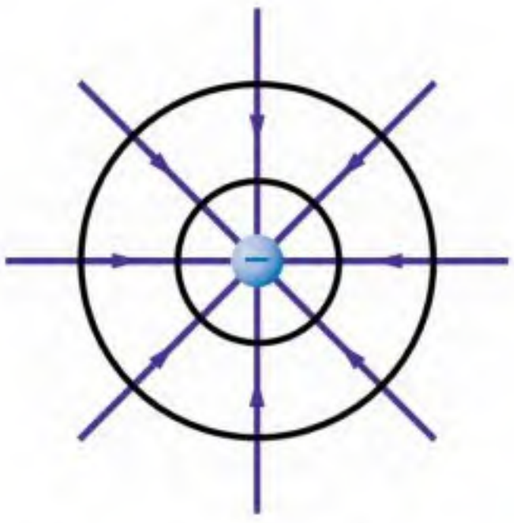
هل هناك دائمًا فرق جهد كهربائي بين نقطتين؟ افترض أنك حرّكت شحنة الاختبار في مسار دائري حول الشحنة السالبة. ويُحدث المجال الكهربائي قوة يؤثر بها في شحنة الاختبار ويكون المجال دائمًا عموديًّا على اتجاه حركة القوة، ولذلك لا تبذل شغلاً في تحريك الشحنة، لذا فإن فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على المسار الدائري يساوي

تطبيق الفيزياء

الكهرباء الساكنة تحتوي الأجهزة الإلكترونية الحديثة - ومنها الحواسيب الشخصية - على أجزاء يمكن أن تتلف بسهولة نتيجة تفريغ الكهرباء الساكنة. ولحماية هذه الأجزاء الحساسة من الأضرار التي قد تنتج خلال الصيانة، على الفني ارتداء سوار فلزي حول معصمه، على أن يكون السوار متصلًا بسلك، وأن يتصل الطرف الآخر للسلك بقطعة فلزية مؤرَّضة؛ حيث يعمل السوار الفلزي على تفريغ الشحنات الزائدة على الفني في الأرض، ويزيل أي فرق جهد كهربائي قد يتكون مع المعدات المؤرَّضة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

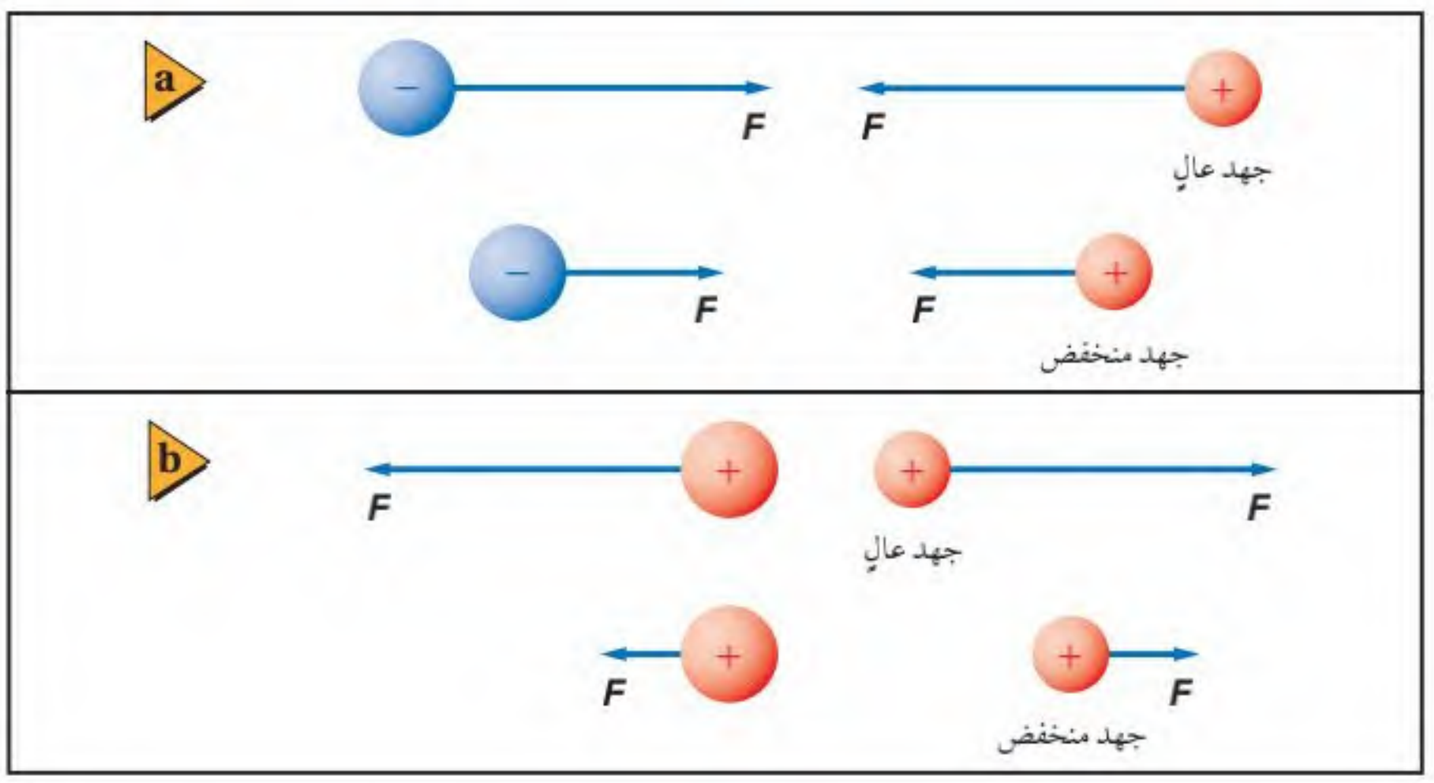
صفرًا. وعندما يكون فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين أو أكثر يساوي صفرًا نسمي هذه النقاط **سطح تساوي الجهد**، كما هو موضح في **الشكل 7–9**.



الشكل 7–9 فرق الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على أي مسار دائري حول شحنة يساوي صفر.

يمكن قياس التغيرات في طاقة الوضع الكهربائية فقط. وينطبق الشيء نفسه على الجهد الكهربائي، لذا تكون التغيرات في الجهد الكهربائي هي المهمة فقط. ويعرّف فرق الجهد الكهربائي عند الحركة من النقطة A إلى النقطة B على أنه $\Delta V = V_B - V_A$، ويقاس بجهاز الفولتمتر. ويُسمّى فرق الجهد الكهربائي أحيانًا الجهد الكهربائي أو الفولتية؛ وذلك على سبيل التبسيط. ويجب التفريق بين فرق الجهد الكهربائي ΔV ووحدة قياسه فولت V.

عرفت أن فرق الجهد الكهربائي يزداد عند إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة سالبة، والآن ماذا يحدث عند إبعاد شحنة اختبار موجبة عن شحنة موجبة؟ هناك قوة تنافر بين هاتين الشحنتين، وعند إبعاد شحنة الاختبار الموجبة عن الشحنة الموجبة تقل طاقة وضعها الكهربائية. لذا يكون الجهد الكهربائي أقل عند النقاط البعيدة عن الشحنة الموجبة، كما هو موضح في **الشكل 8–9**.



الشكل 8–9 في أثناء تقريب شحنة اختبار إلى شحنة مخالفة لها في النوع يقل الجهد عند مواقع شحنة الاختبار (**a**)، في حين يزداد الجهد عند مواقع شحنة الاختبار في أثناء تقريبها إلى شحنة مماثلة لها في النوع (**b**).

تعلمت سابقًا أنه يمكن تعريف مقدار طاقة الوضع لنظام ما بأنها تساوي صفرًا عند أي نقطة إسناد. وبالطريقة نفسها يمكن تعريف مقدار الجهد الكهربائي لأي نقطة بأنه يساوي صفرًا. وسيكون مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطة A والنقطة B هو نفسه دائمًا، بغض النظر عن نقطة الإسناد المختارة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

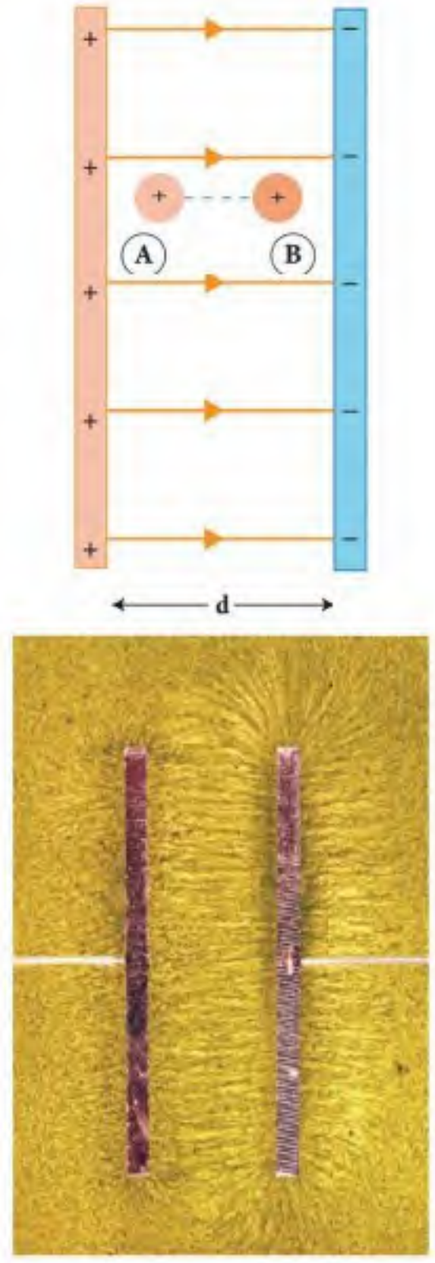
الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم
The Electric Potential in a Uniform Field

يمكننا الحصـــول على قوةٍ كهربائية ثابتـــة ومجالٍ كهربائي منتظـــم بوضع لوحين موصلين مســـتويين أحدهما موازٍ للآخر، على أن يُشـــحن أحدهما بشـــحنة موجبة، ويُشحن الآخر بشـــحنة ســـالبة. يكون المجال الكهربائي بين اللوحـــين ثابتًا مقدارًا واتجاهًـــا عند النقاط جميعها ما عدا النقاط التي تكـــون عند حواف اللوحين، ويكون اتجاه المجال الكهربائي من اللوح الموجب إلى اللوح الســـالب. ويُمثّل النمط المُتشـــكّل من بذور الأعشاب الموضّح في **الشكل 9–9** المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين.

إذا حُرّكت شـــحنة اختبار موجبة q' مســـافة d في عكس اتجاه المجال الكهربائي من النقطة B إلى النقطة A كما هو موضح في **الشـــكل 9–9** فإنه يمكننا حســـاب الشغل المبذول عليها بالعلاقـــة الآتية: $W_{\text{على } q'} = Fd$. لذا يكون فرق الجهد الكهربائي؛ أي الشـــغل المبذول لكل وحدة شـــحنة، مســـاويًا $\Delta V = \frac{Fd}{q'} = \frac{F}{q'}\, d$. ولكن شدة المجال الكهربائي هي القوة لكل وحدة شـــحنة $E = \frac{F}{q'}$ ، لذا يُعبّر عن فرق الجهد الكهربائي (ΔV) بين نقطتين المسافة بينهما d في مجال كهربائي منتظم E بالمعادلة الآتية:

فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم $\Delta V = Ed$

فرق الجهد الكهربائي في مجال كهربائي منتظم يساوي حاصل ضرب شدة المجال الكهربائي في المسافة التي تحركتها الشحنة.



■ **الشـكل 9–9** تمثيل لمجال كهربائي بين لوحين متوازيين.

يزداد الجهد الكهربائي كلما تحركنا في اتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي؛ أي أن الجهد الكهربائي لشحنة اختبار موجبة يكون أكبر بالقرب من اللوح الموجب. وباستخدام تحليل الوحدات يكون حاصل ضرب وحدة E في وحدة d هو $(N/C)(m)$، وهذا يكافئ $1\ J/C$، الذي يُعدّ تعريفًا لـ $1\ V$.

مثـــــال 3

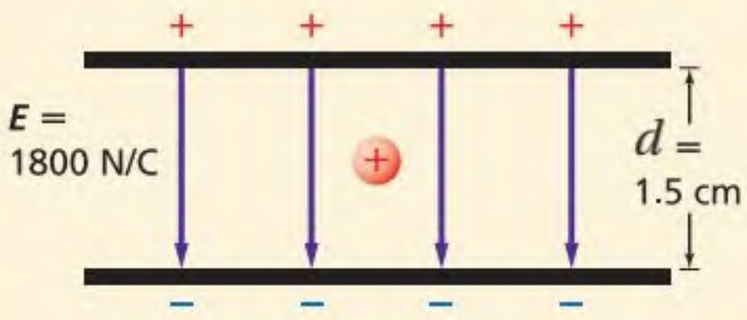
الشغل المبذول لنقل بروتون بين لوحين متوازيين مشحونين لوحان متوازيان مشحونان المسافة بينهما $1.5\ cm$، ومقدار المجال الكهربائي بينهما $1800\ N/C$. احسب مقدار:

a. فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.

b. الشغل المبذول لنقل بروتون من اللوح السالب الشحنة إلى اللوح الموجب الشحنة.

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم اللوحين على أن يكون البعد بينهما $1.5\ cm$
- ميّز اللوحين بوضع شـــحنات موجبة على أحدهما، وشـــحنات سالبة على الآخر.
- ارســـم خطوط المجال الكهربائي، على أن تكون المســـافات بين هذه الخطوط متساوية، وأن تتجه الخطوط من اللوح الموجب إلى اللوح السالب.
- بيّن شدة المجال الكهربائي بين اللوحين على الرسم.
- ضع بروتونًا في المجال الكهربائي.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المعلوم

$E = 1800\ \text{N/C}$

$d = 1.5\ \text{cm}$

$q = 1.60\times10^{-19}\ \text{C}$

المجهول

$\Delta V = ?$

$W = ?$

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الرياضية بتعبيراتها العلمية

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. أوجد فرق الجهد بين اللوحين.

بالتعويض عن $E = 1800\ \text{N/C}$، $d = 0.015\ \text{m}$

$$\Delta V = Ed$$
$$= (1800\ \text{N/C})(0.015\ \text{m})$$
$$= 27\ \text{V}$$

b. استخدم معادلة فرق الجهد لحساب الشغل.

بالتعويض عن $\Delta V = 27\ \text{V}$، $q = 1.60\times10^{-19}\ \text{C}$

$$\Delta V = \frac{W}{q}$$
$$W = q\Delta V$$
$$= (1.60\times10^{-19}\ \text{C})(27\ \text{V})$$
$$= 4.3\times10^{-18}\ \text{J}$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $(N/C)(m) = N.m/C = J/C = V$، ستكون الوحدة الناتجة هي الفولت، ووحدة الشغل هي $C.V = C(J/C) = J$.
- **هل للإشارات معنى؟** يجب أن يبذل شغل موجب لنقل شحنة موجبة إلى اللوح الموجب.
- **هل الجواب منطقي؟** سيكون الشغل المبذول قليلًا لنقل مثل هذه الشحنة الصغيرة ضمن فرق جهد قليل.

مسائل تدريبية

16. شدة المجال الكهربائي بين لوحين فلزيين واسعين متوازيين ومشحونين $6000\ \text{N/C}$، والمسافة بينهما $0.05\ \text{m}$. احسب فرق الجهد الكهربائي بينهما.

17. إذا كانت قراءة فولتمتر متصل بلوحين متوازيين مشحونين $400\ \text{V}$ عندما كانت المسافة بينهما $0.020\ \text{m}$، فاحسب شدة المجال الكهربائي بينهما.

18. عندما طُبّق فرق جهد كهربائي مقداره $125\ \text{V}$ على لوحين متوازيين تولّد بينهما مجال كهربائي شدته $4.25\times10^{3}\ \text{N/C}$. ما البعد بين اللوحين؟

19. ما الشغل المبذول لتحريك شحنة $3.0\ \text{C}$ خلال فرق جهد كهربائي مقداره $1.5\ \text{V}$؟

20. يمكن لبطارية سيارة جهدها $12\ \text{V}$ ومشحونة بصورة كاملة أن تختزن شحنة مقدارها $1.44\times10^{6}\ \text{C}$. ما مقدار الشغل الذي يمكن أن تبذله البطارية قبل أن تحتاج إلى إعادة شحنها؟

21. يتحرك إلكترون خلال أنبوب الأشعة المهبطية لتلفاز، فتعرّض لفرق جهد مقداره $18000\ \text{V}$. ما مقدار الشغل المبذول على الإلكترون عند عبوره فرق الجهد هذا؟

22. إذا كانت شدة المجال الكهربائي في مُسارِع جسيمات يساوي $4.5\times10^{5}\ \text{N/C}$، فما مقدار الشغل المبذول لتحريك بروتون مسافة $25\ \text{cm}$ خلال هذا المجال؟

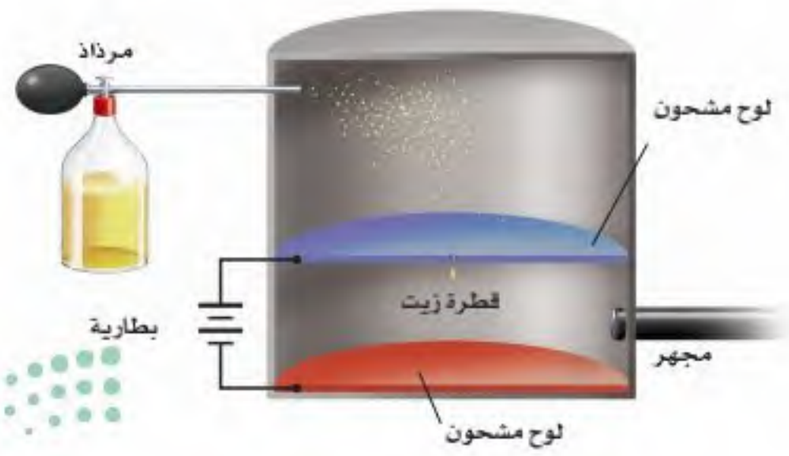
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تجربة قطرة الزيت لمَليكان
Millikan's Oil–Drop Experiment

يُعدّ قياس شـــحنة الإلكترون من أهم التطبيقات على المجال الكهربائي المنتظم بين لوحين متوازيين. وأول من قاس شـــحنة الإلكترون بهذه الطريقـــة الفيزيائي الأمريكي روبرت ملّيكان عام 1909م. ويبين **الشكل 10–9** الطريقة التي استخدمها ملّيكان لقياس الشحنة التي يحملها إلكترون مفرد. في البداية يُرش في الهواء قطرات زيت دقيقة بمرذاذ، فتُشـــحن هـــذه القطرات بســـبب احتكاكها بالمرذاذ عند رشّـــها، وتؤثر الجاذبيـــة الأرضية في هذه القطرات مسبّبة سقوطها إلى أســـفل، فيدخل بعض هذه القطرات في الفتحة الموجودة في اللوح العلوي داخل الجهاز. ومن ثم يُطبّق فرق جهد كهربائي بين اللوحين، ليؤثر المجال الكهربائي الناشئ بين اللوحين بقوة في القطرات المشحونة. وعندما يُصبح اللوح العلوي موجبًا بدرجة كافية تُســـبّب القوة الكهربائية ارتفاع القطرات المشحونة بشحنة سالبة إلى أعلى. ويتم ضبط فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؛ لتعليق قطرة زيت مشحونة في الهواء بين اللوحين. وعند هذه اللحظة تكون قـــوة مجال الجاذبية الأرضية المؤثرة في هذه القطرة إلى أسفل مساوية في المقدار للقوة الناتجة عن المجال الكهربائي، المؤثرة في القطرة إلى أعلى.

لقد تم تحديد مقدار المجال الكهربائي E من خلال فرق الجهد بين اللوحين. ويتعين إجراء قياس آخر لإيجاد وزن القطرة باســـتخدام العلاقة mg، والذي يكون صغيرًا جدًّا بحيث لا يمكن قياســـه بالطرائق العادية. ولإجراء هذا القياس تم تعليق القطرة أولاً، ثم إيقاف المجال الكهربائي بين اللوحين، وقِيس معدل سقوط القطرة؛ حيث تصل القطرة إلى السرعة الحدية خلال زمن قصير بســـبب الاحتكاك مع جزيئات الهواء. وتعتمد هذه السرعة على كتلة القطرة من خلال معادلة معقدة. ويمكن حساب مقدار الشحنة q باستخدام السرعة الحدية المقيسة لحساب المقدار mg، وبمعرفة مقدار المجال الكهربائي E.

شحنة الإلكترون وجد ملّيكان قدرًا كبيرًا من الاختلاف في شحنات القطرات، فعندما استخدم الأشعة السينية (X rays) من أجل تأيين الهواء وإضافة إلكترونات إلى القطرات أو إزالتها عنها، لاحظ أن التغير في مقدار الشـــحنة عـــلى القطرات يكون دائمًا مضروبًا في المقدار $1.60\times10^{-19}\,C$. وكان سبب التغيرات إضافة إلكترون واحد أو أكثر إلى القطرات، أو إزالتـــه منهـــا. ومن هنا اســـتنتج أن أقل تغيّر حدث في مقدار الشـــحنة كان يســـاوي مقدار شـــحنة إلكترون واحد، لذا افترض أن كل إلكترون له دائمًا الشـــحنة نفسها وهي $1.60\times10^{-19}\,C$. وقد بيّنت تجربة مليكان أن الشحنة مكمّاة؛ وهذا يعني أن شحنة أيّ جسم هي فقط مضاعفات صحيحة لشحنة الإلكترون.



الشكل 10–9 يوضّح هذا الشكل مقطعًا عرضيًّا للجهاز الذي استخدمه ملّيكان في حساب شحنة الإلكترون.

تجـــربة

المجالات الكهربائية

اربط كرة بيلسان بخيط نايلون طوله 20 cm، واربط الطرف الآخر في منتصف ماصة عصير بلاستيكية. أمسك الماصة أفقيًا، وتحقق من أن الكرة معلقة ومتدلية رأسيًا إلى أسفل. ثم استخدم قطعة صوف لشحن كل من الكرة ولوح بلاستيكي مربع الشكل أبعاده 30 cm × 30 cm بالدلك، وثبّت اللوح البلاستيكي رأسيًا، ثم أمسك الماصة ولامس الكرة لقطعة الصوف.

1. **توقع** ماذا يحدث عند تقريب الكرة من اللوح البلاستيكي؟
2. **اختبر** توقعك بتقريب الكرة ببطء إلى اللوح البلاستيكي.
3. **توقع** سلوك الكرة في مواقع مختلفة حول اللوح، واختبر توقعاتك.
4. **لاحظ** زاوية ميلان الخيط عند تحريك الكرة إلى مناطق مختلفة حول اللوح.

التحليل والاستنتاج

5. **وضّح** بدلالة المجال الكهربائي، لماذا تتأرجح الكرة في اتجاه اللوح البلاستيكي المشحون؟
6. **قارن** بين زوايا ميلان الخيط في نقاط متعددة حول اللوح، ولماذا تتغير زوايا الميلان؟
7. **استنتج** ما الذي تشير إليه زاوية ميلان الخيط فيما يتعلق بشدة المجال الكهربائي واتجاهه؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

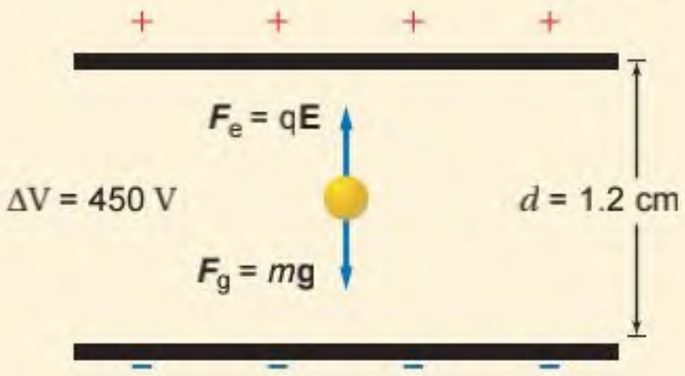
مثـــــال 4

إيجاد شحنة قطرة زيت في تجربة قطرة الزيت لملّيكان، وُجِد أن وزن قطرة زيت $2.4\times10^{-14}\ N$، والمسافة بين اللوحين $1.2\ cm$، وعندما أصبح فرق الجهد بين اللوحين $450\ V$ تعلّقت قطرة الزيت في الهواء بلا حركة.

a. ما مقدار شحنة قطرة الزيت؟

b. إذا كانت شحنة اللوح العلوي موجبة فما عدد فائض الإلكترونات على قطرة الزيت؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم اللوحين وقطرة الزيت معلّقة بينهما.
- ارسم المتجهات التي تمثّل القوى، وسمِّها.
- بيّن فرق الجهد والمسافة بين اللوحين.

المعلوم	المجهول
$\Delta V = 450\ V$	شحنة قطرة الزيت ؟ $= q$
$F_g = 2.4\times10^{-14}\ N$	عدد الإلكترونات ؟ $= n$
$d = 1.2\ cm$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

a. لتعليق قطرة الزيت في الهواء يجب أن تُوازِن القوةُ الكهربائية قوةَ الجاذبية الأرضية.

دليل الرياضيات
فصل المتغير

$F_e = F_g$

$qE = F_g$

$\frac{q\Delta V}{d} = F_g$

بالتعويض عن $F_e = qE$

بالتعويض عن $E = \frac{\Delta V}{d}$

حل لإيجاد q:

$q = \frac{F_g d}{\Delta V}$

$= \frac{(2.4\times10^{-14}\ N)(0.012\ m)}{450\ V}$

$= 6.4\times10^{-19}\ C$

بالتعويض عن $\Delta V = 450\ V$ ، $d = 0.012\ m$ ، $F_g = 2.4\times10^{-14}\ N$

b. لإيجاد عدد الإلكترونات على القطرة:

$n = \frac{q}{e}$

$= \frac{(6.4\times10^{-19}\ C)}{(1.6\times10^{-19}\ C)}$

$= 4$

بالتعويض عن $q = 6.4\times10^{-19}\ C$ ، $e = 1.6\times10^{-19}\ C$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** وحدة الشحنة $C = J/(J/C) = N.m/V$.
- **هل الجواب منطقي؟** النتيجة عدد صحيح وصغير من مضاعفات الشحنة الأساسية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسائل تدريبية

23. تسقط قطرة زيت في جهاز ملّيكان مع عدم وجود مجال كهربائي. ما القوى المؤثرة فيها؟ وإذا سقطت القطرة بسرعة متجهة ثابتة فصِف القوى المؤثرة فيها.

24. إذا عُلّقت قطرة زيت وزنها $1.9\times10^{-15}\ N$ في مجال كهربائي شدته $6.0\times10^{3}\ N/C$ فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد فائض الإلكترونات التي تحملها القطرة؟

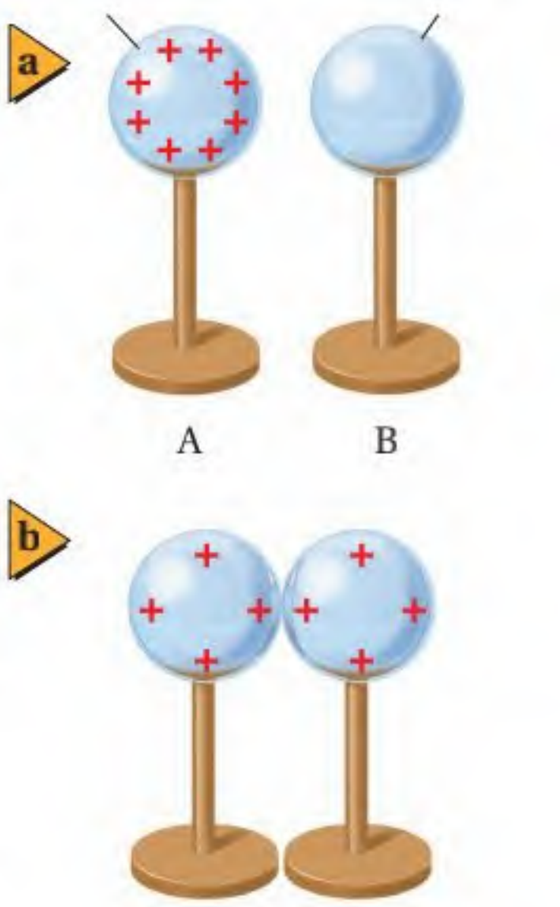
25. قطرة زيت وزنها $6.4\times10^{-15}\ N$ تحمل إلكترونًا فائضًا واحدًا. ما شدة المجال الكهربائي اللازم لتعليق القطرة ومنعها من الحركة؟

26. عُلّقت قطرة زيت مشحونة بشحنة موجبة وزنها $1.2\times10^{-14}\ N$ بين لوحين متوازيين البعد بينهما $0.64\ cm$. إذا كان فرق الجهد بين اللوحين $240\ V$ فما مقدار شحنة القطرة؟ وما عدد الإلكترونات التي فقدتها لتكتسب هذه الشحنة؟

توزيع الشحنات Sharing of Charges

يؤول أيّ نظام إلى الاتزان عندما تصبح طاقته أقل ما يمكن. فإذا وضعت كرة على قمة تل مثلًا فإنها تصل في النهاية إلى قاع الوادي وتستقر هناك؛ حيث تكون طاقة وضع الجاذبية لها عندئذٍ أقل ما يمكن. ويفسر المبدأ نفسه ما يحدث عند تلامس كرة فلزية معزولة ومشحونة بشحنة موجبة مع كرة فلزية أخرى غير مشحونة، كما هو موضّح في **الشكل 11–9**.

إن الشحنات الفائضة على الكرة A يتنافر بعضها مع بعض، لذا فعندما تلامس الكرة المتعادلة B سطح الكرة A يكون هناك قوة كهربائية محصلة تؤثر في الشحنات الموجودة على الكرة A في اتجاه الكرة B. افترض أنك حرّكت الشحنات ونقلتها منفردة من A إلى B. عندما تنقل الشحنة الأولى ستدفعها الشحنات المتبقية على A في اتجاه B، وللتحكم في سرعتها يجب أن تؤثر فيها بقوة في الاتجاه المعاكس. فتكون بذلك قد بذلت شغلًا سالبًا عليها، ويكون فرق الجهد الكهربائي من A إلى B سالبًا. وعند نقل الشحنات الأخرى ستواجه قوة تنافر من الشحنات التي أصبحت الآن على B، إلا أنه ما زال هناك قوة محصلة موجبة في ذلك الاتجاه. وعند مرحلة معينة تكون القوة التي تدفع الشحنة من A إلى B مساوية لقوة التنافر الناتجة عن الشحنات الموجودة على B، عندها يصبح فرق الجهد الكهربائي بين A و B صفرًا. وبعد حالة الاتزان هذه يجب بذل شغل على الشحنة الآتية لنقلها من A إلى B، وهذا لا يحدث تلقائيًّا، بل يتطلب زيادة في طاقة النظام. وإذا استمر نقل الشحنات سيصبح فرق الجهد الكهربائي من A إلى B موجبًا. لذا يمكنك مشاهدة أن الشحنات تتحرك من A إلى B دون التأثير فيها بقوى خارجية إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين صفرًا.



الشكل 11–9 عندما تلمس كرة فلزية مشحونة كرة فلزية أخرى متعادلة مساوية لها في الحجم تتوزع الشحنات على الكرتين بالتساوي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 12–9** تنتقل الشحنات من الكرة ذات الجهد الأعلى إلى الكرة ذات الجهد الأخفض عند تلامسهما، ويستمر انتقال الشحنات إلى أن ينعدم فرق الجهد بينهما.

كرات بأحجام مختلفة افترض أن الكرتين الموصلتين مختلفتان في الحجم، كما هو موضّح في **الشكل 12–9**. فعلى الرغم من أن عدد الشحنات على الكرتين هو نفسه إلا أن للكرة الكبيرة مساحة سطحية أكبر، لذا تتباعد الشحنات الموجودة عليها بعضها عن بعض مسافات أكبر، ومن ثم تقل قوة التنافر بينها. وإذا لامسنا الكرتين معًا فستكون هناك قوة محصلة تنقل الشحنات من الكرة الصغيرة إلى الكرة الكبيرة، وستنتقل الشحنات إلى الكرة ذات الجهد الكهربائي الأقل، وسيستمر ذلك إلى أن ينعدم فرق الجهد الكهربائي بين الكرتين. وفي هذه الحالة سيكون للكرة الكبرى شحنة أكبر عند الوصول إلى حالة الاتزان.

يوضّح المبدأ نفسه كيف تتحرك الشحنات على الكرات المنفردة أو على أي موصل آخر؛ حيث تتوزع الشحنات بحيث تكون القوة المحصلة المؤثرة في كل منها صفرًا. وبما أن القوة المحصلة المؤثرة في كل شحنة على سطح الموصل تساوي صفرًا فإنه لا يوجد مجال كهربائي أو مركّبة له موازية لسطح هذا الموصل، لذا لا يوجد فرق في الجهد الكهربائي بين أي نقطتين على سطحه، ولذلك يكون سطح الموصل المشحون متساوي الجهد ويسمى سطح تساوي جهد.

إذا تم تأريض جسم مشحون بوصله بالأرض فستنتقل غالبًا أي كمية شحنة عليه إلى الأرض إلى أن يصبح فرق الجهد الكهربائي بين الجسم والأرض صفرًا. فيمكن مثلًا أن تُشحن صهاريج نقل البنزين عن طريق الاحتكاك، وإذا انتقلت الشحنات الزائدة الموجودة على صهريج بنزين إلى الأرض من خلال بخار البنزين فستُحدث انفجارًا. ولتفادي حدوث ذلك يوصل سلك فلزي بالصهريج حتى يوصل الشحنات ويُفرّغها في الأرض بطريقة آمنة، كما يوضح **الشكل 13–9**. وبالمثل إذا لم يتم تأريض جهاز حاسوب بوصله بالأرض فسيتولد فرق جهد كهربائي بين جهاز الحاسوب والأرض، وإذا لامس شخص جهاز الحاسوب فستتدفق الشحنات من الحاسوب إلى الشخص، مما قد يؤدي إلى تلف الجهاز، أو إيذاء الشخص.

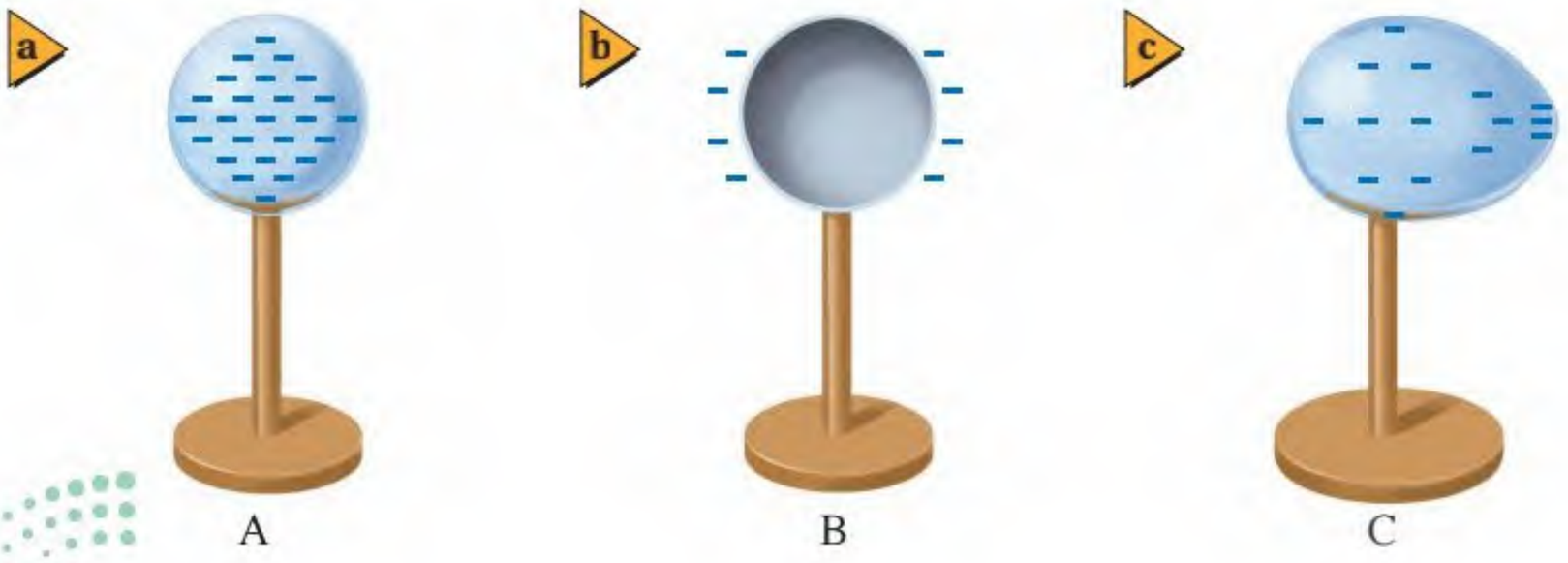
■ **الشكل 13–9** سلك التأريض المتصل بصهريج نفط يمنع اشتعال بخار البنزين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المجالات الكهربائية بالقرب من الموصلات
Electric Fields Near Conductors

تتوزّع الشحنات الكهربائية على موصل مشحون مبتعدًا بعضها عن بعض أقصى ما يمكن، بحيث تكون طاقة النظام أقل ما يمكن، مما يؤدي إلى توزع الشحنات الفائضة على سطح الموصل المُصمت، وكذا الحال مع الموصل الأجوف. إذا شُحن وعاء فلزي أجوف فستتوزع الشحنات على سطحه الخارجي، ولن يكون هناك أي شحنات على سطحه الداخلي، وبهذه الطريقة يعمل الوعاء الفلزي المغلق عمل درع واقية تحمي ما بداخلها من المجالات الكهربائية. فمثلًا يكون الناس داخل السيارة محميين من المجالات الكهربائية الناتجة عن البرق، وبالمثل بالنسبة لعلبة مشروبات غازية مفتوحة سيكون عدد الشحنات داخل العلبة صغيرًا جدًّا، ولا توجد شحنات بالقرب من قاعدة العلبة، حتى وإن كان السطح الداخلي لجسم ما مُنقّرًا أو خشنًا، مما يجعل مساحة سطحه الداخلي أكبر من مساحة سطحه الخارجي، إلا أن الشحنات ستتوزع كلّها على سطحه الخارجي.

لا يكون المجال الكهربائي خارج موصل مشحون صفرًا غالبًا. وعلى الرغم من أن سطح الموصل يعدّ سطح تساوي جهد إلا أن المجال الكهربائي خارجه يعتمد على شكل الموصل، كما يعتمد على فرق الجهد الكهربائي بين الموصل والأرض. وتكون الشحنات أكثر تقاربًا عند الرؤوس المدبَّبة من سطح الموصل، وتكون كثافتها كبيرة، كما هو موضح في **الشكل 14–9**؛ لذا تكون خطوط المجال الكهربائي عند هذه الرؤوس أكثر تقاربًا، ويكون المجال الكهربائي أكبر. وإذا أصبحت شدة هذا المجال كبيرة بدرجة كافية فإنه يكون قادرًا على مسارعة الإلكترونات والأيونات الناتجة عن مرور الأشعة الكونية خلال الذرات، فتصطدم هذه الإلكترونات والأيونات بذرات أخرى، مما يؤدي إلى تأين المزيد من الذرات. وتظهر هذه السلسلة من التفاعلات في صورة وهج وردي اللون، كالذي يُشاهد داخل كرة التفريغ الكهربائي التي تحوي غازات. وإذا كان المجال الكهربائي كبيرًا بصورة كافية فستنتج حزمة أو تيار من الأيونات والإلكترونات التي تشكل البلازما- وهي مادة موصلة- عندما تصطدم الجسيمات بجزيئات أخرى، وتصدر شرارة كهربائية، أما في الحالات الشديدة فينتج البرق. وللتقليل من عمليات التفريغ الكهربائي وحدوث الشرارة الكهربائية تُجعل الموصلات ذات الشحنة الكبيرة أو التي تعمل تحت فروق جهد كبيرة ملساء وانسيابية الشكل لتقليل المجالات الكهربائية.



الشكل 14–9 تتوزع الشحنات على سطح الكرة الموصلة بانتظام (a). أما الكرة الجوفاء (b) فتستقر الشحنات دائمًا على سطحها الخارجي. وأما في الأشكال غير المنتظمة (c) فتقترب الشحنات بعضها من بعض عند الأطراف المدببة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

أما في مانعــة الصواعق فيُثبّت قضيب بطريقة تجعل المجــال الكهربائي كبيرًا بالقرب من طرفه، ومع استمرار تسريع المجال الكهربائي للإلكترونات والأيونات، يبدأ تشكّل مسار موصــل من طرف القضيب إلى الغيوم أو العكس. ونتيجة لشــكل القضيب المدبب جدًّا تُفرّغ شــحنات الغيمة في صورة شرارة في قضيب مانعة الصواعق بدلاً من تفريغها في أي نقطة مرتفعة من المنزل أو البناية. ثم تنتقل الشــحنات من قضيــب مانعة الصواعق عبر موصل لتتفرّغ بصورة آمنة في الأرض.

يتطلــب حدوث البرق عادة فرق جهد كبيرًا بــين غيمتين أو بين الأرض والغيوم في حالة الصاعقة يصل إلى ملايين الفولتات. وعلى الرغم من أن تشغيل أنبوب التفريغ الكهربائي الصغير الــذي يحتوي على الغــاز يتطلــب آلاف الفولتات، إلا أن أســلاك التمديدات الكهربائية في المنازل لا تحمل عادة فرق جهد كافيًا لإحداث مثل هذا التفريغ الكهربائي.

تخزين الشحنات: المُكثّف
Storing Charges: The Capacitor

عند رفع كتاب عن ســطح الأرض تزداد طاقة وضع جاذبية الكتاب. ويمكن تفسير ذلك عــلى أنه تخزين للطاقة في مجــال الجاذبية الأرضي. وبطريقة مماثلــة يمكن تخزين الطاقة في المجال الكهربائي؛ ففي عام 1746م اخترع الفيزيائي الهولندي بيترفان مسجنبروك جهازًا صغيرًا يمكنه تخزين كمية كبيرة من الشــحنات الكهربائية. وتكريمًا لمدينة ليدن التي عمل بها هذا العالم سُــمي هذا الجهاز زجاجة (قارورة) ليدن. واستخدم العالم بنيامين فرانكلين زجاجة ليدن لتخزين الشحنات الكهربائية الناتجة عن البرق، كما استخدمها في عدة تجارب أخرى. وأصبح لهذا الجهاز الذي يعمل على تخزين الشحنات شكل جديد، بحيث أصبح أصغر حجمًا، ويسمّى **المكثف الكهربائي**.

عند إضافة شــحنات كهربائية إلى جســم يزداد فرق الجهد الكهربائي بين ذلك الجســم والأرض. وإذا كان شــكل الجسم وحجمه ثابتين تبقى النســبة بين الشحنة المخزنة على الجســم وفرق الجهد الكهربائي $q/\Delta V$ ثابتة، وتســمى تلك النسبة **السعة الكهربائية** C. وعند إضافة كمية من الشحنة ولو كانت قليلة إلى كرة صغيرة بعيدة عن الأرض يزداد فرق الجهد الكهربائي بينها وبين الأرض؛ لكون C صغيرة. أما الكرة الكبيرة فيمكنها أن تخزن كمية شحنات أكبر عند فرق الجهد نفسه، وبذلك تكون سعتها الكهربائية أكبر.

تجربة عملية

هل يمكن تخزين كميات كبيرة من الشحنات؟

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

■ **الشكل 15–9** تبيّن الصورة المجاورة أنواعًا مختلفة من المكثفات.

صُمّمت المكثفات ليكون لها سعات كهربائية محدّدة. وتتكون المكثفات جميعها من موصلين يفصل بينهما مادة عازلة. وللموصلين شحنتان متساويتان في المقدار لكنهما مختلفتان في النوع. وتستخدم المكثفات في أيامنا هذه في الدوائر الكهربائية لتخزين الشحنات. ويوضّح **الشكل 15–9** مجموعة من المكثفات التجارية التي تحوي عادة شرائط من الألومنيوم مفصولة بطبقة رقيقة من البلاستيك، ثم تلف بصورة أسطوانية حتى يقل حجمها ولا تشغل حيّزًا كبيرًا.

كيف يمكن قياس السعة الكهربائية لمكثف؟ بما أن السعة الكهربائية للمكثف لا تعتمد على شحنته فيمكن قياسها بوضع شحنة $q+$ على أحد اللوحين وشحنة أخرى $q-$ على اللوح الآخر، ثم قياس فرق الجهد الكهربائي الناتج بين اللوحين ΔV، ثم نحسب السعة الكهربائية من خلال العلاقة أدناه، وتكون وحدة قياس السعة الكهربائية هي الفاراد F.

السعة الكهربائية $$C = \frac{q}{\Delta V}$$

السعة الكهربائية هي النسبة بين الشحنة على أحد اللوحين وفرق الجهد بينهما.

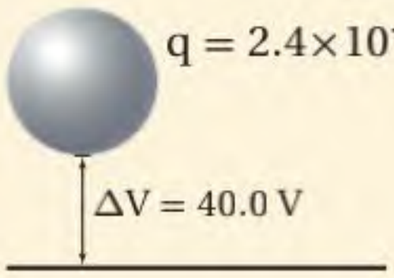
وحدة قياس السعة الكهربائية: (الفاراد) تُقاس السعة الكهربائية بوحدة الفاراد، وقد سميت بهذا الاسم نسبة إلى العالم مايكل فارادي. والفاراد الواحد عبارة عن واحد كولوم لكل فولت (C/V). وكما أسلفنا أن 1 C وحدة كبيرة جدًّا لقياس الشحنة، فإن 1 F وحدة كبيرة جدًّا أيضًا لقياس السعة الكهربائية؛ فأغلب المكثّفات المستخدمة في الإلكترونيات الحديثة لها سعات كهربائية تتراوح بين 10 بيكوفاراد (10×10^{-12} F) و 500 ميكروفاراد (500×10^{-6} F). أما المكثفات التي تستخدم في ذاكرة الحاسوب لمنع الفقد في الذاكرة فلها سعات كهربائية كبيرة تتراوح بين 0.5 F و 1.0 F. لاحظ أنه إذا زادت الشحنة زاد فرق الجهد الكهربائي أيضًا؛ لأن سعة المكثف لا تعتمد على الشحنة q، وإنما تعتمد على الأبعاد الهندسية للمكثف فقط.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مثـــال 5

إيجاد السعة الكهربائية إذا كان فرق الجهد الكهربائي بين كرة موصلة والأرض يساوي 40.0 V عند شحنها بشحنة مقدارها 2.4×10^{-6} C فما مقدار سعتها الكهربائية؟

1 تحليل المسألة ورسمها



- ارسم كرة فوق الأرض، وعيّن عليها الشحنة وفرق الجهد.

المعلوم	المجهول
$\Delta V = 40.0\ V$	$C = ?$
$q = 2.4\times10^{-6}\ C$	

دليل الرياضيات

إجراء العمليات الحسابية باستعمال الأرقام المعنوية

2 إيجاد الكمية المجهولة

بالتعويض عن $q = 2.4\times10^{-6}\ C$، $\Delta V = 40.0\ V$

$$C = q/\Delta V$$

$$C = \frac{2.4\times10^{-6}\ C}{40.0\ V}$$

$$= 6.0\times10^{-8}\ F$$

$$= 0.060\ \mu F$$

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** $F = \frac{C}{V}$ الوحدة هي الفاراد.
- **هل الجواب منطقي؟** السعة الكهربائية القليلة تخزّن شحنة كهربائية قليلة عند فرق جهد قليل.

مسائل تدريبية

27. مكثـف كهربائي سـعته 27 μF وفرق الجهد الكهربائي بـين لوحيه 45 V. ما مقدار شحنة المكثف؟

28. مكثفان؛ سعة الأول 3.3 μF، وسعة الآخر 6.8 μF. إذا وصل كل منهما بفرق جهد 24 V فأي المكثفين له شحنة أكبر؟ وما مقدارها؟

29. إذا شحن كل من المكثفين في المسألة السابقة بشحنة مقدارها 3.5×10^{-4} C فأيهما له فرق جهد كهربائي أكبر بين طرفيه؟ وما مقداره؟

30. شـحن مكثف كهربائي سـعته 2.2 μF حتى أصبح فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه 6.0 V. ما مقدار الشـحنة الإضافية التي يتطلبهـا رفع فرق الجهد بين طرفيه إلى 15.0 V؟

31. عند إضافة شحنة مقدارها 2.5×10^{-5} C إلى مكثف يزداد فرق الجهد بين لوحيه من 12.0 V إلى 14.5 V. احسب مقدار سعة المكثف.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسألة تحفيز

يجذب لوحا مكثّف كهربائي أحدهما الآخر لأنهما يحملان شحنتين مختلفتين، فإذا كانت المسافة بين لوحي مكثف متوازيين d، وسعته الكهربائية C فأجب عما يأتي:

1. اشتق علاقة للقوة الكهربائية بين اللوحين عندما يكون للمكثف شحنة مقدارها q.
2. ما مقدار الشحنة التي يجب أن تخزّن في مكثف سعته 22 μF، والمسافة بين لوحيه 1.5 mm لتكون القوة بين لوحيه 2.0 N؟

أنواع المكثفات المختلفة تصنع المكثفات بأشكال وأحجام مختلفة، كما يوضّح **الشكل 15-9**؛ فبعض المكثفات كبيرة وضخمة جدًّا حتى إنها تملأ غرفة كاملة، ويمكنها تخزين شحنات تكفي لإحداث برق اصطناعي، أو تشغيل ليزرات عملاقة قادرة على إطلاق آلاف الجولات من الطاقة خلال بضعة أجزاء من المليون من الثانية. أما المكثفات الموجودة في التلفاز فيمكنها تخزين كمية كافية من الشحنات عند فروق جهد مساوية لعدة مئات من الفولتات، لذا تكون خطيرة جدًّا إذا لُمست. وتبقى هذه المكثفات مشحونة عدة ساعات بعد إغلاق التلفاز. وهذا هو سبب التحذير من نزع غطاء جهاز التلفاز القديم أو غطاء شاشة جهاز الحاسوب القديم حتى لو لم تكن متصلة بمصدر جهد كهربائي.

يمكن التحكم في السعة الكهربائية لمكثف بتغيير المساحة السطحية للموصلين، أو اللوحين الفلزيين داخل المكثف، أو تغيير المسافة بين اللوحين، أو تغيير طبيعة المادة العازلة بينهما. وتسمّى المكثفات بحسب نوع العازل الذي يفصل بين اللوحين، مثل السيراميك والمايكا والبوليستر والورق والهواء. ويمكن الحصول على سعة كهربائية كبيرة لمكثف بزيادة المساحة السطحية للوحين الفلزيين وتقليل المسافة بينهما. ولبعض المواد العازلة القدرة على عزل الشحنات الموجودة على لوحي المكثف بفاعلية وكفاءة، بحيث تسمح بتخزين كمية أكبر من الشحنة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2–9 مراجعة

32. **فرق الجهد الكهربائي** ما الفرق بين طاقة الوضع الكهربائية وفرق الجهد الكهربائي؟

33. **المجال الكهربائي وفرق الجهد** بيّن أن الفولت لكل متر هو نفسه نيوتن لكل كولوم.

34. **تجربة مليكان** عندما تتغير شحنة قطرة الزيت المعلّقة داخل جهاز مليكان تبدأ القطرة في السقوط. كيف يجب تغيير فرق الجهد بين اللوحين لجعل القطرة تعود إلى الاتزان من جديد؟

35. **الشحنة وفرق الجهد** إذا كان التغير في فرق الجهد الكهربائي في المسألة السابقة لا يؤثر في القطرة الساقطة فعلامَ يدل ذلك بشأن الشحنة الجديدة على القطرة؟

36. **السعة الكهربائية** ما مقدار الشحنة المختزنة في مكثف سعته $0.47\ \mu F$ عندما يُطبّق عليه فرق جهد مقداره $12\ V$؟

37. **توزيع الشحنات** عند ملامسة كرة موصلة صغيرة مشحونة بشحنة سالبة لكرة موصلة كبيرة مشحونة بشحنة موجبة، ماذا يمكن القول عن:
a. جهد كل من الكرتين.
b. شحنة كل من الكرتين.

38. **التفكير الناقد** بالرجوع إلى **الشكل 4a–9**، وضح كيف تستمر الشحنات في التراكم على القُبّة الفلزية لمولّد فان دي جراف، ولماذا لا تتنافر الشحنات لتعود إلى الحزام عند النقطة B؟

مختبر الفيزياء

شحن المكثّفات

المكثّف الكهربائي جهاز مكوّن من موصلين، أو لوحين فلزيين يفصل بينهما مادة عازلة، ويُصمّم ليكون له سعة كهربائية محدّدة. وتعتمد السعة الكهربائية للمكثف على خصائصه الفيزيائية (نفاذية الوسط الكهربائية)، والأبعاد الهندسية للموصلين والعازل. وفي الرسم التخطيطي للدائرة الكهربائية يبدو المكثف أنه ينشئ دائرة مفتوحة، حتى عندما يكون المفتاح الكهربائي مغلقًا. إلا أنه عند إغلاق المفتاح الكهربائي تنتقل الشحنات الكهربائية من البطارية (مصدر جهد مستمر) إلى المكثف؛ فيُشحن لوحا المكثف بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع، ويتولّد فرق جهد كهربائي بينهما. وكلما زادت كمية الشحنة المتراكمة على المكثف ازداد فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه. وفي هذه التجربة ستختبر شحن عدة مكثفات مختلفة.

سؤال التجربة

ما الزمن اللازم لشحن مكثفات مختلفة السعة الكهربائية؟

الأهداف

- **تجمع البيانات وتنظّمها** حول المعدل الزمني اللازم لشحن مكثفات مختلفة.
- **تقارن** بين المعدلات الزمنية اللازمة لشحن مكثفات مختلفة.
- **تنشئ رسومًا بيانية وتستخدمها** لفرق الجهد مقابل زمن شحن عدة مكثفات.

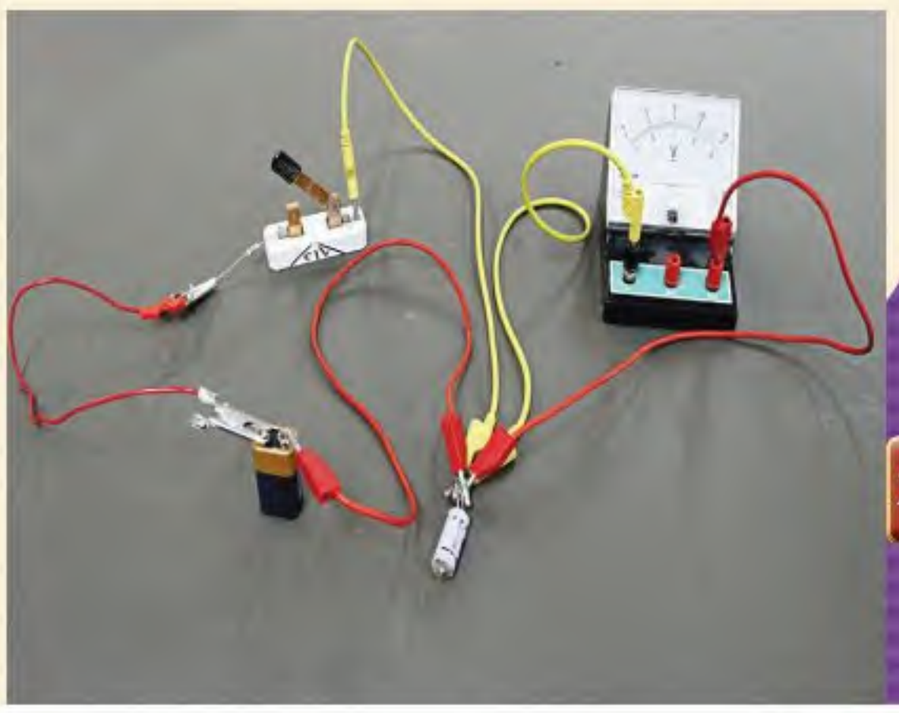
احتياطات السلامة

المواد والأدوات

بطارية 9V، وفولتمتر، ومشابك أو مرابط خاصة ببطارية 9V، ومقاومة كهربائية 47 kΩ، وأسلاك توصيل، وساعة إيقاف، ومفتاح كهربائي، ومكثفات 1000 µF و500 µF و240 µF

الخطوات

1. قبل بدء تنفيذ التجربة دع المفتاح الكهربائي مفتوحًا، ولا تصل البطارية. **تحذير: كن حذرًا وتجنّب تكوّن دائرة قصْر كهربائية، وخصوصًا عند تلامس السلكين الموصولين بقطبي البطارية معًا.** ركّب الدائرة كما هو موضّح في الصورة، وذلك بتوصيل أحد طرفي المقاومة بطرف المفتاح الكهربائي، حيث تستخدم المقاومة لتقليل شحن المكثف إلى معدل يكون فيه قابلًا للقياس، ثم صِل الطرف الآخر للمقاومة مع القطب السالب للبطارية 9 V. ثم تفحّص المكثف 1000 µF؛ لتحدّد أيّ طرفيه قد عُلّم بإشارة سالبة، أو سَهْم مع إشارة سالبة عليه، حيث يُشير ذلك إلى الطرف الذي سيوصل مع القطب السالب للبطارية، ثم صِل هذا القطب بالطرف الآخر للمفتاح الكهربائي. وصِل الطرف الموجب للمكثف مع الطرف الموجب للبطارية.
2. صِل الطرف الموجب للفولتمتر مع الطرف الموجب للمكثف، والطرف السالب للفولتمتر مع الطرف السالب للمكثف، ثم قارن بين الدائرة التي ركّبتها والدائرة الموضحة في الصورة لتتأكد من صحة توصيلاتك. ولا تصل البطارية إلا بعد أن يتحقق المعلم من صحة التوصيلات.
3. جهّز جدول بيانات على أن تخصّص أعمدة للزمن وأخرى لفرق الجهد لكل من المكثّفات الثلاثة المختلفة.
4. يراقب أحد الطلاب الزمن الذي تقيسه ساعة الإيقاف، بينما يُسجّل طالب آخر فرق الجهد عند الوقت المناسب. أغلق المفتاح الكهربائي، ثم قس فرق الجهد خلال فترات زمنية مقدارها 5 s. افتح المفتاح الكهربائي بعد جمع البيانات.
5. عند الانتهاء من المحاولة، خذ سلكًا معزولًا وصله بطرفي المكثف. سيعمل هذا على تفريغ المكثف.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جدول البيانات							
الزمن (s)	فرق الجهد (V) عبر 1000 µF	فرق الجهد (V) عبر 500 µF	فرق الجهد (V) عبر 240 µF	الزمن (s)	فرق الجهد (V) عبر 1000 µF	فرق الجهد (V) عبر 500 µF	فرق الجهد (V) عبر 240 µF
0				55			
5				60			
10				65			
15				70			
20				75			
25				80			
30				85			
35				90			
40				95			
45				100			
50				105			

6. ضع المكثف 500 µF بدلًا من المكثف 1000 µF، وكرّر الخطوتين 4 و5، ودوّن البيانات في الجدول في العمود الخاص بالمكثف 500 µF
7. ضع المكثف 240 µF بدلًا من المكثف 500 µF، وكرّر الخطوات 4 و5، ودوّن البيانات في الجدول في العمود الخاص بالمكثف 240 µF

التحليل

1. **لاحظ واستنتج** هل شحن كل مكثف بحيث أصبح فرق الجهد بين طرفيه 9 V؟ اقترح تفسيرًا للسلوك الملاحظ.
2. **أنشئ الرسوم البيانية واستخدمها** أعدّ رسمًا بيانيًّا على أن يكون الزمن على المحور الأفقي(x)، وفرق الجهد على المحور الرأسي(y). ارسم خطًّا بيانيًّا منفصلًا خاصًّا بكل مكثف.

الاستنتاج والتطبيق

1. **فسّر البيانات** هل يصل جهد المكثف لحظيًا إلى جهد مساوٍ لفرق الجهد بين طرفي البطارية (9 V)؟ وضّح سبب السلوك الملاحظ.
2. **استنتج** هل يحتاج المكثف الأكبر سعة إلى زمن أكبر حتى يُشحَن تمامًا؟ ولماذا؟

التوسع في البحث

1. يعتمد الزمن اللازم لشحن مكثف - أي حتى يصل فرق الجهد بين طرفيه إلى فرق الجهد بين طرفي البطارية - على سعته ومقاومته لتدفق الشحنات خلال الدائرة. في هذه التجربة ضُبِطت مقاومة تدفق الشحنات عن طريق توصيل مقاومة مقدارها 47 kΩ في الدائرة. في الدوائر الكهربائية التي تتضمن مكثفًا ومقاومة مثل الدائرة الواردة في هذه التجربة فإن الزمن -مقيسًا بالثانية- اللازم لشحن المكثف بنسبة 63.3 % من الجهد المطبّق يساوي حاصل ضرب السعة في المقاومة، و يسمّى هذا ثابت الزمن. لذا فإن T = RC؛ حيث T مقيسة بالثواني، وR مقيسة بالأوم، وC مقيسة بالفاراد. احسب ثابت الزمن لكل مكثف عند توصيله بالمقاومة 47 kΩ.
2. قارن بين ثابت الزمن الذي حصلت عليه والقيم التي حصلت عليها من الرسم البياني.

الفيزياء في الحياة

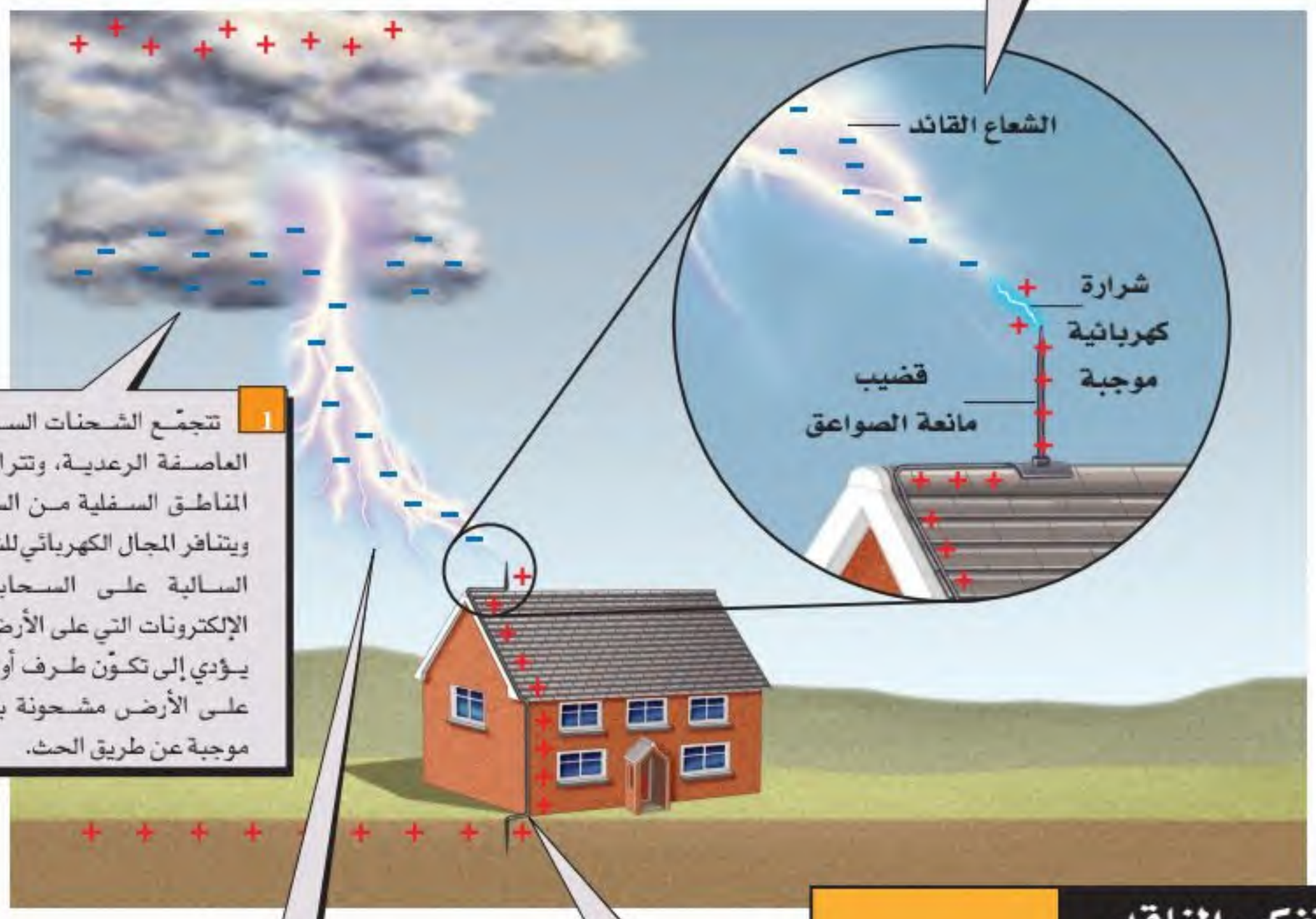
وضّح آلات التصوير (الكاميرات) الصغيرة المُزوّدة بوامض (فلاش) مخصَّص للاستعمال مرة واحدة فقط، ووحدات الفلاش الإلكترونية العادية تحتاج إلى مرور زمن معين حتى يصبح الفلاش جاهزًا للاستعمال، حيث يعمل المكثف فيها على تخزين الطاقة لعمل الفلاش. وضّح ما يحدث خلال الزمن الذي يجب أن تنتظره لأخذ الصور الثانية بهذا النوع من الكاميرات.

كيف تعمل

How it Works

مانعة الصواعق؟ lightning Rods?

قد يكون البرق مدمّـرًا بصورة كبيرة؛ إذ ينتج عنه تيارات كهربائية كبـيرة جدًّا في مـواد رديئة التوصيـل؛ مما يـؤدي إلى توليد كمية كبيرة من الحرارة. لذا تسـتخدم مانعة الصواعق لحماية الأبنية عن طريق تبديد بعض الشـحنات قبل حدوث ضربة الصاعقة؛ حيث توفّر قضبان مانعة الصواعق مسـارًا آمنًا للتيار الكهربائي؛ وذلك لأنها موصلات جيدة. وقد اخترع مانعـةَ الصواعق العالم بنيامين فرانكلين في خمسينات القرن الثامن عشر.



3 تنطلق الشحنات الموجبة في صورة شرارة خارجة من قضيب مانعة الصواعق لتقابل الشعاع القائد، فيكتمل المسار الموصل، ويعمل التيار على معادلة الشحنات المنفصلة. وحتى إذا لم تضرب الشرارة قضيب مانعة الصواعق مباشرة فسيبقى التيار الهائل قادرًا على الوصول إلى قضيب مانعة الصواعق، وهو المسار الأقل ممانعة (مقاومة) إلى الأرض.

1 تتجمّع الشحنات السالبة في العاصفة الرعدية، وتتراكم في المناطق السفلية من السحب، ويتنافر المجال الكهربائي للشحنات السالبة على السحابة مع الإلكترونات التي على الأرض، مما يؤدي إلى تكوّن طرف أو منطقة على الأرض مشحونة بشحنة موجبة عن طريق الحث.

2 يُسرّع المجال الكهربائي الكبير الإلكترونات والأيونات، مما يسبب سلسلة من التفاعلات في الهواء مكوّنًا البلازما. ويعدّ الهواء المتأين مادة موصلة، حيث يتفرع خارجًا من الغيوم مكونًا ما يسمى عتبات قيادة التفريـغ (الشعـاع القائد step leaders).

4 ينتقل التيار الكهربائي بأمان خلال الموصل إلى سطح الأرض.

التفكير الناقد

1. **كوِّن فرضية** ما المسار الذي يسلكه التيار الكهربائي ليصل إلى الأرض إذا لم يكن المنزل مزودًا بمانعة صواعق في أثناء ضربة الصاعقة؟
2. **قوِّم** هل يجب أن تكون المقاومة بين نهاية سلك مانعة الصواعق المتصل بالأرض والأرض كبيرة أم صغيرة؟
3. **استنتج** ما المخاطر الناتجة عن التركيب غير الصحيح لنظام مانعة الصواعق؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2015 - 1437

الفصل 9

دليل مراجعة الفصل

9–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها Creating and Measuring Electric Fields

المفردات

- المجال الكهربائي
- شحنة الاختبار
- خط المجال الكهربائي

المفاهيم الرئيسة

- يوجد مجال كهربائي حول أي جسم مشحون، ويؤثر هذا المجال بقوى في الأجسام المشحونة الأخرى.
- المجال الكهربائي يساوي القوة الكهربائية المؤثرة على وحدة الشحنات.

$$E = \frac{F}{q'}$$

- اتجاه المجال الكهربائي هو اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة اختبار موجبة صغيرة.
- توفّر خطوط المجال الكهربائي صورة للمجال الكهربائي؛ حيث تكون دائمًا خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى الشحنة السالبة، ولا تتقاطع مطلقًا، وترتبط كثافتها بشدة المجال.

9–2 تطبيقات المجالات الكهربائية Applications of Electric Fields

المفردات

- فرق الجهد الكهربائي
- الفولت
- سطح تساوي الجهد
- المكثف الكهربائي
- السعة الكهربائية

المفاهيم الرئيسة

- فرق الجهد الكهربائي يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنات الكهربائية في المجال الكهربائي.

$$\Delta V = \frac{W}{q'}$$

- يُقاس فرق الجهد الكهربائي بوحدة الفولت.
- يكون المجال الكهربائي بين لوحين مشحونين متوازيين منتظمًا ما عدا النقاط التي تكون عند أطراف اللوحين؛ فيكون المجال عندها غير منتظم. ويرتبط فرق الجهد مع شدة المجال الكهربائي من خلال العلاقة الآتية:

$$\Delta V = Ed$$

- بيّنت تجربة ملّيكان أن الشحنة الكهربائية مكمّاة.
- بيّن مليكان أيضًا أن مقدار الشحنة السالبة التي يحملها الإلكترون تساوي 1.6×10^{-19} C.
- تتحرك الشحنات على سطح موصل حتى يصبح الجهد الكهربائي متساويًا في جميع النقاط على سطحه.
- يعمل التأريض على جعل فرق الجهد بين الجسم والأرض صفرًا.
- يمنع التأريض حدوث الشرارة الكهربائية الناتجة عن ملامسة الجسم المتعادل لأجسام أخرى تراكم عليها كمية كبيرة من الشحنات.
- يكون المجال الكهربائي أكبر ما يمكن عند المناطق المدبّبة أو الحادة من سطح الموصل.
- السعة الكهربائية هي النسبة بين شحنة جسم وفرق الجهد الكهربائي عليه.

$$C = \frac{q}{\Delta V}$$

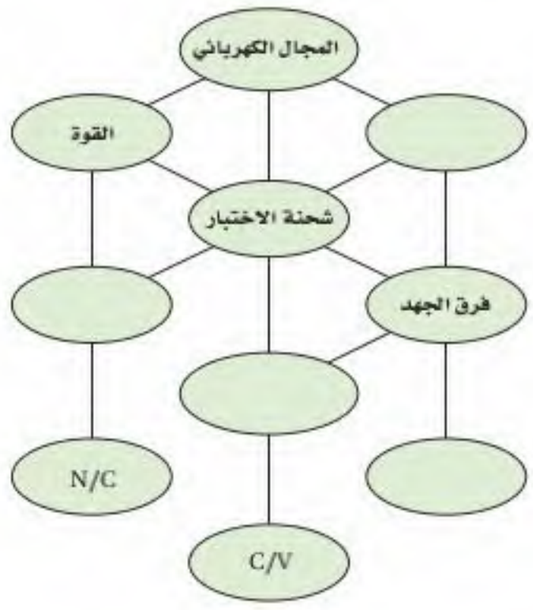
- لا تعتمد السعة الكهربائية على شحنة الجسم ولا على فرق الجهد عليه.
- يستخدم المكثّف الكهربائي في تخزين الشحنات الكهربائية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 9

خريطة المفاهيم

39. أكمل خريطة المفاهيم أدناه باستخدام المصطلحات الآتية: السعة، شدة المجال، J /C ، الشغل.



إتقان المفاهيم

40. ما الخاصيتان اللتان يجب أن تكونا لشحنة الاختبار؟

41. كيف يحدّد اتجاه المجال الكهربائي؟

42. ما المقصود بخطوط المجال الكهربائي؟

43. ارسم بعض خطوط المجال الكهربائي لكل من الحالات الآتية:

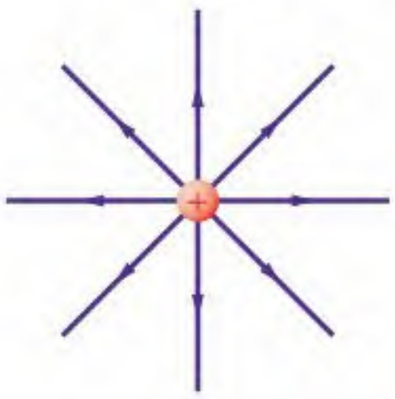
a. شحنتين متساويتين في المقدار ومتماثلتين في النوع.

b. شحنتين مختلفتين في النوع ولهما المقدار نفسه.

c. شحنة موجبة وأخرى سالبة مقدارها يساوي ضعف مقدار الشحنة الموجبة.

d. لوحين متوازيين مختلفين في الشحنة.

44. في **الشكل 16–9**، أين تنتهي خطوط المجال الكهربائي الخارجة من الشحنة الموجبة؟



الشكل 16–9

45. كيف يتم الإشارة لشدة المجال الكهربائي من خلال خطوط المجال الكهربائي؟

46. ما وحدة قياس طاقة الوضع الكهربائية؟ وما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي، وفْق النظام الدولي للوحدات SI؟

47. عرّف الفولت بدلالة التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة تتحرك في مجال كهربائي.

48. لماذا يفقد الجسم المشحون شحنته عند وصله بالأرض؟

49. وضع قضيب مطاطي مشحون على طاولة فحافظ على شحنته بعض الوقت. لماذا لا تُفرّغ شحنة القضيب المشحون مباشرة؟

50. شُحن صندوق فلزي. قارن بين تركيز الشحنة على زوايا الصندوق وتركيزها على جوانب الصندوق.

51. **أجهزة الحاسوب** لماذا توضع الأجزاء الدقيقة في الأجهزة الإلكترونية - كتلك الموضحة في **الشكل 17–9**- داخل صندوق فلزي موضوع داخل صندوق آخر بلاستيكي؟

الشكل 17–9

تطبيق المفاهيم

52. ماذا يحدث لشدة المجال الكهربائي عندما تنقص شحنة الاختبار إلى نصف قيمتها؟

53. هل يلزم طاقة أكبر أم طاقة أقل لتحريك شحنة موجبة ثابتة خلال مجال كهربائي متزايد؟

54. ماذا يحدث لطاقة الوضع الكهربائية لجسيم مشحون موجود داخل مجال كهربائي عندما يُطلق الجسيم ليصبح حر الحركة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 9

55. يبيّن **الشكل 18–9** ثلاث كرات مشحونة بالمقدار نفسه. بالشحنات الموضّحة في الشكل. الكرتان y وz ثابتتان في مكانيهما، والكرة x حرة الحركة. والمسافة بين الكرة x وكل من الكرتين y وz في البداية متساوية. حدّد المسار الذي ستبدأ الكرة x في سلوكه، مفترضًا أنه لا يوجد أي قوى أخرى تؤثر في الكرات.

■ **الشكل 18–9**

56. ما وحدة قياس فرق الجهد الكهربائي بدلالة m، kg، s، C؟

57. كيف تبدو خطوط المجال الكهربائي عندما يكون للمجال الكهربائي الشدة نفسها عند النقاط جميعها في منطقة ما؟

58. **تجربة قطرة الزيت لمَلِيكان** يفضل عند إجراء هذه التجربة استخدام قطرات زيت لها شحنات صغيرة. هل يتعين عليك البحث عن القطرات التي تتحرك سريعًا أو تلك التي تتحرك ببطء عندما يتم تشغيل المجال الكهربائي؟ وضّح إجابتك.

59. في تجربة ملّيكان تم تثبيت قطرتي زيت في المجال الكهربائي.

a. هل يمكنك استنتاج أن شحنتيهما متماثلتان؟

b. أيّ خصائص قطرتي الزيت نِسبُها متساوية؟

60. يقف زيد وأخيه يوسف على سطح مستوٍ معزول متلامسين بالأيدي عندما تم إكسابهما شحنة، كما هو موضّح في **الشكل 19–9**. إذا كانت المساحة السطحية لجسم زيد أكبر من أخيه فمن منهما يكون له كمية أكبر من الشحنات، أم سيكون لهما المقدار نفسه منها؟

■ **الشكل 19–9**

61. إذا كان قطرا كرتي ألومنيوم 1 cm و10 cm فأيّ الكرتين لها سعة أكبر؟

62. كيف يمكنك تخزين كميات مختلفة من الشحنة في مكثف؟

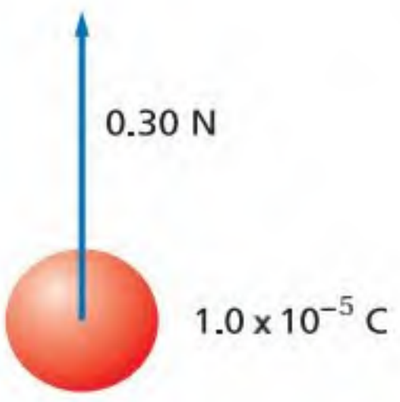
إتقان حل المسائل

9–1 توليد المجالات الكهربائية وقياسها

شحنة الإلكترون تساوي -1.60×10^{-19} C، استخدم هذه القيمة حيث يلزم.

63. ما مقدار شحنة اختبار إذا تعرضت لقوة مقدارها 1.4×10^{-8} N عند نقطة شدة المجال الكهربائي فيها 5.0×10^{-4} N/C ؟

64. يوضّح **الشكل 20–9** شحنة موجبة مقدارها 1.0×10^{-5} C، تتعرض لقوة 0.30 N، عند وضعها عند نقطة معينة. ما شدة المجال الكهربائي عند تلك النقطة؟



■ **الشكل 20–9**

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 9

65. إذا كان المجال الكهربائي في الغلاف الجوي يساوي 150 N /C تقريبًا، ويتجه إلى أسفل، فأجب عما يأتي:

a. ما اتجاه القوة المؤثرة في جسيم مشحون بشحنة سالبة؟

b. أوجد القوة الكهربائية التي يؤثر بها هذا المجال في إلكترون.

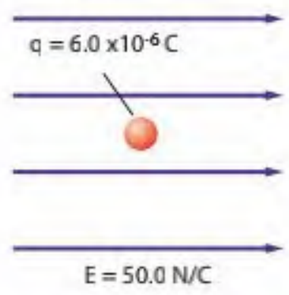
c. قارن بين القوة في الفرع **b** وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة في الإلكترون نفسه. (كتلة الإلكترون تساوي 9.1×10^{-31} kg)

66. ارسم بدقة الحالات الآتية:

a. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة مقدارها $+1.0\ \mu C$.

b. المجال الكهربائي الناتج عن شحنة $+2.0\ \mu C$ (اجعل عدد خطوط المجال متناسبًا مع التغير في مقدار الشحنة).

67. وضعت شحنة اختبار موجبة مقدارها 6.0×10^{-6} C في مجال كهربائي شدته 50.0 N /C، كما هو موضّح في **الشكل 21–9**. ما مقدار القوة المؤثرة في شحنة الاختبار؟



■ **الشكل 21–9**

68. ثلاث شحنات: X وY و Z يبعد بعضها عن بعض مسافات متساوية. إذا كان مقدار الشحنة X يساوي $+1.0\ \mu C$، ومقدار الشحنة Y يساوي $+2.0\ \mu C$، والشحنة Z صغيرة وسالبة:

a. فارسم سهمًا يُمثّل القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة Z.

b. إذا كانت الشحنة Z موجبة وصغيرة فارسم سهمًا يمثّل القوة المحصلة المؤثرة فيها.

69. تتسارع الإلكترونات في أنبوب الأشعة المهبطية في تلفاز نتيجة مجال كهربائي مقداره 1.00×10^{5} N /C. احسب ما يأتي:

a. القوة المؤثرة في الإلكترون.

b. تسارع الإلكترون إذا كان المجال منتظمًا. افترض أن كتلة الإلكترون 9.11×10^{-31} kg

70. أوجد شدة المجال الكهربائي على بُعد 20.0 cm من شحنة نقطية مقدارها $+8\times10^{-7}$ C.

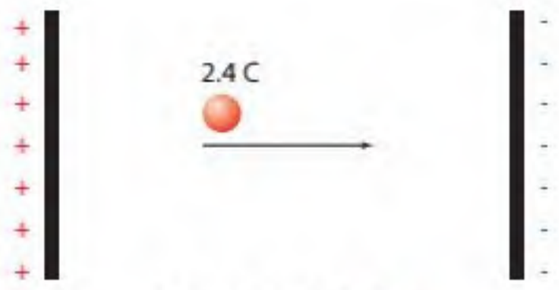
71. شحنة نواة ذرة رصاص تساوي شحنة 82 بروتونًا.

a. أوجد مقدار واتجاه المجال الكهربائي على بُعد 1.0×10^{-10} m من النواة.

b. أوجد مقدار واتجاه القوة المؤثرة في إلكترون موضوع على البعد السابق من النواة.

9–2 تطبيقات المجالات الكهربائية

72. إذا بُذل شغل مقداره 120 J لتحريك شحنة مقدارها 2.4 C من اللوح الموجب إلى اللوح السالب، كما هو موضّح في **الشكل 22–9**، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين؟



■ **الشكل 22–9**

73. ما مقدار الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها 0.15 C خلال فرق جهد كهربائي مقداره 9.0 V ؟

74. بذلت بطارية شغلاً مقداره 1200 J لنقل شحنة كهربائية. ما مقدار الشحنة المنقولة إذا كان فرق الجهد بين طرفي البطارية 12 V؟

75. إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 1.5×10^{3} N /C، والبعد بينهما 0.060 m، فما فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين بوحدة الفولت؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 9

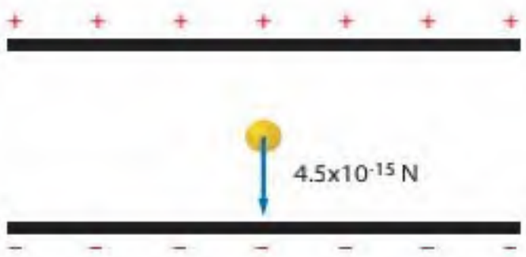
76. تبيّن قراءة فولتمتر أن فرق الجهد الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين 70.0 V. إذا كان البعد بين اللوحين 0.020 m فما شدة المجال الكهربائي بينهما؟

77. يختزن مكثف موصول بمصدر جهد 45.0 V شحنة مقدارها 90.0 μC. ما مقدار سعة المكثف؟

78. تم تثبيت قطرة الزيت الموضحة في **الشكل 23–9** والمشحونة بشحنة سالبة في مجال كهربائي شدته 5.6×10^{3} N/C. إذا كان وزن القطرة 4.5×10^{-15} N:

a. فما مقدار الشحنة التي تحملها القطرة؟

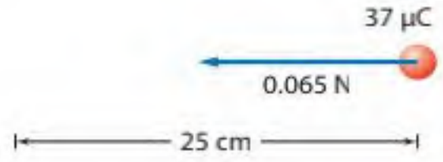
b. وما عدد الإلكترونات الفائضة التي تحملها القطرة؟



■ **الشكل 23–9**

79. ما شحنة مكثف سعته 15.0 pF عند توصيله بمصدر جهد 45.0 V؟

80. إذا لزم قوة مقدارها 0.065 N لتحريك شحنة مقدارها 37 μC مسافة 25 cm في مجال كهربائي منتظم، كما يوضّح **الشكل 24–9**، فما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين؟



■ **الشكل 24–9**

81. **آلة التصوير** يعبر عن الطاقة المختزنة في مكثف سعته C، وفرق الجهد الكهربائي بين طرفيه ΔV كما يأتي: $W = \frac{1}{2} C\Delta V^2$. ومن التطبيقات على ذلك آلة التصوير الإلكترونية ذات الفلاش الضوئي، كالتي تظهر في **الشكل 25–9**. إذا شُحن مكثف في آلة تصوير مماثلة سعته 10.0 μF، إلى أن أصبح فرق الجهد عليه 3.0×10^{2} V، فما مقدار الطاقة المختزنة في المكثف؟

■ **الشكل 25–9**

82. افترض أن شحن المكثف في المسألة السابقة استغرق 25 s، وأجب عما يأتي:

a. أوجد متوسط القدرة اللازمة لشحن المكثف خلال هذا الزمن.

b. عند تفريغ شحنة هذا المكثف خلال مصباح الفلاش يفقد طاقته كاملة خلال زمن مقداره 1.0×10^{-4} s. أوجد القدرة التي تصل إلى مصباح الفلاش.

c. ما أكبر قيمة ممكنة للقدرة؟

83. **الليزر** تستخدم أجهزة الليزر لمحاولة إنتاج تفاعلات اندماج نووي مسيطر عليها. ويتطلب تشغيل هذه الليزرات نبضات صغيرة من الطاقة تُخزّن في غرف كبيرة مملوءة بالمكثفات. وتقدّر السعة الكهربائية لغرفة واحدة بـ 61×10^{-3} F تشحن حتى يبلغ فرق الجهد عليها 10.0 kV.

a. إذا علمت أن $W = \frac{1}{2} C\Delta V^2$ فأوجد الطاقة المختزنة في المكثفات.

b. إذا تم تفريغ المكثفات خلال 10 ns (أي 1.0×10^{-8} s) فما مقدار الطاقة الناتجة؟

c. إذا تم شحن المكثفات بمولّد قدرته 1.0 kW، فما الزمن بالثواني اللازم لشحن المكثفات؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

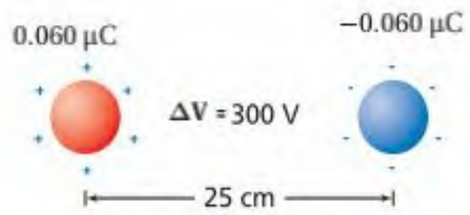
تقويم الفصل 9

مراجعة عامة

84. ما مقدار الشغل المبذول لتحريك شحنة مقدارها 0.25 µC بين لوحين متوازيين، البعد بينهما 0.40 cm، إذا كان المجال بين اللوحين 6400 N/C؟

85. ما مقدار الشحنات المختزنة في مكثف ذي لوحين متوازيين سعته 0.22 µF، إذا كان البعد بين لوحيه 1.2 cm، والمجال الكهربائي بينهما 2400 N/C؟

86. يبين **الشكل 9–26** كرتين فلزيتين صغيرتين متماثلتين، البعد بينهما 25 cm، وتحملان شحنتين مختلفتين في النوع، مقدار كل منهما 0.060 µC. إذا كان فرق الجهد بينهما 300 V فما مقدار السعة الكهربائية للنظام؟



■ **الشكل 9–26**

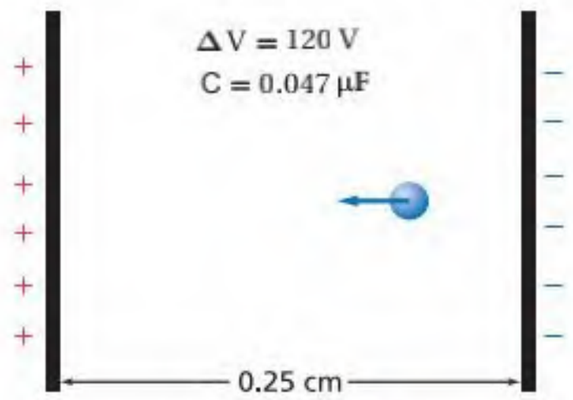
ارجع إلى المكثف الموضح في ***الشكل 9–27*** *عند حل المسائل* ***87–90****.*

87. إذا شُحن هذا المكثف حتى أصبح فرق الجهد بين لوحيه 120 V فما مقدار الشحنة المختزنة فيه؟

88. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف؟

89. إذا وضع إلكترون بين لوحي المكثف فما مقدار القوة المؤثرة فيه؟

90. ما مقدار الشغل اللازم لتحريك شحنة إضافية مقدارها 0.010 µC بين لوحي المكثف عندما يكون فرق الجهد بينهما 120 V؟



■ **الشكل 9–27**

ارجع إلى الرسم البياني الموضح في ***الشكل 9–28****، الذي يمثل الشحنة المختزنة في مكثف في أثناء زيادة فرق الجهد عليه، عند حل المسائل* ***91–95****.*

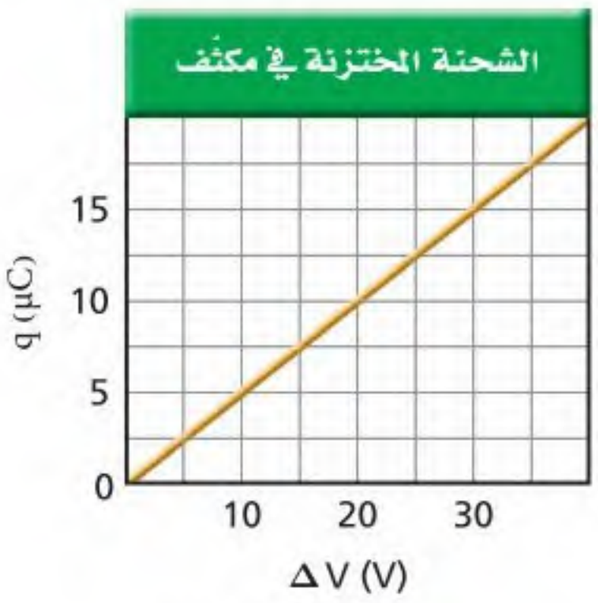
91. ماذا يمثّل ميل الخط الموضّح على الرسم البياني؟

92. ما سعة المكثف الممثّل في هذا الشكل؟

93. ماذا تمثّل المساحة تحت الخط البياني؟

94. ما مقدار الشغل اللازم لشحن هذا المكثف ليصبح فرق الجهد بين لوحيه 25 V؟

95. لماذا لا يساوي الشغل الناتج في المسألة السابقة المقدار $q\Delta V$؟



■ **الشكل 9–28**

96. مثّل بيانيًّا شدة المجال الكهربائي الناشئ بالقرب من شحنة نقطية موجبة، على شكل دالة رياضية في البعد عنها.

97. أين يكون المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية صفرًا؟

98. ما شدة المجال الكهربائي على بُعد 0 m من شحنة نقطية؟ هل هناك شيء يشبه الشحنة النقطية تمامًا؟

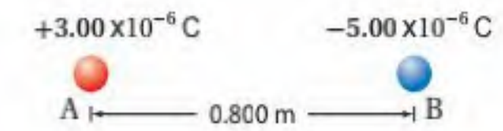
التفكير الناقد

99. **تطبيق المفاهيم** على الرغم من تصميم قضيب مانعة الصواعق ليوصل الشحنات بأمان إلى الأرض، إلا أن هدفه الرئيس هو منع ضربة الصاعقة في المقام الأول، فكيف تؤدي مانعة الصواعق هذا الهدف؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 9

100. حلّل واستنتج وُضِعت الكرتان الصغيرتان A وB على محور x، كما هو موضح في **الشكل 29–9**. فإذا كانت شحنة الكرة A تساوي $3.00\times10^{-6}\ C$، والكرة B تبعد مسافة مقدارها $0.800\ m$ عن يمين الكرة A، وتحمل شحنة مقدارها $-5.00\times10^{-6}\ C$ فما شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة فوق المحور x، بحيث تشكل هذه النقطة رأس مثلث متساوي الأضلاع مع الكرتين A و B؟



الشكل 29–9

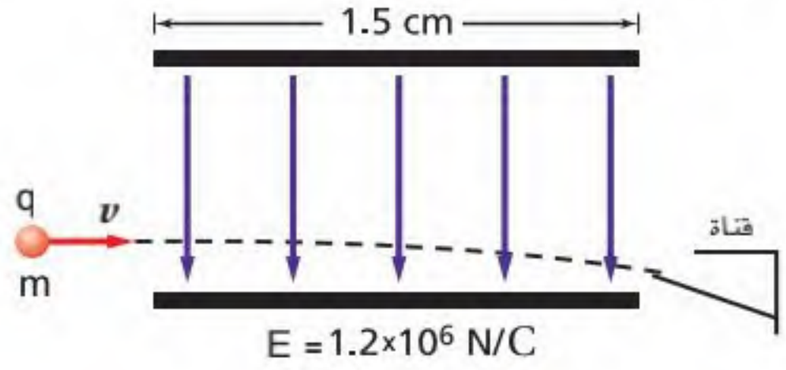
101. حلّل واستنتج في طابعة نفث الحبر، تُعطى قطرات الحبر كمية معيّنة من الشحنة قبل أن تتحرك بين لوحين كبيرين متوازيين، الهدف منهما توجيه الشحنات بحيث يتم إيقافها لتتحرك في قناة؛ لكي لا تصل إلى الورقة، كما هو موضّح في **الشكل 30–9**. ويبلغ طول كل لوح $1.5\ cm$، ويتولد بينهما مجال كهربائي مقداره $1.2\times10^{6}\ N/C$. فإذا تحركت قطرات حبر، كتلة كلٍّ منها $0.10\ ng$، وشحنتها $1.0\times10^{-16}\ C$، أفقيًّا بسرعة $15\ m/s$ في اتجاه موازٍ للوحين، كما في الشكل، فما مقدار الإزاحة الرأسية للقطرات لحظة مغادرتها اللوحين؟ لمساعدتك على إجابة السؤال أجب عن الأسئلة الآتية:

a. ما القوة الرأسية المؤثرة في القطرات؟

b. ما مقدار التسارع الرأسي للقطرات؟

c. ما الزمن الذي بقيت فيه القطرات بين اللوحين؟

d. ما إزاحة القطرات؟



الشكل 30–9

102. تطبيق المفاهيم افترض أن القمر يحمل شحنة فائضة تساوي $-q$، وأن الأرض تحمل شحنة فائضة تساوي $+10\,q$، ما مقدار الشحنة q التي تنتج مقدار القوة نفسه الناتج عن قوة الجاذبية بين كتلتيهما؟

الكتابة في الفيزياء

103. اختر اسمًا لوحدة كهربائية، مثل: الكولوم، أو الفولت، أو الفاراد، وابحث عن حياة وعمل العالم الذي سُمِّيت باسمه. واكتب مقالة موجزة عن هذا العالم على أن تتضمن مناقشة العمل الذي برّر إطلاق اسمه على تلك الوحدة.

مراجعة تراكمية

104. إذا كانت القوة بين شحنتين Q و q تساوي F عندما كانت المسافة بينهما r، فأوجد مقدار القوة الجديدة التي تنتج في كل حالة من الحالات الآتية:

a. مضاعفة r ثلاث مرات.

b. مضاعفة Q ثلاث مرات.

c. مضاعفة كل من r، وQ ثلاث مرات.

d. مضاعفة كل من r، وQ مرتين.

e. مضاعفة كل من r، وQ، وq ثلاث مرات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الاختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. لماذا يقاس المجال الكهربائي بشحنة اختبار صغيرة فقط؟

- ◯ حتى لا تُشتّت الشحنة المجال.
- ◯ لأن الشحنات الصغيرة لها زخم قليل.
- ◯ حتى لا يؤدي مقدارها إلى دفع الشحنة المراد قياسها جانبًا.
- ◯ لأن الإلكترون يستخدم دائمًا بوصفه شحنة اختبار، وشحنة الإلكترونات صغيرة.

2. إذا تأثرت شحنة مقدارها $2.1\times10^{-9}\ \text{C}$ بقوة مقدارها 14 N، فما مقدار المجال الكهربائي المؤثر؟

- ◯ $0.15\times10^{-9}\ \text{N/C}$
- ◯ $6.7\times10^{-9}\ \text{N/C}$
- ◯ $29\times10^{-9}\ \text{N/C}$
- ◯ $6.7\times10^{9}\ \text{N/C}$

3. تتأثّر شحنة اختبار موجبة مقدارها $8.7\ \mu\text{C}$ بقوة $8.1\times10^{-6}\ \text{N}$ في اتجاه يصنع زاوية 24° شمال الشرق. ما مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه في موقع شحنة الاختبار؟

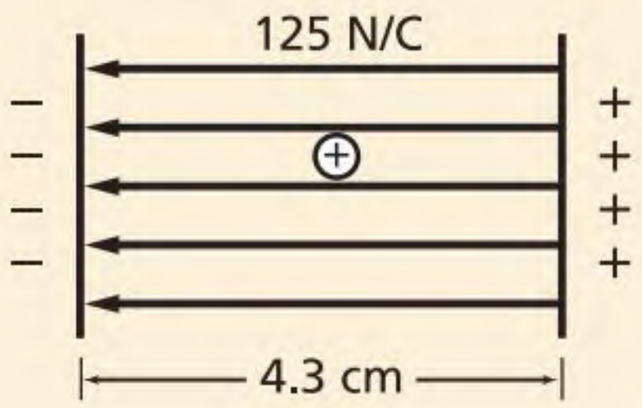
- ◯ $7.0\times10^{-8}\ \text{N/C}$، 24° شمال الشرق.
- ◯ $1.7\times10^{-6}\ \text{N/C}$، 24° جنوب الغرب.
- ◯ $1.1\times10^{-3}\ \text{N/C}$، 24° غرب الجنوب.
- ◯ $9.3\times10^{-1}\ \text{N/C}$، 24° شمال الشرق.

4. ما مقدار فرق الجهد الكهربائي بين لوحين يبعد أحدهما عن الآخر 18 cm، والمجال الكهربائي بينهما $4.8\times10^{3}\ \text{N/C}$؟

- ◯ 27 V
- ◯ 86 V
- ◯ 0.86 kV
- ◯ 27 kV

5. ما مقدار الشغل المبذول على بروتون عند نقله من لوح سالب الشحنة إلى لوح موجب الشحنة، إذا كانت المسافة بين اللوحين 4.3 cm، والمجال الكهربائي بينهما $125\ \text{N/C}$؟

- ◯ $5.5\times10^{-23}\ \text{J}$
- ◯ $8.6\times10^{-19}\ \text{J}$
- ◯ $1.1\times10^{-16}\ \text{J}$
- ◯ 5.4 J



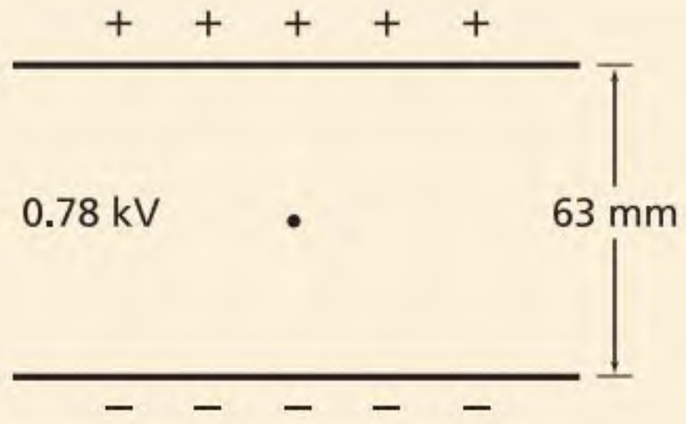
6. كيف تم تحديد قيمة المجال الكهربائي في تجربة قطرة الزيت لملّيكان؟

- ◯ باستخدام مغناطيس كهربائي قابل للقياس.
- ◯ من خلال فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين.
- ◯ من خلال مقدار الشحنة.
- ◯ بمقياس كهربائي.

7. في تجربة قطرة الزيت، تم تثبيت قطرة زيت وزنها $1.9\times10^{-14}\ \text{N}$ عندما كان فرق الجهد بين اللوحين 0.78 kV، والبعد بينهما 63 mm، كما هو موضح في الشكل في الصفحة الآتية. ما مقدار الشحنة على القطرة؟

- (A) $-1.5\times10^{-18}\ \text{C}$
- ◯ $-3.9\times10^{-16}\ \text{C}$
- ◯ $-1.2\times10^{-15}\ \text{C}$
- ◯ $-9.3\times10^{-13}\ \text{C}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



8. مكثف سعته 0.093 μF. إذا كانت شحنته 58 μC فما مقدار فرق الجهد الكهربائي عليه؟

- 5.4×10^{-12} V
- 1.6×10^{-6} V
- 6.2×10^{2} V
- 5.4×10^{3} V

الأسئلة الممتدة

9. افترض أن قطرة زيت تحمل 18 إلكترونًا إضافيًّا. احسب شحنة قطرة الزيت، واحسب فرق الجهد الكهربائي اللازم لتثبيتها بين لوحين فلزيين متوازيين ومشحونين البعد بينهما 14.1 mm، إذا كان وزنها 6.12×10^{-14} N.

✓ إرشاد

استعمل نظام الأصدقاء

ادرس ضمن مجموعة؛ لأن الدراسة في مجموعة صغيرة تتيح لك الاستفادة من المهارات والمعارف من مَعين أوسع. واحرص على أن تكون مجموعتك صغيرة ما أمكنك، وتبادلوا طرح الأسئلة فيما بينكم، وركِّزوا في نقاشكم وتجنّبوا الخوض في موضوعات جانبية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مصادر تعليمية للطالب

- دليل الرياضيات
- الجداول
- المصطلحات

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دليل الرياضيات

يمكنك الإطلاع على الدليل من خلال
زيارة الرابط التالي:

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجداول

الوحدات الأساسية SI		
الكمية	الاسم	الرمز
الطول	meter	m
الكتلة	kilogram	kg
الزمن	second	s
درجة الحرارة	kelvin	K
مقدار المادة	mole	mol
التيار الكهربائي	ampere	A
شدة الإضاءة	candela	cd

وحدات SI المشتقة				
القياس	الوحدة	الرمز	معبرة بالوحدات الأساسية	معبرة بوحدات SI أخرى
التسارع		m/s^2	m/s^2	
المساحة		m^2	m^2	
الكثافة		kg/m^3	kg/m^3	
الشغل، الطاقة	joul	J	$kg.m^2/s^2$	N.m
القوة	newton	N	$kg.m/s^2$	
القدرة	watt	W	$kg.m^2/s^3$	J/s
الضغط	pascal	Pa	$kg/m.s^2$	N/m^2
السرعة		m/s	m/s	
الحجم		m^3	m^3	

تحويلات مفيدة		
1 in = 2.54 cm	$1kg = 6.02 \times 10^{26}$ u	1 atm = 101 kPa
1 mi = 1.61 km	1 oz ↔ 28.4 g	1 cal = 4.184 J
	1 kg ↔ 2.21 lb	$1ev = 1.60 \times 10^{-19}$ J
1 gal = 3.79 L	1 lb = 4.45 N	1kwh = 3.60 MJ
$1 m^3 = 264$ gal	1 atm = 14.7 lb/in^2	1 hp = 746 W
	$1atm = 1.01 \times 10^5 N/m^2$	$1 mol= 6.022 \times 10^{23}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجداول

ثوابت فيزيائية			
الكمية	الرمز	المقدار	القيمة التقريبية
وحدة كتلة الذرة	u	$1.66053886\times 10^{-27}\,kg$	$1.66\times10^{-27}\,kg$
عدد أفوجادرو	N_A	$6.0221415\times10^{23}\,mol^{-1}$	$6.022\times10^{23}\,mol^{-1}$
ثابت بولتزمان	k	$1.3806505\times10^{-23}\,Pa.m^3/K$	$1.38\times10^{-23}\,Pa.m^3/K$
ثابت الغاز	R	$8.314472\,Pa.m^3/mol.K$	$8.31\,Pa.m^3/mol.K$
ثابت الجاذبية	G	$6.6742\times10^{-11}\,N.m^2/kg^2$	$6.67\times10^{-11}\,N.m^2/kg^2$

البادئات		
الدلالة العلمية	الرمز	البادئة
10^{-15}	f	femto
10^{-12}	p	pico
10^{-9}	n	nano
10^{-6}	μ	micro
10^{-3}	m	milli
10^{-2}	c	centi
10^{-1}	d	deci
10^{1}	da	deka
10^{2}	h	hecto
10^{3}	k	kilo
10^{6}	M	mega
10^{9}	G	giga
10^{12}	T	terra
10^{15}	P	peta

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجداول

كثافة بعض المواد الشائعة	
المادة	الكثافة (g/cm^3)
ألومنيوم	2.702
كادميوم	8.642
نحاس	8.92
جرمانيوم	5.35
ذهب	19.31
هيدروجين	8.99×10^{-5}
إنديوم	7.30
حديد	7.86
رصاص	11.34
زئبق	13.546
أكسجين	1.429×10^{-3}
سليكون	2.33
فضة	10.5
ماء ($4\,C^\circ$)	1.000
خارصين	7.14

درجات الانصهار والغليان لبعض المواد		
المادة	درجة الذوبان (C°)	درجة الغليان (C°)
ألومنيوم	660.37	2467
نحاس	1083	2567
جرمانيوم	937.4	2830
ذهب	1064.43	2808
إنديوم	156.61	2080
حديد	1535	2750
رصاص	327.5	1740
سيليكون	1410	2355
فضة	961.93	2212
ماء	0.000	100.000
خارصين	419.58	907

الحرارة النوعية لبعض المواد الشائعة			
	الحرارة النوعية (J/kg.K)	المادة	الحرارة النوعية (J/kg.K)
ألومنيوم	897	رصاص	130
نحاس أصفر	376	ميثانول	2450
كربون	710	فضة	235
نحاس	385	بخار	2020
زجاج	840	ماء	4180
جليد	2060	خارصين	388
حديد	450		

الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتبخر لبعض المواد الشائعة		
المادة	الحرارة الكامنة للانصهار (J/kg)	الحرارة الكامنة للتبخر (J/kg)
نحاس	2.05×10^5	5.07×10^6
ذهب	6.30×10^4	1.64×10^6
حديد	2.66×10^5	6.29×10^6
رصاص	2.04×10^4	8.64×10^5
زئبق	1.15×10^4	2.72×10^5
ميثانول	1.09×10^5	8.78×10^5
فضة	1.04×10^5	2.36×10^6
ماء (جليد)	3.34×10^5	2.26×10^6

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجداول

الأطوال الموجية للضوء المرئي	
الطول الموجي (nm) بالنانومتر	اللون
430–380	الضوء البنفسجي
450–430	الضوء النيلي
500–450	الضوء الأزرق
520–500	الضوء الأزرق الداكن
565–520	الضوء الأخضر
590–565	الضوء الأصفر
625–590	الضوء البرتقالي
740–625	الضوء الأحمر

سرعة الصوت في أوساط مختلفة	
m/s	الوسط
331	هواء (0°)
343	هواء (20°)
972	هيليوم (0°)
1286	هيدروجين (0°)
1493	ماء (25°)
1533	ماء البحر (0°)
1600	مطاط
3560	نحاس (25°)
5130	حديد (25°)
5640	زجاج التنور
12000	ألماس

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

أنبوب الرنين المغلق Closed–pipe resonator
أنبوب مفتوح من طرف واحد -بالنسبة للهواء- يكون في حالة رنين مع مصدر الصوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مغلق بحيث يكون طول العمود مساويا مضاعفات أعداد فردية من ربع الطول الموجي.

أنبوب الرنين المفتوح Open–pipe resonator
أنبوب مفتوح الطرفين، ويكون في حالة رنين مع مصدر صوت عندما تنعكس موجات المصدر من طرف مفتوح، بحيث يكون طول العمود مساويا مضاعفات أعداد صحيحة من نصف الطول الموجي.

إزاحة دوبلر Doppler shift
الفرق بين الطول الموجي الملاحظ للضوء والطول الموجي الأصلي للضوء، والذي يعتمد على السرعة النسبية للملاحظ، أو المراقب، وسرعة مصدر الضوء.

الإيقاع Harmonic
ترددات مرتفعة وهي مضاعفات فردية من التردد الأساسي، وإضافة الإيقاعات معا يعطي الصوت طابعا مميزا.

الاستضاءة illuminance
معدل اصطدام الضوء بسطح أو معدل الضوء الساقط على وحدة المساحة، وتُقاس بوحدة اللومن لكل متر مربع، lm/m^2 أو لوكس lx.

الاستقطاب polarization
الضوء الذي تتذبذب موجاته في مستوى واحد فقط.

الانعكاس غير المنتظم Diffuse reflection
انعكاس مضطرب متشتّت ناتج عن سطح خشن.

الانعكاس المنتظم specular reflection
انعكاس ناتج عن سطح أملس، بحيث تنعكس الأشعة متوازية عندما تسقط متوازية.

الانعكاس الكلي الداخلي total internal reflection
يحدث عندما يسقط الشعاع الضوئي في وسطٍ معاملُ انكساره كبيرٌ إلى وسطٍ معاملُ انكساره أقلّ، على أن يصطدم بالحد الفاصل (الحاجز) بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، مما يؤدي إلى انعكاس الضوء جميعه وارتداده إلى الوسط الذي معامل انكساره أكبر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

الانكسار
refraction
التغير في اتجاه الموجة عند الحد الفاصل بين وسطين مختلفين.

أهداب التداخل
fringes interference
نمط من حزم مضيئة ومعتمة يتكوّن على شاشة، نتيجة التداخل الهدّام والتداخل البنّاء لموجات الضوء المارة خلال شقين - في حاجز - متقاربين.

ب

الباسكال
pascal
وحدة قياس الضغط في النظام الدولي للوحدات SI.

البعد البؤري
focal length
بعد البؤرة عن سطح المرآة على امتداد المحور الرئيس.

بطن الموجة
antinode
النقطة ذات الإزاحة الكبرى عندما التقاء نبضتي موجة.

البندول البسيط
Simple pendulums
أداة توضح الحركة التوافقية البسيطة، ويتكوّن من جسم ثقيل يُسمَّى ثقل البندول، يُعلّق بوساطة خيط أو قضيب خفيف، ثم يسحب ثقل البندول إلى أحد الجانبين ويترك ليتأرجح جيئةً وذهابًا.

البؤرة
focal point
النقطة التي تتجمع فيها الأشعة الضوئية الساقطة بصورة موازية للمحور الرئيس بعد أن تنعكس عن المرآة.

البلازما
plasma
حالة من حالات الموائع، يكون فيها المائع شبه غاز، ويتكون من إلكترونات سالبة الشحنة وأيونات موجبة الشحنة بحيث توصل الكهرباء، ومعظم الموادّ في الكون مثل النجوم في حالة البلازما.

ت

تأثير دوبلر
Doppler effect
التغير في تردد الصوت الناتج عن تحرك مصدر الصوت أو الكاشف أو كليهما.

التداخل
interference
نتيجة تراكب موجتين أو أكثر، ويمكن أن يكون التداخل بنّاءً (إزاحات الموجة في الاتجاه نفسه)، ويمكن أن يكون التداخل هدّامًا (اتساعات الموجات متساوية ولكن متعاكسة).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

التأريض Grounding — عملية التخلص من الشحنة الكهربائية الفائضة على الجسم بتوصيله بالأرض.

التداخل في الأغشية الرقيقة thin-film interference — الظاهرة التي ينتج عنها طيف الألوان بسبب التداخل البنّاء والتداخل الهدّام.

التدفق الضوئي Luminous flux — معدل انبعاث طاقة الضوء من المصدر المضيء.

التردّد frequency — عدد الذبذبات الكاملة التي تحدثها الموجة في الثانية الواحدة، وتُقاس بوحدة الهرتز Hz

التردّد الأساسي (الأساس) Fundamental frequency — أقل تردّد للصوت الذي يحدث الرنين في الآلات الموسيقية

التفريق (التحليل) dispersion — فصل الضوء الأبيض وتحليله إلى ألوان الطيف باستخدام منشور زجاجي أو قطرات الماء في الغلاف الجوي.

التكبير magnification — مقدار الزيادة أو النقصان في حجم الصورة بالنسبة إلى حجم الجسم.

التمدد الحراري thermal expansion — خاصية للموادّ في جميع حالاتها، تسبب تمدد المادة فتصبح أقل كثافة عند التسخين.

ج

الجسم object — مصدر أشعة ضوئية مضيء ذاتيًّا أو مُضاء.

ح

حدّة الصوت pitch — خاصية للصوت تعتمد على تردد الاهتزاز فقط، ونميّز بوساطتها الأصوات الرفيعة (الحادّة) من الأصوات الغليظة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

الحركة التوافقية البسيطة simple harmonic motion — الحركة التي تحدث عندما تتناسب القوة المُعيدة (المُرجعة) المؤثرة في جسم طرديًّا مع إزاحة الجسم عن وضع الاتزان.

الحركة الدورية periodic motion — أي حركة تتكرر في دورة منتظمة.

الحيود diffraction — انحناء الضوء حول حاجز.

خ

خط المجال الكهربائي Electric field lines — الخطوط التي تكوِّن صورة لمجال كهربائي، وتشير إلى شدة المجال الكهربائي من خلال المسافات بينها، وهي لا تتقاطع، كما أنها تخرج دائمًا من الشحنات الموجبة وتدخل إلى الشحنات السالبة.

خطوط الانسياب streamlines — الخطوط التي تمثل تدفق الموائع حول الأجسام.

د

الديسبل decible — وحدة قياس مستوى الصوت، يمكن بوساطتها وصف قدرة الموجات الصوتية وشدتها

ذ

الذرة المتعادلة Neutral — الذرة التي تساوي الشحنة الموجبة لنواتها الشحنة السالبة للإلكترونات التي تدور حول هذه النواة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

ر

الرنين
resonance
حالة خاصة في الحركة التوافقية البسيطة تحدث عندما تُطبّق قوى صغيرة في فترات منتظمة على متذبذب أو جسم مهتز، مما يؤدي إلى زيادة اتساع الاهتزاز

ز

الزاوية الحرجة
critical angle
هي زاوية السقوط التي ينكسر عندها الشعاع على امتداد الحد الفاصل بين الوسطين.

الزمن الدوري
periode
مقدار الزمن الذي يحتاج إليه الجسم حتى يكمل دورة واحدة من الحركة.

الزوغان الكروي
spherical aberration
عيب في المرآة الكروية، بحيث لا يسمح للأشعة الضوئية المتوازية البعيدة عن المحور الرئيس بالتجمع في البؤرة، فتكوّن المرآة نتيجة لذلك صورة مشوشة غير تامة.

الزوغان اللّوني
chromatic aberration
عيب في العدسات الكروية يؤدي إلى تركيز الضوء المار خلال العدسات في نقاط مختلفة، مما يؤدي إلى ظهور الجسم المرئي خلال العدسة محاطًا بحزم ملونة.

س

سطح تساوي الجهد
Equipotential
موضعان أو أكثر داخل المجال الكهربائي يكون فرق الجهد الكهربائي بينها صفرًا.

السعة الكهربائية
Capacitance
النسبة بين الشحنة المُخزّنة على جسم وفرق جهده الكهربائي.

سعة الاهتزازة
Vibration amplitude
أقصى مسافة يتحركها الجسم مبتعدا عن موضع الاتزان.

سعة الموجة
wave amplitude
هي الإزاحة القصوى للموجة عن موضع سكونها أو اتزانها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

ش

الشبكة البلورية
crystal lattice
نمط ثابت ومنتظم يتشكل عندما تنخفض درجة حرارة السائل، بحيث يقل متوسط الطاقة الحركية لجزيئاته، وبالنسبة لكثير من الموادّ الصلبة لا يعني التجمد التوقف عن الحركة، وإنما تبقى الجزيئات تتذبذب حول موضع اتزانها.

الشعاع
ray
الخط الذي يبين اتجاه الموجة المنتقلة، ويُرسم عموديًّا على قمة الموجة.

الشحن بالتوصيل
Charging by conduction
عملية شحن جسم متعادل بملامسته لجسم آخر مشحون.

الشحن بالحث
Charging by induction
عملية شحن جسم متعادل دون ملامسته، وتتم هذه العملية بتقريب جسم مشحون إليه، فيؤدي ذلك إلى فصل شحنات الجسم المتعادل، ليصبح الجسم نفسه مشحونًا بشحنتين مختلفتين ومتساويتين.

الشحنة الأساسية (الأولية)
Elementary charge
مقدار الشحنة الكهربائية لإلكترون واحد.

شحنة الاختبار
Test charge
شحنة موجبة موجودة على جسيم صغير وتستعمل لاختبار المجال؛ بحيث لا تؤثر في الشحنات الأخرى.

ص

الصبغة الأساسية
primary pigment
تمتص كل من صبغة اللّون الأزرق الداكن وصبغة اللّون الأحمر المزرقّ وصبغة اللّون الأصفر لونًا أساسيًّا واحدًا فقط من الضوء الأبيض، وتعكس اللّونين الأساسيّن الآخرين. كما تُنتج الصبغات الثانوية؛ وهي الحمراء والخضراء والزرقاء، عند مزج هذه الصبغات الأساسية في أزواج.

الصبغة الثانوية
secondary pigment
تمتص كلّ من صبغة اللّون الأحمر واللّون الأخضر واللّون الأزرق لونين أساسيين من الضوء الأبيض وتعكس لونًا أساسيًّا واحدًا، كما تنتج عن مزج صبغتين من الأصباغ التالية: الأزرق الداكن، والأحمر المزرقّ، والأصفر.

الصورة
image
اتحاد صورة النقاط الناتجة بفعل الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

الصورة الحقيقية
real image
صورة مقلوبة مصغرة أو مكبرة، وتتكوّن نتيجة تجمّع الأشعة الضوئية.

الصورة الخيالية
virtual image
الصورة المتكوّنة من تباعد الأشعة الضوئية، وتتكوّن عادة في الجهة المعاكسة للمرآة من الجسم.

ض

الضغط
Pressure
القوة المؤثرة في سطح ما مقسومة على مساحة ذلك السطح.

الضوء الأحادي اللون
monochromatic light
الضوء الذي له طول موجي واحد فقط.

الضوء غير المترابط
incoherent light
ضوء بمقدمات موجية غير متزامنة تضيء الأجسام بضوء أبيض منتظم، أو هو ضوء يتكون من موجات مختلفة في الطور؛ قِممُها وقيعانها غير متوافقة.

الضوء المترابط
coherent light
ضوء من مصدرين أو أكثر، يولّد تراكبه موجة ذات مقدمات منتظمة، أو هو موجات ضوء تكون في درجات متطابقة في القمم والقيعان.

ط

طول النظر
farsightendness
عيب في الرؤية، حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم القريب بوضوح؛ بسبب تكوّن الصورة خلف الشبكيّة، ويمكن تصحيحه بعدسة محدبة.

الطول الموجي
wavelength
أقصر مسافة بين النقاط التي يعيد نمط الموجة نفسه فيها، كالمسافة بين قمة وقمة، أو المسافة بين قاع وقاع.

ع

علوّ الصوت
loudness
شدة الصوت كما تحسّه الأذن ويدركه الدماغ، ويعتمد بشكل رئيس على اتساع موجة الضغط.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

العدسة lens	قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تستخدم في تركيز الضوء وتكوين الصور.
العدسة اللالونية achromatic lens	تراكب يتكوّن من عدستين أو أكثر مختلفتين في معاملي الانكسار (عدسة مقعرة مع عدسة محدبة مثلاً) والتي تستخدم لتقليل الزوغان اللّوني.
العدسة المحدَبة convex lens	عدسة مجمّعة، سميكة في وسطها وأقل سمكًا عند أطرافها، تجعل الأشعة المتوازية الساقطة عليها تتجمّع في نقطة عندما تكون محاطة بمادة معامل انكسارها أقل من معامل انكسار العدسة، وتكوّن صورًا مصغّرة ومقلوبة وحقيقية أو مكبرة ومعتدلة ووهمية.
العدسة المقعَرة concave lens	عدسة مفرّقة، وسطها أقل سمكًا من أطرافها، تشتّت الضوء الساقط عليها والمار بها عندما يكون معامل انكسار الوسط المحيط بها أقل من معامل انكسارها، وتكوّن صورًا مصغّرة وهميّة ومعتدلة.
العقدة node	النقطة الثابتة التي تلتقي فيها نبضتان موجيتان في الموقع نفسه، حيث تصبح الإزاحة الناتجة صفرًا.
العمود المقام normal	الخط الذي يبين اتجاه الحاجز في مخطّط الأشعة، ويُرسم عموديًّا على الحاجز.

ف

فرق الجهد الكهربائي Electric potential difference	التغير في طاقة الوضع الكهربائية لكل وحدة شحنة داخل مجال كهربائي.
الفولت Volt	وحدة تساوي واحد جول لكل كولوم 1 J /C.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

ق

قانون كولوم
Coulomb's law
ينص على أن القوة الكهربائية بين شحنتين تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسيًّا مع مربع المسافة بينهما.

قانون سنل في الانكسار
Snell's law of refraction
ينص على أن حاصل ضرب معامل انكسار وسط السقوط في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار وسط الانكسار في جيب زاوية الانكسار.

قانون الانعكاس
law of reflection
ينصّ على أن زاوية انعكاس الشعاع المحصورة بين العمود المقام والشعاع المنعكس تساوي زاوية السقوط المحصورة بين العمود المقام والشعاع الساقط.

قانون الغاز المثالي
ideal gas law
في الغاز المثالي، حاصل ضرب الضغط في الحجم يساوي عدد المولات مضروبة في الثابت R ودرجة الحرارة بالكلفن. وبوساطته يتم توقع سلوك الغازات بشكل جيد إلا في حالات الضغط العالي ودرجة الحرارة المنخفضة.

قانون مالوس
Malus's law
ينصّ على أن شدة الضوء الخارج من مرشّح الاستقطاب الثاني تساوي شدة الضوء المستقطَب الخارج من مرشّح الاستقطاب الأول مضروبًا في مربع جيب تمام الزاوية المحصورة بين محوري الاستقطاب للمرشِّحين.

قانون هوك
Hooke's law
ينصّ على أن القوة المؤثرة في نابض تتناسب طرديًّا مع مقدار الاستطالة الحادثة فيه.

قصر النظر
nearsightedness
عيب في الرؤية؛ حيث لا يستطيع الشخص المصاب به رؤية الجسم البعيد بوضوح؛ لأن الصورة تتكوّن أمام الشبكية، ويُصحّح باستخدام عدسة مقعرة.

القاع
trough
أدنى نقطة في الموجة.

القانون العام للغازات
combined gas law
لكمية ثابتة من غاز مثالي يكون حاصل ضرب الضغط في الحجم مقسومًا على درجة الحرارة بالكلفن يساوي مقدارًا ثابتًا، ويمكن اشتقاق قانون بويل من هذا القانون إذا تم تثبيت درجة الحرارة، كما يمكن اشتقاق قانون شارل منه إذا تم تثبيت الضغط.

القمة
crest
أعلى نقطة في الموجة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

قوى التماسك
cohesive forces

قوى تجاذب كهرومغناطيسية تؤثر بها الدقائق المتماثلة بعضها في بعض وهي المسببة للتوتر السطحي واللزوجة.

قوى التلاصق
adhesive forces

قوى التجاذب الكهرومغناطيسية، بوساطتها تلتصق مادة بمادة أخرى، وهي المسؤولة عن عمل الأنابيب الشعرية.

قوة الطفو
buoyant force

القوة الرأسية المؤثرة في الجسم المغمور في مائع إلى أعلى.

ك

الكشّاف الكهربائي
Electroscope

جهاز يستعمل للكشف عن الشحنات الكهربائية، ويتركب من قرص فلزي مثبت على ساق فلزية متصلة بقطعتين فلزيتين خفيفتين رقيقتين، تسميان الورقتين.

الكهرباء الساكنة (الكهرسكونية)
Electrostatics

شحنات كهربائية تتجمع وتُحتجز في مكان ما.

الكولوم
Coulomb

وحدة قياس الشحنة الكهربائية حسب النظام الدولي للوحدات SI، وهو يساوي مقدار شحنة إلكترون أو بروتون.

ل

اللّون الأساسي (الأساس)
primary color

الألوان الأحمر والأخضر والأزرق، التي تكوّن اللون الأبيض عندما تتحد معًا، كما تُنتج الألوان الثانوية، وهي الأصفر، والأزرق الداكن، والأحمر المزرقّ، عند مزجها في أزواج.

اللّون الثانوي
secondary color

ينتج كلّ من اللّون الأصفر واللّون الأزرق الداكن واللّون الأحمر المزرقّ عن اتحاد لونين أساسيّن.

اللون المتمّم
complementary color

لون الضوء الذي يعطي ضوءًا أبيض عند تراكبه مع ضوء آخر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

المادة العازلة Insulator مادة، مثل الزجاج، لا تنتقل خلالها الشحنات بسهولة.

المادة الموصلة Conductor مادة، مثل النحاس، تسمح بانتقال الشحنات خلالها بسهولة.

المجال الكهربائي Electric field المجال الموجود حول أي جسم مشحون؛ حيث يولّد قوة كهربائية يمكنها أن تنجز شغلاً، مما يؤدي إلى نقل طاقة من المجال إلى أي جسم آخر مشحون.

المكثف الكهربائي the capacitor جهاز يعمل على تخزين الشحنات الكهربائية.

محزوز الحيود diffraction grating أداة تتكوّن من عدد كبير من الشقوق المفردة المتقاربة جدًّا. ويؤدي المحزوز إلى حيود الضوء، وتكوين نمط الحيود الذي يتكوّن نتيجة تراكب أنماط حيود الشق المفرد، ويستخدم الحيود في قياس الطول الموجي للضوء بدقة أو لفصل الضوء وفق الأطوال الموجبة المختلفة.

معيار ريليه Rayleigh criterion ينصّ على أنه إذا سقطت البقعة المركزية المضيئة للصورة على الحلقة المعتمة الأولى للصورة الثانية تكون الصور في حدود التحليل (التمييز).

مبدأ التراكب principle of superposition ينصّ على أن إزاحة الوسط الناتجة عن موجتين أو أكثر هي المجموع الجبري لإزاحات الموجات، وهي منفردة.

مبدأ أرخميدس Archimedes principle الجسم المغمور في مائع تؤثر فيه قوة رأسية إلى أعلى تساوي وزن المائع المزاح عن طريق الجسم.

مبدأ باسكال Pascal's principle ينصّ على أن أي تغير في الضغط المؤثر عند أي نقطة في المائع المحصور ينتقل في جميع الاتجاهات داخل المائع بالتساوي.

مبدأ برنولي Bernoulli's principle ينصّ على أن تزايد سرعة المائع يؤدي إلى نقصان ضغطه.

المادة الصلبة غير البلورية amorphous solid مادة لها شكل وحجم محددان، ولكن ليس لها تركيب بلوري منتظم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

مستوى الصوت sound level	المقياس اللوغارتمي الذي يقيس الاتساع، ويعتمد على نسبة تغير الضغط لموجة صوتية معينة إلى تغير الضغط في أضعف الأصوات المسموعة، ويُقاس بوحدة الديسبل dB.
معامل الانكسار index of refraction	بالنسبة لوسط ما هو النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ إلى سرعة الضوء في ذلك الوسط.
معادلة العدسة الرقيقة thin lens equation	تنصّ على أن مقلوب البعد البؤري لعدسة كروية يساوي مجموع مقلوب كلٍّ من بعد الصورة وبعد الجسم.
معامل التمدّد الحجمي coefficient of volume expansion	حاصل قسمة التغير في الحجم على الحجم الأصلي والتغير في درجة الحرارة. ويعادل ثلاثة أضعاف معامل التمدّد الطولي تقريبًا لأن الجسم يتمدّد في الأبعاد الثلاثة.
معامل التمدّد الطولي coefficient of linear expansion	حاصل قسمة التغير في الطول على الطول الأصلي والتغير في درجة الحرارة.
مقدمة الموجة wave front	الخط الذي يمثّل قمة الموجة في بعدين، والذي يبيّن طولها الموجي ولا يبيّن اتساعها عند رسمها ضمن مقياس رسم.
المحور الرئيس principle axis	خط مستقيم عمودي على سطح المرآة حيث يقسمها إلى نصفين.
المرآة المحدّبة convex mirror	مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الخارج، وتكوّن صورًا معتدلة ومصغّرة ووهمية.
المرآة المستوية plane mirror	سطح أملس ناعم يعكس الضوء انعكاسًا منتظمًا، ويكوّن صورة وهمية ومعتدلة لها حجم الجسم نفسه وهيئته، ولها أيضًا البعد نفسه الذي يبعده الجسم عن المرآة.
المرآة المقعّرة concave mirror	مرآة تعكس الضوء عن سطحها المقوّس (المنحني) إلى الداخل، وتكوّن صورًا معتدلة وهميّة أو مقلوبة وحقيقية.
المصدر المستضيء (المُضاء) illuminated source	جسم، مثل القمر، يظهر مضيئًا نتيجة انعكاس الضوء عنه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

المصدر المضيء luminous source	جسم يبعث الضوء، كالشمس أو المصباح.
الموجة wave	اضطراب ينقل الطاقة خلال وسط ناقل أو في الفراغ، كما أنه ينقل الطاقة ولا ينقل جزيئات الوسط الناقل.
الموجة الدورية periodic wave	موجة ميكانيكية تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل بالمعدل نفسه.
الموجة الساقطة incident wave	الموجة التي تصطدم بالحد الفاصل بين وسطين.
الموجة المستعرضة transverse wave	موجة ميكانيكية تتذبذب عموديًّا على اتجاه حركة الموجة.
الموجة السطحية surface wave	موجة ميكانيكية ناتجة عن تحرك دقائق الوسط في كلا الاتجاهين: في اتجاه حركة الموجة نفسه، وفي الاتجاه المتعامد مع اتجاه حركتها.
الموجة الصوتية sound wave	انتقال تغيرات الضغط خلال مادةٍ على شكل موجة طولية، ويحدث لها انعكاس وتداخل، كما أن لها ترددًا، وطولَ موجة، وسرعة، واتساعًا.
الموجة الطولية longitudinal wave	موجة ميكانيكية ينتقل الاضطراب فيها في اتجاه حركة الموجة نفسه؛ أي موازيًا لها.
الموجة المنعكسة reflected wave	الموجة المرتدة الناتجة عن انعكاس بعض طاقة نبضة الموجة الساقطة إلى الخلف.
الموجة الموقوفة (المستقرة) standing wave	الموجة التي تظهر واقفة وساكنة، وتتولد نتيجة تداخل موجتين تتحركان في اتجاهين متعاكسين
الموائع fluids	مادة سائلة أو غازية تنساب (تتدفق) وليس لها شكل محدد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المصطلحات

ن

نبضة موجية
Wave puls
اضطراب ينتقل في الوسط.

نمط الحيود
diffraction pattern
نمط يتكوّن على الشاشة، ينتج عن التداخل البنّاء والتداخل الهدّام لمويجات هويجنز.

نموذج الشعاع الضوئي
ray model of light
النموذج الذي يمثّل الضوء بوصفه شعاعًا ينتقل في خط مستقيم، ويتغير اتجاهه فقط عند وضع حاجز في مساره.

و

وسط غير شفاف (معتم)
opaque
الوسط الذي لايمر الضوء من خلاله ويعكس بعضه.

الوسط الشفاف
transparent
الوسط الذي يمر الضوء من خلاله.

الوسط شبه الشفاف
translucent
الوسط الذي يمر الضوء من خلاله ولا يسمح للأجسام أن ترى بوضوح.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447