الفصل 10 مخطط الفصل

الأهـــداف	المواد والأدوات
افتتاحية الفصل	
10–1 الانعكاس عن المرايا المستوية 1. **توضّح** قانون الانعكاس. 2. **تقارن** بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم. 3. **تحدّد** موقع الصور التي تكونها المرايا المستوية.	**تجارب الطالب** **تجربة استهلاليّة** بطاقة فهرسة، ومرآة مستوية، ومرآة مقعرة، ومرآة محدبة، ومصباح يدوي. **تجربة** آلة تصوير ذات قرص تركيز كُتبت عليه المسافات ويتم التحكم فيه يدويًّا، ومرآة مستوية. **عرض المعلم** **عرض سريع** مصباح صغير، ومؤشر ليزر، وشاشة بيضاء، وورقة بيضاء، ومرآة مستوية.
10–2 المرايا الكروية 4. **توضّح** كيف تكوّن كل من المرايا المحدبة والمرايا المقعرة الصور. 5. **تصف** خصائص المرايا الكروية ، وتذكر استخداماتها. 6. **تحدّد** مواقع وأطوال الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.	**تجارب الطالب** **تجربة إضافية** مرآة محدبة صغيرة، ومرآة مقعرة صغيرة، وورقة، وصلصال. **مختبر الفيزياء** مرآة مقعرة، ومصباح، وحامل شاشة، وحامل مرآة، ومساطر مترية، و4 دعائم للمسطرة المترية، وشاشة، ومصباح كهربائي قدرته 15 W. **عرض المعلم** **عرض سريع** مرآة مقعرة، وجسم متوهج يعمل بوساطة بطارية أو بطاقة كيميائية.

طرائق تدريس متنوعة

م1 أنشطة مناسبة للطلاب ذوي صعوبات التعلّم.

م2 أنشطة مناسبة للطلاب ذوي المستوى المتوسط.

م3 أنشطة مناسبة للطلاب المتفوقين (فوق المتوسط).

الفصل 10

الانعكاس والمرايا

نظرة عامة إلى الفصل

قدم هذا الفصل قانون الانعكاس وتطبيقاته لتحليل كيفية تكون الصور في المرايا المستوية. كما ناقش خصائص تلك الصور الوهمية المتكونة. يطبق قانون الانعكاس على الصور المتكونة في المرايا المحدبة والمرايا المقعرة. كما يناقش أيضًا تكون الصور الحقيقية وخصائصها. وأخيرًا، وضح كيفية استعمال معادلة المرايا لتحديد العلاقات بين مواقع الأجسام ومواقع صورها، وحساب أبعادها و صفاتها.

فكّر

تعكس أشعة الشمس عن الجبل، فيسقط جزء من هذه الأشعة على سطح البحيرة ثم ينعكس عنها. إذا كان هناك شخص عند البحيرة فسيشاهد صورته معتدلة، إلا أنه عند مشاهدة المنظر عبر البحيرة فإن الأشعة المنعكسة تتقاطع بحيث تبدو الصورة مقلوبة.

المفردات الرئيسة

- الانعكاس المنتظم
- المرآة المحدبة
- الانعكاس غير المنتظم
- المحور الرئيس
- المرآة المستوية
- البؤرة
- الجسم
- البعد البؤري
- الصورة
- الصورة الحقيقية
- الصورة الوهمية
- الزوغان الكروي
- المرآة المقعرة
- التكبير

الفصل 10

الانعكاس و المرايا

Reflection and Mirrors

بعد دراستك لهذا الفصل ستكون قادرًا على

- تعرّف كيفية انعكاس الضوء عن أسطح مختلفة.
- تعرّف أنواع المرايا المختلفة واستخداماتها.
- استعمال طريقتي رسم الأشعة والنماذج الرياضية لوصف الصور التي شكّلتها المرايا.

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 رأسيًا بالنسبة إليك.

فكّر

لماذا تبدو صورتك في البحيرة معتدلة، في حين تبدو صورة الجبل مقلوبة رأسيًا؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
www.obeikaneducation.com

تجربة استهلالية

الهدف مشاهدة الصور الحقيقية، وتوضيح خصائصها، ومعرفة أي نوع من المرايا يكونها.

المواد والأدوات بطاقة فهرسة، ومرآة مستوية، ومرآة مقعرة، ومرآة محدبة، ومصباح يدوي.

استراتيجيات التدريس

تحذير: نبه الطلاب إلى التعامل مع المرايا بحذر؛ لأن حوافها حادة، وقد تؤذيهم.

- سيكون من الأفضل إجراء التجربة خلال النهار في الأيام المشمسة.
- تكون الشمعة أو المصباح اليدوي في الغرفة المظلمة بديلاً عن الضوء القادم عبر النافذة.

النتائج المتوقعة المرايا المقعرة تكوّن صورًا حقيقية، بينما لا تكون المرايا الأخرى هذا النوع من الصور.

التحليل المرايا المقعرة فقط هي التي تكوّن صورًا حقيقية. إذ تتكون الصورة على شاشة وتكون مقلوبة.

التفكير الناقد تعمل المرآيا المقعرة على تجميع الضوء المنبعث من المصباح، ويمكن أن يكوّن الضوء المتجمع صورة حقيقية.

10-1 الانعكاس عن المرايا المستوية

1. التركيز

نشاط محفز

الانعكاسات ضع مجموعة من الأجسام على سطح الطاولة، منها أجسام عاكسة مثل: علبة معدنية، ومرآة مستوية، وملعقة فلزية، وأجسام غير عاكسة مثل: الكرتون المقوى ، وكأس بلاستيكية شفافة، وقطعة ألومنيوم ذات سطح خشن. اطلب إلى الطلاب أن يلاحظوا ما إذا تمكنوا من مشاهدة انعكاسات صورهم عن هذه الأجسام. سيشاهد الطلاب انعكاسات واضحة عن السطوح اللامعة والمصقولة، وانعكاسات غير واضحة عن الأسطح اللامعة وغير المصقولة، وانعكاسات باهتة و غير واضحة عن السطوح المصقولة المعتمة، في حين لن يشاهدوا انعكاسات عن السطوح الخشنة المعتمة. اسأل الطلاب عما إذا كان الضوء ينعكس عن الأسطح الخشنة؟ ولماذا؟

م1 حركي

الربط مع المعرفة السابقة

زوايا الانعكاس درس الطلاب انعكاس الموجات الميكانيكية عن الحواجز، وفي هذا الدرس سيتم تطبيق هذا المفهوم لتحديد زوايا الانعكاس للضوء عن كل من السطوح الملساء والسطوح الخشنة.

10–1 الانعكاس عن المرايا المستوية
Reflection from Plane Mirrors

الأهداف
- **توضح** قانون الانعكاس.
- **تقارن** بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم.
- **تحدد** موقع الصور التي تكوّنها المرايا المستوية.

المفردات
الانعكاس المنتظم
الانعكاس غير المنتظم
المرآة المستوية
الجسم
الصورة
الصورة الوهمية

شاهد الإنسان منذ القدم انعكاسًا لصورة وجهه في البحيرات وبِرك المياه الساكنة. ولايكون هذا الانعكاس دائمًا واضحًا؛ إذ 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 والمقراب (التلسكوب).

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، وقف 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.

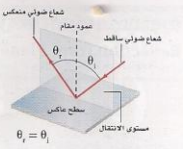
2. التدريس

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

رؤية الضوء قد يعتقد الطلاب أنه يمكنهم رؤية الضوء الذي لا يوجه نحو أعينهم مباشرة. وضّح أنه عندما ينعكس الضوء عن سطح ما فإنهم يشاهدون الضوء المنعكس عن السطح نحو أعينهم فقط. أثبت ذلك بجعل الطلاب يلاحظون حزمةً من الضوء تنبعث من مؤشر ليزر يشع ضوءًا عبر الغرفة. ***تحذير: حذر الطلاب من النظر مباشرة إلى شعاع الليزر.*** إذا سلطت الشعاع الضوئي في اتجاه باب مفتوح فإنهم لن يتمكنوا من رؤية ذلك الشعاع، ولكنهم سيشاهدون الضوء المنعكس عن الحائط نحو أعينهم. وإذا قمت بنثر القليل من مسحوق الطباشير في مسار شعاع الليزر فإن الطلاب سيشاهدون الحزمة في هذه الحالة. اسأل لماذا يمكنهم رؤية الحزمة الآن؟ ينعكس بعض ضوء الليزر عن مسحوق الطباشير نحو أعينهم. 1م **بصري - مكاني**

استخدام النماذج

قانون الانعكاس ساعد الطلاب على عمل نموذج لقانون الانعكاس؛ وذلك من نشاط ارتداد كرة عن حائط. ارسم خطًّا على الأرض متعامدًا مع الحائط، ثم ارسم على الأرض خطين آخرين يمثلان كلاً من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس على التوالي، يجب أن يصنع كل منهما زاوية تساوي الزاوية الأخرى بالنسبة للخط العمودي، كما يجب أن يتلامسا عند النقطة نفسها على الحائط. اطلب إلى أحد الطلاب دحرجة كرة على الأرض على طول أحد خطي الزاوية. سيلاحظ الطلاب أن الكرة ترتد على طول الخط الآخر للزاوية، بالطريقة نفسها التي ينعكس بها الشعاع الضوئي عن السطح. 1م



الشكل 1–10 يقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس ضمن مستوى الانتقال نفسه.

دلالة الألوان

- الأشعة الضوئية ومقدمات الموجة مرسومة وموضحة باللون الأحمر.
- المرايا مرسومة وموضحة باللون الأزرق الفاتح.

الشكل 2–10 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).

قانون الانعكاس The Low of Reflection

ماذا يحدث للضوء الساقط على هذا الكتاب؟ عندما تضع الكتاب بينك وبين مصدر الضوء فلن ترى أي ضوء ينفذ من خلاله. تذكر 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.

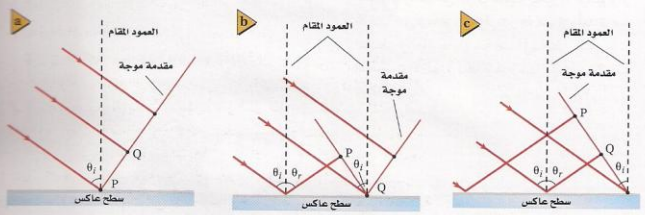
درست سابقًا أنه عندما تنتشر موجة في بعدين وتصطدم بحاجز فإن زاوية سقوطها على الحاجز تساوي زاوية انعكاسها. وينطبق هذا الانعكاس أيضًا على موجات الضوء. فكّر الآن فيما يحدث لكرة السلة عندما يدفعها اللاعب إلى الأرض لترتد إلى زميله. سيلاحظ مراقب يراقب حركة الكرة من أعلى أن الكرة ترتد في خط مستقيم في اتجاه اللاعب الآخر. وينعكس الضوء بالطريقة نفسها التي ترتد بها كرة السلة. ويبين الشكل 1–10 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 بالعمود 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 إلا أن انعكاسه يكون في مستوى واحد؛ أي في بعدين. وتُعرف العلاقة بين زاويتي السقوط والانعكاس باسم قانون الانعكاس.

قانون الانعكاس $\theta_r = \theta_i$

حيث تمثل θ_i زاوية السقوط، و θ_r زاوية الانعكاس.

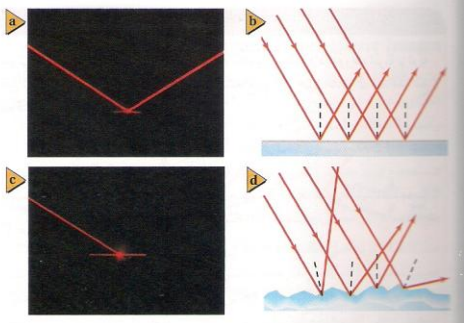
الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمود المقام على السطح العاكس عند نقطة السقوط تساوي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود نفسه.

يمكن تفسير هذا القانون باستخدام النموذج الموجي للضوء؛ إذ يبين الشكل 2–10 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. ولأن



نشاط تحفيز

الخداع البصري يستخدم استعراضيو الخدع البصرية عادة مرايا لعمل خداع بصري. وقد استخدم مخرجو الأفلام القديمة أحيانًا المرايا للحصول على مؤثرات خاصة لبعض المشاهد التصويرية. اطلب إلى الطلاب استقصاء الطرائق التي تستخدم فيها المرايا لعمل هذه المؤثرات، و العمل في مجموعات أو فرادى ليقدموا مسرحية مرحة، أو حيلة باستخدام المرايا. ويمكن لبعض الطلاب المهتمين محاولة زيارة محال تبيع أدوات تسلية تستخدم فيها الخدع البصرية أو إجراء مقابلات مع أحد المختصين في صناعة أو استخدام الخدع البصرية. 2م **حركي**



■ **الشكل 3–10** 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 جدًا، ممّا يؤدي إلى تشتيت الأشعة (d).

النقاط جميعها تنتشر بالسرعة نفسها فإنها ستقطع المسافة الكلية نفسها خلال الزمن نفسه، لذا تنعكس مقدمة الموجة كاملة عن السطح بزاوية مساوية لزاوية سقوطها. 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–10** ولاحظ أن جميع الأشعة في الحزمة الضوئية قد انعكست عن السطح متوازية بينما تشتت الأشعة المنعكسة في زوايا متفرقة (غير متوازية)، كما في **الشكل 3b–10**. 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–10** حزمة ضوئية تنعكس عن صفيحة ورقية خشنة السطح، حيث سقطت أشعة الحزمة الضوئية جميعها متوازية، ولكنها انعكست غير متوازية، كما في **الشكل 3d–10**. ويُسمّى تشتّت الضوء عن سطح خشن **انعكاسًا غير منتظم**.

يطبق 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 وتشتّت 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.

عرض سريع

السطوح العاكسة

الزمن المقدر 5 دقائق

المواد والأدوات مصباح يدوي، وشاشة بيضاء، وورقة بيضاء، ومرآة مستوية، مؤشر ليزر.

الخطوات

1. في غرفة ذات إضاءة خافتة وجِّه ضوء المصباح اليدوي مباشرة على السبورة البيضاء. ينعكس بعض الضوء على امتداد السبورة بسبب الخدوش والنتوءات على اللوح.
2. *تحذير: حذّر الطلاب من النظر مباشرة إلى مؤشر الليزر.*
ضع الورقة على طاولة أمام الحائط. ثم وجه شعاع الليزر في اتجاه الورقة بزاوية 45° تقريبًا. ثم اسأل: لماذا نشاهد انعكاسًا مشتتًا ومنتشرًا للضوء على الحائط؟ إن سطح الورقة خشن لذا يكون الضوء المنعكس مشتتًا ومنتشرًا.
3. ضع المرآة على الطاولة بالقرب من الحائط، ثم وجه شعاع الليزر بزاوية 45° تقريبًا في اتجاه المرآة، واسأل: لماذا نشاهد بقعة ضوئية منعكسة على الحائط؟ سيعكس سطح المرآة المصقول الضوء في صورة حزمة ضيقة، ولا يكون الضوء مشتتًا.

تطوير المفهوم

مرايا مطلية بالفضة معظم الانعكاسات عن المرايا العادية تحدث بسبب طبقة الطلاء الفضية التي تغطي السطح السفلي للوح زجاجي؛ إذ ينعكس جزء قليل من الضوء عن السطح الأمامي فيكوّن أحيانًا صورة باهتة. السطوح المطلية بالفضة من الأمام أو المرايا التي تعكس الضوء عن سطحها الأمامي تكوّن صورًا واضحة وذات جودة عالية جدًّا؛ لأن الضوء ينعكس مباشرة عن الطبقة الفضية دون المرور خلال الزجاج؛ فينتج انعكاسا واحدا عن هذه المرايا، وهذا هو السبب الرئيس لاستخدامها.

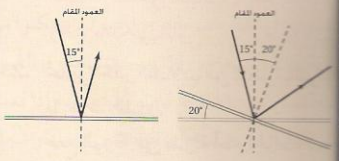
الخلفية النظرية للمحتوى

معلومة للمعلم

طلاء المرايا كانت المرايا الأولى التي يعود تاريخها إلى العصور القديمة مصنوعة من معدن مصقول مثل البرونز أو القصدير أو الفضة. وكان أول ظهور للمرايا الزجاجية في القرن الرابع عشر في مدينة البندقية. وصنعت المرايا في القرنين السادس والسابع عشر بضغط مزيج الزئبق والقصدير على قطعة من الزجاج، ثم التخلص من الزئبق الزائد. أما الطريقة التي تُطلى بها المرايا في الوقت الحاضر فقد ابتكرها الكيميائي الألماني جوستوس فون ليبج Justus von Liebig عام 1835، وذلك بتحضير مزيج من الفضة والأمونيا، ثم سكبه على لوح من الزجاج، وبعد ذلك يُضاف عامل اختزال مثل الفورمالدهايد لكي يُختزل المزيج إلى الفضة في حالتها الصلبة. والآن تتم صناعة المرايا برش مصهور الألومنيوم أو الفضة على لوح زجاجي في مكان مفرغ من الهواء.

مثال صفي

سؤال سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 15° مع العمودي. وبعد ذلك أديرت المرآة بزاوية 20° حول نقطة سقوط الشعاع عليها فزادت نتيجة لذلك زاوية سقوط الشعاع، فإذا كان محور الدوران عموديًّا بالنسبة لمستوى السقوط والأشعة المنعكسة فما مقدار زاوية الانعكاس النهائية للشعاع الضوئي؟



الجواب

$\theta_{r,\text{نهائي}} = 35°$

مسائل تدريبية

1. السطوح تصبح ملساء أكثر .
2. a. 42.0° b. 48.0° c. 84.0°
3. 51.0°
4. 60.0°

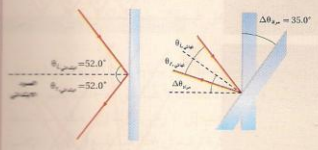
المناقشة

سؤال أسأل الطلاب: المرآة الجيدة يجب أن تكون مصقولة، كما يجب أن تعكس معظم الضوء الساقط عليها. ولكن هل هذا يكفي لتكون مرآة جيدة؟ ولماذا لا يعمل السطح الأملس الأبيض كمرآة جيدة؟

الإجابة المرآة النموذجية تعكس الضوء جيدًا بسبب تغطية خلفيتها بالفضة، ورغم أن السطح الأبيض أيضًا يعكس الضوء جيدًا، إلا أنه يشتت الأشعة المنعكسة، لأنه ليس أملس مثل السطح المغطى بالفضة.

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 تقتصت 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
$\theta_{i,\text{ابتدائي}} = 52°$	$\Delta\theta_r = ?$
$\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35°$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

لتقليل زاوية السقوط دوّر المرآة في اتجاه حركة عقارب الساعة.

$\theta_{i,\text{نهائي}} = \theta_{i,\text{ابتدائي}} - \Delta\theta_{\text{مرآة}}$

عوّض مستخدمًا $\theta_{i,\text{ابتدائي}} = 52.0°$ ، $\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35.0°$

$= 52.0° - 35.0°$

$= 17.0°$ في اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

طبّق قانون الانعكاس

عوّض مستخدمًا $\theta_{i,\text{نهائي}} = 17.0°$

$\theta_{r,\text{نهائي}} = \theta_{i,\text{نهائي}}$

$= 17.0°$ في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة بالنسبة للعمود المقام الجديد

أوجد الزاوية التي دار بها الشعاع المنعكس باستخدام الشكلين

$\Delta\theta_r = 52.0° + 35.0° - 17.0°$

$= 70.0°$ 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. سقطت 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؟

الفيزياء في الحياة

نشـــاط

المرايا المستوية المركبة اطلب إلى الطلاب استخدام ماتعلموه في هذا الدرس لتوضيح كيفية استخدام مجموعة من المرايا المستوية لتشكيل مرآة مركبة تكوِّن صور متعددة للجسم نفسه. يمكنهم مثلاً: دراسة المرآة المركبة المستوية ذات السطوح الثلاثة في بعض محلات الملابس، كما يمكنهم رسم مخطط توضيحي للأشعة ليتم بعد ذلك تحديد موقع كل صورة في المرآة ذات السطوح الثلاثة. دع الطلاب يبحثوا في استخدامات المرايا المركبة، ويرسموا مخططات توضيحية للأشعة في هذه المرايا. ع2 **بصري - مكاني**

الأجسام والصور في المرايا المستوية
Objects and Plane–Mirror Images

عندما تنظر إلى نفسك بوساطة مرآة مستوية فإن ما تشاهده هو صورتك فيها. فالمرآة المستوية عبارة عن سطح مستوٍ أملس (مصقول) ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. ولتفهم 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 فستخدم 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 مستضاءً مثل الشاب، كما في **الشكل 4–10**.

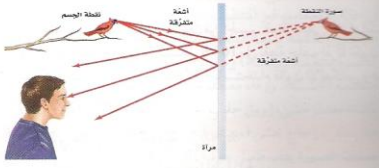
الشكل 4–10 المصباح الضوئي مصدر مضيء، ويشع الضوء في الاتجاهات جميعها. أما الشاب فيُعدّ مصدرًا مستضيئًا يشتت ضوء المصباح الساقط على جسمه عن طريق الانعكاس غير المنتظم للضوء.

تحدد نقطة مفردة على الطائر الموضح في **الشكل 5–10**، تلاحظ أن الضوء ينعكس بصورة مشتتة (انعكاس غير منتظم) من عُرف الطائر – نقطة الجسم – فإذا 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 يتبع الخطوط المتقطعة على الشكل، أيْ كأنه قادم من نقطة خلف المرآة، والتي تمثّل صورة النقطة.

ويرى الصبي في **الشكل 5–10** الأشعة الضوئية القادمة من نقاط متعدّدة على جسم الطائر بالطريقة نفسها، وتتشكل بذلك **صورة** الطائر من اتحاد صورة النقاط الناتجة عن الأشعة الضوئية المنعكسة وتعد هذه الصورة **صورة وهمية**؛ وذلك لأنها تكوّنت من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وتقع الصور الوهمية دائمًا على الجانب الآخر من المرآة (خلف المرآة)، وهذا يعني أن صور الأجسام الحقيقية المتكوّنة في المرايا المستوية دائمًا هي صور وهمية؛ لأنه لا يمكن جمعها على حاجز.

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. ثم ستلاحظ 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.



الشكل 5–10 تبدو الأشعة المنعكسة التي تصل إلى العين وكأنها قادمة من نقطة خلف المرآة.

المناقشة

سؤال اسأل الطلاب: لماذا يمكنهم مشاهدة صورهم عند النظر إلى النافذة ليلاً ولا يمكنهم ذلك في النهار؟ ولماذا يسهل مشاهدة أشياء خارج غرفة مظلمة عند النظر إليها من نافذة تلك الغرفة؟

الإجابة يمرر زجاج النافذة معظم الضوء، وينعكس جزء من هذا الضوء، ففي النهار لا يكون الضوء المنعكس مرئيًّا؛ لأنه يكون باهتًا مقارنة بضوء الشمس القادم من الخارج. أما في الليل فيكون الضوء المنعكس مرئيًّا؛ لأن هناك ضوءاً قليلاً جدًّا في الخارج. م2

التفكير الناقد

عرض الانعكاس ركب مرآتين صغيرتين مستويتين بحيث تقابل كل منهما الأخرى وتبعد إحداهما عن الأخرى مسافة 10 cm تقريبًا، اعمل ثقبًا في طبقة الطلاء خلف إحدى المرآتين على أن يقع الثقب على بعد يساوي ثلث طول المرآة نزولاً من أعلى المرآة. ثم ضع علبة مشروب غازي أو أي جسم آخر بين المرآتين. واطلب إلى الطلاب النظر من خلال الثقب ووصف الانعكاسات. سيجد الطلاب أن الانعكاسات لا نهائية وتبدو حجوم الصور المتكوّنة أصغر وأصغر. اطلب إليهم توضيح هذا التأثير. الصورة الأولى في كل مرآة هي صورة للعلبة الحقيقية، أما الصورة الثانية في كل مرآة فهي انعكاس للصورة الأولى في المرآة الأخرى، وتقع كل من الصور الأولى على بعد ثلاثة أمثال بُعْد العلبة الحقيقية عن المرآة المقابلة، لذا تظهر الصور الثانية خلف المرآتين على بعد يعادل ثلاثة أمثال بُعْد الصور الأولى. يتكرر هذا لكل صورة فتبدو أصغر لأنها تبتعد أكثر خلف المرآة.

م2 **بصري - مكاني**

معلومة للمعلم

مهن في الحياة اليومية

مهندسو البصريات قد يكون الطلاب الذين يحبون الفلك ويبدعون في علم البصريات مهتمين بمهنة مهندس البصريات في مرصد فلكي. مهندسو البصريات مسؤولون عن تصميم النظام البصري في التلسكوب الفلكي وتنسيقه وصيانته. بالإضافة إلى فهم أنظمة المرايا والعدسات، يجب أن يكون مهندسو البصريات قادرين على استخدام وصيانة الأجهزة التي تدعم النظام البصري (سيطرح موضوع العدسات في الفصل التالي). و على الطلاب المهتمين الذين يرغبون في الاستمرار في هذا المجال متابعة دراساتهم الجامعية ليحصلوا على درجة البكالوريوس في الهندسة ،أو في الفيزياء، كما عليهم أن يتعلموا أكبر قدر ممكن من الرياضيات.

تعزيز الفهم

عرض تجريبي تأكد من مدى فهم الطلاب أن القدرة على رؤية الصورة المتكونة خلف المرآة المستوية تعتمد على موقع الناظر الذي يمكّنه من رؤية تلك الصورة. ولتأكيد ذلك ضع مرآة مستوية على حامل وسط غرفة الصف، واطلب إلى أحد الطلاب الوقوف أمام المرآة، واطلب إلى طالب آخر الوقوف بعيدًا عنها نحو الجهة اليمنى. ثم ضع جسمًا بعيدًا عنها نحو يسارها بحيث لا يتمكن الطالب الأول من رؤية صورة الجسم في الوقت الذي يمكن للطالب الثاني رؤيته. دع الطلاب في الصف يقفون في مواقع مختلفة لتترسخ لديهم فكرة كيف تؤثر زاوية نظر الطلاب فيما يمكن رؤيته باستخدام مرآة. **١م حركي**

تجربة

موقع الصورة الوهمية

١م

تحذير: نبِّه الطلاب إلى الحذر عند حمل المرايا لأن حوافها قد تؤذيهم.

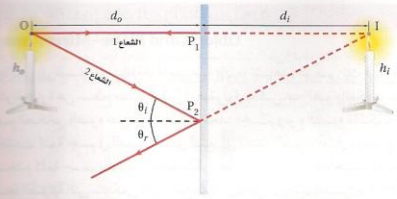
الهدف تقدير بعد الصورة عن المرآة المستوية.

المواد والأدوات آلة تصوير ذات قرص مُسجَّل عليه المسافات، ومرآة مستوية.

النتائج المتوقعة قراءة قرص التركيز تساوي 2.0 m.

التحليل والاستنتاج

4. الصورة على بعد 1.0 m خلف المرآة.
5. تلتقط الكاميرا الضوء المتشتت عن سطح المرآة، كما لو كان الضوء قادمًا من نقطة خلف المرآة.



الشكل 6–10 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 6–10** 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 وهمية ـ تكون المعادلة التالية 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 وهمية".

ولإيجاد طول الصورة يمكنك رسم شعاعين من الجسم. فمثلًا يلتقي امتداد الشعاعين الصادرين من قاعدة الشمعة، كما في **الشكل 6–10**، 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.

نشاط

طرائق تدريس متنوعة

إعاقة بصرية اطلب إلى كل طالب ضعيف البصر أن يعمل مع طالب آخر قادر على وصف أبعاد الصورة وخصائصها عند تنفيذ التجربة. يمكن للطلاب الذين يعانون من ضعف في البصر أن يدركوا مفهوم صور المرايا المستوية بشكل أفضل إذا سمحت لهم أن يسيروا من موقع الجسم في اتجاه المرآة المستوية. وضّح لهم أيضًا أنه لو كان بإمكانهم إكمال السير نحو المرآة فستكون الصورة خلف المرآة عند المسافة نفسها التي قطعوها. وعلى أي حال، فالصورة غير حقيقية؛ لأن المرآة المستوية تكوّن صوراً وهمية. **١م حركي**

تجربة

موقع الصورة الوهميّة

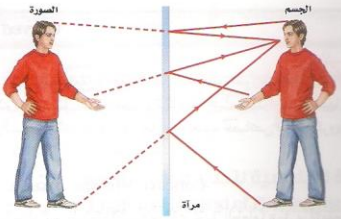
١م

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، وتحقّق من قراءة قرص التركيز. يجب أن تكون 1.0 m.
3. قس بُعد صورتك من خلال تركيز الكاميرا عليها، وتحقق من قراءة قرص التركيز.

التحليل والاستنتاج

4. ما بُعد الصورة خلف المرآة؟
5. لماذا تكون الكاميرا قادرة على التقاط صورة للصورة الوهمية التي خلف المرآة رغم عدم وجود جسم حقيقي في ذلك الموقع؟



■ **الشكل 7–10** الصورة المتكوّنة في المرآة المستوية لها حجم الجسم نفسه، ويُعد 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. تتبّع خطوط الأشعة الموضحة في **الشكل 7–10**. 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 7–10** على عكس صورة الشخص فقط بحيث تقابله في الاتجاه المعاكس له؛ أي أن المرآة تكوّن صورًا معكوسة جانبيًا.

بالرجوع إلى صورة الجبل في بداية الفصل، تلاحظ أنها مقلوبة رأسيًا، ولكن الصورة في الحقيقة معكوسة جانبيًا مقارنة بالجبل الحقيقي؛ فلأن المرآة (سطح البحيرة) تكون أفقية وليست رأسية، فإن المنظور، أو زاوية النظر، تجعل الصورة تبدو مقلوبة رأسيًا. ولفهم ذلك دوّر كتابك بزاوية 90° في عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وانظر إلى **الشكل 7–10** 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.

1–10 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 التالية 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. **مخطط الصور** إذا كانت سيارة تتبع سيارة أخرى على طريق أفقية، وكان الزجاج الخلفي للسيارة الأمامية يميل بزاوية 45°، فارسم مخططًا 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.

10-1 مراجعة

5. 10.0°
6. يطبق قانون الانعكاس على الأشعة المفردة للضوء. تؤدي السطوح الخشنة إلى انعكاس الأشعة الضوئية في اتجاهات مختلفة، لكن لكل شعاع ضوئي تكون زاوية سقوطه مساوية لزاوية انعكاسه.
7. سطوح ملساء: زجاج النافذة، سطح ماء ساكن، معدن مصقول. سطوح خشنة: ورقة، معدن خشن، زجاج خشن ، إبريق حليب بلاستيكي.
8. تبعد الصورة 3.0 m عن المرآة، وطولها يساوي 50.0 cm، وتكون وهمية.
9. المخططات التوضيحية يجب أن ترسم بحيث توضح أن موقع الشمس يقع تمامًا فوق الرأسي وعلى الأغلب سينعكس الضوء في اتجاه عين السائق وفق قانون الانعكاس.
10. سينعكس الضوء الساقط عن سطح الجسم في الاتجاهات جميعها، مما يجعلك قادرًا على رؤية الجسم من أي موقع.

■ استخدام الشكل 7–10

اسأل الطلاب كم يجب أن يكون طول المرآة حتى يرى كل منهم انعكاسًا كاملاً لجسمه. للإجابة عن هذا السؤال، اطلب إلى أحد الطلاب الوقوف أمام مرآة طويلة على مسافة مناسبة. واطلب إلى طالب آخر أن يحدد النقطة التي يرى عندها كل من رأسه وقدميه في المرآة. أشر إلى أن أعلى نقطة في صورته في المرآة يجب أن تكون في مستوى طوله، وأسفل نقطة في صورته في المرآة يجب ألا تزيد على نصف طوله بالنسبة إلى الأرض. اطلب إلى الطلاب دراسة الزوايا المتكوّنة بوساطة الأشعة الضوئية في **الشكل 6–10** لدراسة هذا التأثير. وبتطبيق قانون الانعكاس يجب أن يجد الطلاب أن الشخص سيرى صورته بحجمها الكامل إذا كان طول المرآة يعادل نصف طوله.

م2 **بصري-مكاني**

3. التقويم

التحقق من الفهم

عرض موقع الصورة اسأل الطلاب عما إذا كانت النقطة الموجودة على سطح المرآة التي ينعكس عندها الضوء الصادر عن الجسم هي نفسها موقع الصورة المتكونة بوساطة الضوء المنعكس. الصورة خلف المرآة المستوية وليست على سطح المرآة أو في داخلها. هناك طريقة واحدة لإثبات ذلك، وهي جعل الطلاب يمسكون مرآة صغيرة ويضعون إبهامهم مباشرة على سطح المرآة، عندئذ يمكنهم ملاحظة أن الصورة خلف سطح المرآة. م1 **بصري-مكاني**

إعادة التدريس

نشاط صورة المرآة ساعد الطلاب على قص قطع ورقية مطابقة لأيديهم. واطلب إليهم قلب هذه القصاصات 180° حول محور رأسي يمر في منتصفها. ثم اسأل الطلاب فيما إذا كان قلب هذه القصاصات يُنتج صورًا مماثلة لتلك التي تتكوّن في المرايا. إن عملية قلب هذه القطع تعكس اليسار إلى اليمين والأمام إلى الخلف، بعكس الصور التي تتكوّن في المرآة، حيث ينعكس اليسار يسارًا واليمين يمينًا؛ أي تنعكس صورة كل جزء بحيث تكون مقابلة له. م1 **حركي**

10-2 المرايا الكروية

1. التركيز

نشاط محفز

الأنواع المختلفة للمرايا اطلب إلى الطلاب النظر إلى مرآة مستوية، ثم إلى ملعقة لامعة من الجانبين الأمامي والخلفي، وأشر إلى أن شكل السطح العاكس يؤثر في الصورة التي يكونها.

حركي

الربط مع المعرفة السابقة

خصائص الصور لقد درس الطلاب في البند السابق خصائص الصور المتكونة بوساطة السطوح المستوية العاكسة، وفي هذا الدرس يوسعون مفاهيمهم لتشمل الأسطح العاكسة المنحنية، ويدرسون العلاقة بين البعد البؤري وبعد الجسم وبعد الصورة.

2. التدريس

تعزيز الفهم

البؤرة أكد على الفرق بين البؤرة F والبعد البؤري f. فالبعد البؤري هو المسافة بين قطب المرآة والبؤرة. بينما البؤرة F هي النقطة التي تجمع فيها انعكاسات الأشعة الساقطة متوازية وموازية للمحور الرئيس.

10–2 المرايا الكروية Curved Mirrors

الأهداف

- **توضح** كيف تكوّن كلٌّ من المرايا المحدبة و المرايا المقعرة الصور.
- **تصف** خصائص المرايا الكروية وتذكر استخداماتها.
- **تحدّد** مواقع وأطوال الصور التي تكوّنها المرايا الكروية.

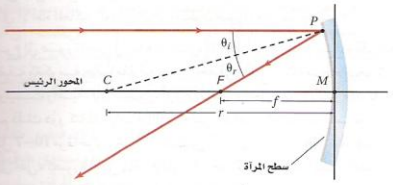
المفردات

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 8–10** 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 8–10 تقع بؤرة المرآة الكروية المقعرة في منتصف المسافة بين مركز التكوّر وسطح المرآة. وتنعكس الأشعة الساقطة موازية للمحور الرئيس مارة بالبؤرة F.

عندما توجه 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.

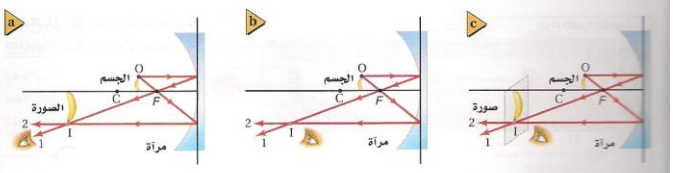
وعندما يسقط الشعاع على مرآة فإنه ينعكس وفق قانون الانعكاس. ويبين **الشكل 8–10** أن الأشعة الساقطة موازية للمحور الرئيس تنعكس عن المرآة وتقطع المحور في البؤرة F. وتقع البؤرة F في منتصف المسافة بين مركز التكور C والقطب M، أما البعد البؤري f فيمثل المسافة بين قطب المرآة وبؤرتها الأصلية، ويعبر عنه على النحو التالي: $f = \frac{r}{2}$. ويكون البعد البؤري للمرآة المقعرة موجبًا.

استخدام التشابه

عرض البؤرة اعرض مفهوم البؤرة، وذل
بلف رباط مطاطي دون شده حول وسط مجمو
مكونة من عشرين سيخًا، أو من قطع المعكرو
غير المطبوخة. اسحب الأسياخ على جانبي ريا
مطاطي، ثم اتركها، وأشر إلى أن هذه الأسيا
تتجمع عند نقطة من الرباط ثم تنتشر مبتعد
تمامًا كما تنعكس الأشعة عن المرآة المقعرة؛
تتجمع في البؤرة، ثم تعود وتتفرق عنها ثانية.

استخدام الشكل 9–10

قد يلاحظ الطلاب أن الأشعة في هذا الشك
رسمت حتى المستوى المتعامد مع المحو
الرئيس بدلاً من سطح المرآة. بيِّن لهم أن ذل
التقريب متبع، كما سيدرسون سبب ذل
لاحقًا. والآن، اطلب إلى الطلاب أن يتأكد
من رسم هذا المستوى على سطح المرآة
النقطة التي يتقاطع فيها المحور الرئيس م
سطح المرآة. م2

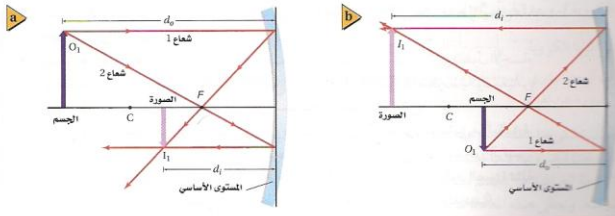


الشكل 9–10 الصورة الحقيقية التي تُرى بالعين المجردة (a). لا ترى العين الصورة الحقيقية إذا كانت في موقع لا تسقط عليه الأشعة المنعكسة (b). الصورة الحقيقية كما ترى على شاشة معتمة بيضاء (c).

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 **9–10** 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. وتُحدَّد نقطة التقاطع، I، لشعاعين منعكسين موقع الصورة. ويمكنك رؤية الصورة في الفضاء عندما تسقط الأشعة المنعكسة التي كوّنت الصورة على عينك، كما في الشكل **9a–10**. ويوضّح الشكل **9b–10** 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–10**، وهذا غير ممكن في حالة الصور الوهمية (الخيالية) التي تتكون من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة ولا يمكن جمعها على حاجز.

ولتسهيل فهم كيفية سلوك الأشعة في المرايا المقعرة يمكنك استخدام أجسام أحادية البعد؛ سهم مثلاً، كما في الشكل **10a–10**. تكوِّن المرآة الكروية المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة للجسم؛ إذا كان بعد الجسم d_o أكبر من ضعفي البعد البؤري f، أما إذا كان الجسم واقعًا بين البؤرة F ومركز التكور C كما في الشكل **10b–10** فإن الصورة ستكون مكبرة، وإذا كان الجسم واقعًا خلف مركز التكور C فإن الصورة ستكون مصغرة.



الشكل 10–10 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).

نشاط **مشروع فيزياء**

استخدامات المرايا اطلب إلى الطلاب البحث في المجلات الفلكية. أو في الدوريات العلمية والتقنية ليجدوا بحثًا أو مقالاً حول تقنية حديثة تستخدم فيها المرايا المقعرة، مثل (تلسكوب هابل الفضائي)، وشجعهم على قراءة المقال، وتعلّم كيفية استخدام هذه التقنية الحديثة للمرايا، وعلى إعداد عرض تقديمي لهذا الغرض، وقد يستطيعون كتابة إعلان لبيع تقنيات تتعلق بذلك. م2 **لغوي**

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

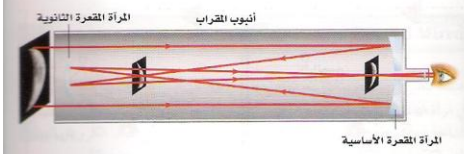
عرض مخطط للأشعة عند رسم مخططات توضيحية لمسارات الأشعة، سيجد الطلاب أحيانًا أن الأشعة لا تتقاطع مع الصورة المتكونة بوساطة المرآة على الورقة. وقد يعتقد الطلاب أن المخطط لا يمكن رسمه، أو أن المرآة لا تكوّن صورة كاملة للجسم. لذا وضح لهم كيف يمكنهم عمل امتداد للمستوى المتعامد مع المحور الرئيس إلى أعلى وإلى أسفل بمقدار ما يلزم. حيث يحدث انعكاس الأشعة على هذا المستوى كما لو كان تقطع المرآة. تظهر المرآة باستخدام هذا النموذج، على أنها تكوّن صورة كاملة للجسم كما في الواقع. بيّن للطلاب أنه حتى في حالة الملعقة الفلزية فإن الشخص يمكن أن يرى صورة الجزء العلوي كله من جسمه بالرغم من أن هذا الجزء أكبر من تجويف الملعقة.

التفكير الناقد

توضيح الصورة اسأل الطلاب عما إذا كانوا معتقدون بأن المرآة عاكس مثالي. وعلى إفتراض أن المرآة قد تعكس 90% من الضوء الساقط عليها فقط. واطلب إلى الطلاب أن يتخيلوا الضوء الذي يرتد عن ثلاث مرايا كتلك المرآة، واحدة تلو الأخرى. ثم اسألهم عن نسبة الضوء المنعكس عن المرآة الثالثة بالنسبة إلى الضوء الأصلي الساقط.

أن 90% من الضوء الساقط ينعكس عن كل مرآة، ستكون نسبة الضوء المنعكس بالنسبة للضوء الأصلي بعد الانعكاسات الثلاثة كما يأتي: $0.9 \times 0.9 \times 0.9 = 0.7$ أي سينعكس 73% من الضوء الأصلي الساقط. اسأل الطلاب كيف يمكن لمرآة كروية أن تستخدم لإعادة توضيح الصورة. يمكن لمرآة كروية كبيرة أن تجعل الصورة أكثر وضوحًا وذلك بتركيز كمية الضوء نفسها على مساحة أصغر. م2

الشكل 11–10 يكوّن مقراب 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 المقراب المعروف باسمه، مقراب جريجوريان، المبين في **الشكل 11–10** لحل هذه المشكلة. ويتكوّن مقرابه 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 مكوّنة صورة حقيقية ومعتدلة تمامًا كالجسم.

استراتيجيات حل المسألة

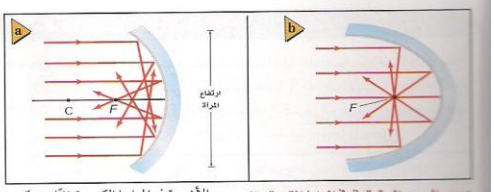
استخدام طريقة رسم الأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية

استخدم الاستراتيجيات التالية لحل مسائل المرايا الكروية. ارجع إلى **الشكل 10–10**:

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 مماثلة بسهم عمودي من المحور الرئيس إلى I_1 (نقطة التقاء الشعاعين المنعكسين أو امتداديهما).

نشاط — مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم

مخططات توضيحية للأشعة قد يكون رسم مخططات توضيحية للأشعة عملية مربكة للطلاب في المحاولة الأولى. إلا أن اكتساب هذه المهارة عملية مهمة جدًّا لحل مسائل الضوء. قسّم الطلاب في مجموعات صغيرة، وزود كل مجموعة بمسألتين أو ثلاث، على أن تتضمن المسائل مرايا مقعرة، ثم اطلب إلى كل مجموعة أن تطبق استراتيجيات حل المسألة السابقة خطوة خطوة لحل هذه المسائل. يجب على الطلاب رسم المخططات التوضيحية بصورة مستقلة، إلا أنهم قد يستفيدون من مناقشة كل خطوة في المجموعة. م1 **متفاعل**



■ **الشكل 12–10** 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–10**. لاحظ أن الأشعة المتوازية القريبة من المحور الرئيس (الأشعة المحورية) **فقط** هي التي تنعكس مارة 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–10** ـ لا تعاني من الزوغان الكروي. ونظرًا لارتفاع تكلفة تصنيع المرايا الكبيرة التي تأخذ شكل القطع المكافئ تماماً، 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–10**، 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 التالية بعضها مع بعض: 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 تنسحب على الزوغان الكروي؛ لأنها تعتمد على الأشعة المحورية في تكوين الصور. وفي الحقيقة 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.

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 بوساطة الغلاف الجوي. إلّا أنه 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.

نشاط

■ **الزوغان الكروي** اطلب إلى الطلاب استقصاء الزوغان الكروي لصور حقيقية، على أن يستخدموا مرايا عرض مقعرة كبيرة. واطلب إليهم أيضًا تغطية محيط المرآة بالورق أو الكرتون. سيلاحظ الطلاب أن الصورة أقل وضوحاً ولكن الزوغان الكروي فيها قليل. ثم، اطلب إليهم تغطية وسط المرآة، سيلاحظون مرة أخرى أن الصورة أقل وضوحاً؛ إلا أن الزوغان الكروي يكون أكثر وضوحًا. كما سيكون ممتعًا استخدام ثقب قطره 5 cm تقريبًا في غطاء، وتحريكه على سطح المرآة كله. يجب أن يقارن الطلاب بين الصور المتكونة بوساطة مناطق مختلفة من سطح المرآة.

م 2 حركي

تطبيق الفيزياء

لقد حدث خلل في جهاز القياس في أثناء تلميع المرآة الأولية في تلسكوب هابل الفضائي، مما جعل الحوافّ الخارجية لها أكثر تسطحاً. وعلى الرغم من أن النقص في التحدب لم يتجاوز $\frac{1}{50}$ تقريبًا من قطر شعرة الإنسان، إلا أن ذلك كان كافيًا لجعل المشاهدة بوساطة تلسكوب هابل أفضل قليلاً فقط من المشاهدة بوساطة تلسكوب ثابت على الأرض. وركّزت التصحيحات البصرية التي سُميت كوستار COSTAR على خمسة أزواج من المرايا المصححة في مواقع معينة بحيث عوّضت وبنجاح الزوغان الكروي الحاصل في تلسكوب هابل. اطلب إلى الطلاب المهتمين أن يبحثوا حول تلسكوب (كوستار)، وأن يحضروا عرضًا تقديميًا بخصوصه وحول أي تحسينات بصرية أخرى لتلسكوب هابل.

م 2

معلومة للمعلم

الخلفية النظرية للمحتوى

الزوغان الكروي يجب أن يفهم الطلاب أن الزوغان الكروي لاينشأ عن خلل في صنع المرآة بل هو خاصية ذاتية فيها، وهو يحدث حتى في المرايا الكروية الدقيقة الصنع. ويمكن تجنب الزوغان الكروي باستخدام مرايا سطوحها شبه كروية. ويعد انتاج مثل هذه المرايا اللازمة في المجالات الفلكية الدقيقة أمرًا صعبًا للغاية؛ لأن سطح الزجاج يجب أن يكون مصقولاً جدًّا. لبعض التطبيقات التي يكون فيها تكوّن الصور التي دقتها قليلة مقبولاً، يمكن انتاج مرايا كروية بلاستيكية مناسبة.

تطوير المفهوم

إختفاء الصورة ناقش مع الطلاب ما يحدث للصورة المتكونة لجسم بوساطة المرآة المقعرة في أثناء اقترابه من البؤرة من جهة المرآة، ومن مسافة بعيدة عنها. يصبح طول الصورة أكبر وأكبر، ثم تختفي الصورة عندما يصبح الجسم قريبًا جدًّا من البؤرة؛ إذ تنعكس الأشعة عن المرآة بصورة متوازية بحيث لا يمكن أن يتقاطع بعضها مع بعض. توضح كل من معادلة المرآة ومعادلة التكبير أن الصورة المتكونة تتكون على بعد لا نهائي، وحجمها لا نهائي أيضًا. م2

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

موقع الجسم قد يعتقد الطلاب أنه من الضروري أن يقع الجسم على المحور الرئيس للمرآة المقعرة حتى تتكوّن صورة له. بالنسبة للمرآة المقعرة يمكن أن يكون الجسم على جانب المرآة طالما أن جزءًا من سطح المرآة يكون مرئيًّا للجسم. اطلب إلى الطلاب استعمال مرآة مقعرة مكبرة لاستقصاء هذا المفهوم. م1

الرياضيات في الفيزياء

جمع الكسور وطرحها عند استخدام معادلة المرايا، استعمل الرياضيات أولاً 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
$\frac{1}{x}=\frac{1}{y}+\frac{1}{z}$	$\frac{1}{f}=\frac{1}{d_i}+\frac{1}{d_o}$
$\frac{1}{y}=\frac{1}{x}-\frac{1}{z}$	$\frac{1}{d_i}=\frac{1}{f}-\frac{1}{d_o}$
$\frac{1}{y}=\left(\frac{1}{x}\right)\left(\frac{z}{z}\right)-\left(\frac{1}{z}\right)\left(\frac{x}{x}\right)$	$\frac{1}{d_i}=\left(\frac{1}{f}\right)\left(\frac{d_o}{d_o}\right)-\left(\frac{1}{d_o}\right)\left(\frac{f}{f}\right)$
$\frac{1}{y}=\frac{z-x}{xz}$	$\frac{1}{d_i}=\frac{d_o-f}{fd_o}$
$y=\frac{xz}{z-x}$	$d_i=\frac{fd_o}{d_o-f}$

وباستخدام هذه الطريقة يمكنك اشتقاق العلاقات التالية لحساب بُعد الصورة، وبُعد الجسم، والبعد البؤري.

$$f=\frac{d_i d_o}{d_o+d_i} \qquad d_o=\frac{fd_i}{d_i-f} \qquad d_i=\frac{fd_o}{d_o-f}$$

التكبير للمرايا الكروية خاصية التكبير m؛ ويُقصد به كم مرّة تكون الصورة أكبر من الجسم أو أصغر منه. والتكبير عمليًّا 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 كانت 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 كانت القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية أكبر من 1؛ أيْ أن الصورة أكبر من الجسم (مكبّرة).

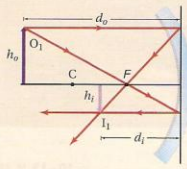
نشاط

مساعدة الطلاب ذوي صعوبات التعلم

التكبير قد يحتاج بعض الطلاب إلى المساعدة ليتمكنوا من استيعاب مفهوم التكبير في المرايا الكروية. اقطع لوحا من الورق المقوى إلى مستطيلات مختلفة الأبعاد، وأعط مستطيلاً واحدًا لكل طالبين. ووضّح لهم كيف يمكنهم أن يستخدموا مسطرة لرسم جسم باستخدام نسبة تكبير كنسبة 2:5. ويتعين على الطلاب تضمين مقياس رسم مناسب في رسومهم. ثم اطلب إليهم تبادل الرسوم بين المجموعات المختلفة وتحديد الأبعاد للأجسام الحقيقية من خلال مقاييس الرسم. م2 **بصري-مكاني**

مثـــال 2

صورة الحقيقية التي تكوّنها مرآة مقعرة وضع جسم طوله 2.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطرها 20.0 cm، وعلى 30 cm منها. فما بُعد الصورة؟ وما طولها؟



تحليل المسألة ورسمها

- ارسم مخطّطا للجسم والمرآة.
- ارسم شعاعين أساسيّين لتحديد موقع الصورة على المخطّط.

المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0\ cm$	$d_i = ?$
$d_o = 30.0\ cm$	$h_i = ?$
$r = 20.0\ cm$	

إيجاد الكمية المجهولة

احسب البعد البؤري

عوض مستخدمًا $r = 20.0\ cm$

$$f = \frac{r}{2} = \frac{20.0\ cm}{2} = 10.0\ cm$$

استخدم معادلة المرايا الكروية، وحل لإيجاد بُعد الصورة:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o}$$

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$$

عوض مستخدمًا $f = 10.0\ cm$، و $d_o = 30.0\ cm$

$$= \frac{(10.0\ cm)(30.0\ cm)}{30.0\ cm - 10.0\ cm}$$

$$= 15.0\ cm$$ (صورة حقيقية أمام المرآة)

استخدام علاقة التكبير لحساب طول الصورة:

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

عوض مستخدمًا $d_o = 30.0\ cm$، $h_o = 2.0\ cm$، $d_i = 15.0\ cm$

$$h_i = \frac{-d_i h_i}{d_o} = \frac{-(15.0\ cm)(2.0\ cm)}{30.0\ cm}$$

$$= -1.0\ cm$$ (صورة مقلوبة ومصغرة)

تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** جميع الوحدات بالسنتمتر cm.
- **هل للإشارة معنى؟** الموقع الموجب والطول السالب متفقان مع الرسم.

مسائل تدريبية

وضع جسم على بُعد 36.0 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري 16.0 cm. أوجد بُعد الصورة.

وضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 16.0 cm من مرآة مقعرة بعدها البؤري 7.0 cm. أوجد طول الصورة.

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.

مثال صفي

سؤال وضع جسم طوله 6.4 cm على بُعد 26.0 cm أمام مرآة مقعرة نصف قطر تكورها 24.0 cm، أين تتكون الصورة؟ وما طولها؟

الجواب

تتكون الصورة على بُعد 22.3 cm أمام المرآة.

طول الصورة 5.5 cm وتكون حقيقية مقلوبة.

مسائل تدريبية

11. 28.8 cm
12. −1.9 cm
13. بُعد الجسم: 26.7 cm، طول الجسم: 5.0 cm

تطوير المفهوم

أهمية مخطط الأشعة تأكد من الإشارة إلى أن تقنيات رسم الأشعة تصلح كاختبار للطريقة الجبرية (الحسابية) والعكس صحيح؛ إذ يجب أن تكون الطريقتان متوافقتين.

معادلة طول الصورة

تستخدم المعادلة $h_i = -d_i h_o / d_o$ كثيرًا في حل مسائل المرايا المقعرة.

قد يستفيد الطلاب من اشتقاق هذه المعادلة من معادلة التكبير. لحل المعادلة بالنسبة لطول الصورة h_i، يجب أن يضرب الطلاب النسب الموجودة في معادلة التكبير بطول الجسم h_o

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

$$(h_o)\left(\frac{h_i}{h_o}\right) = \left(\frac{-d_i}{d_o}\right)(h_o)$$

$$h_i = -d_i h_o / d_o$$ م2

الفيزياء في الحياة

معلومة للمعلم

المرايا السائلة اطلب إلى الطلاب تخيل كمية من الحليب تدار في وعاء إلى أن يصبح سطح الحليب على شكل قطع مكافئ. وضح للطلاب أن العلماء يستخدمون هذا المفهوم لصناعة تلسكوبات ذات مرايا سائلة. إذ يستخدمون فلز الزئبق الذي له قدرة عكس كبيرة؛ حيث يكون سائلا عند درجة حرارة الغرفة. يوضع الزئبق في إناء كبير، وعند تدويره بسرعة كبيرة يشكل الزئبق مرآة قطع مكافئ مقعرة. ولحماية الزئبق من الاهتزازات الخارجية يوضع في وعاء من الهواء المضغوط يعمل كوسائد تحميه من الاهتزازات، كما توضع شريحة ملساء من البلاستيك الناعم على سطح الزئبق لحمايته من الاضطرابات الهوائية أيضًا. وعلى الرغم من أن التلسكوب ذا المرآة السائلة أقل تكلفة من التلسكوب الذي يستخدم المرايا الصلبة، إلا أن لهذا التلسكوب مساحة رؤية محدودة، لأنه يجب أن يوضع بحيث يكون متجهًا إلى أعلى تمامًا.

عرض سريع

موقع الصورة

الزمن المقدر 10 دقائق

المواد والأدوات مرآة مقعرة، وجسم متوهج يعمل بوساطة بطارية أو بطاقة كيميائية.

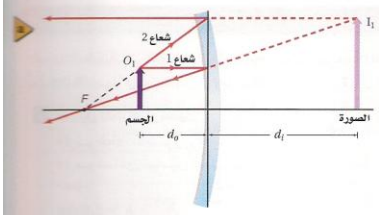
الخطوات

1. اجعل الضوء خافتًا وأمسك الجسم بيد والمرآة المقعرة باليد الأخرى.
2. وجِّه المرآة نحو لوح أبيض أو نحو الحائط. ثم احمل الجسم بحيث يقع على المحور الرئيس بين F ،C، على أن يكون قريبًا من البؤرة. ستظهر صورة كبيرة مقلوبة للجسم على الحائط.
3. اجعل الجسم خلف C. ستضطر إلى إمالة وجه المرآة تدريجيًّا بعيدًا عن الحائط. ستتكون صورة مصغرة مقلوبة بين C و F على الحائط.
4. اجعل الجسم بين F والمرآة. لن تتكوّن صورة حقيقية.

المناقشة

سؤال اسأل الطلاب عما إذا كانوا يتوقعون وجود فرق بين وضوح كل من الصور المكبرة والصور المصغرة.

الإجابة نعم، كلما تشتت الضوء انتشر على مساحة أوسع، وأصبحت الصورة غير واضحة (مشوهة). وكلما تجمع الضوء يتركز على مساحة أصغر، ونتيجة لذلك تكون الصور المكبرة خافتة ومشوّهة، أما الصور المصغرة فتكون أكثر وضوحًا (غير مشوهة). وهذا يوضّح لماذا يمكن تحديد موقع بؤرة المرآة المقعرة بإيجاد النقطة الأكثر وضوحًا للأشعة المنعكسة. توجد البؤرة للمرآة المقعرة في نقطة تجمع الأشعة المنعكسة التي كانت متوازية قبل اصطدامها بالمرآة. 1-3



الشكل 13–10 عند وضع جسم بين البؤرة والمرآة الكروية المقعرة تتكون له صورة مكبّرة ومعتدلة ووهمية خلف المرآة (a). كما هو موضّح في الشكل (b). ما الصفات الأخرى التي تراها للصورة أيضًا في هذا الشكل؟

الصور الوهمية 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 وهمية إذا وضع الجسم بين المرآة والبؤرة، كما في **الشكل 13a–10**. 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 يتشتتان عندما ينعكسان عن المرآة، لذا لا يمكن أن يُكوّنا صورة حقيقية، في حين يلتقي امتدادا الشعاعين المنعكسين خلف المرآة مُكوّنين صورة وهمية.

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–10**.

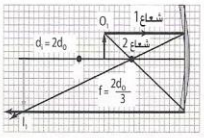
مسألة تحفيز

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 ضعفي بُعد الجسم عن المرآة، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا. واحسب البعد البؤري كدالّة رياضية في بُعد الجسم في هذه الحالة.
2. ارسم شكلاً لمخطّط أشعة يوضح بُعد الجسم إذا كان بُعد الصورة عن المرآة يساوي ضعفي البعد البؤري، وأثبت صحة إجابتك رياضيًّا، واحسب طول الصورة كدالّة رياضية في طول الجسم في هذه الحالة.
3. أين يجب وضع الجسم بحيث لا تتكوّن له صورة؟

مسألة تحفيز

.1



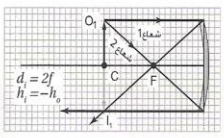
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

$$f = \frac{(d_o d_i)}{(d_o + d_i)}$$

$$f = \frac{(d_o(2d_o))}{(d_o + 2d_o)}$$

$$f = \frac{2d_o}{3}$$

.2



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

$$d_o = \frac{(fd_i)}{(d_i - f)}$$

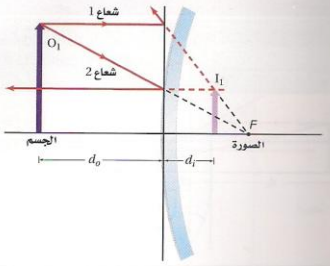
$$d_o = \frac{f(2f)}{(2f - f)}$$

$$d_o = 2f$$

$$m = \frac{h_i}{h_o}$$

$$= \frac{(-d_i)}{d_o}$$

تابع في الصفحة التالية



■ **الشكل 14–10** تكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورًا وهمية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

المرايا المحدبة Convex Mirrors

ت في بداية هذا الفصل أن السطح الداخلي لملعقة مصقولة يعمل عمل مرآة مقعرة. قلبت الملعقة فإن السطح الخارجي سيعمل عمل مرآة محدبة. والمرآة المحدبة سطح س حوافه منحنية بعيدًا عن المشاهد. ماذا ترى عندما تنظر إلى ظهر ملعقة؟ سترى ك معتدلة ومصغرة.

ص المرآة الكروية المحدبة موضحة في **الشكل 14–10**. فالأشعة المنعكسة عن المرآة سة مشتتة دائمًا، لذا تكوّن المرايا المحدبة صورًا وهمية. وتكون النقطتان C وF واقعتين المرآة. وعند تطبيق معادلة المرآة ستكون قيمتا f، d_i سالبتين دائمًا؛ لأنهما خلف المرآة.

ن مخطّط الأشعة في **الشكل 14–10** كيفية تكوّن الصورة بوساطة المرآة الكروية سبة، فعند أخذ شعاعين من العدد اللانهائي من الأشعة الصادرة عن الجسم فإن عاع 1 يسقط على المرآة موازيًا المحور الرئيس، وينعكس عنها، بحيث يمرّ امتداد عاع المنعكس في البؤرة F خلف المرآة. ويسقط الشعاع 2 على المرآة بحيث يمرّ امتداده في ة F خلف المرآة، لماذا؟ سيكون كلّ من الجزء المنعكس من الشعاع 2 وامتداد الشعاع 2 كس خلف المرآة موازيين للمحور الرئيس، وسيتشتّت الشعاعان المنعكسان، في يلتقي امتداداهما خلف المرآة ليكوّنا صورة وهمية ومعتدلة ومصغرة مقارنة بالجسم.

■ **الشكل 15–10** تكوّن المرايا المحدبة صورًا أصغر من الأجسام، وهذا يزيد من مجال الرؤية للمراقب.

ن معادلة التكبير مفيدة لتحديد الأبعاد الظاهرية للجسم كما سيرى في المرآة الكروية سبة. فإذا علمت قطر الجسم فاضربه في مقدار التكبير لمعرفة مدى تغير القطر عندئذٍ. جد أن القطر صغير، مثله مثل باقي الأبعاد، وهذا يفسّر لماذا يبدو بُعد الصور المتكونة سام في مرآة محدبة أكبر من بُعدها الحقيقي.

ل الرؤية قد يبدو أن استعمالات المرايا المحدبة محدودة بسبب الصور المصغّرة التي يها للأجسام، إلا أنّ هذه الخاصية جعلت للمرايا المحدبة استخدامات عملية؛ فمن ل تكوينها صورًا مصغّرة للأجسام تؤدي المرايا المحدبة إلى توسيع المساحة، أو مجال يته التي يراها المراقب، كما في **الشكل 15–10**. كما أن مركز مجال الرؤية مشاهد من أي ة للناظر بالنسبة للمحور الرئيس للمرآة، ومن ثم يكون مجال الرؤية واضحًا بمشهد يع. لذا تُستخدم المرايا المحدبة على نحوٍ واسع على جوانب السيارات للرؤية الخلفية.

$$h_i = \frac{(-d_i h_o)}{d_o}$$

$$h_i = \frac{(-(2f) h_o)}{2f}$$

$$h_i = -h_o$$

3. يجب أن يوضع الجسم في البؤرة.

تجربة إضافية

إيجاد البؤرة

الهدف ملاحظة البؤرة الأصلية في المرايا الكروية.

المواد والأدوات مرآة محدبة صغيرة، ومرآة مقعرة صغيرة، وورقة، وصلصال.

***تحذير:** حذر الطلاب عند استخدام المرايا، إذ يمكن أن تؤذيهم حوافها الحادة.*

الخطوات

استخدم صلصال لتثبيت مرآة مقعرة على سطح مستوٍ في منطقة بحيث تسقط عليها أشعة الشمس المباشرة وبشكل مائل بزاوية.

***تحذير:** لا تنظر مباشرة إلى المرآة التي تعكس ضوء الشمس.*

1. اطلب إلى كل طالب على الترتيب أن يحمل ورقة و يُقرِّبها من المرآة ويبعدها عنها في منطقة الأشعة المنعكسة؛ وذلك لإيجاد البقعة الأكثر سطوعًا. ***تحذير:** لا تُبقِ الورقة في البؤرة فترة طويلة لأنها قد تحترق.* تمثل هذه البقعة بؤرة المرآة.
2. استبدل المرآة المحدبة بمرآة مقعرة، ثم اطلب إلى الطلاب تكرار الخطوة 2 باستخدام المرآة المحدبة. لا يمكن إيجاد بقعة مضيئة (بؤرة) لهذه المرآة.

التقويم

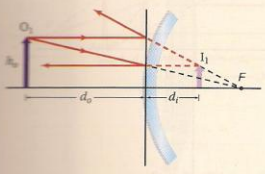
1. لماذا تكوّن المرآة المقعرة بقعة مضيئة (بؤرة) بينما لا تكوّن المرآة المحدبة هذه البقعة؟ تُجمِّع المرآة المقعرة الأشعة الضوئية المنعكسة في بقعة واحدة (بؤرة)، بينما تشتت المرآة المحدبة الأشعة الضوئية المنعكسة، لذلك لا تتكون نقطة مضيئة.
2. كيف يرتبط ذلك ببؤرة كل مرآة؟ تقع البؤرة أمام المرآة المقعرة في البقعة المضيئة التي تجمعت فيها الأشعة المنعكسة، بينما تقع بؤرة المرآة المحدبة خلفها، لذلك لا يمكن إيجادها باستخدام الورقة و الأشعة المنعكسة.

مثال 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
$h_o = 2.0\ \text{m}$	$d_i = ?$
$d_o = 5.0\ \text{m}$	$h_i = ?$
$f = -0.5\ \text{m}$	

2 إيجاد الكمية المجهولة

استخدم معادلة المرايا الكروية، لحساب بُعد الصورة.

$$d_i = \frac{fd_o}{d_o - f}$$

عوّض مستخدمًا $f = -0.50\ \text{m}$ ،$d_o = 5.0\ \text{m}$

$$= \frac{(-0.50\ \text{m})(5.0\ \text{m})}{5.0\ \text{m} - 0.5\ \text{m}}$$

$$= -0.45\ \text{m}$$ (صورة وهمية)

استخدم معادلة التكبير، وحل لإيجاد طول الصورة:

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o}$$

عوّض مستخدمًا $d_i = -0.45\ \text{m}$ ،$h_o = 2.0\ \text{m}$ ،$d_o = 5.0\ \text{m}$

$$= \frac{-(-0.45\ \text{m})(2.0\ \text{m})}{(5.0\ \text{m})}$$

$$= 0.18\ \text{m}$$ (الصورة معتدلة ومصغرة)

3 تقويم الجواب

- **هل الوحدات صحيحة؟** جميع الوحدات بالمتر m.
- **هل للإشارة معنى؟** تدل الإشارة السالبة في بُعد الصورة على أنها وهمية، 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 بوساطة 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 أمان خاصة بمستودع، فتكونت لها صورة طولها 0.36 m. ما البعد البؤري للمرآة؟

مثال صفي

سؤال قلم طوله 16 cm وضع على بعد 23.5 cm من مرآة محدبة نصف قطر تكورها 28.4 cm. ما بعد الصورة عن المرآة؟ وما طولها؟

الجواب

$d_i = -8.85\ \text{cm};\ h_i = 6.0\ \text{cm}$

مسائل تدريبية

14. انظر إلى دليل حلول المسائل.

15. $-8.57\ \text{cm}$، بُعد الصورة $10.7\ \text{cm}$−، قطر الصورة $1.1\ \text{cm}$.

16. $-96\ \text{cm}$

17. $-0.60\ \text{m}$.

نشاط

استخدامات المرايا اطلب إلى الطلاب البحث في استخدامات المرايا وذلك بعمل قائمة لكل المرايا التي يشاهدونها في حياتهم اليومية، واصفين استخدامات كل منها. يمكن للطلاب أن يرسموا رسومًا توضيحية تساعدهم على شرح كيفية استخدام كل مرآة. واسمح لهم إذا أمكن إحضار بعض المرايا التي استخدموها إلى الغرفة الصفية. م1 **متفاعل**

نشاط

مشروع فيزياء

أنظمة المرايا بعض الأجهزة البصرية تستخدم أنظمة مرايا للحصول على صور ذات مواصفات محددة. اطلب إلى الطلاب العمل في مجموعات ثنائية لتصميم نظام بصري لسطح المكتب باستخدام مرآتين أو أكثر، على أن تستخدم المرايا المستوية والمرايا الكروية. كما يجب أن يكون الطلاب قادرين على شرح نظامهم، بالإضافة إلى المعلومات المتعلقة بالأبعاد البؤرية، ومواقع الأجسام وخصائص الصور المتكونة. حث الطلاب على تصميم نظام مكون من مرآتين مستويتين يُمكِّنهم من معالجة انقلاب الأحرف الذي يحدث عند استخدام مرآة مستوية مفردة. م2 **حركي**

تعزيز الفهم

خصائص المرايا قسم الطلاب إلى مجموعات صغيرة، واطلب إلى كل مجموعة كتابة أسئلة من نوع (صح/ خطأ) حول خصائص المرايا على أحد وجهي بطاقات فهرسة، وكتابة الإجابات مرفقة بتوضيحاتها على الوجه الآخر لها. يمكن للمجموعات تبادل هذه البطاقات فيما بينها، ويمكن للطلاب أن يستخدموا هذه البطاقات في اختبار بعضهم بعضًا. م1 متفاعل

3. التقويم

التحقق من الفهم

الصور الحقيقية والصور الوهمية اطلب إلى كل طالب أن يكتب ويعرض فقرة، يقارن من خلالها بين الصورة الحقيقية والصورة الوهمية المتكونة بوساطة المرايا المقعرة. م1 لغوي

التوسع

المرايا المحدبة في الفن يمكن للطلاب أن يبحثوا في لوحات فنية تتضمن صورًا لمرايا محدبة. اطلب إلى كل طالب كتابة نص يصف فيه كيف يستخدم الفنانون المرايا في الرسم، كما يتعين على الطلاب أيضًا وصف التأثيرات البصرية الناتجة عن استخدام المرايا المحدبة. م2 لغوي

الجدول 1-10

خصائص الصور في مرآة مُفردة

نوع المرآة	f	d_o	d_i	m	الصورة
مستوية	N/A	$d_o > 0$	$\lvert d_i \rvert = d_o$ (سالب)	الحجم نفسه	وهمية
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	وهمية
محدبة	-	$d_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert d_i \rvert > 0$ (سالب)	مصغرة	وهمية

مقارنة المرايا Mirror comparison

قارن بين الأنواع المختلفة من المرايا؟ يوضح **الجدول 1–10** مقارنة بين خصائص أنظمة مرآة مُفردة (أحادية) لأجسام موضوعة على المحور الرئيس للمرآة. وتلاحظ من الجدول أنّ بُعد الصورة الوهمية دائمًا سالب؛ لأنها تقع دائمًا خلف المرآة. عندما 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 وهمية، في حين تُكوّن المرآة المقعرة صورًا وهمية صورًا 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.

10–2 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 وهمية؟
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. **مخطط 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.

10-2 مراجعة

18. ضع الجسم بين المرآة والبؤرة. ستكون الصورة المتكونة وهمية.
19. 0.82 -
20. 26.0 cm
21. انظر إلى دليل حلول المسائل، بُعد الصورة: 26.4 cm، وطولها: 3.6 cm-.
22. انظر إلى دليل حلول المسائل، بُعد الصورة: 6.46 cm-، وطولها: 1.8 cm
23. 29 cm
24. 36 cm-
25. سيكون أقل بالنسبة لمرآة ارتفاعها أصغر نسبيًّا مقارنة بنصف قطر تكورها. تكون الأشعة المتشتتة والقادمة من الجسم التي تسقط على المرآة قريبة أكثر من المحور الرئيس عندما يكون ارتفاع المرآة قليلًا، لذلك ستتجمع تلك الأشعة في مكان قريب من المرآة فتتكوّن صورة واضحة باهتة.

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 الوهمية على حاجز. ستستقصي في هذه التجربة أثر تغيير موقع الجسم في موقع الصورة ونوعها.

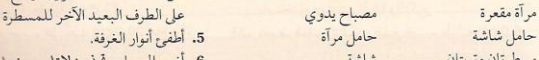
سؤال التجربة

ما الشروط الواجب توافرها لتكوين صور حقيقية وأخرى وهمية باستخدام مرآة مقعرة؟

الأهداف

- **تجمع وتنظم البيانات** الخاصة بموقعي الجسم والصورة.
- **تلاحظ** الصور الحقيقية والوهمية.
- **تلخص** شروط تكوّن الصور الحقيقية والوهمية في المرايا المقعرة.

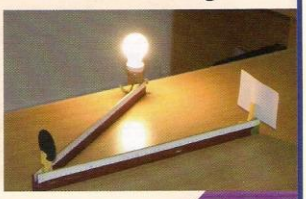
احتياطات السلامة



- 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 مثريتان	شاشة
مصباح W 15 (أو شمعة)	4 دعامات للمساطر المترية



الخطوات

1. حدّد البعد البؤري للمرآة المقعرة المستخدمة باتباع الخطوات التالية: **تحذير:** لا تستخدم أشعة الشمس لتنفيذ هذه الخطوة. ضع المصباح على مسافة بعيدة ثم اعكس ضوءه عليها مع تحريك الشاشة ببطء نحو المرآة أو بعيدًا عنها حتى تحصل أصغر على 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 المثريتين 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.

الزمن المقدر حصة مختبر واحدة.

المهارات العملية التجربة، والملاحظة والقياس، وجمع البيانات وتنظيمها.

احتياطات السلامة ذكر الطلاب بما يأتي: التعامل مع المرايا بعناية؛ لأن حوافها الحادة قد تؤذيهم، وأن زجاجة المصباح قد تسخن جدًّا وقد تحرق الجلد، وعدم النظر مباشرة إلى أشعة الشمس المنعكسة عن المرآة، وعدم استخدام مرآة مقعرة كبيرة لتركيز ضوء الشمس، وأن يكونوا حذرين أيضاً إذا تم استخدام شمعة .

المواد البديلة يمكن أن تحل الشمعة محل المصباح.

استراتيجيات التدريس

- **ذكر الطلاب بعدم النظر مباشرة إلى أشعة الشمس أو انعكاس ضوء الشمس في اتجاه عيون الآخرين.**
- **يمكن أن نضطر لتحريك المرايا إلى الأمام والخلف عدة مرات بهدف تحديد أفضل موقع ممكن للصورة d_i.**

التحليل

تعتمد الإجابات المحتملة على عينة البيانات مثل: f=40 cm ، d_i=65 cm ، d_o=95 cm.

1. $\frac{1}{d_o}=\frac{1}{95}\,cm^{-1}=1.1\times10^{-2}\,cm^{-1}$

$\frac{1}{d_i}=\frac{1}{65}\,cm^{-1}=1.5\times10^{-2}\,cm^{-1}$

2. $\frac{1}{d_o}+\frac{1}{d_i}=2.6\times10^{-2}\,cm^{-1}$

$f_{\text{عينة}}=\frac{1}{2.6\times10^{-2}\,cm^{-1}}=39\,cm$

3. النسبة المئوية للخطأ

$\%\ error=\frac{40-39}{40}\times100\%=2.5\%$

عينة بيانات

f= 40 cm

خطوة 7- لا تتكون صورة.

خطوة 8- تتكون صورة وهمية في المرآة.

المحاولة	d_o (cm)	d_i (cm)	h_o (cm)	h_i (cm)
1	95	65	1	0.7
2	85	76	1	0.9
3	50	185	1	3.7
4	40	لا تقاس	1	لا يقاس
5	30	لا تقاس	1	لا يقاس

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})	$f_{\text{مرب}}$ (cm)	النسبة المئوية للخطأ (%)
1					
2					
3					
4					
5					

حرّك المصباح في اتجاه المرآة بحيث يصبح على بُعد يساوي ضعفي البعد البؤري $d_o = 2f$، وسجّل قيمة d_o في المحاولة 2. ثم حرّك الشاشة حتى تتكوّن صورة عليها، ثم قس d_i، و h_i وسجّلهما في المحاولة 2.

حرّك المصباح في اتجاه المرآة 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.

حرّك المصباح بحيث تصبح $d_o = f$، وسجّل ذلك في المحاولة 4، ثم حرّك الشاشة إلى الأمام والخلف محاولًا الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟

حرّك المصباح بحيث تصبح $d_o < f$، وسجّل ذلك في المحاولة 5. ثم حرّك الشاشة إلى الأمام والخلف محاولا الحصول على صورة. ماذا تلاحظ؟

التحليل

استعمل الأرقام احسب $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّلهما في جدول الحسابات.

استعمل الأرقام احسب مجموع $\frac{1}{d_o}$ و $\frac{1}{d_i}$، وسجّل النتيجة في جدول الحسابات. ثم احسب مقلوب كل نتيجة من هذه النتائج، وسجّله في جدول الحسابات في عمود $f_{\text{مرب}}$.

تحليل الخطأ قارن البعد البؤري التجريبي، $f_{\text{مرب}}$، بالبعد البؤري المقبول بإيجاد النسبة المئوية للخطأ.

$$\text{الخطأ النسبي} = \frac{\text{القيمة المقبولة} - \text{القيمة التجريبية}}{\text{القيمة المقبولة}} \times 100\%$$

$$\%\ \text{error} = \left(\frac{f - f_{\text{مرب}}}{f}\right) \times 100\%$$

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 وهمية؟

التوسع في البحث

1. ما الشروط اللّازم تحقيقها حتى تكون 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 المقراب (التلسكوب) ذي المرآة المقعرة؟

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية

لمزيد من المعلومات حول الضوء ارجع إلى الموقع الالكتروني:
obeikaneducation.com

الاستنتاج والتطبيق

1. في المحاولات من 3 -1 تتكوّن صورة حقيقية. أما في المحاولة 4 فلا تتكوّن صورة. في حين في المحاولة 5 تتكوّن صورة وهمية.
2. تتكون صور حقيقية عندما يكون بُعد الجسم عن المرآة أكبر من البعد البؤري.
3. تتكون صور وهمية عندما يكون بُعد الجسم عن المرآة أقل من البعد البؤري.

التوسع في البحث

1. تتكون صور أكبر من الجسم، عندما يقع الجسم بين المرآة ومركز تكورها.
2. ستختلف الإجابات. من مصادر الخطأ تحديد البعد البؤري للمرآة بدقة. قد يذكر الطلاب أنه سيكون مفيدًا الحصول على مرآة أكبر، ونظيفة، أو خالية من أية خدوش. والمرآة ذات السطح الأمامي الفضي تكون ذات جودة عالية. وسيكون من الصعب أيضًا تحديد أين تقع الصورة الأكثر وضوحًا والأكثر حدّة بدقة.

الفيزياء في الحياة

الأشعة الضوئية القادمة من النجوم أو الكواكب البعيدة جدًّا تصل متوازية، وتكون موازية للمحور الرئيس لذلك ستكون الصورة المتكوّنة حادة وواضحة.

تجربة استقصاء بديلة

لتحويل هذه التجربة إلى تجربة استقصائية اطلب إلى الطلاب تطوير إجراءاتهم الخاصة لتحديد البعد البؤري واستقصاء الصور المتكوّنة بوساطة المرايا الكروية. واطلب إليهم استخدام مواد وأدوات متوافرة مثل: مرآة مقعرة بعدها البؤري 10 cm، ومرآة محدبة بعدها البؤري 10 cm، وحاملات مرايا، وشمعة أو مصدر ضوء، وشاشة، ومسمار مثبت في قاعدة فيها شق؛ لتطبيق ما يعرفونه في تكون صور بوساطة العدسات.

الخلفيّة النظرية

تغلّب تلسكوب هابل الفضائي على مشكلة التشوه الناتج عن الغلاف الجوي. ويمكن لتلسكوب مزود بنظام بصري على سطح الأرض أن يزودنا بصور تماثل جودة الصور التي يزودنا بها تلسكوب هابل أو أفضل منها.

تكون موجات الضوء القادمة من مصدر ضوئي نقطي بعيد جدًّا متوازية، ولكن الغلاف الجوي يُحدث تشوّهًا للصورة بسبب الانحراف القليل للموجات؛ بحيث تبدو أنها غير متوازية. وبتغيير شكل المرآة تصبح الموجات متوازية مرة أخرى.

استراتيجيات التدريس

- تسبب تيارات الحمل للهواء الساخن تلألؤ النجوم مما يجعل الصورة تتموج. يمكن توضيح ذلك في المختبر بوساطة إشعال مصدر لهب والسماح للطلاب بالنظر عبر سطح اللهب.
- هناك عدة أماكن على الأرض لا تظهر فيها السماء معتمة لفترة طويلة، لذا قد لا يستطيع الطلاب هناك رؤية النجوم المتلألئة أبدًا. نظّم رحلة مسائية قصيرة إلى إحدى المناطق المفتوحة في ليلة صافية خلال أشهر الشتاء. وينصح باستخدام تلسكوب صغير أو منظار ميدان (ثنائي العين). ويمكن الحصول على المساعدة اللازمة من الجمعية الفلكية السعودية.

نشاط

نظام بصري قابل للتكيف محلي الصنع

ركب مرآة قابلة للتكيف باستخدام طوق تطريز وشريحة مطلية بالمعدن أو بالون من رقائق معدنية رقيقة. ثم شتت حزمة أشعة ليزر بتسليطه في اتجاه سطح لامع. ثم وجّه أشعة الليزر المشتتة في اتجاه شاشة مستخدمًا مرآة مرنة. ثم عدل المرآة بلطف حتى تقلل من مقدار تشتت الأشعة.

Adaptive Optical Systems الأنظمة البصرية المتكيفة

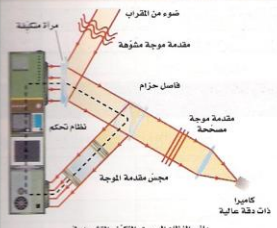
يصعب ملاحظة الأجسام الموجودة في الفضاء من الأرض لأنها براقة ومتلألئة؛ حيث تؤدي حركة الغلاف الجوي والتسخين غير المتساوي له، إلى انكسار الضوء القادم من تلك الأجسام بصورة فوضوية، ويمكن تشبيه ذلك بمحاولة النظر إلى جسم صغير من خلال الجزء السفلي لبطرمان فارغ مصنوع من الزجاج الشفاف في أثناء تدويره.

المرآة المتكيفة المرنة يعوّض النظام البصري المتكيّف AOS باستمرار التشوهات الناجة 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 بوساطة 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 بوساطة 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 المقراب والنجم، وستعكس صورة واضحة نحو المراقب أو الكاميرا.

مجس مقدمة الموجة يُوجَّه مجس مقدمة الموجة نحو نجم واحد خلال المقراب 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 بوساطة الحاسوب.

إذا كانت الصورة لا تقع خلف مجموعة العدسات الخاصة بها تمامًا فإن برمجيّات الحاسوب تميّز أن موجات النجم الضوئية تكون مشتتة بفعل الغلاف الجوي. لاحظ أن النجم يمثل مصدرًا ضوئيًّا نقطيًّا بعيدًا، لذا فإنه يُنتج موجات مستوية.



يظهر النظام البصري المتكيف التشويه في صورة لبيتان—أكبر أقمار زحل

تلسكوب كيك الذي يستخدم النظام البصري المتكيف | 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.

التوسع

1. تطلق المراصد الفلكية شعاع ليزر قويًّا نحو الفضاء ليبدو كأنه نجم اصطناعي.
2. تنعكس حزمة الليزر الخافتة عن الجزء الحساس في العين (شبكية العين). يمكن استخدام كل من جهازي كاشف الموجة والحاسوب لتحديد كيف تعمل العين على تشويه الحزمة. قد يتمكن علماء البصريات يوما ما من صنع نظارات لتصحيح التشويه.

10-1 الانعكاس عن المرايا المستوية Reflection from Plane Mirrors

المفردات

- انعكاس منتظم
- انعكاس غير منتظم
- مرآة مستوية
- جسم
- صورة
- صورة وهمية

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 وهميّة دائمًا، وحجمها يساوي حجم الجسم نفسه، ولها اتجاه الجسم نفسه، وبعدها عن المرآة يساوي بُعد الجسم عن المرآة.

$$d_i = d_o \quad h_i = h_o$$

10-2 المرايا الكروية Curved Mirrors

- المرآة المقعّرة
- المحور الرئيس
- البؤرة
- البعد البؤري
- الصورة الحقيقية
- الزوغان (التشوّه) 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 امتداديها 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.

$$m = \frac{h_i}{h_o} = \frac{-d_i}{d_o}$$

- تُكوّن المرآة المقعرة صورة حقيقية ومقلوبة عندما يكون بُعد الجسم أكبر من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المقعرة صورة وهمية ومعتدلة عندما يكون بُعد الجسم أقل من البعد البؤري.
- تُكوّن المرآة المحدبة دائمًا صورة وهمية 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 بحجوم وأوضاع ومواقع مختلفة حسب الحاجة أو الرغبة. ويُعدّ المقراب (التلسكوب) الاستخدام الأكثر شيوعًا لمثل هذه التراكيب.

الفصل 10
دليل الدراسة

المفاهيم الرئيسة

يمكن أن يستخدم الطلاب العبارات التلخيصية لمراجعة المفاهيم الرئيسة في الفصل.

الفيزياء عبر المواقع الإلكترونية
قم بزيارة الموقع الالكتروني:
www.obeikaneducation.com

التقويم

خريطة المفاهيم

26. انظر إلى دليل حلول المسائل.

إتقان المفاهيم

27. عندما تسقط أشعة متوازية على سطح أملس فإنها تنعكس عنه بحيث تكون متوازية بعضها بالنسبة إلى بعض أيضا، والناتج هو صورة طبق الأصل للأشعة الساقطة. أما عندما تنعكس الأشعة عن سطح خشن فإنها تنعكس مشتتة في اتجاهات مختلفة، لذلك لا تتكون صورة للمصدر.

28. أي خط متعامد على السطح عند أي نقطة.

29. تقع الصورة على الخط المتعامد على المرآة وتقع خلف المرآة على بعد مساوٍ لبعد الجسم الموضوع أمام المرآة.

30. المرآة المستوية عبارة عن سطح مستوٍ مصقول ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. وتكون الصورة المتكوّنة بواسطة المرآة المستوية وهمية، ومعتدلة، ومعكوسة جانبيًّا، وبعدها عن المرآة مساويًا لبعد الجسم عن المرآة وتقع خلفها.

31. لا، فالأشعة لا تتجمع لتكوّن الصورة الوهمية. لا تتكون صورة والطالب لا يلتقط صورة. تتكوَّن الصور الوهمية تتكون خلف المرآة.

32. ضع قطعة من ورقة مستوية أو فيلم فوتوجرافي في موقع الصورة، وسوف تكون قادرًا على تجميع الصورة.

33. الأشعة الضوئية المتوازية والموازية للمحور الرئيس والتي تسقط على حواف المرآة المقعرة الكروية لا تنعكس مارة بالبؤرة. ويسمى هذا التأثير الزوغان الكروي.

34. $C = 2f$

35. التكبير يساوي سالب بُعد الصورة مقسومًا على بُعد الجسم عن المرآة.

36. تستخدم المرايا المحدبة للنظر إلى الخلف في السيارات لأنها توفر مدى واسعاً للرؤية مما يساعد السائق على رؤية مساحة أكبر من التي توفرها المرايا العادية للمشاهد الخلفية بالنسبة للسائق.

37. لأنها تشتت الأشعة الضوئية دائمًا.

تطبيق المفاهيم

38. تنعكس كمية أقل من الضوء عن الطريق المبتلة نحو السيارة.

39. الصفحات الملساء والمصقولة تعكس الضوء بتشتت أقل من الصفحات الخشنة لذلك ينتج عن الصفحات الملساء وهج أكبر.

40. ستتكون الصورة عند مركز التكور C، وستكون مقلوبة وحقيقية ومساوية لحجم الجسم.

41. ستتكون الصورة بين C و F وستكون مقلوبة وحقيقية وأصغر من الجسم.

42. يتعين عليك استعمال مرآة قطع مكافئ للتخلص من الزوغان الكروي.

43. يوضع الجسم خلف البؤرة لتتكوّن صورة حقيقية.

44. تستخدم مرآة مقعرة بحيث يوضع الجسم خلف مركز التكور أو تستخدم مرآة محدبة ويوضع الجسم في أي نقطة أمامها.

خريطة المفاهيم

26. أكمل خريطة المفاهيم باستخدام المصطلحات التالية: محدبة، معتدلة، مقلوبة، حقيقية، وهمية.

إتقان المفاهيم

27. كيف يختلف الانعكاس المنتظم عن الانعكاس غير المنتظم؟

28. ماذا يقصد بالعبارة "العمود المقام على السطح"؟

29. أين تقع الصورة التي تكوّنها المرآة المستوية؟

30. صف خصائص المرآة المستوية؟

31. يعتقد طالب أن فيلمًا فوتوجرافيًّا حسّاس جدًّا يمكنه الكشف عن الصورة الوهمية، فوضع الطالب الفيلم في موقع تكوّن الصورة الوهمية. 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؟

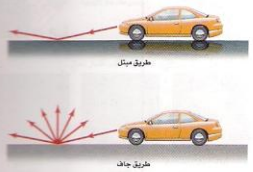
35. إذا عرفت بُعد الصورة وبُعد الجسم عن مرآة كروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير هذه المرآة؟

36. لماذا تستخدم المرايا المحدّبة على أنها مرايا مخصّصة للنظر إلى الخلف؟

37. لماذا يستحيل تكوين صور حقيقية بواسطة المرآة المحدبة؟

تطبيق المفاهيم

38. **الطريق المبتلّة** تعكس الطريق الجافة الضوء بتشتّت أكبر من الطريق المبتلّة. بالاعتماد على الشكل 16-10، اشرح لماذا تبدو الطريق المبتلّة أكثر سوادًا من الطريق الجافة بالنسبة للسائق؟



الشكل 16-10

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. **المقراب (التلسكوب)** إذا احتجت إلى مرآة مقعرة كبيرة لصنع مقراب يكوّن صورًا ذات جودة عالية فهل تستخدم مرآة كروية أم مرآة قطع مكافئ؟ وضّح ذلك.

43. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة حقيقية بوساطة مرآة كروية مقعرة؟

44. ما الشروط اللازم توافرها لتكوين صورة مصغرة بوساطة مرآة كروية محدبة أو مقعرة؟

43. صف خصائص الصورة التي كوّنتها المرآة المحدبة الموضّحة في الشكل 17–10.

الشكل 17–10

44. **المرايا المستخدمة للرؤية الخلفية** يُكتب على مرايا السيارة الجانبية المستخدمة في النظر إلى الخلف التحذير التالي: "الأجسام في المرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرايا؟ وبمَ تمتاز عن غيرها؟

إتقان حل المسائل

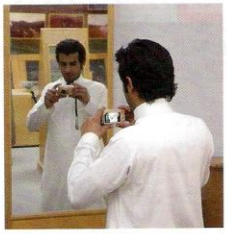
10–1 الانعكاس عن المرايا المستوية

45. سقط شعاع ضوئي بزاوية 38° مع العمود المقام عند نقطة السقوط. ما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام؟

46. إذا سقط شعاع ضوئي بزاوية 53° مع سطح المرآة، فأوجد ما يلي:
   a. مقدار زاوية الانعكاس.
   b. مقدار الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس.

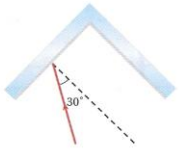
47. ارسم مخطّط أشعة لمرآة مستوية تبين فيه أنه إذا أردت رؤية نفسك من قدميك حتى قمة رأسك فإنه يجب أن يكون طول المرآة المستخدمة على الأقل يساوي نصف طولك.

50. **الصورة في المرآة** أراد طالب أن يلتقط صورة لصورته في مرآة مستوية كما في الشكل 18–10. فإذا كانت الكاميرا على بعد 1.2 m أمام المرآة. فعلى أي بعد يجب أن يركز عدسة الكاميرا لالتقاط الصورة؟



الشكل 18–10

51. يبين الشكل 19–10 مرآتين مستويتين متجاورتين بينهما زاوية 90°، فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية سقوط 30°، فأجب عما يلي:
   a. ما زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الأخرى؟
   b. البريسكوب العاكس هو أداة تعكس الأشعة الضوئية في اتجاه معاكس وموازٍ لاتجاه الأشعة الضوئية الساقطة. ارسم مخطّطًا يبين زاوية السقوط على إحدى المرآتين بحيث يعمل نظام المرآتين عمل عاكس.



الشكل 19–10

التقويم

45. توفر المرآة المحدبة صورا مصغرة وهمية ومعتدلة وأقرب إلى المرآة من الجسم.

46. مرايا محدبة، وتمتاز بأنها توفر مدى أوسع للرؤية.

إتقان حلّ المسائل

10–1 الانعكاس عن المرايا المستوية

47. 38.0°

48. a. 37.0° b. 74.0°

49. يسقط الشعاع القادم من قمة الرأس على سطح المرآة عند نقطة تساوي منتصف المسافة بين قمة الرأس والعينين، ويسقط الشعاع القادم من القدمين على المرآة عند نقطة تساوي منتصف المسافة بين القدمين والعينين، وتمثّل المسافة بين النقطتين على المرآة نصف الطول الكلي.

50. الصورة على بُعد 1.2 m خلف المرآة، لذلك يجب أن توضع عدسة الكاميرا على بُعد 2.4 m.

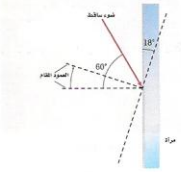
51. a. الانعكاس عن المرآة الأولى: 30°.
وعن المرآة الثانية: 60°.

b. تكون زاوية السقوط على المرآة الأولى 45.0°.

تقويم الفصل 10

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 20-10**، فما الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع المرآة؟

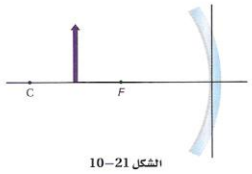


الشكل 20-10

10-2 المرايا الكروية

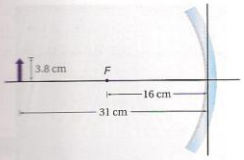
54. **بيت الألعاب** يقف طالب بالقرب من مرآة محدبة في بيت الألعاب، فلاحظ أن صورته تظهر بطول 0.60 m. فإذا كان تكبير المرآة $\frac{1}{3}$ فما طول الطالب؟

55. صف الصورة المتكوّنة للجسم في **الشكل 21-10**، مبيّنًا هل هي حقيقية أم وهمية، مقلوبة أم معتدلة، وهل هي أقصر من الجسم أم أطول منه؟



الشكل 21-10

56. احسب بُعد الصورة وارتفاعها للجسم الموضح في **الشكل 22-10**.



الشكل 22-10

57. **صورة نجم** جُمع الضوء القادم من نجم بوساطة 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؟

التقويم

62. a. انظر إلى دليل حلول المسائل

b. 4.0 cm

c. −8.0 cm

مراجعة عامة

63. 62°

64. انظر إلى دليل حلول المسائل.

طول الصورة : 1.0 cm

بُعد الصورة : 2.7 cm

65. −6.9 cm

66. a. 22.9 cm

b. −1.8 cm

67. −72.0 cm

68. 58.0 cm

69. a. −1.5 m

b. 0.38 m

70. a. الصورة المكبرة المعتدلة تتكون فقط في المرآة المقعرة والجسم موضوع على بعد أقل من البعد البؤري.

b. 32 mm

71. انظر إلى دليل حلول المسائل.

72. انظر إلى دليل حلول المسائل.

البعد البؤري يساوي −12.0 cm

تقويم الفصل 10

56. تسقط أشعة الشمس على مرآة مقعرة وتكوّن صورة على بُعد 3 cm من المرايا. فإذا وضع جسم طوله 24 mm على بُعد 12 cm من المرآة:

a. فارسم مخطّط الأشعة لتحديد موضع الصورة.

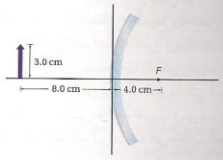
b. استخدم معادلة المرايا لحساب بُعد الصورة.

c. ما طول الصورة؟

مراجعة عامة

65. سقط شعاع ضوئي على مرآة مستوية بزاوية 28°، فإذا حُرّك مصدر الضوء بحيث زادت زاوية السقوط بمقدار 34°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

66. انقل الشكل 23–10 إلى دفترك، ثم ارسم أشعة على الشكل لتحديد طول الصورة المتكوّنة وموقعها.



الشكل 23–10

67. وضع جسم على بُعد 4.4 cm أمام مرآة مقعرة، نصف قطر تكوّرها 24.0 cm. أوجد بُعد الصورة باستخدام معادلة المرايا.

68. 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.

69. تُستخدم مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها نصف حجم الجسم على بُعد 36 cm خلف المرآة. ما البعد البؤري للمرآة؟

70. ما نصف قطر تكوّر مرآة مقعرة تُكبّر 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 المتكوّنة لزبون يقف أمام المرآة على بُعد 6.5 m منها.

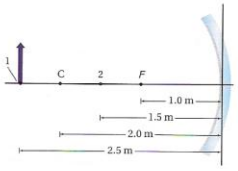
b. طول صورة زبون طوله 1.7 m.

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 24–10** من الموقع 1 إلى الموقع 2. انقل الشكل إلى دفترك، ثم ارسم أشعة تبين كيف تتغير الصورة.



الشكل 24–10

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.

تقويم

التفكير الناقد

73. عندما تكون الكرة خلف النقطة C، تكون الصورة أصغر من الكرة وحقيقية، وعندما تكون الكرة في مركز التكور C يكون حجم صورة الكرة مساويًا لحجم الكرة. و كلما تدحرجت الكرة نحو المرآة سيزداد حجم صورة الكرة. ويستمر حجم الصورة في الازدياد حتى تختفي صورة الكرة وعندها تكون الكرة في البؤرة F. وبعد تعدي F تصبح الصورة وهمية و مكبرة و معتدلة.

74. 11 cm

75. a. توضع المرآة المحدبة لتعترض الأشعة القادمة من المرآة المحدبة قبل أن تتجمع. وتعمل المرآة المحدبة على جعل نقطة التجمع في الاتجاه المعاكس للبعد البؤري الأصلي للمرآة الابتدائية أي في اتجاه المرآة المقعرة، وتزيد من المسافة الكلية التي يقطعها الضوء قبل تجمّعه. وهذه العملية تزيد بشكل فعّال البعد البؤري مقارنة باستخدام المرآة المقعرة فقط، لذا تزيد من التكبير الكلي.

b. مقلوبة، في كل مرة تتقاطع الأشعة الضوئية تكون الصور مقلوبة.

الكتابة في الفيزياء

76. ستختلف إجابات الطلاب.

77. ستختلف إجابات الطلاب.

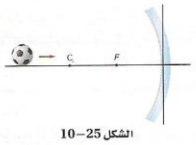
مراجعة تراكمية

78. $T_{\text{القمر}} = 7.0\ \text{s}$، $T_{\text{الأرض}} = 2.8\ \text{s}$

79. يمكن أن تتداخل الموجات، وتُجمع ثم يقطع بعضها بعضًا دون أن تتأثر. وفي هذه الحالة ستحتفظ الموجات بالمعلومات الخاصة بألوانها عندما يعبر بعضها بعضًا.

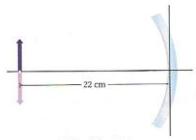
التفكير الناقد

73. **تطبيق المفاهيم** تتدحرج الكرة في الشكل 25-10 ببطء إلى اليمين نحو المرآة المقعرة. صف كيف يتغيّر حجم صورة الكرة في أثناء تدحرجها نحو المرآة.



الشكل 25-10

74. **التحليل والاستنتاج** وضع جسم على بُعد 22 cm من مرآة مقعرة، كما في الشكل 26-10. ما البعد البؤري للمرآة؟



الشكل 26-10

75. **التحليل والاستنتاج** يستخدم ترتيب بصري في بعض التلسكوبات يُسمى (تركيز كاسيجرين) كما في الشكل 27-10. ويستخدم هذا التلسكوب مرآة محدبة ثانوية توضع بين المرآة الابتدائية وبؤرتها. أجب عما يلي:

الشكل 27-10

a. تكوّن المرآة المحدبة المفردة صورًا وهمية 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 المقراب العاكس. ويمكنك الكتابة في الطرائق التي يستخدمها الفلكي المبتدئ الذي يصنع مقرابه 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. ما الزمن الدوري لبندول طوله 2.0 m على سطح القمر؟ علمًا بأن كتلة القمر $7.34 \times 10^{22}\ \text{kg}$ ونصف قطره $1.74 \times 10^{6}\ \text{m}$، وما الزمن الدوري لهذا البندول على سطح الأرض؟

79. وضع مرشّحان ضوئيّان على مصباحين يدويين بحيث يُنفّذ أحدهما ضوءًا أحمر، ويُنفّذ 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.

اختبار مقنن

سئلة اختيار من متعدد

ختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:

1. أين يجب وضع جسم بحيث تكوّن 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؟

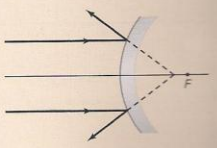
(A) 23 cm (C) 44 cm
(B) 32 cm (D) 46 cm

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) جميع المرايا الكروية
(B) جميع مرايا القطع المكافئ
(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

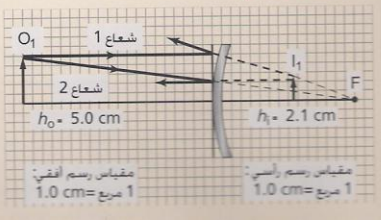
عندما تعرف طريقة حل المسألة فحلّها قبل أن تنظر إلى خيارات الإجابة، ويكون هناك على الأغلب أكثر من خيار يبدو جيدًا، لذا أجرِ الحسابات أولاً، وزوّد نفسك بالإجابة قبل النظر إلى الخيارات.

أسئلة اختيار من متعدد

1. D	2. C	3. D
4. A	5. D	6. D
7. A	8. C	

الأسئلة الممتدة

9. $h_i = 2.1$ cm



اختبار مقنن الفصل 10–

سلّم تقدير

يمثّل الجدول الآتي نموذجًا لسلم تقدير إجابات الأسئلة الممتدة.

العلامات	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملاً لموضوع الفيزياء الذي يدرسه، فيمكن أن تتضمّن الاستجابة أخطاءً ثانوية لا تعيق إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا للمواضيع الفيزيائية التي درسها، والاستجابة صحيحة وتظهر فهمًا أساسيًّا، لكن دون الفهم الكامل للفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًّا للمواضيع الفيزيائية، وربما يكون قد استعمل الطريقة الصحيحة للوصول إلى الحلّ، أو قدّم حلًّا صحيحًا، لكن العمل يفتقر إلى استيعاب المفاهيم الفيزيائية الرئيسة.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًّا للمواضيع الفيزيائية، والاستجابة غير تامة (ناقصة)، وتظهر أخطاء كثيرة.
0	يقدّم الطالب حلًّا غير صحيح تمامًا، أو لا يستجيب على الإطلاق.