الإمارات العربية المتحدة
وزارة التربية والتعليم

عام التسامح

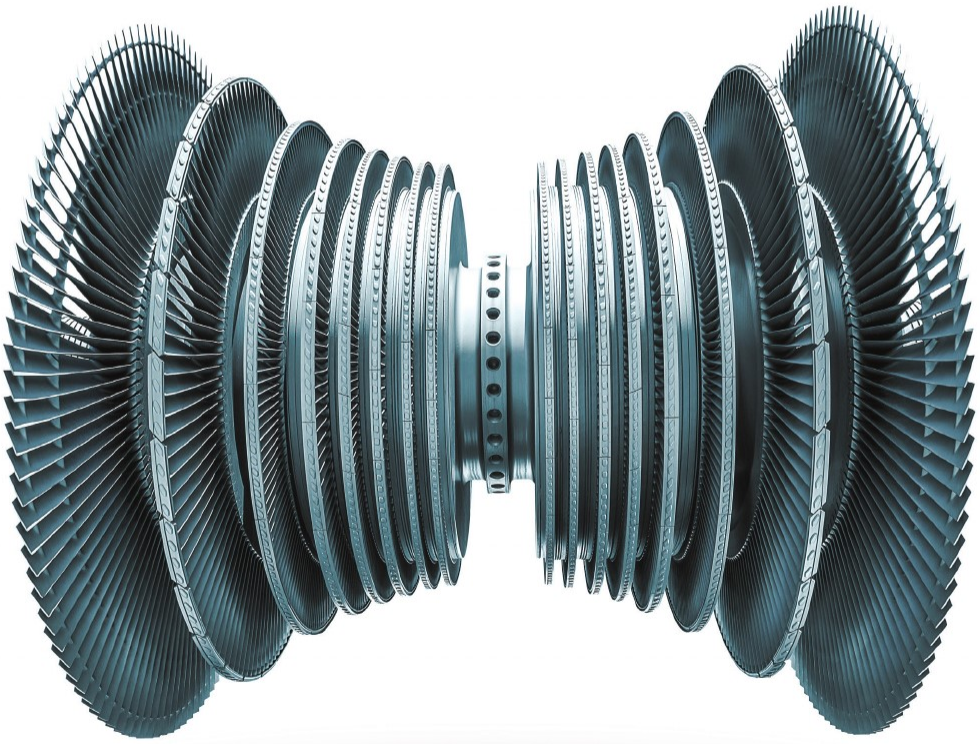
العام
2018 - 2019

10

McGraw-Hill Education

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة



Mc Graw Hill Education

McGraw-Hill Education

الفيزياء

نسخة الإمارات العربية المتحدة

للصف 10 العام

مجلد 3

صاحب السّمو الشّيخ خليفة بن زايد آل نهيان
رئيس دولة الإمارات العربيّة المتّحدة، حفظه الله

"يجب التزوّد بالعلوم الحديثة والمعارفِ الواسعة، والإقبال عليها
بروح عالية ورغبة صادقة؛ حتى تتمكّن دولة الإمارات خلال
الألفيّة الثّالثة من تحقيق نقلة حضاريّة واسعة."

من أقوال صاحب السّمو الشّيخ خليفة بن زايد آل نهيان

موجز المحتويات

1 مدخل إلى علم الفيزياء
2 تمثيل الحركة
3 الحركة المتسارعة
4 القوى في بُعد واحد
5 الإزاحة والقوة في بُعدين
6 أساسيات الضوء
7 الانعكاس والمرايا
8 الانكسار والعدسات

موارد الطالب

Chapter Sourced from: FM_Front Matter, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017 McGraw-Hill Education مؤسسة لصالح محفوظة © والتأليف الطبع حقوق

جدول المحتويات

تبدأ كل وحدة بتجربة استهلالية، وهي تحقيق مختبري تمهيدي مصمَّم لتقديم المفاهيم التي تشتمل عليها تلك الوحدة. التجارب المصغرة تحقيقات قصيرة يمكنها تحسين فهمك لمحتوى الفيزياء. وستجد أيضًا مختبر فيزياء أو أكثر في كل وحدة يوفّر فرصًا للمزيد من التحقيقات المتعمقة.

الوحدة 1

مدخل إلى علم الفيزياء 2

القسم 1 المنهج العلمي 4
القسم 2 الرياضيات والفيزياء 10
القسم 3 القياس 14
القسم 4 تمثيل البيانات بيانيًّا 18
الفيزياء إنه شيء ممتع! الرسوم المتحركة 24

تجربة استهلالية الكتلة والأجسام الساقطة
تجارب مصغرة قياس التغيّر
إلى أي مدى تقريبًا؟
مختبر الفيزياء الدليل في الدم
الكتلة والحجم
استكشاف الأجسام المتحركة

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 2

تمثيل الحركة 32

القسم 1 تصوير الحركة 34
القسم 2 الموقع والزمن 37
القسم 3 التمثيل البياني للحركة 41
القسم 4 السرعة 46
نظرة عن كثب هل لديك الزمن الكافي؟ 52

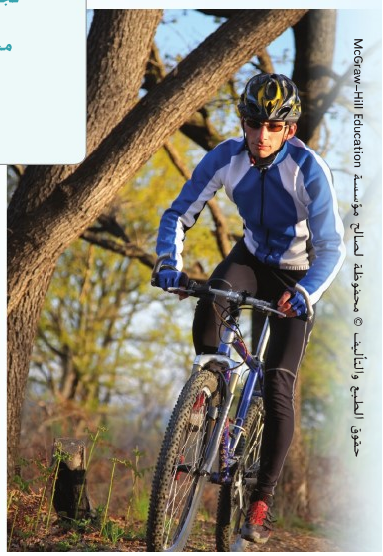
تجربة استهلالية سباق السيارات اللعبة
تجارب مصغرة نماذج للمتجهات
متجهات السرعة المتجهة
مختبر الفيزياء مخططات الحركة
السرعة الثابتة
قياس السرعة المتجهة

الوحدة 3

الحركة المتسارعة 58

القسم 1 التسارع 60
القسم 2 الحركة بتسارع ثابت 68
القسم 3 السقوط الحر 75
الفيزياء إنه شيء ممتع! ألعاب الإثارة بمدينة الملاهي 80

تجربة استهلالية الرسم البياني للحركة
تجارب مصغرة سباق الكرة الفولاذية
السقوط الحر
مختبر الفيزياء التسارع
حركة الكرة المقذوفة
قياس التسارع
تسارع السقوط الحر



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

جدول المحتويات

الوحدة 4

القوى في بُعد واحد **88**

القسم 1 القوة والحركة 90

القسم 2 الوزن والقوة المعيقة 100

القسم 3 القانون الثالث لنيوتن 106

الحدود في **الفيزياء** أسرع من الصوت 112

تجربة استهلالية القوى في اتجاهين متضادين

تجارب مصغرة الكتلة والوزن

مظلة مقلوبة

مختبر الفيزياء القوى في المصعد

السرعة الحدية

قانون نيوتن الثالث

الوحدة 5

الإزاحة والقوة في بُعدين **120**

القسم 1 المتجهات 122

القسم 2 الاحتكاك 130

القسم 3 القوة في بُعدين 136

أثناء **العمل** المجازفة 142

تجربة استهلالية جمع المتجهات

تجارب مصغرة قوة التوازن

القوى على سطح مائل

مختبر الفيزياء حادث صدم وهروب

معامل الاحتكاك

التزلج على منحدر

الاحتكاك على سطح مستوٍ

القوى العمودية

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة
6

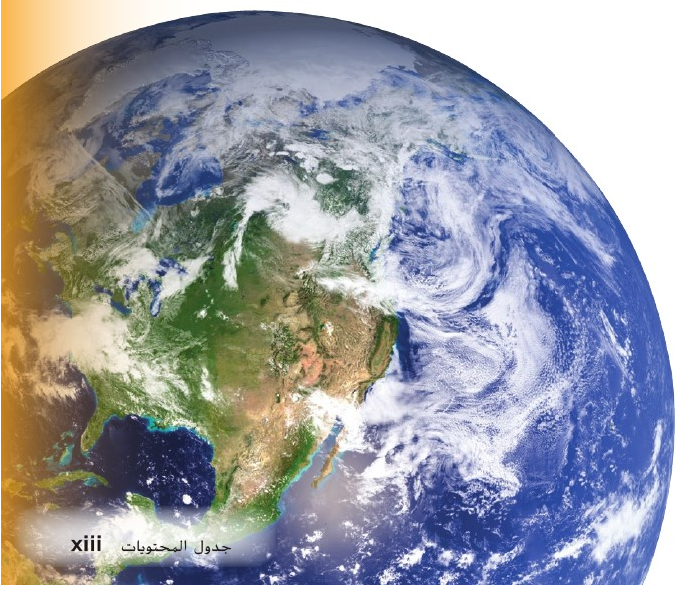
أساسيات الضوء 150

القسم 1 الاستضاءة 152
القسم 2 الطبيعه الموجية للضوء 161
الفيزياء إنه شيء ممتع! التعرف على البعد الثلاثي 170

تجربة استهلالية مسار الضوء

تجارب مصغرة
سرعة الضوء
اللون عن طريق درجة الحرارة
استقطاب الضوء المنعكس

مختبر الفيزياء
قياس ضوء الأشعة فوق البنفسجية
شدة الضوء والمسافة
طيف كامل من الاحتمالات
الاستقطاب
تقليل الوهج



حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

جدول المحتويات

الوحدة 7

الانعكاس والمرايا 176

القسم 1 المرايا المستوية 178

القسم 2 المرايا الكروية 185

الحدود في **الفيزياء** البحث عن كواكب خارج النظام الشمسي 196

تجربة استهلالية الصور المنعكسة من المرايا

تجارب مصغرة موقع الصورة الخيالية

إيجاد البؤرة

مختبر الفيزياء موقع الصورة التي تعكسها المرآة

القليل من الوقت للتفكر

صور المرآة المقعّرة

الوحدة 8

الانكسار والعدسات 204

القسم 1 انكسار الضوء 206

القسم 2 العدسات المحدبة والمقعرة 214

القسم 3 تطبيقات العدسات 222

نظرة عن كثب عدسات الجاذبية 226

تجربة استهلالية شكل الماصّة المكسورة

تجارب مصغرة عمل قوس المطر شخصيًا

تأثيرات تغطية العدسة

العدسات المائية

مختبر الفيزياء كيف ينكسر الضوء؟

طيف يشتمل جميع الاحتمالات

الصور المتكونة من العدسة المحدبة

العدسات المحدبة والبعد البؤري

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 7

الانعكاس والمرايا

النكرة الرئيسة تعكس كل الأسطح الضوء، إلا أنّ الأسطح الملساء تكوّن صورًا للأجسام.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الأقسام

1 المرايا المستوية

2 المرايا الكروية

تجربة استهلالية

الصور المنعكسة من المرايا

تحت أي ظروف تعكس المرآة صورة واضحة لجسم ما على الشاشة؟

محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education © محفوظ الطبع والتأليف

Chapter Sourced from: 7. Reflection and Mirrors, Chapter 17, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

المرايا المستوية

الفيزياء في حياتك

عندما تفكّر في الانعكاسات، فإن المرايا أول شيء يخطر في ذهنك على الأرجح. تُصنع المرايا عادةً من الزجاج المدعوم بطبقة رقيقة من الألمنيوم. كما تشاهد نفسك في المرآة، فإنك قد ترى نفسك أيضًا في النوافذ والماء الهادئ والفلزات البرّاقة.

الصور المنعكسة

شاهد الناس انعكاس وجوههم في ماء البحيرات والبرك الهادئة منذ آلاف السنين. ولا يكون هذا الانعكاس دائمًا واضحًا. انظر **الشكل 1**. فأحيانًا تتسبب الرياح والقوارب المارة في الماء بإحداث موجات صغيرة في الماء، ما يحول دون تكوّن انعكاس واضح للضوء.

منذ ما يقارب 4000 عام، فهم المصريون أنّ الانعكاس يتطلب سطحًا مصقولاً كما في برك الماء الهادئة، لذا استخدموا مرايا فلزية مصقولة لرؤية صورهم. في القرن السادس عشر ابتكر الحرفيون في مدينة البندقية المرايا، وذلك بوضع لوح فلزي رقيق على أحد أوجه قطعة مستوية من الزجاج. ولم يكن بالإمكان رؤية الصور بوضوح حتى العام 1857، عندما اكتشف العالم الفرنسي "جان فوكو" طريقة لطلي الزجاج بالفضة.

وتصنع المرايا الحديثة بدقة متناهية لكي يكون لها مقدرة كبيرة على عكس الضوء، وذلك بتبخير الألمنيوم أو الفضة على زجاج مصقول. وأصبحت من المكونات الرئيسة لبعض الأجهزة البصرية، كالليزر والتلسكوب. إلا أن المبادىء الفيزيائية نفسها تُطبّق للحصول على الصور من سطح ماء البرك الهادئة، والمرآة المبتكرة في القرن السادس عشر، والمرآة الصغيرة الموجودة داخل أجهزة الليزر الحديثة.

الشكل 1 تُظهر الاضطرابات الموجودة على سطح البركة أو البحيرة صورة منعكسة مشوهة.

الفكرة الرئيسة

زاوية سقوط الشعاع الضوئي تساوي زاوية انعكاسه.

الأسئلة الرئيسة

- ماذا يقصد بقانون الانعكاس؟
- ما وجه الاختلاف بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم؟
- كيف يمكن تحديد أماكن الصور التي تتكوّن في المرايا المستوية؟

مراجعة المفردات

العمود المقام normal: مستقيم متعامد على حافة المرآة أو سطحها

مفردات جديدة

انعكاس منتظم
specular reflection

انعكاس غير منتظم
diffuse reflection

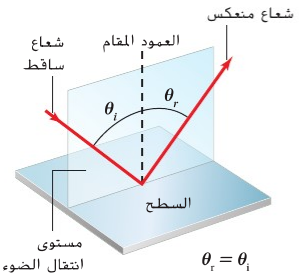
مرآة مستوية — **plane mirror**
جسم — **object**
صورة — **image**
صورة خيالية — **virtual image**

قانون الانعكاس

لكي تفهم طريقة عمل المرايا، عليك أن تفهم ماهيّة الانعكاس أولًا. ماذا يحدث للضوء الساقط على الكتاب؟ إن كنت تمسك بكتاب ووجهته إلى مسار الضوء، فستلاحظ أنّ الضوء لن يخترق الكتاب. عرفت سابقًا أنّ مثل هذه الأجسام يُسمّى بالأجسام المعتمة التي لا ينفذ منها الضوء، حيث يعكس الكتاب جزءًا من الضوء الساقط عليه، ويمتص جزءًا منه، ويتحول هذا الضوء الممتص إلى طاقة حرارية ترفع من درجة حرارة الكتاب. ويعتمد سلوك الضوء على السطح العاكس، وزاوية سقوط الضوء عليه.

تدفع كرة السلة على الأرض، سيلاحظ المراقب من الأعلى أن الكرة ترتد في خط مستقيم إلى لاعب آخر. تذكّر من دراستك عن الموجات أنه عندما تنتشر موجة في بُعدين وتصطدم بحاجز فإن زاوية سقوطها عليه تساوي زاوية انعكاسها عنه. وينطبق ذلك أيضًا على موجات الضوء.

ينعكس الضوء كما حدث في موجات الماء وكرة السلة. يوضّح **الشكل 2** شعاعًا من الضوء ساقطًا على سطح عاكس مستوٍ، وهنالك خطّ وهميّ عموديّ على السطح. يسمّى العمود المقام. ويقع كل من الشعاع الساقط والشعاع المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس. بالرغم من أنّ الضوء ينتشر في ثلاثة أبعاد، فإنّ انعكاسه يكون في مستوى واحد، أي بُعدين. وتُسمّى العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانعكاس بقانون الانعكاس.



الشكل 2 تكون زاوية انعكاس الشعاع الضوئي تساوي زاوية سقوطه ويقعان في المستوى نفسه.

دلالة الألوان

أشعة الضوء ← حمراء

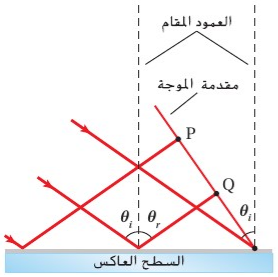
قانون الانعكاس

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

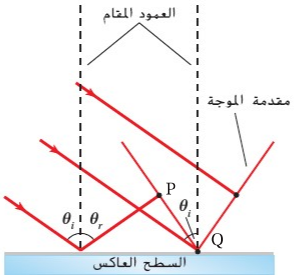
$$\theta_r = \theta_i$$

النموذج الموجي يمكننا تفسير هذا القانون من خلال النموذج الموجي للضوء. يوضّح **الشكل 3** مقدمة موجة ضوء تقترب من سطح عاكس. فعندما تصل كل نقطة على امتداد مقدمة الموجة إلى السطح العاكس تنعكس بزاوية مماثلة لزاوية انعكاس النقطة السابقة لها. وكون النقاط جميعها تنتشر بالسرعة نفسها، فإنها تقطع المسافة الكلية نفسها خلال الزمن نفسه. لذا تنعكس مقدمة الموجة كاملة عن السطح بزاوية مساوية لزاوية سقوطها. لاحظ أن الطول الموجي للضوء ليس له تأثير في ذلك، فكل من الضوء الأحمر والأخضر والأزرق يتبع قانون الانعكاس هذا.

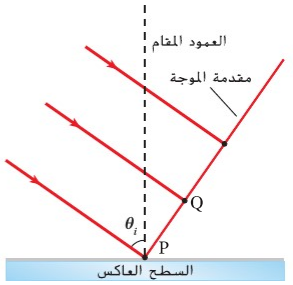
الشكل 3 تنعكس مقدمة الموجة كاملة عن السطح بالزاوية نفسها. وتساوي زاوية السقوط زاوية الانعكاس.



تنعكس كل نقاط مقدمة الموجة بالزاوية نفسها.

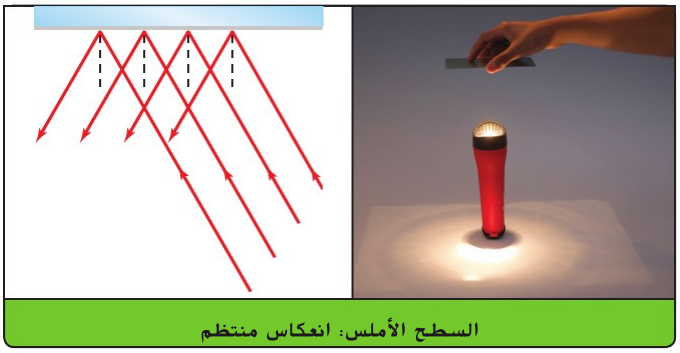


تتشكل مقدمة الموجة المنعكسة عندما تنعكس أشعة الضوء من السطح.

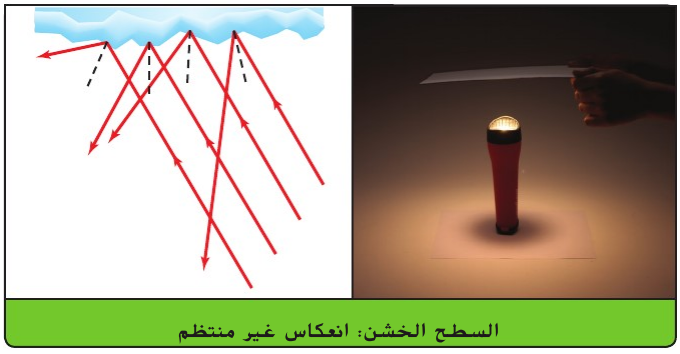


تصطدم النقطة P الموجودة في مقدمة الموجة في السطح أولًا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



السطح الأملس: انعكاس منتظم



السطح الخشن: انعكاس غير منتظم

الشكل 4 لاحظ صورة المصباح الكهربائي المنعكسة على الطاولة بواسطة مرآة ملساء، بينما يعكس سطح الورقة صورة غير واضحة لضوء المصباح.

الأسطح الملساء تأمّل أشعة الضوء الموضّحة في **الشكل 4**. لاحظ أن جميعها انعكست عن السطح بصورة متوازية، يحدث هذا فقط إن كان السطح العاكس أملس، وفق مقياس الطول الموجي للضوء. وتسبب الأسطح الملساء أو المصقولة كالمرآة **انعكاسًا منتظمًا**، أي تنعكس الأشعة الضوئية الساقطة بشكل متوازٍ في اتجاه متوازٍ.

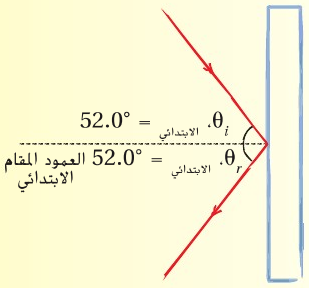
الأسطح الخشنة ماذا يحدث عندما يصطدم الضوء بورقة؟ قد تبدو هذه الورقة ملساء، لكن وفقًا لمقياس الطول الموجي الضوئي، تكون الورقة في الواقع خشنة تمامًا. هل ينعكس الضوء؟ كيف يمكنك إثبات ذلك؟ يبيّن **الشكل 4** أشعة الضوء منعكسة عن الورقة، إذ سقطت هذه الأشعة جميعها متوازية على سطح الورقة ولكنها انعكست غير متوازية. ويسمى تشتت الضوء عن سطح خشن **انعكاسًا غير منتظم**. ويساعدك هذا النوع من الانعكاس في قراءة الورقة من زوايا مختلفة.

الجدير بالذكر أنّ قانون الانعكاس ينطبق على كل من الأسطح الملساء والخشنة. ولكن في حالة السطح الخشن تكون زاوية سقوط كل شعاع مساوية لزاوية انعكاسه، وتكون الأعمدة المقامة على السطح عند مواقع سقوط الأشعة غير متوازية، لذا لا تكون الأشعة المنعكسة متوازية. لأن السطح الخشن سبّب عدم توازيها. وبالتالي لا يمكن في هذه الحالة رؤية حزمة الضوء المنعكسة، لأن الأشعة الضوئية المنعكسة تتشتت في اتجاهات مختلفة. أما في الانعكاس المنتظم، كما هو الحال في المرآة، فيمكنك رؤية وجهك. وبغض النظر عن مقدار الضوء المنعكس عن الورقة أو الحائط، فلا يمكن استعمال أي منهما كمرآة، لأنهما يشتّتان الأشعة المنعكسة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 1

تغيير زاوية السقوط اصطدم شعاع ضوئي بمرآة مستوية بزاوية مقدارها 52.0° بالنسبة للعمود المقام. إذا أُدرتَ المرآة بزاوية مقدارها 35.0° حول النقطة التي اصطدم عندها الشعاع بالمرآة بحيث قلّت زاوية سقوط شعاع الضوء، وكان محور الدوران متعامدًا مع الشعاع الساقط والشعاع المنعكس، ما مقدار زاوية دوران الشعاع المنعكس؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- ضع رسمًا تخطيطيًّا للموقف قبل دوران المرآة.
- ارسم رسمًا تخطيطيًّا مطبّقًا زاوية الدوران على المرآة.
- ارسم رسمًا تخطيطيًّا ثالثًا للأشعة المنعكسة.

المعلوم	المجهول
$\theta_{i,\text{الابتدائي}} = 52.0°$	$\Delta\theta_r = ?$
$\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35.0°$	

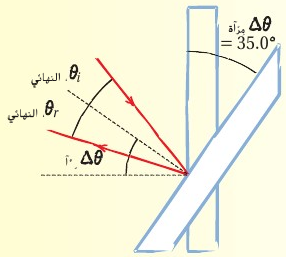
2 حساب فرق الزاوية

لكي تقل زاوية السقوط، أدر في اتجاه عقارب الساعة.

$\theta_{i,\text{النهائي}} = \theta_{i,\text{الابتدائي}} - \Delta\theta_{\text{مرآة}}$

$= 52.0° - 35.0°$ ◄ **عوّض مستخدمًا** $\theta_{i,\text{الابتدائي}} = 52.0°$، $\Delta\theta_{\text{مرآة}} = 35.0°$

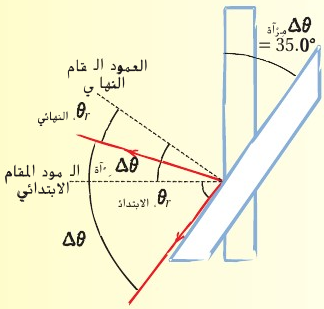
$= 17.0°$ في اتجاه عقارب الساعة من العمود المقام الجديد



تطبيق قانون الانعكاس.

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

$= 17.0°$ في عكس اتجاه عقارب الساعة من العمود المقام الجديد



▲ **عوّض مستخدمًا** $\theta_{i,\text{النهائي}} = 17.0°$

استخدم الرسومات التخطيطية لتساعدك في إيجاد الزاوية من خلال دوران الشعاع المنعكس.

$\theta_{r,\text{النهائي}} = \theta_{r,\text{الابتدائي}} + \Delta\theta_{\text{مرآة}} - \theta_{r,\text{النهائي}}$

$= 52.0° + 35.0° - 17.0°$

70.0° في اتجاه عقارب الساعة من الزاوية الأصلية

3 تقييم الإجابة

هل القيمة واقعية؟ توضّح المقارنة بين الرسم النهائي والرسم الأولي أنّ الزاوية التي يصنعها شعاع الضوء مع العمود المقام تقل عندما تدور المرآة في اتجاه عقارب الساعة. وبالتالي من المنطقي أن يدور أيضًا الشعاع المنعكس في اتجاه عقارب الساعة بزاوية أكبر مرتين من زاوية دوران المرآة.

تطبيق

1. فسّر سبب تغير انعكاس الضوء على الزجاج الخشن من انعكاس غير منتظم إلى انعكاس منتظم إذا سُكب عليه ماء.
2. كم تبلغ زاوية سقوط شعاع الضوء المنعكس عن مرآة مستوية بزاوية مقدارها 35° بالنسبة للعمود المقام؟
3. افترض أنّ زاوية سقوط شعاع ضوئي تساوي 42°. فما مقدار كل مما يلي؟
   a. زاوية الانعكاس
   b. الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع المرآة
   c. الزاوية الواقعة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس
4. سقط شعاع ضوء ليزر على مرآة مستوية بزاوية مقدارها 38° بالنسبة للعمود المقام. إن زادت زاوية السقوط بمقدار 13°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟
5. وضعت مرآتان مستويتان إحداهما عمودية على الأخرى. فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية مقدارها 60° بالنسبة للعمود المقام وانعكس باتجاه المرآة الثانية. فما مقدار زاوية انعكاس الشعاع عن المرآة الثانية؟
6. **تحفيز** إذا طُلب إليك تصميم جهاز عاكس من مرآتين مستويتين، بحيث يعكس أشعة ليزر بزاوية مقدارها 180° بغض النظر عن زاوية السقوط. ماذا ينبغي أن تكون الزاوية بين المرآتين؟

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف

الأجسام والصور في المرايا المستوية

عندما تنظر إلى مرآة مستوية، فإنك تشاهد صورتك فيها. **المرآة المستوية** هي عبارة عن سطح مستوٍ وأملس ينعكس عنه الضوء انعكاسًا منتظمًا. ولفهم كيف تكوّنت صورتك التي شاهدتها في المرآة ينبغي أن تعرف مصدر أشعة الضوء وكيف انعكست.

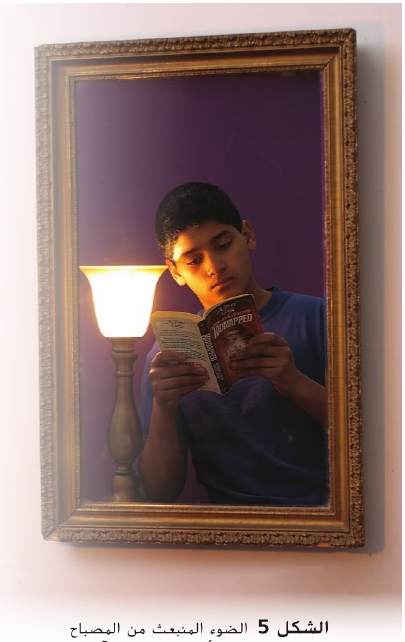
لقد استخدمت كلمة جسم في الوحدة السابقة لتشير إلى مصدر الضوء. أما في هذا القسم، فستستخدم بالطريقة نفسها ولكن بصورة محددة أكثر. **فالجسم** هو مصدر الأشعة التي تنعكس عن سطح المرآة. ويمكن أن يكون الجسم مصدرًا مضيئًا مثل المصباح، أو مصدرًا مستضيئًا مثل أحمد. كما أن جميع مصادر الضوء التي ستعرفها في هذا القسم ينبعث منها ضوء وينتشر في جميع الاتجاهات. وعند انعكاس أشعة الضوء عن المرآة الملساء تتكون صورة مرئية، كما في **الشكل 5**.

الطائر الذي تشاهده في **الشكل 6**، عبارة عن جسم. وينعكس الضوء عن جسم الطائر انعكاسًا غير منتظم. انظر إلى نقطة محددة في جسم الطائر. ماذا يحدث للضوء المنعكس عنها؟ يسقط الضوء من الطائر على المرآة وينعكس. ماذا ستشاهد مريم؟ سيصل الضوء المنعكس إلى عينيها، وسيعالج الدماغ هذه المعلومات كما لو كانت هذه الأشعة سلكت مسارًا مستقيمًا، وسيظهر له الضوء كما في الخطوط المتقطّعة الموضحة في الشكل، أي كأنه قادم من نقطة خلف المرآة، وهي تمثل صورة النقطة.

أنت نظرت إلى نقطة واحدة على جسم الطائر، لكن مريم في **الشكل 6** سترى أشعة الضوء القادمة من جسم الطائر بالطريقة نفسها، وبذلك تتكون **صورة** الطائر من اتحاد صور النقاط الناتجة من الأشعة الضوئية المنعكسة. وتعد هذه الصورة **صورة خيالية**. ويتكون هذا النوع من الصور من التقاء امتدادات الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وتقع الصور الخيالية دائمًا على الجانب الآخر من المرآة. وهذا يعني أن صور الأجسام الحقيقية المتكونة في المرايا المستوية هي دائمًا خيالية، لأنه لا يمكن جمعها على حاجز.

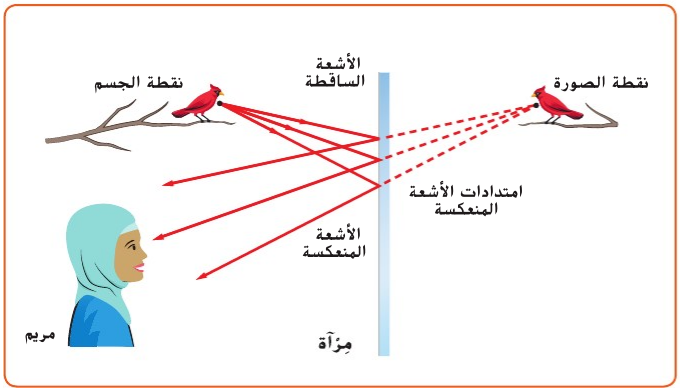
خصائص الصور في المرايا المستوية

عندما تنظر إلى نفسك في المرآة، ستظهر صورتك كأنها خلف المرآة وعلى بعد يساوي بعدك من المرآة. كيف تتحقق من ذلك؟ ضع مسطرة مترية بينك وبين المرآة، أين ستلامس المسطرة الصورة؟ وستلاحظ أيضًا أن الصورة معتدلة، وأنها مقلوبة جانبيًا، حجمها يساوي حجم جسمك. وهذا أساس المقولة "صورة طبق الأصل".



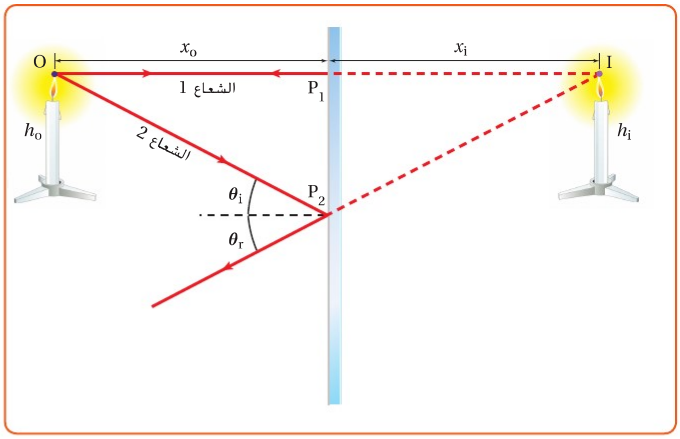
الشكل 5 الضوء المنبعث من المصباح ينعكس عن جسم أحمد باتجاه المرآة، ويعد هذا انعكاسًا غير منتظم. وتعكس المرآة أشعة الضوء إلى عيني أحمد، ما يجعل أحمد يشاهد صورته. وانعكاس الضوء عن المرآة يعدّ انعكاسًا منتظمًا.

صف كيف يكون الولد مصدرًا مستضاءً.



الشكل 6 ستنتشت الأشعة المنعكسة عن الطائر في جميع الاتجاهات. وكما عرفت الفليل منها يتجه نحو المرآة، وتتكون الصورة في مكان التقاء امتدادات الأشعة الضوئية القادمة من جسم الطائر.

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف



الشكل 7 تصطدم أشعة الضوء المنبعثة من الشمعة (يظهر شعاعان) بالمرآة. ويصل بعض هذه الأشعة إلى عيني المراقب. تُرسم امتدادات الأشعة المنعكسة الرؤية (الخطوط المتقطعة) من مكان انعكاس الأشعة عن المرآة إلى مكان تجمعها. وتقع الصورة في مكان تجمع امتدادات الأشعة المنعكسة.

اشرح لماذا $x_i = -x_o$.

مختبر الفيزياء

موقع الصورة التي تعكسها المرآة

هل يمكنك تقدير موقع صورة ما من مرآة مستوية؟

القليل من الوقت للتفكر

مختبر الطب الشرعي كيف يمكنك إيجاد مسار أشعة الضوء الساقطة على سطح عاكس، مثل زجاج أو مرآة؟

موقع الصورة وطولها يوضّح النموذج الهندسي في **الشكل 7** سبب مساواة بُعد الجسم من المرآة وبُعد الصورة منها. ولماذا يتساوى طول الجسم مع طول صورته. يمكننا توضيح ذلك برسم شعاعين من النقطة O يسقطان على المرآة عند النقطتين P_1 و P_2 على الترتيب، وينعكسان وفق قانون الانعكاس. ويلتقي امتداد انعكاسهما (الخطوط المتقطعة) خلف المرآة في النقطة التي تمثل صورة النقطة O. إذ إنّ الشعاع الضوئي 1 يسقط على المرآة بزاوية سقوط مقدارها 0° فيرتد على نفسه، أي عموديًا على سطح المرآة. أما الشعاع الضوئي 2 فيسقط على المرآة وينعكس عنها بزاوية السقوط نفسها، لذا يصنع الامتداد مع المرآة زاوية مساوية للزاوية التي يصنعها الشعاع الأصلي مع المرآة.

يوضّح هذا النموذج الهندسي أنّ القطعتين المستقيمتين $\overline{OP_1}$ و $\overline{IP_1}$ عبارة عن ضلعين متقابلين للمثلثين المتطابقين، ΔOP_1P_2 و ΔIP_1P_2. وتمثل (x_o) بُعد الجسم من المرآة، والذي يساوي طول القطعة $\overline{OP_1}$. أما (x_i). تمثل بُعد الصورة من المرآة وتساوي طول القطعة $\overline{IP_1}$. وباستخدام الافتراض الاصطلاحي، حيث تشير الإشارة السالبة إلى أن الصورة خيالية. فإن المعادلة أدناه تكون صحيحة.

موقع الصورة في المرآة المستوية

بُعد الجسم من المرآة يساوي سالب بعد الصورة من المرآة. وإشارة السالب تشير إلى أن الصورة خيالية.

$$x_i = -x_o$$

تجربة مصغرة

موقع الصورة الخيالية

هل يمكنك أن تحدد صورة خيالية باستخدام كاميرا رقمية؟

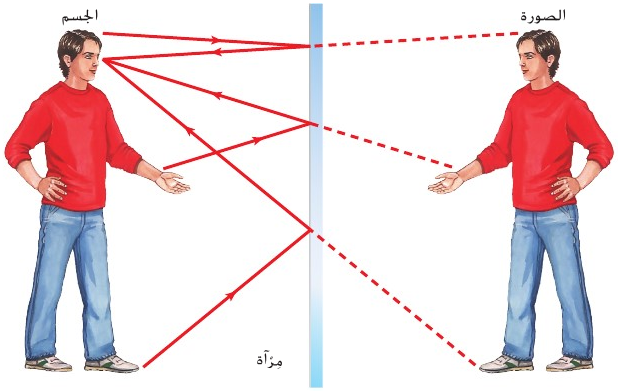
يمكن إيجاد طول الصورة برسم شعاعين ضوئيين من الجسم. وكما يظهر في **الشكل 7**. يلتقي امتداد الشعاعين المنبعثين من قاعدة الشمعة في نقطة خلف المرآة، حيث تشكل صورة القاعدة. وبحسب قانون الانعكاس وتطابق المثلثات، سيكون طول الجسم (h_o) مساويا لطول الصورة (h_i).

طول الصورة في المرآة المستوية

يكون طول الصورة مساويًا لطول الجسم في المرآة المستوية.

$$h_i = h_o$$

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 8 عند النظر في مرآة، يكون ارتفاعك هو نفسه والمسافة التي تبعدك من المرآة هي نفسها. إلا أنّ هناك اختلافًا، وهو أنك تواجه الاتجاه المعاكس.

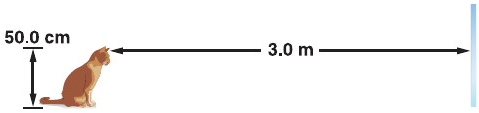
اتجاه الصورة تظهر في المرآة المستوية صورة للجسم في اتجاه الجسم نفسه، أي معتدلة. وإن كنت واقفًا على قدميك، فستظهر في المرآة المستوية صورة لك وأنت واقف على قدميك. وإن كنت واقفًا على يديك ورأسك للأسفل، فستظهر بهذه الصورة في المرآة.

انظر إلى خطوط الأشعة وامتداداتها المبيّنة في **الشكل 8**. فالمرآة تعكس صورة للجسم وتبدو وكأنها خلفها، مثلما يبدو الشاب وجهًا لوجه مع صورته. فعندما يرفع الشاب يده اليمنى يبدو الأمر في المرآة كأنه يرفع يده اليسرى، وهذا يعني أن المرآة لا تعكس الجهة اليمنى واليسرى للجسم بصورة حقيقية. فالمرآة المبيّنة في **الشكل 8** تعكس صورة الشخص بحيث تظهر كأنها تقابله في الجهة المقابلة.

تأمل في صورة الجبل في **الشكل 1**. يمكن وصفها بأنها مقلوبة رأسيًا، لكنها في الواقع عبارة عن انعكاس من الأمام إلى الخلف لمنظر الجبل الفعلي. فلأن ماء البحيرة يعمل كأنه مرآة أفقية بدلاً من رأسية، تبدو الصورة من منظورك كأنها مقلوبة رأسيًا. اقلب **الشكل 8** بزاوية مقدارها 90° في اتجاه عكس عقارب الساعة، ستلاحظ أن جسم الولد الأصلي اتجه نحو الأسفل بينما صورته اتجهت للأعلى، بالرغم من أن الشيء الوحيد الذي تغير هو منظورك.

القسم 1 مراجعة

7. **الفكرة الرئيسة** اصطدم شعاع ضوئي بسطح مستو عاكس بزاوية مقدارها 80° مع العمود المقام. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع سطح المرآة؟
8. **خصائص الصورة** ينظر القط إلى صورته، كما هو موضّح في **الشكل 9**. ما موقع الصورة وطولها ونوعها؟



الشكل 9

9. **قانون الانعكاس** وضّح كيف يطبّق قانون الانعكاس على الانعكاس غير المنتظم.
10. **الأسطح العاكسة** صنّف كلاً مما يلي كأسطح انعكاس منتظم أو غير منتظم: الورقة والفلز المصقول وزجاج النافذة والفلز الخشن وإبريق الحليب البلاستيكي وسطح الماء الراكد والزجاج الخشن.
11. **رسم تخطيطي للصورة** تسير سيارة خلف سيارة أخرى على طريق أفقي. إذا كانت النافذة الخلفية في السيارة الأمامية تميل بزاوية مقدارها 45° على المستوى الأفقي. ارسم رسمًا تخطيطيًا للأشعة يبين موقع الشمس الذي ينبعث منه الضوء لينعكس في عيني سائق السيارة الخلفية.
12. **التفكير الناقد** اشرح كيف يساعدك الانعكاس غير المنتظم للضوء عن جسم ما في رؤية ذلك الجسم من أي زاوية.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

المرايا الكروية

الفكرة الرئيسة

يمكن للمرايا الكروية أن تكوّن صورًا حقيقية وصورًا خيالية، كما يمكنها تكبير حجم الصور أو تصغيره.

الأسئلة الرئيسة

- اذكر بعض خواص المرايا المقعرة واستخداماتها.
- كيف تُستخدم الرسومات التخطيطية للأشعة لوصف الصورة التي تكوّنها المرايا الكروية؟
- كيف تُستخدم المرايا المحدبة وتركيبات المرايا؟
- كيف تجري الحسابات المتعلقة بخواص الصور التي تكونها المرايا الكروية؟

مراجعة المفردات

الشعاع ray: خط يوضّح اتجاه انتقال الموجة، ويُرسم على الزاوية اليمنى من مقدمة الموجة

مفردات جديدة

concave mirror	مرآة مقعرة
principal axis	محور أساسي
focal point	بؤرة
focal length	بُعد بؤريّ
real image	صورة حقيقيّة
spherical aberration	زيغ كروي
convex mirror	مرآة محدبة
magnification	تكبير

الفيزياء في حياتك

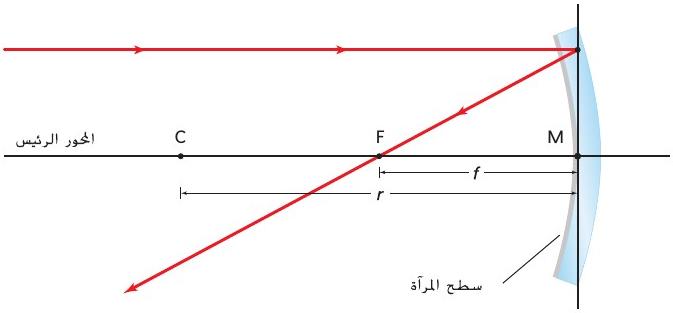
لعلك شاهدت صورتك يومًا في ملعقة فلزية، ووجدت أنها تكون مقلوبة على سطحها المنحني للداخل، بينما تكون معتدلة على سطحها المنحني للخارج. لماذا يحدث ذلك؟

خصائص المرايا الكروية

تعمل الملعقة الفلزية كمرآة كروية، وإحدى جهتيها منحنية إلى الداخل والأخرى إلى الخارج. أمسك الملعقة وقرّبها من وجهك ثم أبعدها عنه، وفي أثناء ذلك انظر إلى صورتك على جهتي الملعقة. قد تبدو صورتك أكبر أو أصغر أو قد تكون حتى معكوسة. تعتمد خصائص المرايا الكروية والصور التي تكونها على شكل المرآة وموقع الجسم.

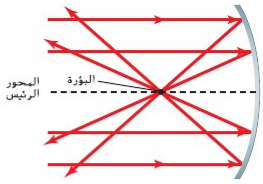
المرايا المقعرة يعمل السطح الداخلي للملعقة الفلزية اللامعة، وهو السطح الذي يحمل الطعام، كمرآة مقعرة. و**المرآة المقعرة**، كتلك الموضّحة في **الشكل 10**، هي سطح عاكس منحنٍ إلى الداخل، وحافاته منحنية باتجاه المشاهد. توضع المرايا المقعرة خلف مصابيح الإضاءة في كشافات الضوء وفي الأضواء الأمامية في السيارات. فالمرايا المقعرة تسمح بتركيز الضوء المنبعث من المصباح في بقعة معينة. ما الذي يؤثر في سلوك المرآة المقعرة؟

تعتمد الطريقة التي تعكس بها المرآة المقعرة الضوء على كيفية انحناء المرآة. يوضّح **الشكل 10** رسمًا تخطيطيًا لمرآة كروية مقعرة، ويشتمل على مسافات ومعلومات مهمة في فهم طريقة تكوّن الصور فيها. تبدو المرآة الكروية المقعرة كما لو كانت جزءًا من كرة مجوفة وسطحها الداخلي عاكس للضوء. ويوجد للمرآة المقعرة مركز التكور (C) مشابه للمركز الهندسي لكرة نصف قطرها r. يُطلق على المسافة r في المرايا الكروية، نصف قطر التكوير. أما الخط المستقيم المتضمن القطعة CM، فيدعى **المحور الأساسي**، وهو خط متعامد مع سطح المرآة، ويقسمها إلى نصفين. الأشعة الضوئية الساقطة بشكل موازٍ للمحور الأساسي، تنعكس وتتقاطع معه عند نقطة منتصف المسافة ما بين C و M.



الشكل 10 المسافة من M إلى البؤرة (F) تساوي نصف المسافة من M إلى C. وتتجمع أشعة الضوء التي تسقط بشكل موازٍ للمحور الأساسي في البؤرة بعد انعكاسها عن المرآة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



تنعكس أشعة الضوء الموازية للمحور الأساسي من مرآة مقعرة وتتجمع عند البؤرة.

وضع مصباح ضوء في بؤرة مرآة مقعرة، وظهرت الأشعة المنعكسة بصورة متوازية على شكل حزمة ضوئية.

الشكل 11 في حال تتبع مسار الأشعة الضوئية من البؤرة إلى المرآة، ستنعكس عن السطح كأشعة متوازية.

البؤرة ستلاحظ في كثير من الرسومات الواردة في هذا القسم نقطة يرمز إليها بالحرف F. فما هي النقطة F؟ لكي تجيب عن هذا السؤال، فكّر في ما يحدث عندما تعكس مرآة مقعرة الضوء القادم من الشمس. نظرًا إلى بُعد الشمس، فإن الأشعة القادمة إلى الأرض منها تكون متوازية تقريبًا. وعندما توجّه المحور الأساسي لمرآة مقعرة نحو الشمس، تنعكس كل الأشعة في نقطة صغيرة جدًا. ويمكن تحديد موقع هذه النقطة عن طريق تقريب وإبعاد ورقة عن المرآة حتى تحصل على أصغر وأوضح نقطة من الضوء. وتُسمّى هذه النقطة **البؤرة**، وهي النقطة التي تتجمع فيها أشعة الضوء الساقطة بموازاة المحور بعد انعكاسها عن المرآة. وهذه هي النقطة F.

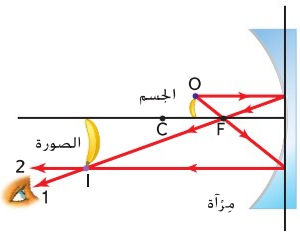
يبيّن **الشكل 11** أن الأشعة الضوئية الموازية للمحور الأساسي بعد انعكاسها عن المرآة تقطع المحور عند النقطة F (البؤرة). لاحظ أنّ المسافة من M إلى F تساوي نصف المسافة من M إلى C. أمّا **البُعد البؤريّ** (f) فهو المسافة بين المرآة والبؤرة، ويمكن التعبير عنه بالمعادلة $f = \frac{r}{2}$. ويكون موجبًا في المرآة المقعرة. و r تمثل نصف قطر تكور المرآة.

إذا وضعت مصدرًا للضوء عند بؤرة مرآة مقعرة فستنعكس الأشعة عن المرآة بالتوازي وتكوّن حزمة ضوئية، ويمكنك رؤية هذا التأثير في المصباح اليدوي الموضّح في **الشكل 11**.

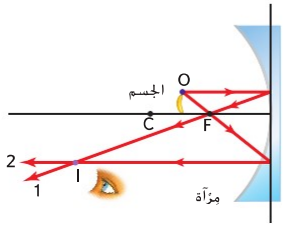
الرسومات التخطيطية للمرايا المقعرة

لقد رسمت سابقًا أشعة الضوء الساقط على مرآة مستوية لكي تتبع مسار انعكاسها. وشاهدت بعض الرسومات التخطيطية للأشعة في المرآة المقعرة كما في **الشكل 10** و**الشكل 11**. ستتعلم في هذا القسم استخدامها في إيجاد موقع وطول واتجاه كل من الصور التي تكوّنها المرايا المقعرة.

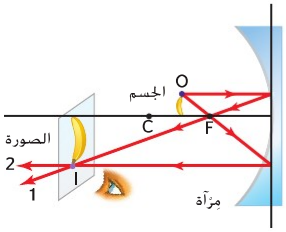
يبيّن **الشكل 12** أشعة منعكسة تتجمع في النقطة I التي تتكون عندها الصورة، وتكون أشعة الضوء المتجمعة **صورة حقيقيّة** مكبرة ومقلوبة للجسم. يمكن أن ترى الصورة كأنها عائمة في الفضاء، وذلك إن جعلت الأشعة الضوئية المنعكسة التي كوّنت الصورة تسقط على عينيك كما هو مبيّن في **الشكل 12**. ينبغي أن تجعل عينيك بالاتجاه الذي يسمح لأشعة الضوء المنعكسة من الصور بالدخول إليها. فلا تستطيع النظر إلى الصورة من الخلف. وإذا وضعت ورقة أو شاشة في هذه النقطة، ستظهر الصورة على الشاشة كما في **الشكل 12**. وبعد هذا غير ممكنٍ في الصورة الخيالية لأنها تتكون من التقاء امتدادات الأشعة المنعكسة وليس من التقاء الأشعة المنعكسة نفسها.



إنّ العين موجودة في موقع يجعل الأشعة المكوّنة للصورة الحقيقية تسقط عليها ما يسمح برؤية الصورة.



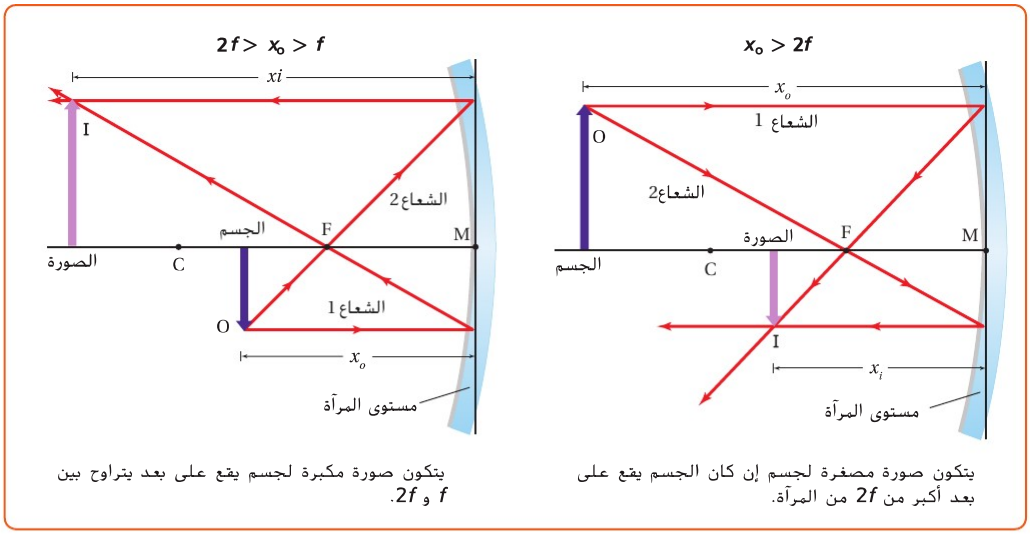
لا تصل الأشعة القادمة من الجسم إلى العين، ثمّ تتعذر رؤية الصورة من هذا الموقع.



يمكن رؤية الصورة عند عرضها على شاشة بيضاء.

الشكل 12 الرسومات التخطيطية للأشعة، لتحديد موقع الصورة المنعكسة عن مرآة كروية مقعرة.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة



يتكون صورة مصغرة لجسم إن كان الجسم يقع على بعد أكبر من $2f$ من المرآة.

يتكون صورة مكبرة لجسم يقع على بعد يتراوح بين f و $2f$.

الشكل 13 يعتمد نوع الصورة المتكونة على بعد الجسم عن المرآة. الصورة في الحالتين الموضحتين تكون حقيقية مقلوبة. وتذكر أن البعد البؤري يساوي المسافة من M إلى F.

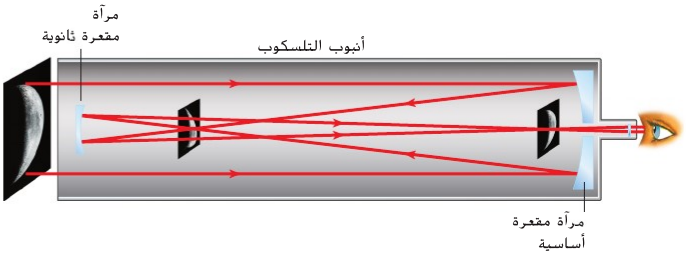
رسم تخطيطي كيف تتكوّن النقاط الأخرى على الصورة.

دلالة الألوان

الصور الحقيقية المتكوّنة في المرايا المقعرة

يمكنك في كثير من الأحيان تبسيط الرسومات التخطيطية للأشعة الضوئية عن طريق استخدام أجسام ذات بعد واحد. مثل السهم الموضّح في **الشكل 13**. تكوّن المرآة الكروية المقعرة صورة حقيقية معكوسة للجسم إذا وقع على بُعد (x_o) أكبر من ضعف البُعد البؤريّ (f)، أي يكون الجسم خلف مركز تكور المرآة. أما إذا وقع الجسم بين مركز التكور والبؤرة كما في **الشكل 13**. يتكون له صورة حقيقية مقلوبة وحجمها أكبر من حجم الجسم نفسه. وتزودك الرسومات التخطيطية بتمثيل مرئي حول كيف تكبّر المرايا الكروية الصورة أو تصغّرها، اعتمادًا على موقع الجسم بالنسبة إلى البؤرة.

الربط بعلم الفلك كيف يمكن قلب الصور الحقيقية المقلوبة الناتجة من مرآة مقعرة رأسيًا؟ في العام 1663، طور عالم الفلك الأسكتلندي جيمس جريجوري التلسكوب الجريجوري، الموضّح في **الشكل 14**، لحل هذه المشكلة. فهو يتكوّن من مرآتين مقعرتين كبيرة وصغيرة مرتبتين بحيث تكون المرآة الصغيرة خارج بؤرة المرآة الكبيرة. فعندما تسقط الأشعة المتوازية من الأجسام البعيدة على المرآة الكبيرة تتكون صورة عند البؤرة، وتعتبر هذه الصورة بمثابة جسم أما المرآة الصغيرة حيث تنعكس الأشعة المكونة لها عن المرآة الصغيرة وتتكون صورة حقيقية معتدلة.



الشكل 14 يكوّن التلسكوب الجريجوري صورة حقيقية ومعتدلة للمشاهد.

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف

استراتيجيات

حل المسائل

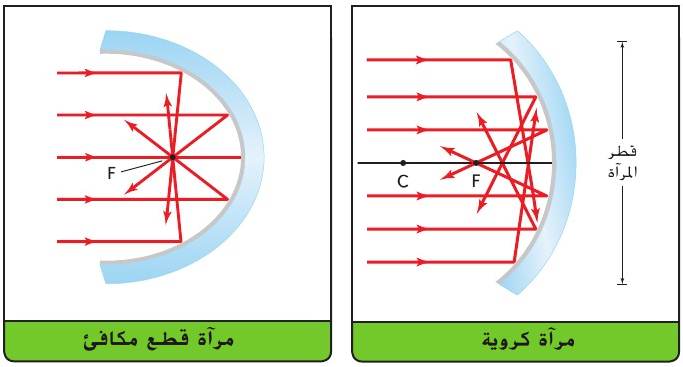
استخدام الرسومات التخطيطية للأشعة لتحديد موقع الصور التي تكوّنها المرايا الكروية

استخدم الاستراتيجيات التالية في حل مسائل المرايا الكروية. راجع الشكل *13* والشكل *16*.

1. استخدم ورقة مسطّرة أو ورقة تمثيل بياني، ارسم المحور الأساسي للمرآة كخط أفقي من الجانب الأيسر إلى الجانب الأيمن من الورقة، واترك ستة أسطر فارغة من أعلاها وستة أسطر فارغة من أسفلها.
2. ضع نقاطًا على المحور الأساسي وعنونها. بحيث تشير إلى الجسم C و F كما يلي:
   a. إذا كانت المرآة مقعرة والجسم خلف مركز التكور C بعيدًا من المرآة، فضع المرآة على الجانب الأيمن من الصفحة، والجسم على الجانب الأيسر من الصفحة و C و F بحسب مقاس الرسم.
   b. وإذا كانت المرآة مقعرة والجسم بين C و F، فضع المرآة على الجانب الأيمن من الصفحة و C في منتصف الصفحة و F في منتصف المسافة بين المرآة و C، والجسم بحسب مقياس الرسم.
   c. في أي حالة أخرى، ضع المرآة في منتصف الصفحة، وَضِع الجسم أو F (أيهما أبعد من المرآة) على الجانب الأيسر من الصفحة والآخر المراد قياسه.
3. لتمثيل المرآة، ارسم خطًا رأسيًا يمتد 12 سطرًا. ويكون هذا المستوى الأساسي للمرآة.
4. ارسم الجسم في شكل سهم، وقم بتسمية O من الناحية العليا. وبالنسبة إلى المرايا المقعرة، يجب ألا يزيد ارتفاع الأجسام عند النقطة C على ثلاثة أسطر. وفي أي حالة أخرى، يجب أن يكون ارتفاع الأجسام ستة أسطر. وسيختلف مقياس رسم الجسم عن مقياس رسم المحور الأساسي.
5. ارسم الشعاع 1 (الشعاع الموازي للمحور). فهو موازٍ للمحور الرئيس وينعكس من المستوى الأساسي ويقطع المحور عند F.
6. ارسم الشعاع 2 (الشعاع المار في البؤرة). فهو يمر في البؤرة F وينعكس عن المستوى الأساسي بشكل مواز للمحور الأساسي.
7. إذا كان الشعاعان المنعكسان 1 و 2 متباعدين أحدهما عن الآخر، قم بمد خطي الرؤية خلف المرآة كخطين منقطين.
8. تقع الصورة عند نقطة تقاطع الشعاعين 1 و 2 أو خطّي رؤيتهما بعد الانعكاس. قم بتسمية نقطة التقاطع I، ثم ارسم الصورة في شكل سهم عمودي من المحور الرئيس إلى I.

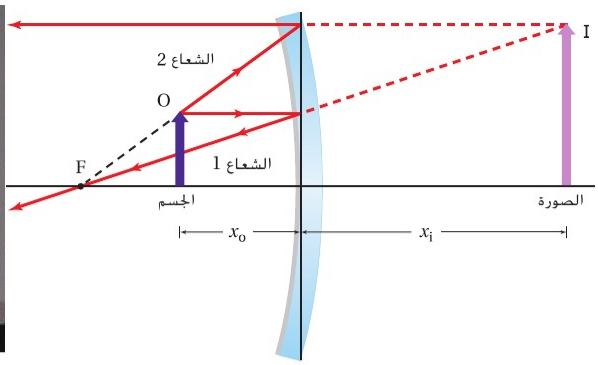
عيوب المرايا المقعرة في الرسومات التخطيطية للأشعة الضوئية، استخدمت خطًا رأسيًا لتمثيل مستوى المرآة. وفي الواقع، تنعكس أشعة الضوء من المرآة نفسها، كما هو موضّح في **الشكل 15**. لاحظ أنّ الأشعة المتوازية القريبة من المحور الأساسي فقط هي التي تنعكس مارةً في البؤرة. أما الأشعة الأخرى، فتتجمع عند نقاط أقرب إلى المرآة. يحدث هذا العيب، المُسمى **الزيغ الكروي**، بسبب عدم تجمع أشعة الضوء المنعكسة عند البؤرة، ما يجعل الصورة تبدو غير واضحة.

تتميز المرآة التي على شكل قطع مكافئ، كما في **الشكل 15**، بعدم وجود زيغ كروي. إلا أن صناعة مرايا كبيرة بشكل قطع مكافئ مكلفة، لذا تستخدم في التلسكوبات الحديثة مرايا كروية صغيرة إضافة إلى مرايا أو عدسات ثانوية مصممة بأسلوب خاص لتصحيح الزيغ الكروي. كما يمكن تقليل الزيغ الكروي من خلال تقليل النسبة بين قطر المرآة ونصف قطر التكور.



الشكل 15 يحدث الزيغ الكروي للمرايا الكروية ولا يحدث لمرايا القطع المكافئ.

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف



الشكل 16 عند وضع جسم، مثل نموذج المكعبات بين البؤرة والمرآة، يتكون له صورة خيالية.

فكّر في سبب ظهور الصور الأخرى في المرآة.

الصور الخيالية المتكونة في المرايا المقعرة

لقد رأيت أنه عند اقتراب جسم من البؤرة (F) لمرآة مقعرة، تتحرّك الصورة بعيدًا من المرآة. أما إذا وقع الجسم في بؤرة المرآة، فتنعكس الأشعة بشكل متوازٍ، فلا تلتقي معًا على الإطلاق، ويقال عندها إن الصورة تكونت في اللانهاية، وبالتالي لا يمكن رؤية الصورة أبدًا. ماذا يحدث إن قرّبت الجسم أكثر نحو المرآة؟

ماذا ترى عندما تقرّب وجهك من مرآة مقعرة؟ تكون صورة وجهك معتدلة وخلف المرآة. وعندما يقع الجسم بين المرآة والبؤرة في المرآة المقعرة، تتكون له صورة خيالية، كما هو مبيّن في **الشكل 16**.

كما عرفت في السابق، ينبغي أن ترسم شعاعين لتحديد موقع صورة إحدى النقاط على جسم ما. إذ يرسم الشعاع 1 موازيًا للمحور الأساسي، ومنعكساً في البؤرة. والشعاع 2 يرسم في صورة خط يمتد من نقطة على الجسم إلى المرآة، وينعكس موازيًا للمحور الرئيس، ويمر امتداده في البؤرة. انظر إلى **الشكل 16** ولاحظ أن الشعاعين 1 و 2 يتشتتان عن المرآة، ولا يكوّنان صورة حقيقية، في حين أن امتدادهما يلتقي خلف المرآة فيكوّنان صورة خيالية.

التأكد من فهم النص **وضّح** كيف يمكن تحديد ما إذا كانت الصورة خيالية.

مختبر الفيزياء

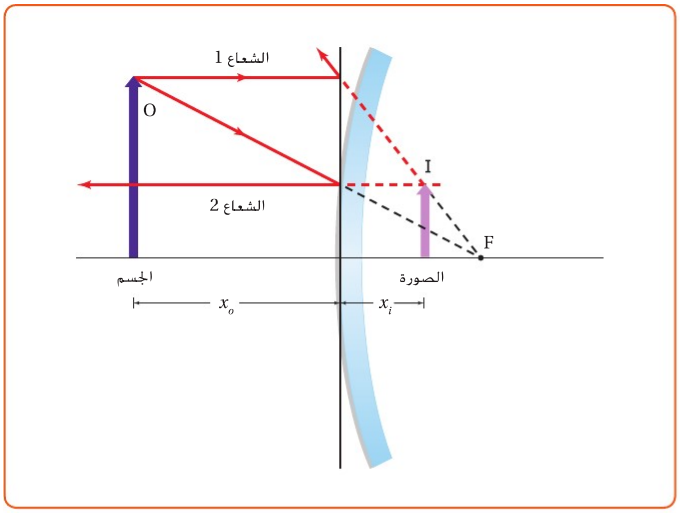
صور المرآة المقعرة ما الظروف اللازمة لتكوين صور حقيقية وخيالية في المرآة المقعرة؟

تحدٍ في الفيزياء

وضع جسم ارتفاعه h_o على بُعد x_o من مرآة مقعرة بُعدها البؤريّ f.

1. ارسم مخططًا للأشعة يوضح البعد البؤري وموقع الجسم عندما تقع صورته على مسافة تساوي ضعف المسافة بين المرآة والجسم. وحدد المسافة بالسنتيمترات لموقع كل من الصورة وموقع الجسم والبعد البؤري.
2. ارسم مخططًا للأشعة يوضح موقع الجسم عندما تقع صورته على مسافة تساوي ضعف المسافة بين المرآة والمركز البؤري. وحدد المسافة بالسنتيمترات لموقع كل من الصورة وموقع الجسم والبعد البؤري.
3. حدد أين يمكنك وضع جسم بحيث لا تتكون له صورة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 17 تكوّن المرايا المحدبة صورًا خيالية ومعتدلة وأصغر من الجسم دائمًا.

تجربة مصغرة

إيجاد البؤرة كيف يمكنك ملاحظة البؤرة في المرايا الكروية؟

المرايا المحدبة

عرفت في بداية هذا القسم أن السطح الداخلي للملعقة الفلزية يعمل كمرآة مقعرة، أما إذا قلبتها فسيعمل السطح الخارجي لها **كمرآة محدبة**، وهي سطح عاكس منحنٍ للخارج، وحافاته تنحني بعيدًا من الملاحظ، ومن أمثلتها مرايا المراقبة في المتاجر، والمرايا الجانبية في السيارات. ماذا ترى عندما تنظر إلى الجهة الخلفية من الملعقة؟ سترى صورتك معتدلة ومصغرة.

تتضح بعض خواص المرآة الكروية المحدبة في **الشكل 17**. إذ تتشتت الأشعة المنعكسة عنها دائمًا، ولذا تتكوّن صورة خيالية فقط، وتقع البؤرة (F) ومركز التكور للمرآة (C) خلفها.

يوضّح الرسم التخطيطي في **الشكل 17** طريقة تكوّن الصورة في المرآة الكروية المحدبة. فيظهر في الرسم شعاعان فقط، ولكن تذكر أنّ هناك عددًا لانهائيًّا من الأشعة المنعكسة من الجسم. فالشعاع 1 يصل إلى المرآة بشكل موازٍ للمحور الأساسي، وينعكس عنها، ويمر امتداده في البؤرة خلف المرآة. أما الشعاع 2 فيسقط على المرآة وينعكس عنها، بحيث يمر امتداده في البؤرة خلف المرآة، وكما يكون الشعاع 2 وامتداده خلف المرآة موازيين للمحور الأساسي. وبالتالي سيتشتت الشعاعان 1 و 2 ويلتقي امتدادهما خلف المرآة، وتتكون صورة خيالية معتدلة ومصغرة.

مجال الرؤية قد تبدو استخدامات المرايا المحدبة قليلة لأنّ الصور التي تكوّنها أصغر من الأجسام، إلا أن هذه الخاصية جعلت للمرايا المحدبة استخدامات عملية، فنتيجة تكوينها صورًا مصغرة للأجسام، تتيح للملاحظ أن يشاهد مساحة كبيرة من حوله، وهي تسمى مجال الرؤية. كما تمكنك من رؤية الصورة من عدة زوايا، وبالتالي يكون مجال الرؤية من منظور واسع.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 18 إنّ الصور المتكونة من مرايا محدبة أصغر من الجسم، ما يزيد من مجال الرؤية ويقلل النطاق المحجوب بالنسبة إلى السائق.

اشرح لماذا قد يكون من المفيد كتابة تحذير يفيد أنّ الأجسام في المرايا المحدبة الجانبية أقرب مما تبدو.

لذا تستعمل المرايا المحدبة في المرايا الجانبية للسيارات لتساعد في الرؤية الخلفية، كما يبيّن **الشكل 18**. وبالرغم من أنها توفر مجال رؤية واسعًا لكنها تصغّر حجم صور الأجسام ما يجعلها تبدو أبعد مما هي عليه. لذا يوجد على المرايا المحدبة الجانبية للسيارات تحذير يفيد أنّ الأجسام قد تكون أقرب ممّا تبدو عليه في الواقع.

تحديد مكان الصورة بالحسابات

يمكننا استخدام نموذج المرآة الكروية لاشتقاق معادلة رياضية بسيطة للمرايا الكروية، ويجب أن نأخذ بعين الاعتبار التقريب الذي يفيد أن الاشعة الضوئية القريبة من المحور الرئيس والموازية له دائمًا، هي تكون الصورة. والأخذ في هذا التقريب إضافةً إلى قانون الانعكاس يقودنا إلى معادلة رياضية تربط بين البُعد البؤريّ (f) وموضع الجسم (x_o) وموضع الصورة (x_i) لمرآة كروية.

معادلة المرآة الكروية

مقلوب البعد البؤري للمرآة الكروية يساوي حاصل جمع مقلوب بُعد الجسم ومقلوب بُعد الصورة عن المرآة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

القيم السالبة عندما تكون الصورة خيالية، تكون قيمة بعد الصورة (x_i) سالبة، ومعنى ذلك أنها تتكون خلف المرآة. وتذكر أن الصورة الخيالية تتكون من تقاطع امتدادات الأشعة المنعكسة، وفي المرايا المقعرة تتكون الصورة الخيالية عندما يقع الجسم بين البؤرة والمرآة، وتكون البؤرة أمام المرآة والبعد البؤري موجبة، أما في المرايا المحدبة فتكون البؤرة خلف المرآة والبعد البؤري سالبًا.

عند استخدام هذه المعادلة في حل المسائل، تذكر أنها صحيحة بشكل تقريبي، فهي لا تصحح الزيغ الكروي لأنها تستخدم تقريب الأشعة الموازية للمحور. في الواقع إن أشعة الضوء المنبعثة من الجسم باتجاه المرآة تتشتت، وبالتالي لاتكون جميع أشعة الضوء قريبة من المحور أو موازية له. عندما يكون قطر المرآة كبيرًا مقارنةً بنصف قطر تكورها لتقليل الزيغ الكروي تزودنا هذه المعادلة بصفات الصورة بدقة أكبر.

الفيزياء في حياتك

مشكلة هابل في العام 1990، أطلقت الوكالة العالمية ناسا تلسكوب هابل الفضائي في مدار حول الأرض. وتوقع العلماء أن يقدم هابل صورًا واضحة من دون التشوهات التي تحدث بفعل الغلاف الجوي. وبعد فترة وجيزة من إطلاقه، اكتشف العلماء أنّ صور هابل فيها زيغ كروي. في العام 1993، قام رواد الفضاء بتزويد جهاز بصري تصحيحي يُسمى COSTAR ليُمكّن هابل من التقاط صور واضحة. ولمدة تزيد على عقدين، قدم هابل للعالم صورًا رائعة وساعد العلماء في إجراء اكتشافات مهمة عن الكون.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

التكبير إنّ إحدى خواص المرايا الكروية الأخرى هي **التكبير** (m)، وهو نسبة طول الصورة إلى طول الجسم. ويمكن من خلال استخدام هندسة تطابق المثلثات إعادة كتابة هذه النسبة بدلالة بُعد الصورة وبُعد الجسم.

التكبير

يعرف تكبير جسم بواسطة مرآة كروية بأنه حاصل قسمة طول الصورة على طول الجسم، ويساوي سالب بُعد الصورة مقسومًا على بُعد الجسم.

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = -\frac{x_i}{x_o}$$

وتدلنا إشارة مقدار التكبير فيما إذا كانت الصورة معتدلة أو مقلوبة. ففي حالة الصور الخيالية تكون قيمة x_i سالبة أي إنّ التكبير m موجبًا، وتكون معتدلةً دائمًا ما يعني أن الطول موجب.

أما بالنسبة إلى الصور الحقيقية يكون بُعد الصورة موجبًا وبالتالي يكون التكبير سالبًا. ويدلنا ذلك على أن الصورة تكون مقلوبة بالنسبة إلى الجسم، كما تدلنا الإشارة السالبة لمقدار طول الصورة على أنها مقلوبة. عندما يكون الجسم خلف مركز التكور C، فإنّ القيمة المطلقة لتكبير الصورة الحقيقية تكون أقل من 1. ويعني ذلك أنّ الصورة أصغر من الجسم. أما إذا وقع الجسم بين مركز التكور C والبؤرة F، فإن القيمة المطلقة للتكبير تكون أكبر من 1، ويعني ذلك أنّ الصورة أكبر من الجسم.

ربط الرياضيات بالفيزياء

جمع الكسور وطرحها عند استخدام معادلة المرآة لحل المسائل، عليك أولًا أن تعيد كتابة المعادلة رياضيًا بحيث تجعل الكسر الذي يحوي المقدار الذي تريد حسابه على الطرف الأيسر من المعادلة والكسور الأخرى على الطرف الأيمن. وبعد ذلك تحسب مقدار الكسرين الموجودين على اليمين، من خلال توحيد المقامات.

الرياضيات	الفيزياء
$\frac{1}{x} = \frac{1}{y} + \frac{1}{z}$	$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$
$\frac{1}{y} = \frac{1}{x} - \frac{1}{z}$	$\frac{1}{x_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{x_o}$
$\frac{1}{y} = \left(\frac{1}{x}\right)\left(\frac{z}{z}\right) - \left(\frac{1}{z}\right)\left(\frac{x}{x}\right)$	$\frac{1}{x_i} = \left(\frac{1}{f}\right)\left(\frac{x_o}{x_o}\right) - \left(\frac{1}{x_o}\right)\left(\frac{f}{f}\right)$
$\frac{1}{y} = \frac{z-x}{xz}$	$\frac{1}{x_i} = \frac{x_o - f}{f x_o}$
$y = \frac{xz}{z-x}$	$x_i = \frac{f x_o}{x_o - f}$

باتباع هذه الطريقة، يمكن اشتقاق العلاقات الرياضية التالية لحساب كل من بُعد الصورة وبُعد الجسم والبُعد البؤري:

$$f = \frac{x_i x_o}{x_i - x_o} \qquad x_o = \frac{f x_i}{x_i - f} \qquad x_i = \frac{f x_o}{x_o - f}$$

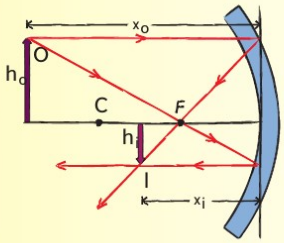
McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

مثال 2

تكوين الصور الحقيقية باستخدام مرآة مقعرة لديك مرآة مقعرة نصف قطر تكورها 20.0 cm. وُضع جسمٌ طوله 2.0 cm على بُعد 30.0 cm منها. فما طول الصورة؟ وما بُعدها من المرآة؟

تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًا للجسم والمرآة.
- ارسم شعاعين رئيسَين لتحديد بُعد الصورة في الرسم التخطيطي



المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0\ \text{cm}$	$x_i = ?$
$x_o = 30.0\ \text{cm}$	$h_i = ?$
$r = 20.0\ \text{cm}$	

حساب المجهول

يساوي البُعد البؤريّ نصف نصف قطر التكور.

$$f = \frac{r}{2}$$

عوّض باستخدام $r = 20.0\ \text{cm}$ ◄

$$= \frac{20.0\ \text{cm}}{2}$$

$$= 10.0\ \text{cm}$$

استخدم معادلة المرايا الكروية، وحل لإيجاد بُعد الصورة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

$$x_i = \frac{f x_o}{x_o - f}$$

عوّض باستخدام $f = 10.0\ \text{cm}$, $x_o = 30.0\ \text{cm}$ ◄

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

$$= 15.0\ \text{cm}$$ (صورة حقيقية أمام المرآة)

استخدام معادلة التكبير لحساب طول الصورة:

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-x_i}{x_o}$$

$$h_i = \frac{-x_i h_o}{x_o}$$

عوّض باستخدام $x_i = 15.0\ \text{cm}$, $h_o = 2.0\ \text{cm}$, $x_o = 30.0\ \text{cm}$ ◄

$$= -\frac{(15.0\ \text{cm})(2.0\ \text{cm})}{30.0\ \text{cm}}$$

$$= -1.0\ \text{cm}$$ (صورة مصغرة ومقلوبة)

تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** كل المقادير بالسنتيمتر.
- **هل الإشارات منطقية؟** يتوافق البُعد الموجب والارتفاع السالب مع الرسم.

تطبيق

13. حل المثال 2 باستخدام الرسم التخطيطي للأشعة، ووفق مقياس رسم محدد.
14. ضع جسمًا على بعد 36.0 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري 16.0 cm. ما بُعد الصورة؟
15. ضع جسمًا طوله 3.0 cm على بُعد 20.0 cm من مرآة مقعرة نصف قطرها 16.0 cm. أوجد طول الصورة وبُعدها.
16. لديك مرآة مقعرة بُعدها البؤريّ 7.0 cm. إذا وضعت جسمًا طوله 2.4 cm على بُعد 16.0 cm منها، فما طول الصورة؟
17. **تحفيز** وُضع جسمٌ أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤريّ 10.0 cm. فتكونت له صورة مقلوبة على بُعد 16.0 cm من المرآة طولها 3.0 cm. فما طول الجسم؟ وما بُعده عن المرآة؟

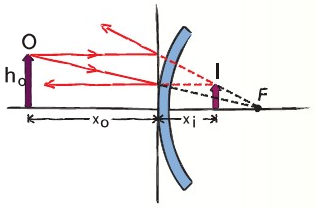
McGraw-Hill Education مؤسسة لصالح محفوظة © والتأليف الطبع حقوق

مثال 3

الصورة في مرآة المحدبة لحماية مستودع يتم مراقبته من خلال مرآة مراقبة محدبة بُعدها البؤريّ $-0.50\ m$. فإذا وجدت رافعة شوكية طولها $2.0\ m$ على بُعد $5.0\ m$ من المرآة. فكم تبعد صورتها عن المرآة، وما طولها؟

1 تحليل المسألة ورسمها

- ارسم رسمًا تخطيطيًا للمرآة والجسم.
- ارسم شعاعين رئيسَين لتحديد موقع الصورة في الرسم التخطيطي.



المعلوم	المجهول
$h_o = 2.0\ m$	$x_i = ?$
$x_o = 5.0\ m$	$h_i = ?$
$f = -0.50\ m$	

2 حساب المجهول

استخدم المعادلة التي تربط بين البُعد البؤريّ وبُعد الجسم لإيجاد بُعد الصورة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

$$x_i = \frac{f x_o}{x_o - f}$$

عوّض باستخدام $f = -0.50\ m,\ x_o = 5.0\ m$ ◄

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

$$= -0.45\ m \quad \text{(صورة خيالية خلف المرآة)}$$

استخدم المعادلة التي تربط بين طول الجسم وبُعد الجسم والصورة لإيجاد طول الصورة.

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-x_i}{x_o}$$

$$h_i = \frac{-x_i h_o}{x_o}$$

عوّض باستخدام $x_i = -0.45\ m,\ h_o = 2.0\ m,\ x_o = 5.0\ m$ ◄

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

$$= 0.18\ m \quad \text{(صورة مصغّرة معتدلة)}$$

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** كل المقادير بالمتر.
- **هل الإشارات منطقية؟** يشير البُعد السالب إلى أن الصورة خيالية، ويدل الطول الموجب على أن الصورة معتدلة. ويتوافق هذا مع الرسم التخطيطي.

تطبيق

18. وُضع جسمٌ طوله $20.0\ cm$ أمام مرآة محدبة بُعدها البؤريّ $-15.0\ cm$. أوجد بُعد الصورة باستخدام رسم تخطيطي بمقياس رسم، وبمعادلة المرآة الرياضية.

19. مرآة محدبة بُعدها البؤريّ $-13.0\ cm$. وضع أمامها مصباحًا قطره $6.0\ cm$ على بُعد $60.0\ cm$ منها. فما بعد الصورة المتكونة له وما قطرها؟

20. وضعت كرة قطرها $7.6\ cm$ على بُعد $22.0\ cm$ من مرآة محدبة نصف قطر تكورها $60.0\ cm$. فما بُعد الصورة المتكونة للكرة وما قطرها؟

21. تقف فتاة طولها $1.8\ m$ على بُعد $2.4\ m$ من مرآة مراقبة في أحد المتاجر، وتبدو صورتها بطول $0.36\ m$.

a. أوجد بُعد الصورة؟

b. أوجد البُعد البؤريّ للمرآة؟

22. تحفيز تحتاج إلى مرآة محدبة لتكوين صورة حجمها يساوي ثلاثة أرباع الجسم على بُعد $24\ cm$ خلف المرآة.

a. أوجد بُعد الجسم؟

b. أوجد البُعد البؤريّ المطلوب لذلك؟

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف

الجدول 1 نظام الاشارات وخصائص الصور في المرآة

نوع المرآة	f	x_o	x_i	m	الصورة
مستوية	∞	$x_o > 0$	$\lvert x_i \rvert = x_o$ (سالب)	موجبة تساوي 1	خيالية معكوسة جانبيًا مساوية للجسم
مقعرة	+	$x_o > r$	$r > x_i > f$	سالبة أقل من 1	حقيقية مصغرة معكوسة (مقلوبة)
		$r > x_o > f$	$x_i > r$	سالبة أكبر من 1	حقيقية مكبرة مقلوبة (معكوسة)
		$f > x_o > 0$	$\lvert x_i \rvert > x_o$ (سالب)	موجبة أكبر من 1	مكبرة خيالية معتدلة
محدبة	−	$x_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert x_i \rvert > 0$ (سالب)	موجبة اقل من 1	خيالية مصغرة معتدلة

مقارنة المرايا

بماذا تختلف المرايا بعضها عن بعض؟ يلخص الجدول **الجدول 1** خصائص الصور المتكونة في مرآة لأجسام تقع على المحور الأساسي لها. لاحظ أن الصور الخيالية تتكون خلف المرآة دائمًا وأن بعدها سالب دائمًا. وعندما تكون القيمة المطلقة للتكبير بين صفر وواحد، تكون صورة الجسم مصغرة، وتعني القيمة السالبة للتكبير أن الصورة مقلوبة بالنسبة إلى الجسم.

لاحظ أن كلًّا من المرآة المستوية والمرآة المحدبة يكوّن صورًا خيالية فقط، بينما تكوّن المرآة المقعرة صورًة حقيقية للجسم عندما يقع على بُعد أكبر من البعد البؤري. كما أنها تكوّن صورة خيالية للجسم عندما يقع على بُعد أقل من البُعد البؤري. وتعطي المرآة المستوية صورًا مساوية للأشياء، في حين تعطي المرايا المحدبة صورًا مصغرة، ما يجعل مجال الرؤية واسعًا فيها. وتعطي المرآة المقعرة صورة مكبرة للجسم عندما يقع ضمن نطاق البعد البؤري.

تكون المرآة المقعرة صورة مكبرة ومعتدلة للجسم عندما يقع بين البُعد البؤريّ ونصف قطر التكور. أما إذا وقع الجسم خلف نصف قطر التكور فتتكون له صورة مصغرة ومقلوبة.

القسم 2 مراجعة

23. **الفكرة الرئيسة** إذا كنت تعرف البُعد البؤريّ لمرآة مقعرة، فأين ينبغي لك وضع الجسم حتى تكون صورة مكبرة ومعتدلة؟ وهل تكون هذه الصورة حقيقية أم خيالية؟

24. **التكبير** وُضع جسمٌ طوله 20.0 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤريّ 9.0 cm. ما مقدار تكبير الصورة؟

25. **موقع الجسم** ينتج من وضع جسم أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤريّ 12.0 cm صورة حقيقية تبعد 22.3 cm عن المرآة. ما بُعد الجسم؟

26. **بُعد الصورة وطولها** وُضع جسم طوله 3.0 cm على بُعد 22.0 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤريّ 12.0 cm. أوجد بُعد الصورة وطولها عن طريق رسم تخطيطي ووفق مقياس رسم. ثم تحقق من إجابتك باستخدام المعادلات الرياضية للمرايا والتكبير.

27. **الرسم التخطيطي للأشعة** وُضع جسم طوله 4.0 cm على بُعد 14.0 cm من مرآة محدبة بُعدها البؤريّ 12.0 cm−. ارسم مخططًا للأشعة بمقياس رسم يوضّح بُعد الصورة وطولها، ثم تحقّق من إجابتك باستخدام معادلات المرآة والتكبير.

28. **نصف قطر التكور** وُضع جسم طوله 6.0 cm أمام مرآة محدبة على بُعد 16.4 cm فتكوّنت له صورة طولها 2.8 cm. أوجد نصف قطر تكوّر المرآة؟

29. **البُعد البؤريّ** استخدمت مرآة محدبة لتكوين صورة طولها ثلثا طول الجسم وعلى بُعد 12 cm خلف المرآة. أوجد البُعد البؤريّ للمرآة؟

30. **التفكير الناقد** هل يكون الزيغ الكروي أقل بالنسبة إلى مرآة إذا كان ارتفاعها أقل من نصف قطر تكوّرها أم إذا كان ارتفاعها أكبر من نصف قطر تكوّرها؟ فسّر إجابتك.

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف

نظائر الأرض البعيدة

البحث عن كواكب خارج النظام الشمسي

بحث العلماء طـ يلاً عن أنظمة شمسـ غير نظامنا. تخيل أنك تنظر إلى إضاءة كشـف ضو كالـ وجود في الملعب و تـ اول أن تتحقق من شكل بقوضة صغيرة بداخلها. إن هذه الـ شكلة ذ سها يواجهها علماء الفلك عند البحث عن كواكب خارج النظام الشمسي، وتسمى كواكب خارجية.

من الصعب العثور عليها

من أحد الأسباب التي تجعل العثور على كوكب خارج النظام الشمسي مُحيرًا هو أنها بعيدة جدًا.

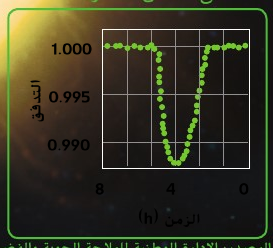
حيث تبلغ المسافة إلى أقرب نجم بجوار الشمس نحو 4.3 سنوات ضوئية. وفي حال كان الكوكب خارج النظام الشمسي يشبه الأرض، فإن قطره يساوي واحدًا من مائة فقط من قطر النجم الذي يدور حوله. ويعتبر اكتشاف الضوء المعتم نسبيًا الذي ينعكس مباشرةً من كوكب خارج النظام الشمسي أمرًا في غاية الصعوبة حتى بواسطة الأجهزة الحديثة.

اكتشاف الكواكب خارج النظام الشمسي إحدى الطرق التي يمكن لعلماء الفلك من خلالها العثور على كواكب خارج النظام الشمسي بمراقبة سطوع الضوء المنبعث من النجوم. قد يعتّم ضوء النجم قليلًا عندما يمرّ كوكب خارج النظام الشمسي أمامه. ويقيس مقياس الضوء الذي يُسمى فوتوميترًا التغيّرات التي تحدث في سطوع الضوء. يمكن رسم هذه التغيّرات في تمثيل بياني، مثل ذلك الموضّح في **الشكل 1**.

بعثة كبلر تستخدم ناسا مقياس ضوء لمسح منطقة من مجرتنا بحثًا عن كواكب خارج النظام الشمسي. والمرآة الأساسية المستعملة في مقياس الضوء هذا هي كروية وتتطلب تصحيح الزيغ الكروي.

منطقة صالحة للاستيطان تبحث بعثة كبلر بشكل خاص عن الكواكب الموجودة في المناطق الصالحة للعيش في النجوم. يوضّح **الشكل 2** المنطقة الصالحة للاستيطان من نظامنا الشمسي. ومن المرجح وجود كوكب خارج النظام الشمسي توجد عليه مياه سائلة في "البقعة المناسبة" حول النجم. وربما يكون هذا الكوكب، مثل الأرض، موطنًا للكائنات الحية.

منحنى انتقال الضوء



المصدر: الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء

الشكل 1 يمثّل هذا الرسم سطوع الضوء المنبعث من النجم. ويوضّح المنحنى المرسوم بالخط المنقط إعتام ضوء النجم، ما قد يعني أن كوكبًا مرّ أمام النجم.

المنطقة الصالحة للعيش في النظام الشمسي

المصدر: الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء

الشكل 2 في المنطقة الصالحة للعيش تكون الظروف مناسبة لوجود الماء.

لمزيد من التعمق >>>

البحث قم بزيارة موقع ويب بعثة كبلر التابعة لناسا للبحث عن كوكب اكتُشف حديثًا خارج النظام الشمسي. لخّص خصائص ذلك الكوكب ولخص الخصائص التي قد تحتاج إليها الكائنات الحية لتعيش على هذا الكوكب.

الفكرة الرئيسة تعكس كل الأسطح الضوء، إلا أنّ الأسطح الملساء تتميّز بإنتاجها للصور.

القسم 1 المرايا المستوية

المفردات

- انعكاس منتظم specular reflection
- انعكاس غير منتظم diffuse reflection
- مرآة مستوية plane mirror
- جسم object
- صورة image
- صورة خيالية virtual image

الفكرة الرئيسة زاوية سقوط شعاع ضوئي تساوي زاوية انعكاسه.

- وفقًا لقانون 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 نفسه.

$$\theta_r = \theta_i$$

- ينطبق قانون الانعكاس على كلٍ من الأسطح الملساء والخشنة. يوجد على السطح الخشن أعمدة مقامة غير متوازية؛ وبالتالي، لا تنعكس الأشعة الساقطة المتوازية بشكل متوازٍ. فالسطح الخشن ينتج انعكاسًا غير منتظمًا. يوجد على السطح الأملس أعمدة مقامة متوازية؛ وبالتالي، تنعكس الأشعة الساقطة المتوازية بشكل متوازٍ. فالسطح الأملس ينتج انعكاسًا منتظمًا. ينتج عن الانعكاس المنتظم تكوين صور تظهر كأنها خلف مرايا مستوية.
- دائمًا ما تكون الصورة المتكوّنة في مرآة مستوية صورة خيالية ولها حجم الجسم نفسه والاتجاه نفسه وعلى بُعد المسافة نفسها التي يبعدها الجسم عن المرآة.

$$x_i = -x_o \qquad h_i = h_o$$

القسم 2 المرايا الكروية

المفردات

- مرآة مقعرة concave mirror
- محور أساسي principal axis
- بؤرة focal point
- بُعد بؤريّ focal length
- صورة حقيقية real image
- زيغ كروي spherical aberration
- مرآة محدبة convex mirror
- تكبير magnification

الفكرة الرئيسة يمكن للمرايا الكروية أن تكوّن صورًا حقيقية وصورًا خيالية كما يمكنها تكبير حجم الصور أو تصغيره.

- تتخذ المرآة الكروية المقعرة شكل كرة مجوفة لها المركز الهندسي نفسه (C) ونصف قطر التكور (r) كنصف قطر الكرة r. إنّ البؤرة (F) للمرآة الكروية المقعرة هو النقطة التي تجتمع فيها أشعة الضوء الساقطة بموازاة المحور بعد انعكاسها عن المرآة. تُستخدم المرايا المقعرة في المصابيح اليدوية والكشّافات والتلسكوبات.
- يمكنك تحديد موقع الصورة التي تكونت بواسطة مرآة كروية عن طريق رسم شعاعين بدءًا من نقطة على الجسم إلى المرآة. ويكون تقاطع الشعاعين المنعكسين أو امتدادهما هو موقع صورة نقطة الجسم. تنتج المرآة المقعرة صورة حقيقية معكوسة عندما يكون موضع الجسم أكبر من البُعد البؤريّ. تنتج المرآة المقعرة صورة خيالية معتدلة عندما يكون موضع الجسم أصغر من البُعد البؤريّ. تكون المرآة المحدبة دائمًا صورة افتراضية معتدلة وأصغر مقارنة بالجسم.
- ونظرًا إلى أنها تكوّن صورًا أصغر من الأجسام، تبدو الصور التي تكوّنها المرايا المحدبة أبعد وتتيح مجالًا واسعًا للرؤية. ويمكن الاستفادة من هذا في مرايا الرؤية الخلفية ومرايا المراقبة. يمكن استخدام نوعي المرايا بالتوافق لتكوين صور بالحجم والاتجاه والموقع المرغوب فيه. من أكثر استخدامات توافيق المرايا شيوعًا استخدامه في التلسكوبات.
- معادلة المرآة تربط بين بعد الصورة وبعد الجسم والبُعد البؤريّ للمرآة الكروية.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

معادلة التكبير الخطي في المرايا الكروية تربط بين بعد الصورة وبعد الجسم أو بطول كل منهما.

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = \frac{-x_i}{x_o}$$

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 1 المرايا المستوية

إتقان المفاهيم

31. ما وجه الاختلاف بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم؟

32. ما المقصود بمصطلح العمود المقام على السطح؟

33. أين تقع الصورة التي تُكوّنها المرآة المستوية؟

34. صف خواص المرآة المستوية.

35. يعتقد متعلم أنّ الفيلم الفوتوغرافي الحسّاس جدًا يمكنه الكشف عن الصورة الخيالية. وضع الطالب الفيلم الفوتوغرافي في مكان تكوّن الصورة الخيالية. هل تنجح هذه المحاولة؟ وضّح إجابتك.

36. كيف يمكنك أن تثبت لأحدهم أنّ الصورة حقيقية؟

37. هل صورتك المتكوّنة في المرآة المستوية ذات بُعدين (مثل الصورة الفوتوغرافية) أم ثلاثة أبعاد؟ كيف يمكنك معرفة ذلك؟

إتقان حل المسائل

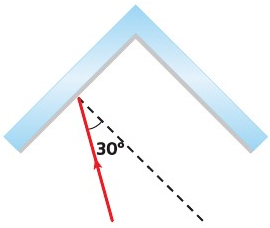
38. سقط شعاع ضوئي على مرآة وكوّن معها زاوية مقدارها 36°. ما مقدار الزاوية بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس؟

39. سقط شعاع من الضوء على المرآة بزاوية قدرها 38° مع العمود المقام. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمود المقام؟

40. يبيّن **الشكل 19** مرآتين مستويتين متجاورتين بزاوية مقدارها 90°. فإذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما بزاوية مقدارها 30° أجب عمّا يلي:

a. ما الزاوية التي ينعكس عندها شعاع الضوء من المرآة الأخرى؟

b. المرايا في **الشكل 19** تعمل كالعاكس؛ وهو أداة تعكس الأشعة الضوئية الساقطة عليها باتجاه معاكس وموازٍ لاتجاه الأشعة الساقطة. ارسم رسمًا تخطيطيًا كالمبيّن في الشكل، وارسم الأشعة المنعكسة لتوضح أن نظام المرايا هذا يعمل كالعاكس.



الشكل 19

41. سقط شعاع ضوئي على مرآة بزاوية مقدارها 53° مع العمود المقام. ما مقدار زاوية الانعكاس؟ ما مقدار الزاوية الواقعة بين الشعاع الساقط والشعاع المنعكس؟

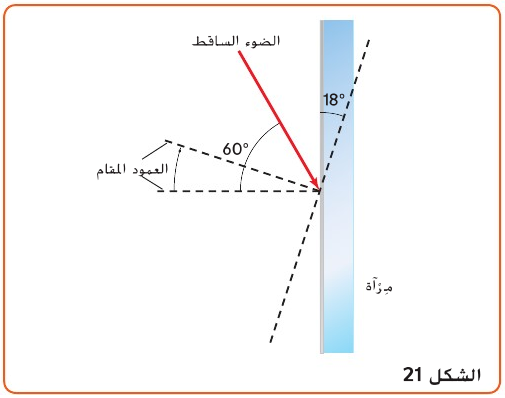
42. ارسم رسمًا تخطيطيًا للأشعة لمرآة مستوية، لكي توضح أنه لكي تتمكن من رؤية نفسك كاملًا فيها من رأسك إلى قدميك، ينبغي أن تكون المرآة بنصف طولك ومثبّتة بحيث يكون طرفها العلوي موازيًا لرأسك.

43. إذا كان لديك مرآة مستوية صغيرة وتريد تثبيتها على حائط لكي تشاهد ركبتيك، فأين ينبغي أن تضع المرآة؟

44. **صورة في مرآة** يرغب سعيد في التقاط صورة لصورته في مرآة مستوية، كما في **الشكل 20**. إذا كانت الكاميرا على بُعد 1.2 m أمام المرآة، فعلى أي بعد يجب أن يركز عدسة الكاميرا لالتقاط الصورة؟

الشكل 20

45. سقط شعاع من الضوء على مرآة بزاوية مقدارها 60° ودوّرت المرآة بعد ذلك بزاوية مقدارها 18°. كما يبيّن **الشكل 21**. ما مقدار الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع المرآة؟



الشكل 21

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

46. مرآتان مستويتان، الزاوية بينهما مقدارها 45°. إذا سقط شعاع ضوئي على إحداهما وكوّن زاوية مقدارها 30° مع العمود المقام، وانعكس باتجاه المرآة الثانية، ما مقدار زاوية انعكاسه عن المرآة الثانية؟

القسم 2 المرايا الكروية

إتقان المفاهيم

47. إذا تكونت صورة خيالية لجسم في مرآة مقعرة، أين من الممكن أن يقع هذا الجسم؟

48. ما العيب الموجود في المرايا الكروّية المقعّرة، وما سبب ذلك العيب؟

49. ما المعادلة التي تربط بين البُعد البؤري وبُعد الجسم وبُعد الصورة؟

50. ما العلاقة بين نصف قطر التكوّر في مرآة مقعّرة والبُعد البؤريّ فيها؟

51. إذا كنت تعرف بُعد الصورة وبُعد الجسم بالنسبة إلى المرآة الكروية، فكيف يمكنك تحديد تكبير المرآة؟

52. لماذا تُستخدم المرايا المحدبة كمرايا للرؤية الخلفية؟

53. لماذا لا يمكن تكوين صورة حقيقية في المرآة المحدبة؟

إتقان حل المسائل

54. مدينة الألعاب وقف خالد أمام مرآة محدبة في مدينة الألعاب ولاحظ تكوّن صورة له طولها 0.60 m. فإذا كان حجم الصورة إلى حجم الجسم يساوي $\frac{1}{3}$، فكم يبلغ طول خالد؟

55. إذا وضعت جسمًا على بُعد 30.0 cm من مرآة مقعّرة بُعدها البؤريّ 15.0 cm، وكان طول الجسم 1.8 cm، استخدم معادلة المرآة لإيجاد بُعد الصورة وطولها.

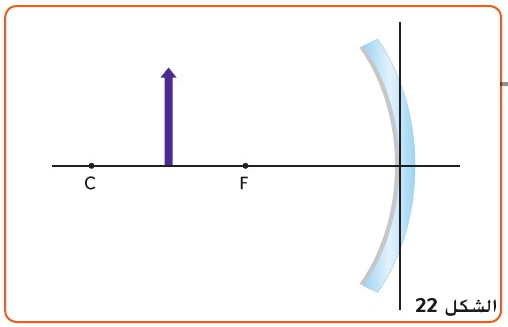
56. يبلغ البُعد البؤريّ لمرآة مقعّرة 10.0 cm. كم يساوي نصف قطر تكوّرها؟

57. مرآة الرؤية الخلفية أوجد مقدار البُعد الذي تظهر فيه صورة سيارة في مرآة محدبة لسيارة أخرى أمامها بُعدها البؤري 26.0 m، وكان البعد ما بين السيارة الخلفية ومرآة السيارة الأمامية 10.0 m.

58. صورة النجم إذا جمع الضوء المنبعث عن نجم بواسطة مرآة مقعّرة، ما المسافة التي تبعدها صورة النجم عن المرآة إذا كان نصف قطر تكوّرها يساوي 150 cm؟

59. تظهر صورة خيالية على بُعد 9 cm من مرآة محدبة، إذا كان الجسم يقع على بُعد 18 cm منها، كم تبلغ نسبة تكبير الصورة؟

60. صِف الصورة التي تظهر للجسم في **الشكل 22** على أنها: حقيقية أم خيالية، مقلوبة أم معتدلة، مصغرة أم مكبرة.



الشكل 22

61. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزيائية تتضمن أجسامًا من واقع الحياة، وعلى أن تكون المعادلة التالية جزءًا من الحل المطلوب لها: $\frac{1}{0.40\ \text{m}} = \frac{1}{0.75\ \text{m}} + \frac{1}{x_o}$.

62. مهمة الترتيب في ما يلي أطوال أجسام وأطوال صورها في عدة مرايا. اعتمد على مقدار التكبير، ورتّبها بحسب طولها من الأكبر إلى الأصغر.

A. الجسم 1.0 cm، الصورة 0.5 cm

B. الجسم 2.0 cm، الصورة 0.5 cm

C. الجسم 2.0 cm، الصورة 1.0 cm

D. الجسم 5.0 cm، الصورة 7.0 cm

E. الجسم 3.0 cm، الصورة 2.0 cm

63. مرآة الأسنان يستخدم طبيب الأسنان مرآة صغيرة يبلغ نصف قطر تكوّرها 40 mm لمشاهدة التسوس في أسنان المريض. إذا كانت المرآة تقع على بُعد 16 mm من الأسنان، تكبير الصورة؟

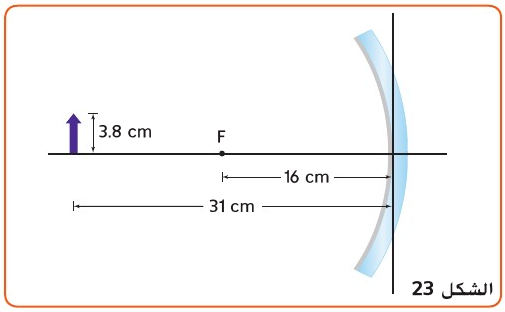
64. وُضع جسم طوله 24 mm على بُعد 12.0 cm من مرآة مقعّرة. إذا سقط ضوء الشمس على المرآة وتكونت صورة على بُعد 3.0 cm من المرآة. ارسم رسمًا تخطيطيًا للأشعة توضح من خلاله موقع الصورة. استخدم معادلة المرآة لحساب بُعد الصورة. وما طول الصورة؟

65. وُضع جسم يبلغ طوله 3.0 cm على بُعد 22.4 cm من مرآة مقعّرة. إذا كان نصف قطر تكوّرها يساوي 34.0 cm، فما بُعد الصورة، وما طولها؟

66. الكرات الفلزية المصقولة المثبتة على الأعمدة على أطراف الحدائق تعمل عمل المرايا المحدبة. إذا كان هنالك طائر طوله 12 cm على شجرة تبعد 1.5 m من إحدى هذه الكرات قطرها 40.0 cm وتكونت له صورة عليها. فما بُعد الصورة، وما طولها؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

67. أوجد بُعد وطول صورة الجسم الموضّح في **الشكل 23**.

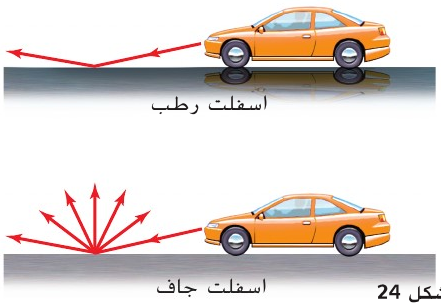


الشكل 23

68. **مرآة الصائغ** يفحص الصائغ ساعة يبلغ قطرها 3.0 cm عن طريق وضعها على مسافة 8.0 cm أمام مرآة مقعّرة بُعدها البؤريّ 12.0 cm. أين تقع صورة الساعة؟ كم يبلغ قطر الصورة؟

تطبيق المفاهيم

69. **الفكرة الرئيسة** يشتت الطريق الجاف الضوء بشكل أكبر من الطريق المبلل. اعتمادًا على **الشكل 24**، فسّر سبب ظهور الطريق المبلل أكثر سوادًا من الطرق الجافة بالنسبة إلى سائق السيارة.



الشكل 24

70. **صفحات الكتاب** لماذا يُستحسن أن تكون صفحات الكتاب خشنة وليست ملساء أو مصقولة؟

71. حدد مكان الصورة التي تظهر في المرآة المقعّرة وصفاتها عندما يقع الجسم عند مركز تكوّرها.

72. إذا وقع الجسم خلف مركز تكوّر إحدى المرايا الكرويّة المقعّرة. حدد مكان الصورة وصفاتها.

73. **التلسكوب** إذا أردت طلب مرآة مقعرة كبيرة من أجل تلسكوب عالي الجودة. فهل تطلب مرآة كروية أم مرآة قطع مكافىء؟ فسّر إجابتك.

74. وضح كيف يمكنك استخدام مرآة كروية (محدبة أو مقعرة) في الحصول على صورة حقيقية.

75. **مرايا الرؤية الخلفية** يكتب على مرايا الرؤية الخلفية الخارجية في السيارات غالبًا التحذير التالي "الأجسام في المرآة أقرب مما تبدو عليه". ما نوع هذه المرايا؟ وبمَ يستفيد منها السائق؟

76. ما صفات الصورة التي تظهر في المرآة المحدبة المبيّنة في **الشكل 25**.

الشكل 25

مراجعة عامة

77. **طرح مسألة** أكمل هذه المسألة بحيث تكون الصورة الناتجة خيالية: "وُضع جسم على مسافة 32 cm من مرآة ...."

78. وُضع جسم على مسافة 4.4 cm أمام مرآة مقعّرة نصف قطرها 24.0 cm. أوجد بُعد الصورة باستخدام معادلة المرآة.

79. سقط شعاع ضوء على مرآة مستوية وصنع زاوية مقدارها 28° مع العمود المقام؛ إذا تحرك مصدر الضوء بحيث زادت الزاوية بمقدار 34°، فما مقدار زاوية الانعكاس الجديدة؟

80. مرآة مقعرة نصف قطر تكوّرها 26.0 cm. وُضع جسم طوله 2.4 cm على بُعد 30.0 cm منها. ما بُعد الصورة؟ وكم طولها؟

81. إذا أردت استخدام مرآة محدبة لتكوين صورة لجسم، بحيث يكون طولها نصف طول الجسم وعلى بُعد 36 cm خلف المرآة. ما البُعد البؤري المطلوب في المرآة؟

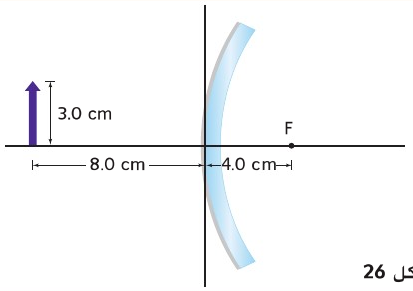
82. كم يبلغ نصف قطر تكوّر مرآة مقعّرة تكون صورة لجسم مكبرة بمقدار 13.2على بُعد 20.0 cm منها؟

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف

83. وُضعت كرة على مسافة 22 cm أمام مرآة كروية وتكوّن صورة خيالية. إذا استبدلت المرآة الكروية بمرآة مستوية، ستظهر الصورة أقرب إلى المرآة مسافة 12 cm. ما نوع المرآة الكروية المستخدمة؟

84. خدعة بصرية يستخدم المخادع البصري مرآة مقعرة بُعدها البؤري 8.0 m لإظهار جسم مخفي يصل طوله إلى 3.0 m ويقع على بُعد 18.0 m من المرآة كصورة حقيقية يراها جمهوره. أوجد طول صورة الجسم وبُعدها باستخدام الرسم التخطيطي للأشعة.

85. انسخ **الشكل 26** على ورقة. استخدم مخططات الأشعة لتكوين صورة للجسم في المرآة لإيجاد ارتفاع الصورة وموضعها.



الشكل 26

86. وُضع جسمٌ طوله 4.0 cm على مسافة 12.0 cm من مرآة محدبة. إذا كان طول صورة الجسم 2.0 cm وتقع الصورة على مسافة 26.0 cm، فكم يساوي البُعد البوريّ للمرآة؟ ارسم رسمًا تخطيطيًا للأشعة للإجابة عن السؤال. استخدم معادلة المرآة ومعادلة التكبير للتحقق من الإجابة.

87. مرآة المراقبة يستخدم محل تجاري مرايا لمراقبة الممتلكات داخله، إذا كان نصف قطر تكوّر كل منها 3.8 m.

a. أين تقع صورة الزبون الذي يقف على مسافة 6.5 m أمام المرآة؟

b. كم يبلغ طول صورة الزبون الذي يصل طوله إلى 1.7 m؟

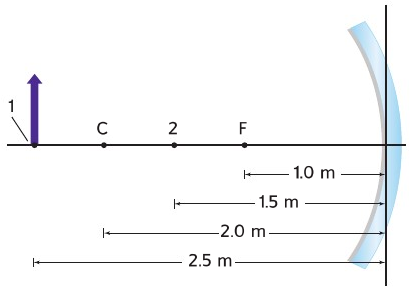
88. مرآة المعاينة يريد مهندس صنع مرآة تكون صورة معتدلة للجسم مكبّرة 7.5 مرة إذا تم تثبيتها على بُعد 14.0 mm من طرف الآلة.

a. ما نوع المرآة التي يمكنها القيام بذلك؟

b. أوجد نصف قطر تكوّرها؟

89. تقف فتاة طولها 1.6 m على مسافة 3.2 m من مرآة محدبة. ما البُعد البؤريّ للمرآة إذا كان طول صورة الفتاة 0.28 m؟

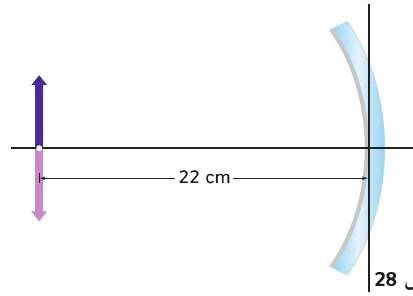
90. يتحرّك الجسم **في الشكل 27** من الموضع 1 إلى الموضع 2. انسخ الرسم التخطيطي على دفترك، وأكمل رسم الأشعة لتوضّح كيف تتغير الصورة.



الشكل 27

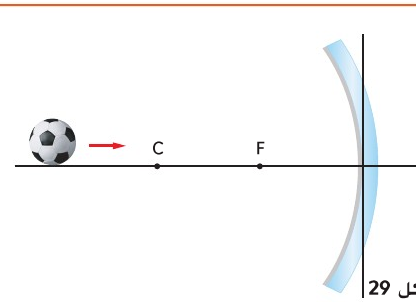
التفكير الناقد

91. حلل واستنتج يقع الجسم الموجود في **الشكل 28** على مسافة 22 cm من مرآة مقعّرة. فما البُعد البؤريّ للمرآة؟



الشكل 28

92. طبّق المفاهيم تتدحرج الكرة الموجودة في **الشكل 29** ببطء صوب المرآة المقعّرة الموجودة عن اليمين. صِف كيفية تغيّر حجم صورة الكرة أثناء تدحرجها.



الشكل 29

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

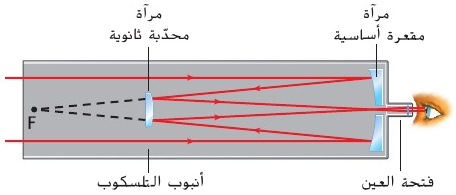
93. حلل واستنتج إنّ النظام المتكوّن من مرآتين والموضّح في **الشكل 14** هو نفسه المطبّق في تلسكوب جريجوري. إذا كان نصف قطر تكوّر المرآة الكبيرة المقعرة يساوي r وبُعدها البؤريّ f. وتقع المرآة الصغيرة على مسافة x بحيث إن $f < x < r$. لماذا تكون المرآة الثانوية مقعّرة؟

94. تأخذ ملعقة التقديم الكبيرة شكلًا كرويًا وتكون عاكسة من وجهيها الخارجي والداخلي على حد سواء. إذا أمسكت الملعقة على مسافة 3 cm ونظرت إلى وجهك في الجزء الذي تحمل به الطعام، فستكون صورتك على مسافة 9 cm خلف الملعقة. إذا قلبت الملعقة، ففي أي مكان ستقع صورتك؟

95. إنّ الصورة التي تظهر في المرآة الأساسية في تلسكوب كاسيجرين، كما هو موضّح في **الشكل 30**، هي للجسم الموجود في المرآة الثانوية. إذا كان البُعد البؤريّ للمرآة الاساسية المقعّرة 1.0 m والبُعد البؤريّ للمرآة الثانوية المحدبة −0.50 m. تقع المرآة الثانوية على مسافة 0.25 m من بؤرة المرآة الاساسية.

a. ما بُعد الجسم؟ وأين تقع الصورة؟

b. ما تكبير المرآة المحدبة؟ هل تعكس الصورة؟



الشكل 30

96. حلل واستنتج يستعمل في بعض التلسكوبات ترتيب بصري يسمى "كاسيجرين" كالمبين في **الشكل 30**. إذ يستخدم في هذا التلسكوب مرآة محدبة ثانوية توضع بين المرآة الاساسية وبؤرتها. وكما تعرف فالمرآة المحدبة تكوّن صورًا خيالية فقط. إلا أنها في هذا التلسكوب تكوّن صورًا حقيقية. فسّر ذلك.

الكتابة في الفيزياء

97. ابحث عن طريقة تُستخدم في صقل وتلميع وفحص المرايا المستخدمة في التلسكوبات العاكسة. كما يمكنك الكتابة عن الطريقة التي يستخدمها هواة علم الفلك في صناعة التلسكوبات باليد. واكتب تقريرًا في ذلك واعرضه على زملائك في الصف.

98. تعكس المرايا الضوء بسبب طبقة الطلاء الفلزية الموجودة عليها. ابحث عن أحد من التالي واكتب تقريرًا عنه:

a. الأنواع المختلفة لطبقات الطلاء المستخدمة ومزايا وعيوب كل منها

b. صقل الألمنيوم بصورة دقيقة حتى يصل إلى درجة عالية جدًا من النعومة، وهذا يفيد في عدم حاجة الزجاج في تصنيع المرايا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الاختيار من متعدد

1. أين يقع جسم إن كانت الصورة المتكوّنة له في مرآة مقعرة أصغر من الجسم؟
   - **A.** عند بؤرة المرآة
   - **B.** بين المرآة والبؤرة
   - **C.** بين البؤرة ومركز تكور المرآة
   - **D.** أبعد من مركز تكور المرآة

2. تُكوّن مرآة مقعرة يبلغ بعدها البؤري 16.0 cm صورة تقع على بعد 38.6 cm من المرآة. فما المسافة التي يبعدها الجسم من أمام المرآة؟

A. 2.4 cm	**C.** 22.6 cm
B. 11.3 cm	**D.** 27.3 cm

3. استخدمت مرآة محدبة لتكوين صورة لجسم حجمها ثلاثة أرباع حجمه وعلى بُعد 8.4 cm خلف المرآة. كم يبلغ البُعد البؤريّ للمرآة؟

A. -34 cm	**C.** −6.3 cm
B. −11 cm	**D.** −4.8 cm

4. تكون مرآة مقعرة صورة مقلوبة لجسم طولها 8.5 cm، وتقع على بُعد 34.5 cm أمام المرآة. إذا كان البعد البؤري للمرآة 24.0 cm، فكم يبلغ طول الجسم؟

A. 2.3 cm	**C.** 14 cm
B. 3.5 cm	**D.** 19 cm

5. وُضع كوب على بُعد 17 cm من مرآة مقعرة، فظهرت صورة الكوب على بعد 34 cm أمام المرآة. فما مقدار تكبير واتجاه صورة الكوب؟

A. 0.5، مقلوبة	**C.** 2.0، مقلوبة
B. 0.5، معتدلة	**D.** 2.0، معتدلة

6. كم يبلغ البُعد البؤريّ لمرآة مقعرة تقوم بتكبير الجسم الواقع على بُعد 30 cm منها بمعامل 3.2+؟

A. 23 cm	**C.** 44 cm
B. 32 cm	**D.** 46 cm

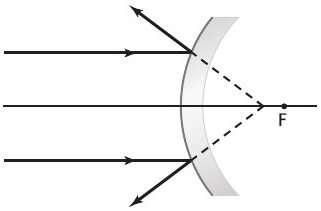
7. وُضع جسم على بعد 21 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري يساوي 14 cm. فما بُعد صورته؟

A. 242 cm	**C.** 8.4 cm
B. 28.4 cm	**D.** 42 cm

8. اصطدم شعاع ضوئي بمرآة مستوية بزاوية قدرها 23° مع العمود المقام. كم تكون زاوية انعكاسه عن المرآة؟

A. 23°	**C.** 67°
B. 46°	**D.** 134°

9. انظر إلى الشكل أدناه. ولاحظ كيف أن امتدادات الأشعة لا تتجمع في البؤرة بشكل دقيق. أين تحدث هذه المشكلة؟
   - **A.** لجميع المرايا الكروية.
   - **B.** لجميع مرايا القطع المكافئ.
   - **C.** المرايا الكروية المعيبة فقط.
   - **D.** مرايا القطع المكافئ المعيبة فقط.



أسئلة ذات إجابات مفتوحة

10. يوجد جسم طوله 5.0 cm على بُعد 20.0 cm من مرآة محدبة بُعدها البؤري 14.0 cm−. ارسم مخطط الأشعة بمقياس رسم مناسب لتبين موقع صورة الجسم وطولها.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الوحدة 8

الانكسار والعدسات

الفكرة الرئيسة تعمل العدسات على انكسار الضوء وتكوين صور.

الأقسام

1 انكسار الضوء

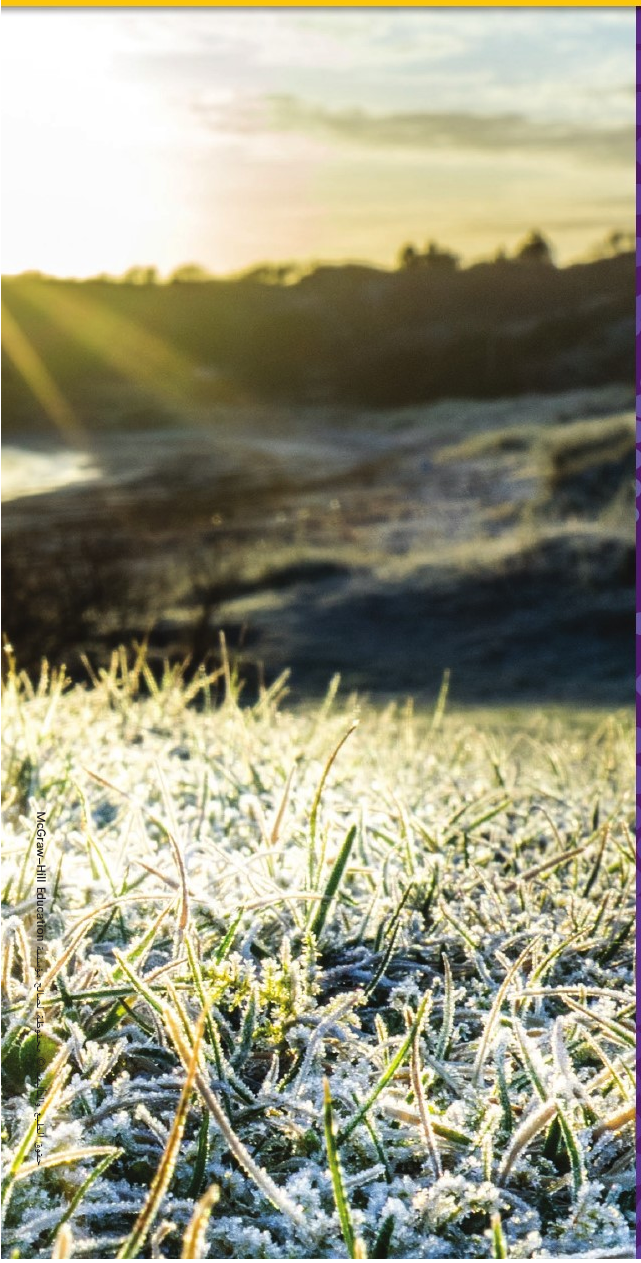
2 العدسات المحدبة والمقعرة

3 تطبيقات العدسات

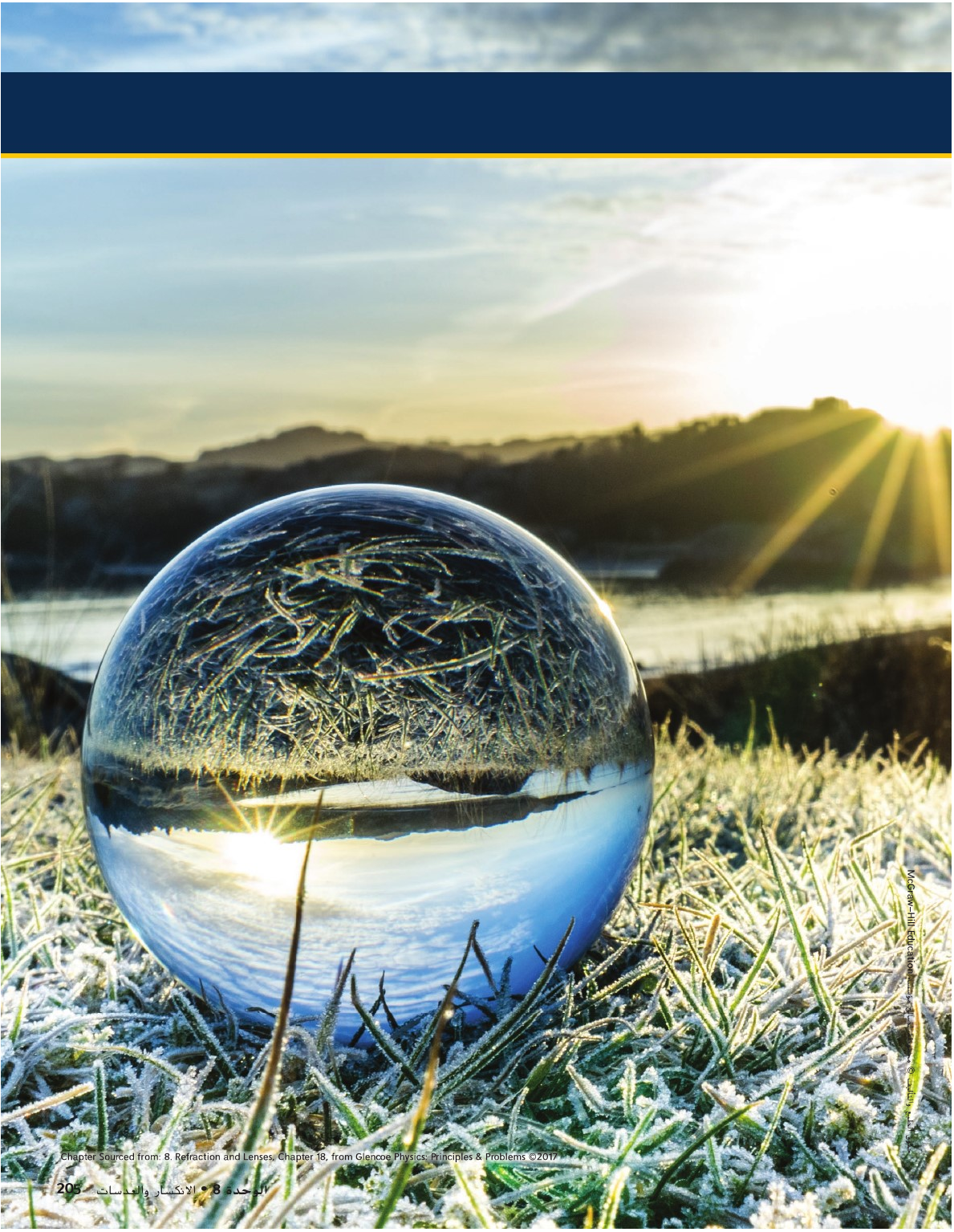
التجربة الاستهلالية

شكل الماصّة المكسورة

كيف تصف شكل انكسار ماصّة المشروبات الموضوعة في كوب من الماء؟



McGraw-Hill Education حقوق الطبع محفوظة



McGraw-Hill Education Photo/Ken Cavanagh ©

Chapter Sourced from: 8. Refraction and Lenses, Chapter 18, from Glencoe Physics: Principles & Problems ©2017

انكسار الضوء

الفيزياء في حياتك

هل سبق لك أن لاحظت قوس المطر في السماء عندما تسطع الشمس بعد هطول الأمطار؟ يعد قوس المطر مثالاً لتفاعل الضوء مع الأوساط الشفافة. ما الشروط التي يجب توافرها حتى يظهر قوس المطر للعيان؟ هل حاولت يومًا الاقتراب من قوس المطر كي تلمسه؟

الضوء والحدود الفاصلة بين وسطين

ماذا يحدث للضوء عندما يمرّ عبر النافذة؟ عندما يسقط الضوء على وَسَط شفاف أو شبه شفاف، تنعكس بعض أشعة الضوء من سطح الوَسَط ويمرّ بعضها الآخر عبر الوَسَط. تذكر أنّه عندما يعبر الضوء حدًا فاصلاً بين وَسَطين، فإنه ينحرف عن مساره.

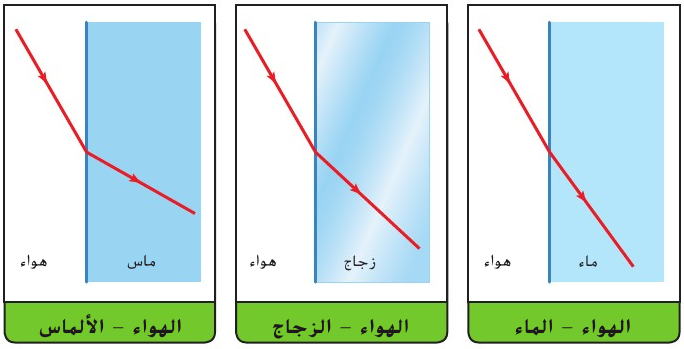
هل سبق ونظرت إلى قاع بركة السباحة عبر الماء وظننت أنّ الماء يبدو ضحلًا أكثر مما هو عليه في الحقيقة؟ هل سبق ونظرت إلى كوب من الماء يحتوي على ماصة أو ملعقة تبدو كأنها مكسورة عند السطح؟ تحدث هاتان الظاهرتان الغريبتان بسبب انحراف الضوء عند الحدود الفاصلة بين الوَسَطين. يُعرف انحراف الضوء عند انتقاله من وَسَط ما إلى وَسَط آخر بالانكسار.

الانكسار لاحظ أشعة الضوء في **الشكل 1**. حيث تسقط هذه الأشعة من الهواء على ثلاثة أوساط مختلفة هي: الماء والزجاج والألماس. إذا كانت زاوية سقوطها على الأوساط الثلاثة هي نفسها، ما الذي تلاحظه على أشعة الضوء بعد مرورها الحد الفاصل في كل من الأوساط الثلاثة؟ لعلّك لاحظت أن أشعة الضوء تنحرف عند مرورها عبر الحدود الفاصلة.

ما وجه الاختلاف الذي تلاحظه بين الأوساط الثلاثة الموضّحة؟ تنحرف أشعة الضوء عند انتقالها من الهواء إلى الألماس بدرجة أكبر منها عند انتقالها من الهواء إلى الماء أو إلى الزجاج. تعتمد هذه الظاهرة على خصائص الأوساط التي تنتقل منها وإليها أشعة الضوء.

تنتقل أشعة الضوء في **الشكل 1** من الهواء وتدخل وَسَطًا آخر بالزاوية نفسها. في رأيك، ما العلاقة بين زاوية سقوط الضوء عند مروره عبر الحد الفاصل بين وسطين ومقدار الانكسار الذي يحدث له؟

الشكل 1 ينكسر الضوء عند مروره عبر حد فاصل بين وسطين. ويعتمد مقدار الانكسار على خصائص الأوساط. (الزوايا غير مرسومة بمقياس رسم)



الفكرة الرئيسة

يعتمد مقدار الانكسار عند الحد على معاملي انكسار الوسطين وزاوية السقوط.

الأسئلة الرئيسة

- ما قانون سنل للانكسار؟
- ما المقصود بمعامل الانكسار؟
- كيف يحدث الانعكاس الداخلي الكلي؟
- كيف يؤدي الانكسار إلى ظواهر بصرية متعددة؟

مراجعة المفردات

الانكسار refraction: تغيّر اتجاه الموجات عند الحد الفاصل بين وَسَطين مختلفين

مفردات جديدة

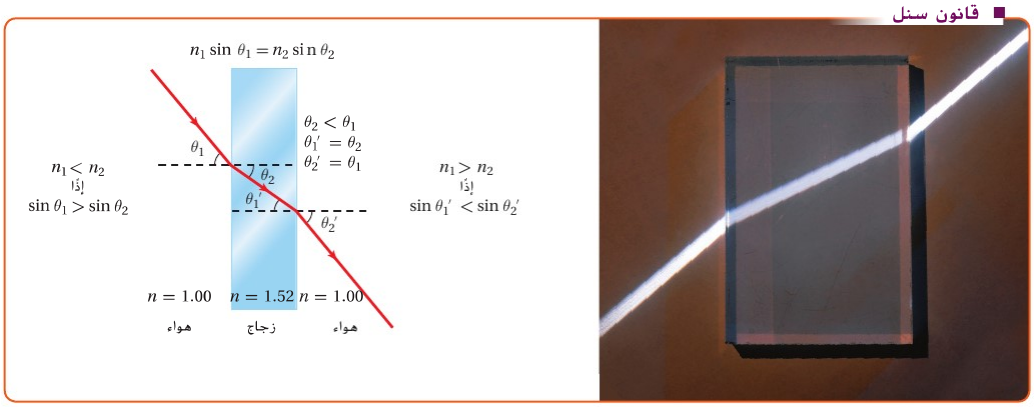
معامل الانكِسار
index of refraction

زاوية حرجة **critical angle**

انعكاس داخلي كلي
total internal reflection

تحلّل الضوء **dispersion**

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة



الشكل 2 عند انتقال الضوء من الهواء إلى الزجاج، فإنه ينكسر مقتربًا من العمود المقام على السطح الأول للزجاج، ثم عند نفاذه من الزجاج إلى الهواء مرة أخرى ينكسر مبتعدًا عن العمود المقام على السطح الثاني للزجاج.

قانون سنل للانكسار

درس كل من رينيه ديكارت وويلبرورد سنل الانكسار للمرة الأولى في القرن السابع عشر من خلال إسقاط حزمة ضيقة من الضوء على وَسَط شفاف، مثل الزجاج كما يُبيّن **الشكل 2**. وقاسا زاوية السقوط وزاوية الانكسار، إذ إن زاوية السقوط ($\theta 1$) هي الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط وعمود الانكسار. أما زاوية الانكسار ($\theta 2$) فهي الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر وعمود الانكسار.

معامل الانكسار اكتشف سنل أنه عندما ينتقل الضوء من الهواء إلى وسط شفاف آخر فإن ثمة علاقة بين جيبي (sin) زاويتي السقوط في الهواء والانكسار في الوسط الثاني، إذ يحدد **معامل الانكسار** (n) تلك العلاقة، أما معامل الانكسار للوسط فتحدده خصائص ذلك الوسط. **والجدول 1** يبيّن قيم n لعدد من الأوساط الشفافة.

بإجرائه العديد من التجارب توصل سنل إلى قانون الانكسار الذي عرف باسمه، والذي ينطبق عند نفاذ الضوء عبر الحد الفاصل بين وسطين مختلفين.

قانون سنل للانكسار

حاصل ضرب معامل انكسار الوَسَط الأول في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوَسَط الثاني في جيب زاوية الانكسار.

$$n1 \sin \theta 1 = n2 \sin \theta 2$$

استخدم **الشكل 2** و**الجدول 1** لتوضيح مدى تحقُّق قانون سنل عند انتقال الضوء عبر قطعة زجاج ذات سطوح متوازية، مثل لوح الزجاج في النافذة. إذ ينكسر الضوء مرتين، الأولى عند دخوله الزجاج والثانية عند خروجه منه. عندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الزجاج، فإنه ينتقل من وَسَط معامل انكساره قليل ($n = 1$) إلى وسط معامل انكساره أكبر ($n = 1.52$)، وينحرف الضوء نحو العمود المقام.

عند انتقال الضوء من الزجاج إلى الهواء، فإنه ينتقل من وَسَط معامل انكساره n أكبر (1.52) إلى وَسَط معامل انكساره n أقل (1.00). وينحرف الضوء بعيدًا من العمود المقام. تحدد قيم n النسبية ما إذا كان الضوء سينحرف مقتربًا من العمود المقام أم مبتعدًا عنه. لاحظ اتجاه الشعاع عند خروجه من الزجاج. إنّه في الاتجاه نفسه كما كان قبل سقوطه على الزجاج. $\theta 1 = \theta 2'$. وذلك لأنّ الحدين يفصلان بين الوَسَطين عينهما.

الفيزياء في حياتك

الجلوس في الهواء :– هل سبق لك وأن شاهدت شخصًا يجلس في الهواء ؟

في الواقع إنه يجلس فوق كتلة شفافة معامل انكسارها يساوي معامل انكسار الهواء.

هل تستطيع الآن أن تفسر كيف يمشي شخص حافي القدمين على سطح الماء؟

الجدول 1

معاملات انكسار الضوء الأصفر ($\lambda = 589$ nm) في الفراغ

الوسط	n
الفراغ	1.00
هواء	1.0003*
الماء	1.33
الإيثانول	1.36
الزجاج المصقول	1.52
الكوارتز	1.54
الزجاج الصواني	1.62
ألماس	2.42

*تتضمن القيمة المحددة للهواء أرقامًا معنوية إضافية لتمييزها عن القيمة المحددة للفراغ. استخدم قيمة n بمقدار 1.00 في حل المسائل.

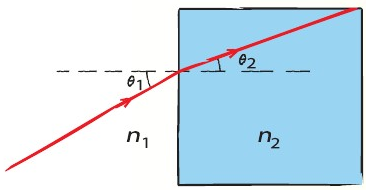
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

مثال 1

زاوية الانكسار تسقط حزمة من الضوء على لوح من الزجاج المصقول بزاوية 30.0°. فما زاوية انكسار شعاع الضوء؟

1 تحليل المسألة ورسم مخطط لها

- ارسم مخططًا للحد الفاصل بين الهواء والزجاج المصقول.
- ارسم شعاع الضوء وضع التسميات $\theta 1$ و $\theta 2$ و $n1$ و $n2$.



المعلوم:
$\theta 1 = 30.0°$
$n1 = 1.00$
$n2 = 1.52$

المجهول:
$\theta 2 = ?$

2 حساب زاوية الانكسار

استخدم قانون سنل لإيجاد جيب زاوية الانكسار.

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

$$\sin\theta_2 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\left(\left(\frac{n_1}{n_2}\right)\sin\theta_1\right)$$

عوّض عن $n1 = 1.00$, $n2 = 1.52$, $\theta 1 = 30.0°$. ◄

$$= \sin^{-1}\left(\left(\frac{1.00}{1.52}\right)\sin 30.0°\right)$$

$$= 19.2°$$

3 تقييم الإجابة

هل هذه الإجابة معقولة؟ تنتقل حزمة الضوء إلى وَسَط ذي n أعلى. ثمّ، يجب أن تكون $\theta 2$ أقل من $\theta 1$.

تطبيق

1. تنتقل حزمة ليزر من الهواء إلى الإيثانول بزاوية سقوط 37.0°. كم تبلغ زاوية الانكسار؟
2. عندما ينتقل الضوء من الهواء إلى الماء فإنه ينفذ داخل الماء بزاوية انكسار مقدارها 25.0° بالنسبة الى العمود المقام. جد زاوية سقوطه في الهواء.
3. ينتقل الضوء من الهواء إلى واجهة من الألماس بزاوية 45.0°. كم تبلغ زاوية الانكسار؟
4. غمرت كتلة من مادة شفافة في الماء، فانتقل الضوء إليها من الماء بزاوية سقوط تساوي 31°. ثم نفذ داخلها بزاوية انكسار تساوي 27°. ما معامل انكسار تلك المادة؟
5. **تحفيز** ينتقل الضوء من الهواء إلى وسط آخر بزاوية سقوط في الهواء تساوي 45.0° وزاوية انكسار في الوسط الآخر 27.7°. ما الوسط الآخر؟

الربط بعلم الفلك ◄ بسبب انكسار الضوء يظهر القمر باللون الأحمر أثناء ظاهرة خسوف القمر، كما هو موضّح في **الشكل 3**. ويحدث خسوف القمر عندما تحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر. ونتيجة لهذا، من المتوقع أن يكون القمر مظلمًا تمامًا بسبب وقوعه في منطقة الظل. إلا أنه حينما ينتقل الضوء بين وسطي الفراغ والغلاف الجوي للأرض فإنه ينكسر منحرفًا نحو الأرض، أي باتجاه القمر. وحيث إن الغلاف الجوي للأرض يشتت الأطوال الموجية القصيرة للضوء وهي الأزرق والأخضر، فإن الضوء الأحمر هو الذي ينفذ منحرفًا نحو القمر، فيظهر القمر في حالة الخسوف باللون الأحمر.

الشكل 3 يبدو القمر أحمر أثناء خسوف القمر بسبب الانكسار.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

معامل الانكسار

يصف معامل الانكسار لوسط ما مقدار الانحراف في مسار الضوء عند دخوله هذا الوسط. لكن هل من دلالة أخرى لمعامل الانكسار؟ عند النظر إلى الضوء على أنه موجات، نجد هناك علاقة بين انتشار الضوء في الوسط ومعامل انكساره. لقد أنجز قانون سنل قبل وضع النموذج الموجي. لكن بعد تطوير النموذج الموجي الذي يفسر سلوك الضوء تمكن العلماء من تفسير انتقال الضوء في الوسط بسرعة أقل من انتقاله في الفراغ نتيجة تفاعله مع ذرات الوسط.

تذكر أنّ سرعة انتقال الضوء في الفراغ، $\lambda_0 = \frac{c}{f}$. ويمكن كتابتها كما يلي $\lambda = \frac{v}{f}$، حيث يمثّل v سرعة الضوء في وَسَط ويمثّل λ الطول الموجي في ذلك الوَسَط. إنّ التردد (f) هو عدد ذبذبات الموجة في الثانية الواحدة، ولا يتغيّر مقداره عند الحد الفاصل بين الوسطين. ولأن f يبقى كما هو و $\lambda = \frac{v}{f}$، يقل الطول الموجي حينما تقل سرعة الضوء أثناء مروره عبر السطح الفاصل بين الوسطين. ولأن سرعة الضوء في الوسط أقل من سرعة الضوء في الفراغ، فإن طوله الموجي في أي وَسَط يكون أقصر منه في الفراغ.

النموذج الموجي ما النتائج المترتبة على هذا التغيّر في الطول الموجي؟ للإجابة عن السؤال انظر إلى **الشكل 4** الذي يوضح حزمة من الضوء مُكوّنة من سلسلة من مقدمات الموجات المتوازية والمستقيمة. وتمثّل كل مقدمة موجة قمة الموجة حيث تكون عمودية على اتجاه انتقال الحزمة التي تسقط على السطح بزاوية $\theta 1$. انظر إلى المثلث $\triangle PQR$. بما أنّ مقدمات الموجات عمودية على اتجاه الحزمة، فإن الزاوية $\angle PQR$ زاوية قائمة، والزاوية $\angle QRP$ تساوي $\theta 1$. بالتالي، $\sin \theta 1$ يساوي $\overline{PQ}$ مقسومًا على $\overline{PR}$.

$$\sin \theta_1 = \frac{\overline{PQ}}{\overline{PR}}$$

يمكن ربط زاوية الانكسار ($\theta 2$) بطريقة مشابهة بالمثلث $\triangle PSR$، كما يلي:

$$\sin \theta_2 = \frac{\overline{RS}}{\overline{PR}}$$

وبحساب نسبة جيبي الزاويتين، تُلغى $\overline{PR}$ وتصبح المعادلة على النحو التالي:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{\overline{RS}}{\overline{PQ}}$$

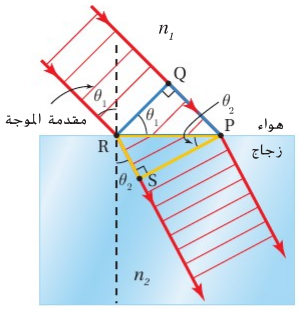
في **الشكل 4** يمثّل $\overline{PQ}$ ثلاثة أمثال الطول الموجي للضوء في الهواء، ويمكن كتابة ذلك بالصورة $\overline{PQ} = 3\lambda_1$. وبطريقة مماثلة، $\overline{RS} = 3\lambda_2$. بالتعويض عن هاتين القيمتين في المعادلة السابقة وإلغاء العامل المشترك 3، تنتج معادلة تربط زاويتي السقوط والانكسار بالطول الموجي للضوء في كل من الوَسَطين.

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{3\lambda_2}{3\lambda_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

باستخدام المعادلة $\lambda = \frac{v}{f}$ وإلغاء العامل المشترك f، لأنّ التردد يبقى ثابتًا، يمكن إعادة كتابة المعادلة بالصورة:

$$\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$

الموجات الساقطة



الشكل 4 تخترق كل مقدمة موجة السطح الفاصل منتقلة من الهواء إلى الزجاج بزاوية ما. تقل سرعة جزء من مقدمة الموجة وينكسر الشعاع. وحيث إنّ سرعة الموجة تقل ويبقى التردد ثابتًا، لكي تكون العلاقة $\lambda = \frac{v}{f}$ صحيحة، يجب أن يقل الطول الموجي.

استدل أي الوَسَطين ذو معامل انكسار أعلى؟

مختبر الفيزياء

كيف ينكسر الضوء؟

هل يكون معامل انكسار الوَسَط ثابتًا؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

يمكن كتابة قانون سنل على أنّه النسبة بين جيبي زاويتي السقوط والانكسار.

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{n_1}{n_2}$$

و بالتعويض، ينتج من المعادلتين السابقتين المعادلة التالية:

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{v_2}{v_1}$$

في الفراغ، $n = 1.00$ و $v = c$. إذا كان أحد الوَسَطين فراغًا، فسيتم تبسيط المعادلة إلى معادلة تربط معامل الانكسار بسرعة الضوء في الوَسَط.

معامل الانكسار

معامل انكسار الوَسَط يُساوي سرعة الضوء في الفراغ مقسومًا على سرعة الضوء في الوَسَط.

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

يمكن استخدام هذا التعريف لمعامل الانكسار في إيجاد الطول الموجي للضوء في الوَسَط. ويُعبَّر عن سرعة الضوء في الوسط الذي معامل انكساره n، بالمعادلة $v=\frac{c}{n}$، والطول الموجي للضوء في الفراغ $\lambda_0=\frac{c}{f}$. وبحل المعادلة $\lambda=\frac{v}{f}$ بالنسبة الى التردد وتعويض المعادلتين $f=\frac{c}{\lambda_0}$ و $v=\frac{c}{n}$ فيها، تجد أن:

$$\lambda=\frac{(c/n)}{(c/\lambda_0)}=\frac{\lambda_0}{n}$$

لاحظ أنَّه، كما ذكرنا سابقًا، يكون الطول الموجي للضوء في وَسَط ما أصغر منه في الفراغ.

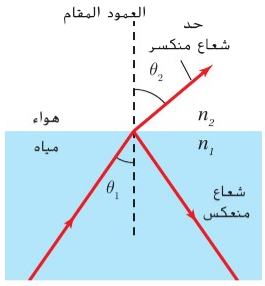
التأكد من فهم النص **صِف** العلاقة بين معامل الانكسار وسرعة الضوء في الوَسَط.

الانعكاس الكلي الداخلي

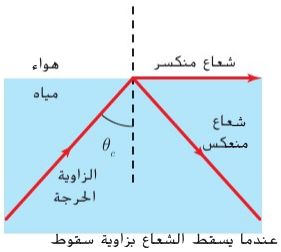
تذكر أنَّه عندما يسقط الضوء على سطح وسط شفاف، فإن بعض أشعة الضوء ينفذ منه وينعكس بعضها الآخر. عندما ينتقل الضوء من وَسَط معامل انكساره n أكبر إلى وَسَط معامل انكساره n أقل، تكون زاوية الانكسار أكبر من زاوية السقوط، كما هو مبيّن في **الشكل 5**. يؤدي هذا إلى حدوث ظاهرة مثيرة للانتباه، حيث إنه كلما زادت زاوية السقوط، زادت زاوية الانكسار. وعند زاوية سقوط معينة تُعرف باسم **الزاوية الحرجة** (θc)، ينكسر شعاع الضوء منطبقًا على السطح الفاصل بين الوسطين.

يحدث **الانعكاس الكلي الداخلي** عندما يسقط الضوء من وسط معامل انكساره كبير، على وسط معامل انكساره أقل على الحد الفاصل بينهما بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، ينعكس الضوء كله مرة أخرى داخل الوسط الذي معامل انكساره أكبر. ويتضح هذا في الرسم التخطيطي السفلي في **الشكل 5**. للتوصل إلى العلاقة الرياضية للزاوية الحرجة لأي وسط شفاف، يمكنك استخدام قانون سنل والتعويض عن $\theta 1 = \theta c$ و $\sin\theta 2 = \sin 90.0° = 1$.

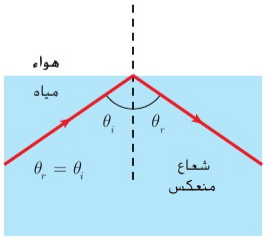
$$\sin\theta_c=\frac{n_2}{n_1}$$



ينكسر الضوء جزئيًا وينعكس جزئيًا عندما تكون زاوية السقوط أقل من الزاوية الحرجة.



عندما يسقط الشعاع بزاوية سقوط تساوي الزاوية الحرجة فإنه ينفذ في الوسط الثاني منطبقًا على السطح الفاصل بين الوسطين.



ينتج من زاوية السقوط الأكبر من الزاوية الحرجة انعكاس كلي داخلي، وذلك وفقًا لقانون الانعكاس.

الشكل 5 يعتمد انكسار الضوء المنتقل بين وَسَطين وانعكاسه على زاوية السقوط $\theta 1$.

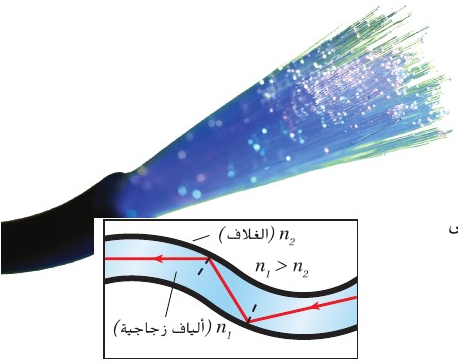
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

ينتج من الانعكاس الكلي الداخلي بعض الآثار التي تدعو للتأمل. افترض أنّك تسبح في بركة ماء وتنظر إلى سطح الماء، قد ترى انعكاس صورة معكوسة جانبيًا لجسم آخر تحت الماء أيضًا. وقد ترى أيضًا انعكاس قاع البركة نفسه، حيث يعمل سطح الماء عمل السطح العاكس للمرآة.

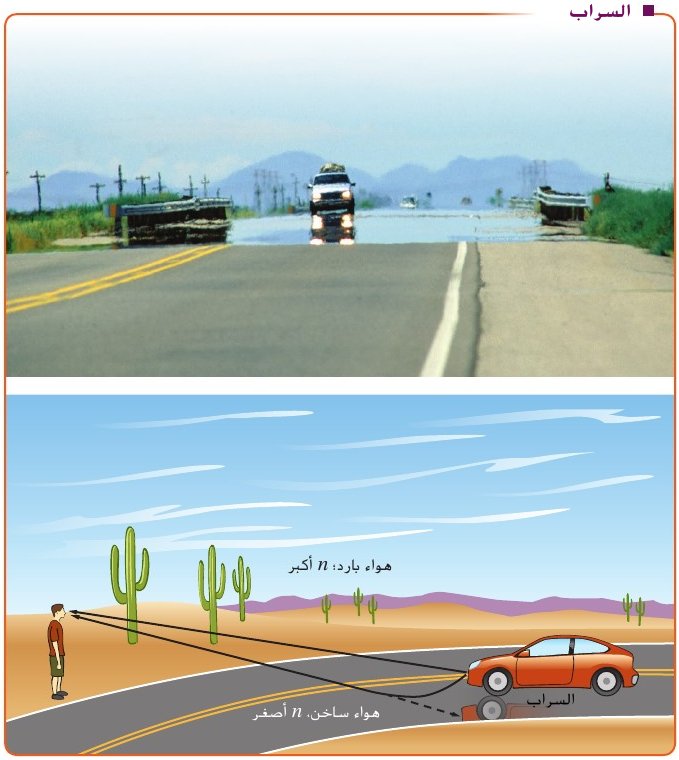
السراب

في يوم صيف حارّ، قد ترى ظاهرة السراب الموضّح في **الشكل 6**. لعلك لاحظت وأنت تركب السيارة على أحد الطرق، ما يبدو كأنه انعكاس في بركة ماء لصورة سيارة قادمة نحوك. إلا أنه كلما اقتربت من هذه البركة، تلاشت واختفت. فالسراب يحدث نتيجة تسخين حرارة الشمس للطريق، حيث تتغيّر سرعة الضوء، ثمَّ، يتغيّر معامل انكسار الوَسَط الغازي تغيرًّا طفيفًا باختلاف درجة الحرارة. إن الطريق الساخنة تُسخّن الهواء الملامس لها وتُنتج طبقة حرارية من الهواء تؤدي إلى انحراف الضوء المنتقل من السيارة إلى الطريق إلى أعلى تدريجيًا، حيث يجعل هذا الضوء يبدو قادمًا من انعكاس في بركة ماء.

يوضّح **الشكل 6** طريقة حدوث هذه الظاهرة. فعندما ينتقل الضوء القادم من الأجسام البعيدة مقتربًا من سطح الطريق، يقل معامل انكسار الهواء مع ارتفاع درجة الحرارة، إلا أنَّ تغيّر درجة الحرارة يحدث تدريجيًا. تذكر أنّ مقدمات موجات الضوء تتكوّن من مويجات هيجنز، وبتطبيق ذلك على ظاهرة السراب، نجد أن مويجات هيجنز القريبة من الأرض تنتقل على نحو أسرع من نظيراتها الأعلى، وينتج من ذلك انحراف مقدمات الموجات إلى أعلى تدريجيًا.



■ السراب



الشكل 6 إن موجات الضوء المنعكسة عن جسم السيارة نحو الطريق تنكسر عندما يكون الهواء القريب من سطح الطريق أكثر سخونة من الهواء الأعلى منه.

طبّق هل تنتقل موجات الضوء على نحو أسرع بالقرب من سطح الطريق أم بالقرب من قمة الشاحنة؟

الفيزياء في حياتك

الألياف البصرية يُستخدم الانعكاس الداخلي الكلي في الاتصالات عبر الألياف البصرية. إذ يسقط الضوء المنتقل عبر الألياف الشفافة على السطح الداخلي للّيف البصري دائمًا بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة. ينعكس الضوء انعكاسًا داخليًا كُلّيًا، ولا يخترق أي منه السطح. وتنقل النبضات الضوئية في كبلات الألياف البصرية كميات أكبر من المعلومات عبر مسافات أطول مقارنة بوسائل الاتصالات الأخرى. يُطلق على المادة الخارجية من الألياف اسم الغلاف.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

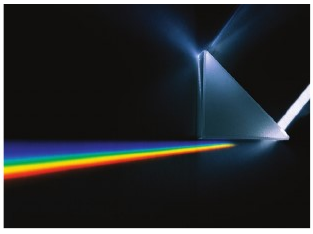
تحلل الضوء الأبيض

ربما تكون قد رأيت الظاهرة الموضّحة في **الشكل 7** حيث يمرّ الضوء الأبيض عبر المنشور. وإذا أمعنت النظر في الطيف الذي كوّنه الضوء المار عبر المنشور، فستلاحظ أنّ الضوء البنفسجي ينكسر بدرجة أكبر من الضوء الأحمر. ويحدث هذا لأنَّ سرعة الضوء البنفسجي عبر الزجاج أقل من سرعة الضوء الأحمر، حيث أنّ تردد الضوء البنفسجي أعلى من تردد الضوء الأحمر مما يجعله يتفاعل مع ذرات الزجاج على نحو مختلف، مما يجعل معامل انكسار الضوء البنفسجي في الزجاج أكبر قليلًا من معامل انكسار الضوء الأحمر. ويُطلق على تحلل الضوء الأبيض إلى طيف الألوان اسم **تحلل الضوء**.

تتحدَّد سرعة الضوء في الوَسَط من خلال التفاعلات بين الضوء والذّرات المُكوِّنة للوَسَط، وتختلف سرعة الضوء ومعامل انكسار الوَسَط الصلب أو السائل باختلاف الأطوال الموجية للضوء. كما تختلف سرعة الضوء ومعامل الانكسار اختلافًا طفيفًا باختلاف درجة حرارة الوَسَط الغازي. ويرجع هذا إلى تأثيرات درجة الحرارة في طاقة الجسيمات على المستوى الذري.

أقواس المطر لا يُعدّ المنشور الوسيلة الوحيدة لتحلل الضوء. إذ يعرف قوس المطر بأنه الطيف الذي يتكوّن عند تحلل ضوء الشمس بواسطة قطرات الماء في الغلاف الجوي، حيث ينكسر ضوء الشمس الساقط على قطرات الماء، وبما أن كل لون له طول موجي مختلف، فإنه ينكسر بزاوية مختلفة قليلًا، كما هو موضّح في **الشكل 8**، وينتج عن ذلك تحلل الضوء. ويحدث انعكاس داخلي كلي لبعض الضوء عند السطح الخلفي لقطرات الماء. وعند خروجه من قطرة الماء، ينكسر الضوء مرة أخرى ويتحلل.

على الرغم من أنّ كل قطرة تنتج طيفًا كاملًا، سيرى المراقب الذي يقف بين الشمس والمطر طولًا موجيًا معينًا فقط للضوء من كل قطرة. ويعتمد الطول الموجي المرئي على المواقع النسبية لكل من الشمس وقطرة الماء والمراقب، كما هو موضّح في **الشكل 8**.

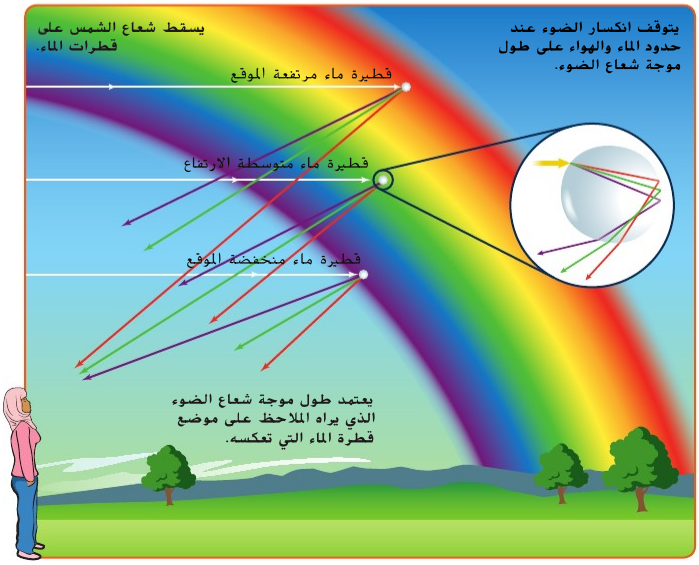


الشكل 7 يحدث التحلل عبر المنشور بسبب اختلاف معامل الانكسار باختلاف الطول الموجي للضوء.

تجربة مصغرة

عمل قوس المطر شخصيًا

ما الشروط اللازمة لعمل قوس المطر؟



الشكل 8 يتحلل الضوء المنبعث من الشمس بواسطة قطرات الماء لتكوين أقواس المطر. ونظرًا إلى وجود العديد من قطرات الماء في مواقع مختلفة في السماء، يُصبح الطيف مرئيًا بأكمله.

فكّر هل يمكن أن يقترب قوس المطر بدرجة كافية لملامسته.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الشكل 9 يمكن أن يتسبب الضوء المنعكس داخل قطرات المطر بظهور قوس مطر ثانوي.

قوس المطر من الدرجة الثانية وأحيانًا يمكنك رؤية قوس مطر ثانٍ باهت مثل ذلك المبيّن في **الشكل 9**. يظهر قوس المطر الثاني خارج الأول، ويكون باهتًا وألوانه معكوسة مقارنة بالقوس الأول. ويحدث هذا الأثر بسبب أشعة الضوء المنعكسة مرتين داخل قطرات الماء.

من النادر جدًا أن يظهر قوس مطر ثالث خارج الثاني، ويكون باهتًا أكثر من القوس الثاني. ما توقعاتك حول عدد مرات انعكاس الضوء في قطرات الماء؟ وكيف سيكون ترتيب ظهور الألوان في قوس المطر الثالث؟

مختبر الفيزياء

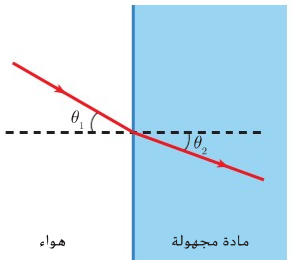
طيف يشتمل جميع الاحتمالات

مختبر الطب الشرعي كيف يمكن أن يساعد طيف ضوئي يُكَوِّنُه زجاج مكسور في موقع حادث سير في تحديد السيارة المشتبه فيها؟

القسم 1 مراجعة

6. **الفكرة الرئيسة** عند انتقال ضوء من الماء إلى سائل معين فإنه ينكسر نحو العمود المقام. لكن عند نفاذ الضوء من الزجاج إلى السائل نفسه فإنه ينكسر مبتعدًا عن العمود المقام. ما الذي يمكن أن تستنتجه عن معامل انكسار السائل؟

7. **معامل الانكسار** يسقط شعاع من الضوء في الهواء بزاوية $30.0°$ على كتلة من مادة مجهولة وتكون زاوية انكساره $20.0°$. كما هو مبيّن في **الشكل 10**. ما معامل الانكسار لهذه المادة؟



الشكل 10

8. **زاوية الانكسار** نفذت حزمة ضوء من الماء إلى البولي إيثيلين معامل انكساره $n = 1.50$. إذا كانت $\theta_1 = 57.5°$. فما زاوية الانكسار في البولي إيثيلين؟

9. **سرعة الضوء** كم تبلغ سرعة الضوء في مادة الكلوروفورم ($n = 1.51$)؟

10. **الزاوية الحرجة** هل توجد زاوية حرجة للضوء المنتقل من الزجاج إلى الماء؟ أم من الماء إلى الزجاج؟ اشرح إجابتك.

11. **الانعكاس الكلي الداخلي** إذا كنت ستستخدم الكوارتز والزجاج المصقول لصناعة ألياف بصرية، فأيًا منهما ستختار لعمل طبقة الغلاف؟ ولماذا؟

12. **غروب الشمس** لماذا يمكنك أن ترى صورة الشمس فوق خط الأفق في حين تكون الشمس قد غربت فعلًا؟

13. **سرعة الضوء** هل يمكن أن يكون معامل الانكسار أقل من 1؟ علامَ يدلّ هذا بالنسبة إلى سرعة الضوء في ذلك الوَسَط؟

14. **التفكير الناقد** في أي اتجاهٍ يجب أن تنظر لتتمكن من رؤية قوس المطر في ساعة مطيرة في وقت متأخر من الظهيرة؟ فسّر إجابتك.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الفيزياء في حياتك

لعلك سمعت أن بإمكانك إشعال النار باستخدام عدسة مكبرة. تُجمّع العدسة المكبرة الضوء كله في نقطة واحدة. هل يمكنك إشعال النار باستخدام أي نوع من العدسات، أم يجب أن تتميّز تلك العدسة بخصائص معينة؟

الفكرة الرئيسة

يمكن استخدام العدسات لتكوين صور مكبرة أو مصغرة للأجسام.

الأسئلة الرئيسة

- كيف تتكوّن الصور الحقيقية والخيالية باستخدام عدسات مقعرة ومحدبة؟
- كيف يمكن تعيين موقع الصور التي تكونت بواسطة العدسات، وتحديد صفاتها باستخدام طريقتين، مخطط الأشعة والطريقة الرياضية؟
- كيف يمكن التقليل من الزوغان اللوني؟

مراجعة المفردات

الشفافية transparent: إحدى خصائص الوسط التي تسمح للوسط بمرور الضوء من خلاله، وعكس جزء منه مما يتيح رؤية الأجسام من خلاله بوضوح.

مفردات جديدة

lens	عدسة
convex lens	عدسة محدبة
concave lens	عدسة مقعرة
thin lens equation	معادلة العدسة الرقيقة
chromatic aberration	زوغان لوْنيّ
achromatic lens	عدسة لالونية

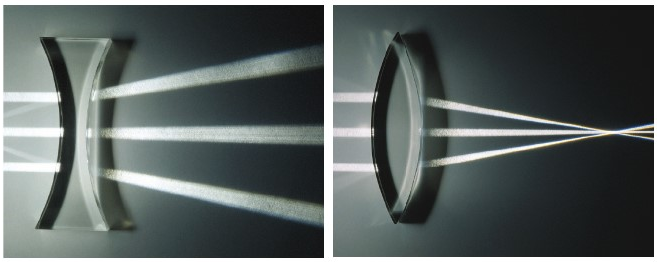
أنواع العدسات

يُعدّ انكسار الضوء الذي ينتج منه قوس المطر، والخسوف الأحمر للقمر، ظاهرة طبيعية جميلة، وهنالك فوائد كثيرة لهذا الانكسار في حياتنا. ففي العام 1303، كتب الفيزيائي الفرنسي برنارد أوف جوردون عن استخدام العدسات لتصحيح النظر. وفي العام 1610 استخدم جاليليو عدستين لصنع تلسكوب اكتشف بوساطته أقمار كوكب المشتري. ومنذ زمن جاليليو استُخدمت العدسات في العديد من الأجهزة، مثل الميكروسكوبات وآلات التصوير. وتعد العدسات أكثر الأدوات فائدة.

إنّ **العدسة** هي قطعة من مادة شفافة، مثل الزجاج أو البلاستيك، تُستخدم في تجميع الضوء أو تفريقه وتكوين الصور. يمكن أن يكون أي سطح من سطحي العدسة منحنيًا أو مستويًا. تسمى العدسة التي يكون وسطها أكثر سمكًا مما عند أطرافها **بالعدسة المحدبة**. توضحه الصورة اليمنى في **الشكل 11**. وتسمى العدسة المحدبة بالعدسة المجتمعة، لأنها تكون محاطة بمادة ذات معامل انكسار أقل من معامل انكسار مادة العدسة نفسها، لذا تعمل هذه العدسة على كسر الأشعة الضوئية المتوازية والتي تكون موازية لمحور العدسة الأساسي، بحيث تتجمع الأشعة المنكسرة في نقطة واحدة.

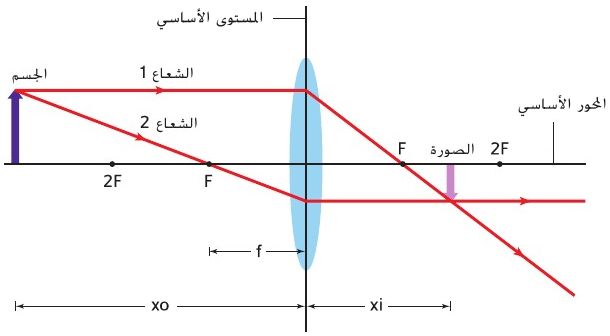
تسمى العدسة التي يكون وسطها أدق وأرق مما عند أطرافها **بالعدسة المقعرة**، وتسمى العدسة المقعرة بالعدسة المفرّقة، لأنها تكون محاطة بمادة ذات معامل انكسار أقل من معامل انكسار مادة العدسة نفسها، لذا تعمل على كسر أشعة الضوء المتوازية بحيث تفرقها.

عند مرور الضوء من خلال عدسة، يحدث الانكسار عند كل من سطحي العدسة. ويمكنك عندها توقع مسار الأشعة المارة خلال العدسات باستخدام قانون سنل والهندسة. لتبسيط مثل هذه المسائل، افترض أنّ الانكسار يحدث بشكل كامل في مستوى، يُسمى بالمستوى الأساسي، ويمرّ في مركز العدسة وطرفيها. ويسمى هذا التقريب نموذج العدسة الرقيقة، والذي ينطبق على كل العدسات التي ستدرسها في هذه الوحدة.



الشكل 11 تكسر العدسة المحدبة الضوء بحيث تُجمّع الأشعة بعد مرورها من خلال العدسة. تتفرّق أشعة الضوء المارة من خلال عدسة مقعرة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 12 يتكوّن للجسم صورة حقيقية مُصغرة ومعكوسة عندما تكون المسافة بين الجسم والعدسة أكبر من مثلي البعد البؤري للعدسة.

دلالة الألوان

- أشعة الضوء: أحمر
- العدسات: أزرق فاتح
- الجسم: بنفسجي
- الصورة: أرجواني فاتح

العدسات المحدبة

إذا كنت تعرف موقع الجسم ونوع العدسة المستخدمة وقوتها، يمكنك معرفة موقع الصورة. يعد مخطط الأشعة أداة تمثيل مفيد. باستخدام مخطط الأشعة، يمكنك تمثيل بعض الأشعة المهمة التي توضّح مدى تأثير العدسة في الضوء المار من خلالها. يمكنك استخدام شعاعين لتحديد موقع الصورة. في **الشكل 12**، بالنسبة إلى العدسات المحدبة، عندما تكون المسافة بين الجسم والعدسة أكبر من البعد البؤري، ينكسر الشعاع 1 والذي يكون موازيًا للمحور الأساسي، مارًا بالنقطة (F) والتي تسمى بؤرة العدسة بعد مروره من خلال العدسة الموضحة. في حين ينكسر موازيا للمحور الأساسي الشعاع 2 الذي يمر بالنقطة (F) الموجودة في ناحية الجسم أثناء طريقه إلى العدسة.

تتضمن مخططات الأشعة للعدسات المحدبة أجسامًا موضوعة على أبعاد مختلفة من العدسة. في مخططات الأشعة هذه، يمثّل x_o بُعد الجسم من العدسة ويمثّل x_i بُعد الصورة من العدسة. يُستخدم نموذج العدسة الرقيقة في كل مخططات الأشعة الواردة في هذه الوحدة. في هذا النموذج، ينكسر الضوء في المستوى الأساسي المار من مركز العدسة بدلًا من الانكسار على الحدين الفاصلين بين الهواء وسطح العدسة.

$x_o \geq 2f$ في **الشكل 12**، تخرج الأشعة من جسم يقع بعيدًا من عدسة محدبة. وستحتاج إلى استخدام شعاعين فقط لتحديد موقع صورة نقطة على الجسم، بحيث يكون الشعاع 1 موازيًا للمحور الأساسي، وينكسر مارًا بالنقطة (F) والتي تسمى بؤرة العدسة بعد مروره من خلال العدسة. في حين يمر الشعاع 2 بالنقطة (F) في أثناء طريقه إلى العدسة، ويكون مساره بعد الانكسار موازيًا للمحور الأساسي، بحيث يتقاطع الشعاعان عند نقطة ما بعد (F) فيحددان موقع الصورة أما الأشعة المنطبقة على المحور الأساسي فإنها تنفذ دون أن تنكسر لأنها تسقط عمودية على سطح العدسة. وتتقاطع الأشعة المختارة من نقاط أخرى على الجسم عند نقاط مماثلة لتكوين الصورة بشكل كامل. لاحظ أن الصورة تكون حقيقية ومعكوسة ومصغرة مقارنة بالجسم الأصلي.

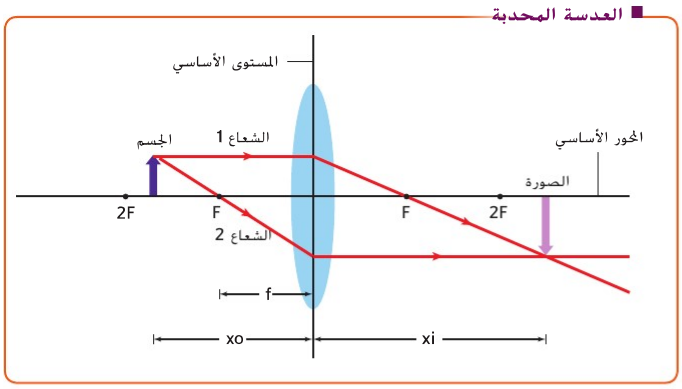
أما إذا تم وضع الجسم على بعد يساوي مثلي البعد البؤري من العدسة عند النقطة 2F، فإن الصورة المتكونة في المخطط الشعاعي ستتكون عند النقطة 2F من الجهة الأخرى للعدسة، وسيكون لصورة الجسم البعد نفسه من العدسة بسبب التماثل. أي إن الصورة تكون حقيقية ومقلوبة ومساوية للجسم، وتقع على مسافة تساوي 2F. لذا، يمكنك استنتاج أنه إذا كان بعد الجسم عن العدسة أكبر من مثلي البعد البؤري للعدسة، ستكون الصورة مصغرة.

تجربة مصغرة

تأثيرات تغطية العدسة

ما تأثير تغطية جزء من العدسة في الصورة الناتجة؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 13 عندما يكون البعد بين الجسم والعدسة أقل من مثلي البعد البؤري ولكن أكبر من البُعد البؤري، تتكون صورة حقيقية مُكبَّرة ومعكوسة للجسم.

$2f > xo > f$ يمكنك استخدام **الشكل 13** لتحديد موقع صورة جسم يقع بين F و 2F ويُرى من خلال عدسة محدبة. حيث يشبه مخطط الأشعة للجسم الذي يقع على مسافة أكبر من مثلي البعد البؤري مع تبادل الصورة والجسم. ففي هذه الحالة، تكون الصورة حقيقية ومعكوسة. لذا نستنتج أنه عند وضع جسم بين F و 2F، تكون الصورة مُكبَّرة.

أما عند وضع جسم على نقطة بؤرة عدسة محدبة F. فلا يمكن رسم مخطط أشعة للصورة، حيث ستظهر الأشعة المنكسرة في هيئة أشعة متوازية ولن تظهر صورة.

$f > xo > 0$ يوضّح **الشكل 14** طريقة تكوّن صورة خيالية باستخدام عدسة محدبة. إذ يقع الجسم بين العدسة وبؤرتها. بحيث يقترب الشعاع 1 من العدسة موازيًا للمحور الأساسي وينكسر مارًا بالبؤرة، F. في حين يمرّ الشعاع 2 من أعلى الجسم في اتجاه كما لو كان صادرًا من البؤرة F الموجودة في جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم. يُوضِّح الخط المتقطِّع الواصل بين F والجسم طريقة رسم الشعاع 2. بحيث يخرج الشعاع 2 من العدسة موازيًا للمحور الأساسي. ويتباعد الشعاعان 1 و 2 عند خروجهما من العدسة.

يبدو الانكسار للملاحظ وكأنه يأتي من نقطة على جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم. وتتكوّن صورة خيالية ومعتدلة ومكبرة للجسم، ولا يمكن ظهور صورة حقيقيّة له. يمكن تحديد موقع الصورة الخيالية من خلال رسم الامتداد الخلفي للشعاعين المنكسرين لتعيين مكان تقاطعهما الظاهري حيث يكون موقع الصورة في جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم، وتكون الصورة معتدلة ومكبرة. لاحظ أنّ الصورة الحقيقية قد تكونت بفعل الضوء المار من خلال العدسة، ولكن ما زال بإمكانك تحديد موقع الصورة من خلال رسم الأشعة التي لا تمر فعلًا من خلال العدسة.

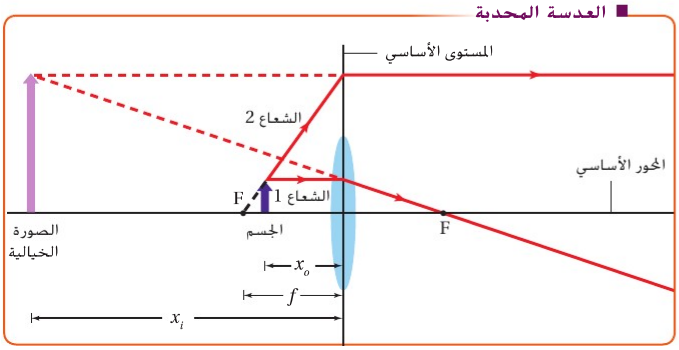
مختبر الفيزياء

الصور المتكونة من العدسة المحدبة

ما خصائص الصور المتكوّنة باستخدام عدسة محدبة؟

العدسات المحدبة والبعد البؤري

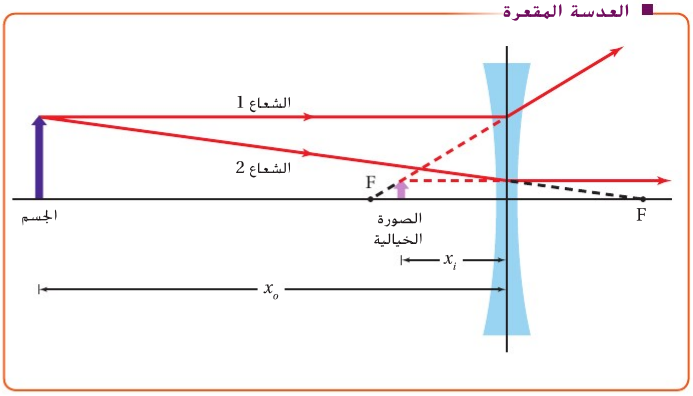
هل يتغيّر البعد البؤري بتغيّر موقع الصورة بالنسبة إلى العدسة المحدبة؟



الشكل 14 تتكون للجسم صورة خيالية مُكبَّرة عندما تكون المسافة بين الجسم والعدسة أقل من البعد البؤري.

تصنيف تُصنّف الصورة إلى خيالية أو حقيقية بناءً على جانب العدسة الذي تقع فيه.

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة



الشكل 15 يتكون للجسم الموضوع على مسافة من عدسة مقعرة صورة خيالية ومُصغَّرة.

العدسات المقعرة

تفرّق العدسة المقعرة كل الأشعة. يوضّح **الشكل 15** كيف تُكوّن هذه العدسة صورة خيالية للجسم. حيث يصل الشعاع 1 إلى العدسة موازيًا للمحور الأساسي. ينكسر الشعاع ويخرج من العدسة بحيث يمر امتداده في البؤرة الموجودة في جانب العدسة المواجه للجسم. يصل الشعاع 2 إلى العدسة كما لو أنه سيمر من خلال البؤرة في الجانب الآخر من العدسة. ثم ينكسر ويخرج من العدسة موازيًا للمحور الأساسي.

تتقاطع الامتدادات الخلفية للشعاعين 1 و2 في جانب العدسة نفسه الذي يوجد فيه الجسم. ولأن الأشعة تخرج من العدسة بشكل متباعد، فإنها تكوّن صورة خيالية. ويكون موقع الصورة عند النقطة التي يظهر عندها بأن الأشعة تخرج من العدسة متباعدة منها. فتتكوّن صورة معتدلة ومُصغَّرة للجسم. وهذا صحيح بغض النظر عن مدى بُعد الجسم من العدسة، كما يكون البُعد البؤريّ للعدسة المقعّرة سالبًا.

التأكد من فهم النص **اذكر** سبب تكوين العدسة المقعرة صورة خيالية دائمًا.

تجربة مصغرة

العدسات المائية

كيف يعمل السطح المنحنى للماء كعدسة؟

معادلة العدسات الرقيقة

تتضمن المسائل التي ستحلها في هذا القسم عدسات رقيقة فقط. وبناء على نموذج العدسة الرقيقة، والتبسيطات المستخدمة في حل مسائل المرايا الكروية، تم تطوير معادلتين للعدسات. فبالنسبة إلى العدسات، تقع الصورة الخيالية في جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم، أي إنّ بُعد الجسم يكون سالبًا. لاحظ أن العدسة المقعرة تكوّن صورًا خيالية فقط، في حين تكوّن العدسة المحدبة صورًا حقيقية وأخرى خيالية.

معادلة العدسة الرقيقة تربط **معادلة العدسة الرقيقة** بين كل من البُعد البؤري للعدسة الكروية الرقيقة وبُعد الجسم وبُعد الصورة.

معادلة العدسة الرقيقة

يساوي مقلوب البعد البؤري للعدسة الرقيقة حاصل جمع مقلوب بُعد الصورة ومقلوب بُعد الجسم من العدسة.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الجدول 2
نظام الإشارات وصفات الصور في العدسة الرقيقة المفردة

نوع العدسة	f	x_o	x_i	m	الصورة
محدبة	+	$x_o > 2f$	$2f > x_i > f$	سالبة بين 0 و −1	حقيقية مصغرة معكوسة (مقلوبة)
		$2f > x_o > f$	$x_i > 2f$	سالبة أكبر من 1	حقيقية مكبرة معكوسة (مقلوبة)
		$f > x_o > 0$	$\lvert x_i \rvert > x_o$ (قيمة سالبة)	موجبة أكبر من 1	مكبرة خيالية معتدلة
مقعرة	−	$x_o > 0$	$\lvert f \rvert > \lvert x_i \rvert >$ 0 (قيمة سالبة)	موجبة بين 0 و +1	مصغرة خيالية معتدلة

عند حل مسائل العدسات المقعرة باستخدام معادلة العدسة الرقيقة، يجب أن تتذكر أنّ تعديل إشارات البُعد البؤري للعدسة المقعرة يختلف عن اصطلاح إشارات البعد البؤري للعدسة المحدبة، وذلك لأنّ العدسة المقعرة عدسة مفرقة. إذا كانت البؤرة للعدسة المقعرة على بُعد 24 cm من العدسة، إذًا يجب أن تستخدم القيمة $f = -24\ \text{cm}$ في معادلة العدسة الرقيقة. لأنّ جميع صور العدسة المقعرة تكون صورًا خيالية، بالتالي، إذا كانت المسافة بين الصورة والعدسة تساوي 20 cm، فإن عليك استخدام $x_i = -20\ \text{cm}$. وستكون قيمة بُعد الجسم موجبة دائمًا.

التكبير يُعدّ التكبير إحدى خصائص العدسات الرقيقة التي تقيس مدى كِبَر أو صِغَر الصورة مُقارنةً بالجسم الأصلي. ويمكن أيضًا استخدام معادلة التكبير للمرايا الكروية مع العدسات الرقيقة. بحيث تُستخدم في تحديد طول الصورة المتكوّنة واتجاهها عند استخدام عدسة رقيقة.

التكبير
يُعرف التكبير باستخدام عدسة كروية، بأنه نسبة طول الصورة إلى طول الجسم، ويساوي سالب بُعد الصورة مقسومًا على بُعد الجسم من العدسة.

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = -\frac{x_i}{x_o}$$

يُعطي التكبير معلومات عن مدى كبر صورة الجسم واتجاهها مُقارنةً بالجسم. عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير تقع ما بين صفر وواحد، تكون الصورة أصغر من الجسم. في حين تكون الصورة أكبر من الجسم عندما تكون القيمة المطلقة للتكبير أكبر من واحد. إضافةً إلى ذلك، تشير قيمة التكبير السالبة إلى أنّ الصورة معكوسة مُقارنةً بالجسم.

استخدام معادلتي العدسات من المهم استخدام نظام إشارات مناسب عند استخدام هاتين المعادلتين. ويبيّن **الجدول 2** مقارنة بين بُعد الصورة والتكبير ونوع الصورة المتكوّنة باستخدام عدسات محدبة أو مقعرة مفردة عند وضع جسم في مواقع مختلفة (x_o) بالنسبة إلى العدسة. فغي العدسات المحدبة، يؤثر بُعد الجسم من بؤرة العدسة في نوع الصورة المتكونة.

لاحظ وجه التشابه بين هذا الجدول وجدول المرايا. فكما هو مبيّن في جدول المرايا، تمثّل المسافة من المستوى الأساسي للعدسة والبؤرة، البُعد البؤريّ (f). ويعتمد البُعد البؤري على شكل العدسة ومعامل انكسار مادتها. ويمكن أن تكون الأبعاد البؤرية وأبعاد الصور سالبة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

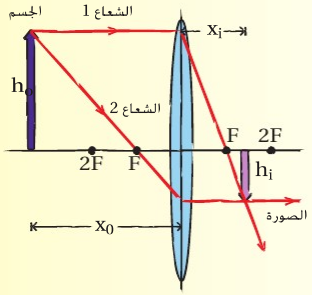
مثال 2

الصورة المتكوّنة بواسطة العدسة المحدبة تم وضع جسم على بُعد 32.0 cm من عدسة محدبة بُعدها البؤري 8.0 cm.

a. أين تتكون الصورة؟

b. إذا كان طول الجسم يساوي 3.0 cm، فما طول الصورة؟

c. ما اتجاه الصورة؟



1 تحليل المسألة ورسمها

- مثّل الحالة، وحدد موقع كل من الجسم والعدسة.
- ارسم الشعاعين الأساسيين.

المعلوم	المجهول
$x_o = 32.0\ cm$	$x_i = ?$
$h_o = 3.0\ cm$	$h_i = ?$
$f = 8.0\ cm$	

2 حساب موضع و ارتفاع الصورة

a. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لإيجاد x_i.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

$$x_i = \frac{fx_o}{x_o - f}$$

$$= \frac{(8.0\ cm)(32.0\ cm)}{32.0\ cm - 8.0\ cm}$$ ◄ بالتعويض عن $f = 8.0\ cm$, $x_o = 32.0\ cm$

$= 11\ cm$ (تبعُد الصورة عن العدسة بمقدار 11 cm في الجانب المعاكس للجسم)

b. استخدم معادلة التكبير، وحُلّ لإيجاد طول الصورة

$$m \equiv \frac{h_i}{h_o} = -\frac{x_i}{x_o}$$

$$h_i = -\frac{x_i h_o}{x_o}$$

$$= -\frac{(11\ cm)(3.0\ cm)}{32.0\ cm}$$ ◄ بالتعويض عن $x_i = 11\ cm$, $h_o = 3.0\ cm$, $x_o = 32.0\ cm$

$= -1.0\ cm$ (طول الصورة يساوي 1.0 cm)

c. تدل الإشارة السالبة للارتفاع في الجزء **b** على أن الصورة مقلوبة.

3 تقييم الإجابة

- **هل الوحدات صحيحة؟** الأبعاد كلها بوحدة السنتيمتر cm.
- **هل تعني الوحدات أي شيء؟** إنّ بُعد الصورة موجب (الصورة حقيقية)، أما طولها فسالب (أي إن الصورة مقلوبة مقارنةً بالجسم)، مما يدل على أن العدسة محدبة.

تطبيق

15. يبلغ طول جسم 2.25 cm ويقع على بُعد 8.5 cm إلى يسار عدسة محدبة بُعدها البؤري 5.5 cm. أوجد بُعد الصورة وطولها.

16. تكوّن لجسم يقع بالقرب من عدسة محدبة صورة حقيقية معكوسة طولها 1.8 cm، وتبعُد من العدسة مسافة مقدارها 10.4 cm. فإذا كان البُعد البؤري للعدسة يساوي 6.8 cm، فما بُعد الجسم؟ وما طوله؟

17. وُضع جسم إلى يسار عدسة محدبة بُعدها البؤريّ 25 mm. فتكوّنت له صورة حجمها مساوٍ لحجم الجسم. فما بُعد كل من الصورة والجسم؟

18. جسم طوله 2.0 cm ويبعد 25 cm من عدسة محدبة بُعدها البؤري 5.0 cm. احسب طول الصورة، وبعدها، ثم حدد اتجاه الصورة.

19. استخدم مخطط أشعة بمقياس رسم معين لإيجاد بُعد الصورة لجسم يقع على بُعد 30 cm إلى يسار عدسة محدبة بُعدها البؤري 10 cm.

20. تحفيز تُستخدم عدسة مكبرة بُعدها البؤري 30 cm في فحص جسم طوله 1 cm. استخدم مخطط أشعة لتحديد بُعد الصورة وطولها عندما تكون العدسة المكبرة على بُعد 10 cm من الجسم.

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف

الشكل 16 يعطي الزيغ الكروي للعدسة المقعرة صورة مشوهة للشجرة.

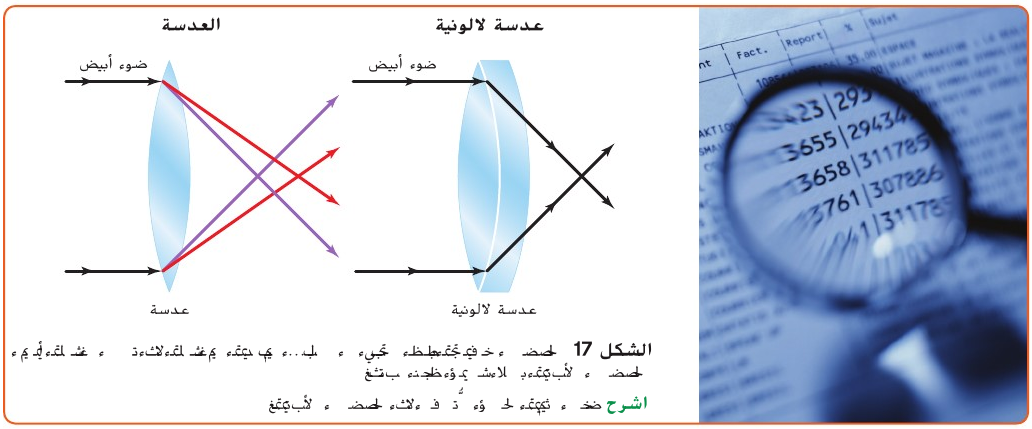
عيوب العدسات الكروية

تصنع العدسات من مواد شفافة مثل الزجاج أو البلاستيك. ولكن لا توجد عدسة مثالية. فكل العدسات تعاني من عيوب تجعل الصورة التي تكونها مشوهة أو غير واضحة. وتسمى هذه العيوب الزيغ.

الزيغ الكروي يحدث الزيغ الكروي عندما لا تجمع أجزاء مختلفة من العدسة الضوء في البؤرة نفسها. وتكون الصورة التي تكونها العدسة المصابة بالزيغ الكروي مشوهة. وتظهر الأجسام المستقيمة منحنية. وتظهر الأجسام الدائرية بيضاوية الشكل. ويحدث الزيغ الكروي لأن الضوء الذي يمر عبر حافة العدسة يتجمع على مسافة أقرب من العدسة من الضوء الذي يمر عبر مركز العدسة. ويظهر الزيغ الكروي في **الشكل 16**. ويمكن تقليل الزيغ الكروي عن طريق استخدام عدسة أرق أو عدسة ذات انحناء أقل.

الزيغ اللوني تتكون الصورة التي تكونها العدسة المصابة بالزيغ اللوني من ألوان مشوهة. وتحدث هذه المشكلة لأن العدسة تجمع الضوء الأزرق على مسافة أقرب من العدسة من الضوء الأحمر. ويظهر الزيغ اللوني في **الشكل 17**. وتظهر الأجسام البيضاء التي تنظر إليها من خلال العدسة ذات حواف ملونة. ويمكن تقليل الزيغ اللوني.

تصحح العدسات المركبة عيوب العدسات الفردية. وتسمى العدسات المركبة التي تقلل من الزيغ اللوني **العدسات اللالونية**. وتتكون العدسة اللالونية من عدستين أو أكثر. وتجمع العدسة اللالونية الضوء الأزرق والضوء الأحمر على المسافة نفسها من العدسة. وتقلل العدسة اللالونية من الزيغ اللوني. ولكنها لا تقلل من الزيغ الكروي.



الشكل 17 تجمع العدسة اللالونية الضوء الأزرق والضوء الأحمر على المسافة نفسها من العدسة. وتجمع العدسة الضوء الأزرق على مسافة أقرب من العدسة من الضوء الأحمر.

اشرح كيف تقلل العدسة اللالونية من الزيغ اللوني؟

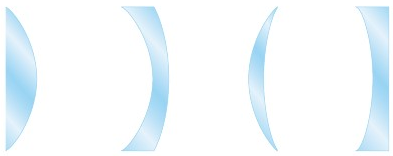
حقوق الطبع © McGraw-Hill Education

21. **العكرة الرئيسة** تُستخدم العدسات المكبرة عادةً لتكوين صور مُكبَّرة للأجسام، ولكنها أيضا يمكن أن تكوّن صورًا مصغرة للأجسام. وضّح ذلك.

22. **أنواع العدسات** يوضّح **الشكل 18** أربع عدسات رقيقة مختلفة. أي من هذه العدسات:

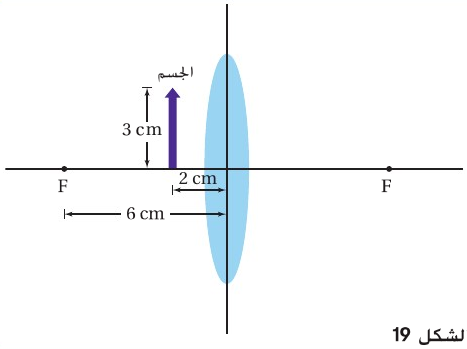
a. محدبة؟

b. مقعرة؟



الشكل 18

23. **بُعد الصورة وطولها** ارسم مخطط الأشعة في **الشكل 19** واستخدمه في تحديد بُعد الصورة وطولها. استخدم معادلة العدسة الرقيقة ومعادلة التكبير للتحقق من إجابتك.



الشكل 19

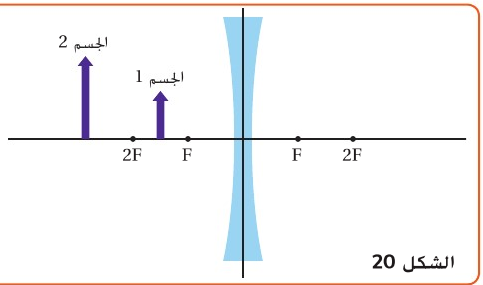
24. **بُعد الصورة وطولها** تم وضع جسم على بُعد 1.5 m من عدسة محدبة بُعدها البؤري 1.0 m. استخدم معادلة العدسة الرقيقة لإيجاد بُعد الصورة من العدسة. وإذا كان طول الجسم 2.0 m، فكم يبلغ طول الصورة؟ هل الصورة حقيقية أم خيالية؟ وهل الصورة معكوسة أم معتدلة؟

25. ما المقصود بمصطلحي العدسة المُفرّقة والعدسة المُجمِّعة؟ ما نوع العدسة الذي يشير إليه كل مصطلح؟

26. تستخدم الحسابات الواردة في هذا الفصل التقريب إلى العدسة الرقيقة. ماذا يعني ذلك؟ لماذا يُستخدم التقريب إلى العدسة الرقيقة؟

27. **الزيغ اللوني** للعدسات البسيطة كلها زيغ لوني. فسّر ذلك. لماذا لا ترى هذا الأثر عندما تنظر من خلال المجهر (الميكروسكوب)؟

28. **نوع الصورة** استخدم مخطط الأشعة في **الشكل 20** لتحديد ما إذا كانت صورة الجسم 1 ستكون مُصغَّرة أم مُكبَّرة، معكوسة أم معتدلة، حقيقية أم خيالية. وافعل الشيء نفسه مع الجسم 2.



الشكل 20

29. **بُعد الصورة وطولها** وُضِعَ جسم ارتفاعه 6.0 cm على مسافة 5.0 cm من عدسة محدبة بُعدها البؤري 4.0 cm. ارسم مخطط أشعة لتحديد بُعد الصورة وارتفاعها. ثم تأكد من النتائج باستخدام معادلة العدسة الرقيقة ومعادلة التكبير.

30. **العدسة المُفرِّقة** يبلغ ارتفاع عبوة ملح طعام 6.5 cm يُنظر إليها باستخدام عدسة مفرِّقة بُعدها البؤري 5.0 cm.

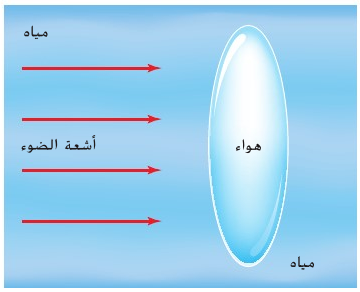
a. إذا كان بُعد عبوة الملح من العدسة 6.0 cm، فما بُعد الصورة من العدسة؟ هل الصورة خيالية أم حقيقية؟

b. ما مقدار التكبير؟ هل الصورة أصغر أم أكبر من العبوة الأصلية؟

c. إذا أُبعدت عبوة الملح من العدسة بمقدار 4 cm، فما مقدار بُعد الصورة من العدسة؟ وما مقدار التكبير؟ هل أصبحت الصورة حاليًا أصغر أم أكبر من العبوة الأصلية؟

31. **الزيغ اللوْنيّ** إذا سمحت لضوء أبيض أن يمر من خلال عدسة محدبة إلى شاشة، وضبطت المسافة بين الشاشة والعدسة لتجمّع اللون الأحمر، فهل يجب تقريب الشاشة من العدسة أم إبعادها لتُجمّع الضوء الأزرق؟

32. **التفكير الناقد** تتكوّن عدسة هوائية موضوعة في خزان ماء من زجاجتي ساعة. انقل **الشكل 21** إلى دفترك. وارسم تأثير هذه العدسة في أشعة الضوء المتوازية الساقطة على العدسة.



الشكل 21

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الفيزياء في حياتك

استخدم البحارة ذات يوم النظارات المقرّبة، وهي عبارة عن تلسكوبات صغيرة يدوية، لرؤية الأجسام البعيدة. تعتمد نظارات المراقبة وغيرها من التلسكوبات العديدة الأخرى على العدسات لتكبير صور الأجسام البعيدة.

العدسات في العين

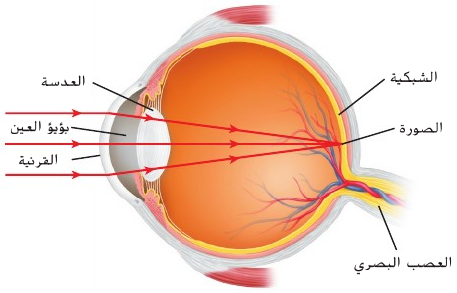
تنطبق المفاهيم التي تعلمتها عن انكسار الضوء عبر العدسات على كل الأجهزة البصرية تقريبًا. وتُعدّ العين البشرية أحد الأجهزة البصرية المميزة. كما هو موضّح في **الشكل 22**، إنّ العين عبارة عن وعاء كروي تقريبًا يملأه سائل. ينتقل الضوء المنبعث من جسم ما أو المنعكس منه إلى العين عبر القرنية والحدقة. ويمر الضوء بعد ذلك عبر العدسة ويتركّز على الشبكية التي تقع في مؤخرة العين. وتمتص الخلايا المتخصصة في الشبكية هذا الضوء، ثم ترسل معلومات عن الصورة إلى الدماغ عبر العصب البصري.

الربط بعلم الأحياء قد تعتقد أنّ عدسة العين هي المسؤولة عن تركيز الضوء على الشبكية وذلك نسبة إلى اسمها. ولكن في الحقيقة، تركّز القرنية الضوء الداخل إلى العين، لأنه يوجد فارق كبير بين معاملي الانكسار عند الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. أما العدسة فهي المسؤولة عن تحسين التركيز الذي يسمح لك برؤية الأجسام البعيدة والقريبة بوضوح.

التأكد من فهم النص **صِف** وظيفة كل من القرنية والعدسة في العين.

تجدر الإشارة إلى أنّ العدسة تستخدم عملية تُعرف باسم التكيف. تتمكن العضلات المحيطة بالعدسة من الانقباض أو الارتخاء مما يؤدي إلى تغيُّر شكل عدسة. ويؤدي هذا، في المقابل، إلى تغيُّر البُعد البؤري لعدسة العين. وفي العين السليمة، عندما تسترخي العضلات، تتركز صورة الأجسام البعيدة على الشبكية. وعندما تنقبض العضلات، يقصر البُعد البؤري، مما يتيح تركيز صور الأجسام القريبة على الشبكية.

العين



الشكل 22 تعمل القرنية والعدسة في العين على انكسار الضوء المنعكس من كل الأجسام التي تراها.

لخّص لماذا يحدث معظم الانكسار عند حد القرنية بدلًا من حد العدسة.

الفكرة الرئيسة

باستخدام العدسات يرى الناس أجسامًا لم يكونوا ليروها بغير ذلك.

الأسئلة الرئيسة

- كيف تركز العين الضوء لتُكوّن صورة؟
- ماذا يُقصد بقصر النظر وطول النظر، وكيف تتمكن عدسات النظارة من تصحيح هذه العيوب؟
- ما خصائص الأنظمة البصرية في بعض الأجهزة البصرية المعروفة؟

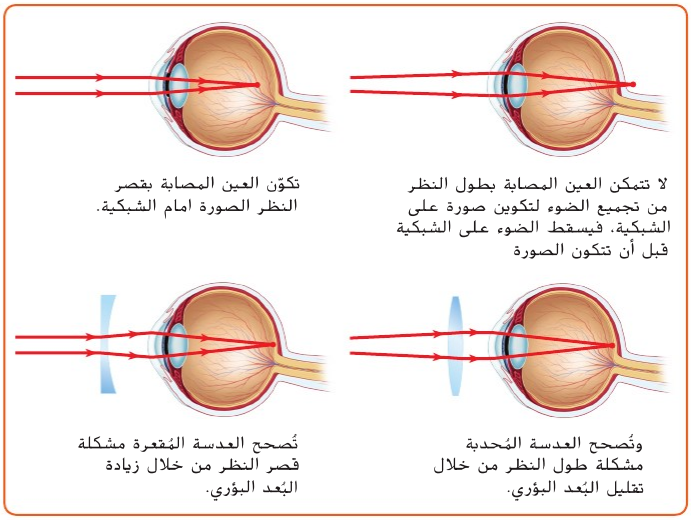
مراجعة المفردات

معامل الانكسار index of refraction: بالنسبة إلى أي وَسَط، إنّ النسبة بين مقدار سرعة الضوء في الفراغ إلى مقدار سرعة الضوء في ذلك الوَسَط

مفردات جديدة

قصر النظر	nearsightedness
طول النظر	farsightedness

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education



الشكل 23 تبدو الأجسام البعيدة ضبابية بالنسبة إلى الشخص الذي يعاني قصر نظر. أما بالنسبة إلى من يعاني طول نظر، فتكون الأجسام القريبة ضبابية.

اشرح كيف يمكن عمل العدسات الثنائية البؤرة.

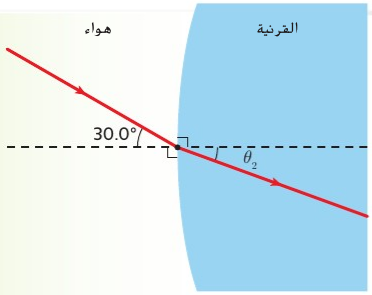
قصر النظر لا تُكوّن أعين معظم الأشخاص صورًا واضحة على الشبكية، بل تُكوّن الصور، بدلًا من ذلك، أمام الشبكية أو خلفها. مما يتطلب استعمال العدسات الخارجية، التي تتمثّل في النظارات أو العدسات اللاصقة، لكي تضبط البُعد البؤري وتنقل الصور إلى الشبكية. يوضّح **الشكل 23** حالة **قصر النظر**، والذي يُعرف أيضًا الحسر (myopia). حيث يكون البُعد البؤري للعدسة قصيرًا جدًا لدرجة أنه لا يتمكن من تركيز الضوء على الشبكية، وبالتالي تتكوّن الصور أمام الشبكية. وكما هو موضّح في **الشكل 23**، فإنّ العدسات المقعرة تصحح هذه الحالة من خلال تفريق الضوء، ما يؤدي إلى زيادة بُعد الصور من العدسة وتكوين الصور على الشبكية.

طول النظر ويبيّن **الشكل 23** أنّ **طول النظر**، المعروف أيضًا بطول البصر (hyperopia)، هو الحالة التي يكون فيها البُعد البؤري للعدسة أكبر مما هو للعين السليمة، وبالتالي لا تتكون الصور على الشبكية. و كما تؤدي زيادة صلابة عدسات العين لدى الأشخاص الذين تتجاوز أعمارهم 45 عامًا إلى نتيجة مماثلة أيضًا. حيث لا تستطيع عضلاتهم تقصير البُعد البؤري بدرجة كافية لتركيز صور الأجسام القريبة على الشبكية. وفي كل من حالتي عيب الإبصار، تستخدم عدسات محدبة لتصحيح العيب. إذ تكوّن صورًا خيالية أبعد عن العين من الأجسام، كما هو موضح في **الشكل 23**، حيث تُمثل الصور عندئذٍ الأجسام بالنسبة إلى عدسة العين فتتكون على الشبكية مما يؤدي إلى تصحيح العيب.

الفيزياء في حياتك

العدسات اللاصقة تقدّم العدسات اللاصقة النتيجة نفسها التي تقدّمها النظارات. وتوضع هذه العدسات الصغيرة والرقيقة على القرنية مباشرة، حيث تحافظ طبقة رقيقة من الدموع الموجودة بين القرنية والعدسة على بقاء العدسة في مكانها. يحدث معظم الانكسار عند الحد الفاصل بين الهواء والعدسة حيث يكون الفرق في معاملي الانكسار كبيرًا.

تحدٍ في الفيزياء



عندما يدخل الضوء إلى العين، يواجه الحد الفاصل بين الهواء والقرنية. إذا دخل شعاع ضوء الحد الفاصل بين الهواء وقرنية الشخص بزاوية قدرها 30.0° بالنسبة إلى العمود المقام، وكان معامل انكسار القرنية 1.4 تقريبًا. أجب عمّا يلي:

1. استخدم قانون سنل لحساب زاوية الانكسار.
2. كم ستكون زاوية الانكسار لنفس زاوية السقوط إذا كان الشخص يسبح تحت الماء مفتوح العينين؟
3. هل يكون الانكسار أكبر في الهواء أم في الماء؟ هل هذا يعني أنّ الأجسام تحت الماء تبدو أقرب مما إذا كانت في الهواء أم أبعد؟
4. إذا كنت تريد أن تكون زاوية انكسار شعاع الضوء في الماء مماثلة لها في الهواء، فكم ينبغي أن تكون زاوية السقوط الجديدة؟

McGraw-Hill Education محفوظة لصالح مؤسسة © حقوق الطبع والتأليف

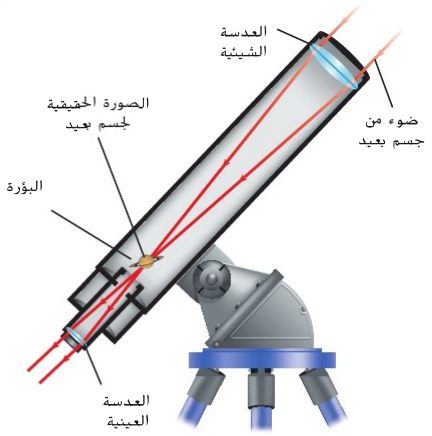
التلسكوب الكاسر

يستخدم التلسكوب الفلكي الكاسر العدسات لأظهار الأجسام البعيدة أكبر مما تراه العين. ويبيّن **الشكل 24** نظام تلسكوب كبلر، إذ يأتي الضوء المنبعث من النجوم والأجسام الفلكية الأخرى من مكان بعيد جدًا لذا يمكن اعتبار الأشعة القادمة متوازية. تدخل هذه الأشعة العدسة الشيئية المُحدبة، وتتجمع كصورة حقيقية عند بؤرة العدسة الشيئية. وتكون الصورة معكوسة مقارنة بالجسم. بالتالي تُصبح الصورة هي الجسم بالنسبة إلى العدسة العينية المحدبة.

لاحظ أنّ العدسة العينية تكون في موقع بحيث تقع بؤرة العدسة الشيئية بين العدسة العينية وبؤرتها، ما يعني أنّ الصورة المرئية تكون خيالية ومعتدلة وأكبر من الصورة الأولى. وبما أنّ الصورة الأولى معكوسة، ستبقى الصورة النهائية معكوسة. الجدير بالذكر أنّ الصورة المعكوسة تكون مقبولة لمشاهدة الأجسام الفلكية.

غالبًا ما تكون العدسة العينية المحدبة في التلسكوب عدسة لالونية. لأنّ العدسة اللالونية عبارة عن مجموعة من العدسات التي تؤدي وظيفة العدسة الواحدة، فتقلل الألوان المحيطة، وتتخلص من الزيغ اللوني الذي يتشكل مع الصور.

التأكد من فهم النص **وضّح** طريقة عمل التلسكوب الكاسر.



الشكل 24 يتجمع الضوء القادم من الأجسام البعيدة بواسطة العدسة الشيئية والعدسة العينية في التلسكوب الكاسر.

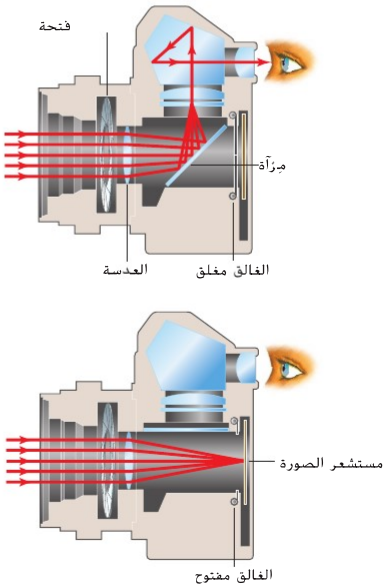
قيّم لماذا تُعدّ الصورة المعكوسة مقبولة لمشاهدة الأجسام الفلكية؟

الكاميرات

يوضّح **الشكل 25** النظام البصري المستخدم في الكاميرا العاكسة ذات العدسة الواحدة. عندما يدخل الضوء الكاميرا من خلال فتحة العدسة، فإنه يمر عبر عدسة لالونية. يكسر نظام العدسة الضوء تمامًا كما تفعل العدسة المحدبة المفردة، مُكوّنًا صورة معكوسة على المرآة العاكسة. تنعكس الصورة إلى أعلى نحو المنشور الذي يعكس الضوء ويعيد توجيهه نحو عين المصور.

عندما يلتقط الشخص الذي يحمل الكاميرا صورة، فإنه يضغط على زر تحرير الغالق الذي يرفع المرآة لفترة قصيرة، كما هو موضّح في **الشكل 25**. بدلًا من انحراف الضوء إلى أعلى نحو المنشور، ينتقل في مسار مستقيم لتكوين صورة على المستشعر.

يلتقط مستشعر الصورة، الذي يكون في الغالب جهازًا مزدوج الشحنة (CCD)، صورة ثنائية الأبعاد تتطابق مع الصورة المتكونة عليه. تتجمع معلومات الصورة على البقعة الحساسة للضوء في الجهاز المزدوج الشحنة على هيئة شحنة كهربائية تتناسب مع شدة الضوء. يُعالج الجهاز المزدوج الشحنة بعد ذلك الشحنة وينقل المعلومات إلى جهاز التخزين.



الشكل 25 يمكن ضبط عدسة الكاميرا لتركيز الصورة على مستشعر الصورة. عند إغلاق الغالق، تحوّل المرآة مسار الصورة نحو عين المشاهد.

استدلّ لماذا تحتاج إلى فتح الغالق لمدة أكبر عند التقاط صورة في ضوء خافت؟

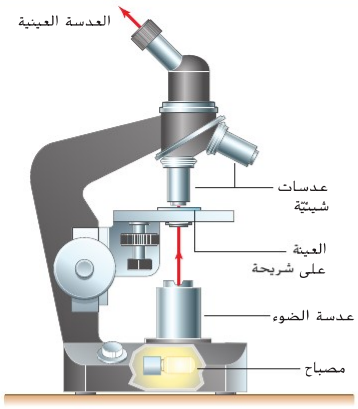
حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الميكروسكوب (المجهر)

كما هو الحال في التلسكوب، يحتوي المجهر على عدستين محدبتين إحداهما شيئية والأخرى عينية، وتُستخدم المجاهر لتكوين صور للأجسام الصغيرة، ويمكن أن تكون الصور أكبر مئات المرات من الأجسام التي توضع في المجهر.

إنّ عدسات المجهر ذات الأبعاد البؤرية صغيرة نسبيًا. يمثّل **الشكل 26** رسمًا تخطيطيًا للنظام البصري المستخدم في المجهر المركب.

ولمشاهدة جسم بالمجهر المركب، يوضع بين البعد البؤري ومثلي البعد البؤري من العدسة الشيئية، فتتكون صورة حقيقية معكوسة وأكبر من الجسم. وكما في التلسكوب، تصبح هذه الصورة بمثابة الجسم بالنسبة إلى العدسة العينية، بحيث تقع هذه الصورة بين العدسة العينية وبؤرتها، فتتكون صورة خيالية معتدلة وأكبر من الصورة الناتجة من العدسة الشيئية. وبالتالي، يرى المشاهد صورة معكوسة وأكبر من الجسم الأصلي.



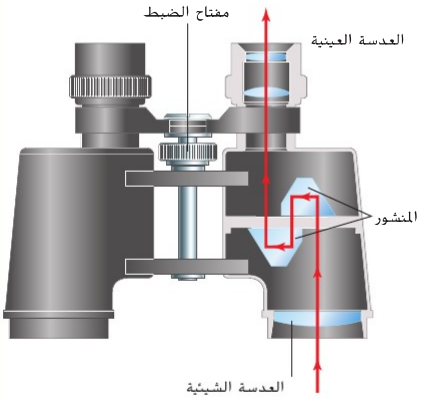
الشكل 26 تكوّن العدسة الشيئية والعدسة العينية في هذا المجهر المركب صورة معكوسة وأكبر مُقارنة بالجسم.

المنظار

هل سبق لك استخدام المنظار لمشاهدة حدث رياضي أو لمشاهدة الطيور؟ يُكوّن المنظار صورةً مُكبرةً ثلاثية الأبعاد للأجسام البعيدة مثل التلسكوب. ويبيّن **الشكل 27** تصميمًا لمنظار، حيث يُشبه كل جانب من جانبيه تلسكوبًا صغيرًا.

يدخل الضوء من العدسة الشيئية المحدبة فتتكون صورة معكوسة، ثم ينتقل الضوء بعد ذلك عبر منشورين يستخدمان الانعكاس الكُلّي الداخلي لقلب الصورة مرة أخرى بحيث يرى المشاهد صورة معتدلة للجسم. يعمل المنشوران أيضًا على إطالة مسار الضوء وتوجيهه نحو العدسة العينية للمنظار.

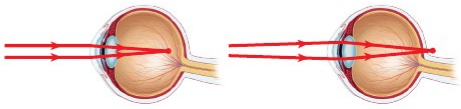
تمامًا مثلما تمنحك المسافة الفاصلة بين عينيك، إحساس العمق والأبعاد الثلاثية، يوفر المنشوران مسافة فاصلة أكبر بين العدستين الشيئيتين، الأمر الذي يؤدي إلى تحسين الرؤية الثلاثية الأبعاد للجسم البعيد من المنظار.



الشكل 27 يعمل المنظار بطريقة مماثلة للتلسكوب الكاسر.

القسم 3 مراجعة

33. **الفكرة الرئيسة** أي نوع من العدسات، المحدبة أم المقعرة، يجب أن يستخدمها الشخص الذي يعاني من قصر النظر؟ وأي نوع منها يستخدمه الشخص الذي يعاني من طول النظر؟ انظر **الشكل 28**. اشرح.



مصاب بطول البصر　　مصاب بقصر البصر

الشكل 28

34. **الانكسار** اشرح سبب أنّ القرنية هي عنصر تجميع الأشعة الأساسي في العين.

35. **الكاميرا** إذا وجِّهت الكاميرا نحو شجرة تقع على بُعد 2 m منك، وأردت أن توجهها نحو شجرة أخرى أبعد من ذلك، هل ينبغي أن تقرّب العدسة من المستشعر أم تبعدها عنه؟

36. **التفكير الناقد** عند استخدام أكبر مقدار تكبير في المجهر، تكون الصور معتمة أكثر منها في حال التكبير أقل. فما الأسباب المحتملة لجعل الصورة مظلمة؟ ماذا يمكن أن تفعل للحصول على صورة أوضح؟

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

هل ترى ما أرى؟

عدسات الجاذبية

ماذا يحدث هنا؟ هذه، في الوا
الضوء الصادر من مجرتين ت
خلف الأخرى مباشرة. ويطل
حلقة آينشتاين.

إنّ النقطة المضيئة المركزية هذه هي الضوء الصادر من المجرة الأقرب.

في حين أنّ الحلقة الخارجية هذه هي الضوء الصادر من المجرة الأبعد. لماذا يمكن رؤية الضوء الصادر من المجرة الأبعد من خلف المجرة الأقرب؟ ترتبط إجابة هذا السؤال بتوقعات آينشتاين حول الفضاء المنحني. ويطلق على الأثر اسم حلقة آينشتاين.

المجرة البعيدة

المجرة القريبة

ينحني الضوء الصادر من
سم
ذي
الة.

تلسكوب

لمزيد من التعمق >>>

البحث يُعدّ انحناء الضوء بفعل الجاذبية واحدًا من تنبؤات نظرية النسبية العامة. أعدّ بحثًا عن باقي تنبؤات النظرية. كيف يمكن اختبار هذه التنبؤات؟

الفكرة الرئيسة تعمل العدسات على انكسار الضوء وتكوين صور.

القسم 1 انكسار الضوء

المفردات

- معامل الانكِسار index of refraction
- الزاوية الحرجة critical angle
- الانعكاس الكلي الداخلي total internal reflection
- تحلّل الضوء dispersion

الفكرة الرئيسة يعتمد مقدار الانكسار عند الحد الفاصل بين وسطين على معاملي انكسار الوسَطين وزاوية السقوط.

- ينكسر شعاع الضوء عندما من وسط ما ذي معامل انكسار (n_1) إلى وسط آخر ذي معامل انكسار مختلف (n_2). يوصف الانكسار وفق قانون سنل للانكسار.

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

- سرعة الضوء في الوسط أقل من سرعة الضوء في الفراغ. النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ (c) وسرعة الضوء في وسط ما (v) تساوي معامل الانكسار (n) لذلك الوسط.
- عندما ينتقل الضوء من وسط لوسط آخر معامل انكساره أقل وبزاوية سقوط أكبر من الزاوية الحرجة c، فإن الضوء ينعكس انعكاسًا كليًا داخليًا في الوسط نفسه الذي هو فيه، ولا ينفذ إلى الوسط الآخر.
- تحدث الظواهر البصرية مثل السراب وأقواس المطر نتيجة للانكسار. يحدث السراب نتيجة تأثير درجة الحرارة في n وتحدث أقواس المطر نتيجة تشتت الضوء الأبيض المنكسر.

القسم 2 العدسات المحدبة والمقعرة

المفردات

- عدسة lens
- عدسة محدبة convex lens
- عدسة مقعرة concave lens
- معادلة العدسة الرقيقة thin lens equation
- زيغ لوْنيّ chromatic aberration
- عدسة لالونية achromatic lens

الفكرة الرئيسة يمكن استخدام العدسات في تكبير الصور وتصغيرها.

- تكوّن العدسة المحدبة المفردة صورة حقيقية من خلال تجميع أشعة الضوء عندما يكون الجسم أبعد من بؤرة العدسة. وتكوّن العدسة المحدبة المفردة صورة خيالية عندما يقع الجسم بين العدسة والبؤرة. تكوّن العدسة المقعرة المفردة صورة خيالية مصغرة ومعتدلة دائمًا من خلال تفريق أشعة الضوء.
- تستخدم الرسوم التخطيطية للأشعة لتحديد موضع الصورة التي كونتها العدسة وصفات الصورة. توضّح معادلة العدسة الرقيقة العلاقة بين البعد البؤري (f) وبعد الجسم (x_o) وبعد الصورة (x_i).

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{x_i} + \frac{1}{x_o}$$

يُحدَّد تكبير الصورة (m) بالعدسة بواسطة معادلة التكبير.

- تُحدِث كل العدسات الرقيقة زيغًا لونيًا. يستخدم للحد من الزيغ اللوْنيّ مجموعة من العدسات ذات معاملات انكسار مختلفة.

القسم 3 تطبيقات العدسات

المفردات

- قصر النظر nearsightedness
- طول النظر farsightedness

الفكرة الرئيسة باستخدام العدسات يرى الناس أجسامًا لم يكونوا ليروها بغير ذلك.

- اختلاف معاملي انكسار الهواء والقرنية المسؤول الأساسي عن تركيز الضوء في العين.
- إنّ قصر النظر هو عدم القدرة على رؤية الأجسام البعيدة بوضوح. تُصحح العدسة المقعرة قصر النظر.
- إنّ طول النظر هو عدم القدرة على رؤية الأجسام القريبة بوضوح. تُصحح العدسة المحدبة طول النظر.
- تستخدم الأجهزة البصرية مجموعات من العدسات للحصول على صور واضحة للأجسام الصغيرة أو البعيدة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 1 انكسار الضوء

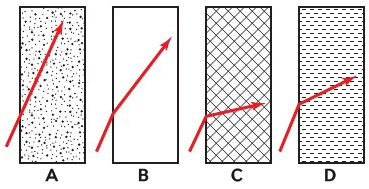
إتقان المفاهيم

37. قارن بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار عندما ينتقل شعاع الضوء من الهواء إلى الزجاج بزاوية لا تساوي صفرًا؟

38. قارن بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار عندما ينتقل شعاع الضوء من الزجاج إلى الهواء بزاوية لا تساوي صفرًا؟

39. في ما يتعلق بالانكسار، ما المقصود بالزاوية الحرجة؟

40. ترتيب يمثّل **الشكل 29** شعاعًا ضوئيًا ينتقل من الهواء إلى عدة أوساط. رتّب الأوساط طبقًا لمعامل الانكسار من الأكبر إلى الأصغر.



الشكل 29

41. على الرغم من انكسار الضوء القادم من الشمس أثناء مروره عبر الغلاف الجوي إلى الأرض، فإن الضوء لا يتحلل إلى طيفه. وضح لماذا لا يحدث ذلك؟

42. اشرح لماذا يظهر القمر باللون الأحمر أثناء الخسوف؟

إتقان حل المسائل

43. ارجع إلى **الجدول 1**. واستخدم معامل انكسار الألماس لحساب سرعة الضوء خلال ألماس.

44. ينتقل الضوء من الزجاج الصواني إلى الإيثانول. تساوي زاوية الانكسار في الإيثانول 25.0°. ما زاوية السقوط في الزجاج؟

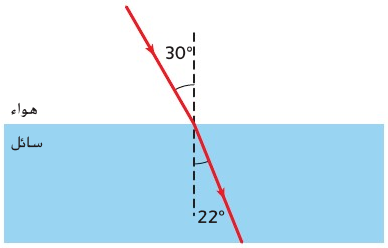
45. ارجع إلى **الجدول 1**. وأوجد الزاوية الحرجة للألماس في الهواء.

46. يسقط شعاع ضوئي على زجاج مسطح لأحد جوانب حوض سمك مملوء بالماء بزاوية قدرها 40.0° بالنسبة إلى العمود المقام. علمًا أن معامل انكسار الزجاج، $n = 1.50$.

a. ما زاوية انكسار الشعاع الضوئي في الزجاج؟

b. ما زاوية انكسار الشعاع الضوئي في الماء؟

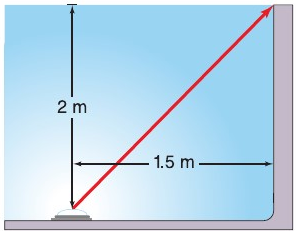
47. ينتقل شعاع ضوء من الهواء إلى سائل، كما هو موضّح في **الشكل 30**. حيث يسقط شعاع الضوء على السائل بزاوية 30.0°. وينكسر بزاوية تساوي 22.0°. باستخدام قانون سنل، احسب معامل الانكسار للسائل. قارن معامل الانكسار الذي حسبته بمعاملات الانكسار الموجودة في **الجدول 1**. ماذا يمكن أن يكون نوع السائل؟



الشكل 30

48. حوض السمك استُخدم لوح سميك من البلاستيك، $n = 1.500$، في صنع حوض سمك. فإذا انعكس ضوء عن سمكة موجودة في الماء وسقط على لوح البلاستيك بزاوية سقوط 35.0°. فما مقدار الزاوية التي سيخرج فيها؟

49. أضواء حوض السباحة يقع مصدر ضوء على عمق 2.0 m من سطح حوض سباحة، ويبعد 1.5 m من طرف حوض السباحة، كما هو موضّح في **الشكل 31**، وكان الحوض مملوءًا بالماء إلى قمته. ما مقدار زاوية خروج الضوء من الماء عندما يصل إلى طرف حوض السباحة؟ هل سيبدو الحوض أكثر أو أقل عمقًا مما هو عليه في الواقع عند النظر إليه من هذه الزاوية؟



الشكل 31 (غير مرسوم بمقياس رسم)

50. يساوي معامل انكسار الزجاج المصقول للضوء البنفسجي 1.53 و للضوء الأحمر 1.51. ما سرعة الضوء البنفسجي في الزجاج المصقول؟ وما سرعة الضوء الأحمر في الزجاج المصقول؟

51. تبلغ الزاوية الحرجة لأحد أنواع الزجاج في الهواء 41.0°. ما مقدار الزاوية الحرجة، إذا كان الزجاج مغمورًا في الماء؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

52. معامل انكسار ألماس لضوء أحمر طوله الموجي 656 nm، يساوي 2.410 في حين يساوي 2.450 لضوء أزرق طوله الموجي 434 nm. افترض دخول ضوء أبيض إلى ألماس بزاوية مقدارها 30.0°. أوجد زاويتي انكسار الضوءين الأحمر والأزرق.

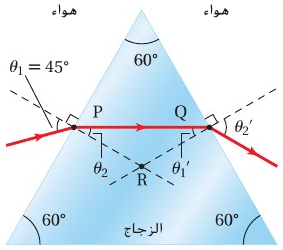
53. زاوية سقوط شعاع ضوئي في الماء تساوي 55.0°. ما زاوية انكساره في الهواء؟

54. يدخل الشعاع الموضّح في **الشكل 32** في منشور زجاجي متطابق الاضلاع ومعامل انكسار مادته 1.5

a. باستخدام قانون سنل للانكسار، أوجد الزاوية $\theta 2$ مقربة إلى أقرب درجة.

b. باستخدام مبادئ الهندسة، حدد قيمة $\theta 1'$.

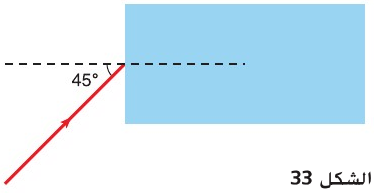
c. أوجد $\theta 2'$.



الشكل 32

55. سرعة الضوء في البلاستيك الشفاف 1.90×10^8 m/s . يسقط شعاع ضوئي على البلاستيك بزاوية تساوي 22.0°. ما مقدار زاوية انكسار الشعاع؟

56. يدخل شعاع ضوئي في قطعة من الزجاج المصقول كما هو موضّح في **الشكل 33**. استخدم مخطط أشعة مناسبًا لتتبع مسار الشعاع حتى يخرج الزجاج.



الشكل 33

القسم 2 العدسات المحدبة والمقعرة

إتقان المفاهيم

57. كيف تختلف أشكال العدسات المحدبة والمقعرة فيما بينها؟

58. ما العامل الذي يُحدد موقع بؤرة العدسة، غير تقوّس سطح العدسة؟

59. اذكر سبب استخدام الآلات البصرية الدقيقة للعدسات اللالونية.

60. حدد موقع الصورة المتكوّنة باستخدام عدسة محدبة، وصف صفاتها عندما يوضع الجسم على مسافة أكبر من 2F.

61. لعرض مشهد مُصَوَّر باستخدام جهاز عرض سينمائي على شاشة، يوضع الفيلم بين F و 2F لعدسة مجمعة، ويُنتج هذا الترتيب صورة مقلوبة. لماذا يظهر المشهد المُصوَّر معتدلًا عند عرض الفيلم؟

إتقان حل المسائل

62. البُعد البؤري لعدسة محدبة 17 cm. وُضعَت شمعة على بُعد 34 cm أمام العدسة. ارسم مخطط أشعة لتحديد موقع الصورة.

63. وُضع كوب على طاولة على بُعد 72.5 cm من عدسة مجمعة بُعدها البؤري 25.5 cm. كم ستبعُد صورة الكوب المتكونة من العدسة؟

64. تستخدم جهازًا مزودًا بعدسة محدبة لتكوّن صورة حجمها يساوي 0.75 من حجم أحد الرسوم. إذا وضعت الجهاز على بُعد 24 cm من العدسة للحصول على هذه النتيجة، فما البُعد البؤري للعدسة؟

65. وُضعت قطعة من الحلوى طولها 2.4 cm على بُعد 14.0 cm من عدسة محدبة يساوي بُعدها البؤري 6.0 cm. وطول قطعة الحلوى يساوي 2.4 cm.

a. ارسم مخطط أشعة لتحديد بُعد الصورة وطولها واتجاهها.

b. حلّ المسألة رياضيًا.

66. وُضعت زجاجة طلاء أظافر طولها 8.0 cm أمام عدسة مجمّعة على بُعد 15.0 cm. تَكَوَّنت صورة حقيقية على بُعد 10.0 cm من العدسة.

a. ما البُعد البؤري للعدسة؟

b. إذا استُبدلت العدسة، ووُضِعَ مكانها عدسة أخرى بعدها البؤري مثلي البعد البؤري للعدسة المستبدلة، فما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟

67. لعدسة مفرقة بُعد بؤري 15.0 cm. وُضعت قطعة ألعاب على بُعد 5.0 cm من العدسة فتكوّنت صورة طولها 2.0 cm.

a. ما طول قطعة الألعاب وما بعدها؟

b. استُبدلت العدسة المفرقة، ووضع مكانها عدسة مجمعة لها البُعد البؤري نفسه. ما موقع الصورة وطولها واتجاهها؟ وهل هذه الصورة حقيقيّة أم خيالية؟

68. مسألة معكوسة اكتب مسألة فيزيائية باستخدام أجسام في الحياة اليومية بحيث تكون المعادلة التالية جزءًا من حل المسألة: $\frac{1}{0.06\ \text{m}} + \frac{1}{x_i} = \frac{1}{0.04\ \text{m}}$.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

القسم 3 تطبيقات العدسات

إتقان المفاهيم

69. **الفكرة الرئيسة** صِف طريقة تركيز العين للضوء.

70. ما الحالة التي يُصبح فيها البُعد البؤري لعدسة العين قصيرًا جدًا لدرجة لا تتمكن معها من تجميع الضوء على الشبكية؟

71. ما نوع الصورة المتكوّنة عند استخدام العدسة الشيئية في التلسكوب الكاسر؟ كيف عرفت ذلك؟

72. تزيد المناشير الزجاجية في المنظار من المسافة بين العدسات الشيئية. لماذا يُعدّ ذلك مُفيدًا؟

73. ما الغرض من المرآة العاكسة في الكاميرا؟

إتقان حل المسائل

74. **عدسات الكاميرا** توصَف عدسات الكاميرا بدلالة بُعدها البؤري. العدسة 50.0 mm يكون بعدها البؤري 50.0 mm.

a. تُركِّز كاميرا مزودة بعدسة بعدها البؤري 50.0 mm على جسم يَبعد 3.0 m. ما موقع الصورة؟

b. تُركِّز عدسة بعدها البؤري 1000.0 mm على جسم يَبعد 125 m. ما موقع الصورة؟

75. **النظارات** لقراءة كتاب بوضوح، يجب أن يكون على بُعد 25 cm. فإذا كان هنالك فتاة مصابة بطول النظر، وتحتاج إلى أن يكون الكتاب على بُعد 45 cm من عينيها لقراءته بوضوح، فما البُعد البؤري اللازم لعدستي نظارة الفتاة؟

76. **الكاميرا** تُستخدم عدسة كاميرا بُعدها البؤري 35 mm لتصوير جسم بعيد. كم تبعد الصورة الحقيقية للجسم من العدسة؟ فسّر ذلك.

77. **آلة النسخ** يُساوي البُعد البؤري للعدسة المحدبة الخاصة بآلة نسخ 25.0 cm. فإذا وضعت ورقة على بُعد 40.0 cm من العدسة لنسخها:

a. كم يجب أن يكون البعد بين ورق النسخ والعدسة؟

b. ما مقدار تكبير نسخة النسخ؟

78. **الميكروسكوب (المجهر)** وُضعت شريحة من خلايا بصل على بُعد 12 mm من عدسة شيئية لمجهر. فإذا كان البُعد البؤريّ للعدسة الشيئية 10.0 mm.

a. ما بُعد الصورة المتكونة عن العدسة؟

b. ما مقدار تكبير هذه الصورة؟

c. تتكون الصورة الحقيقية على بُعد 10.0 mm تحت العدسة العينية. فإذا كان البُعد البؤري للعدسة العينية يساوي 20.0 mm. فما موقع الصورة النهائية؟

d. ما مقدار التكبير النهائي لهذا النظام المُرَكَّب؟

79. **التلسكوب** يتكوّن النظام البصري للتلسكوب الكاسر اللعبة من عدسة شيئية مجمعة بُعدها البؤري 20.0 cm، وتقع على بُعد 25.0 cm من عدسة عينية مجمعة بُعدها البؤري 4.05 cm. يُستخدَم التلسكوب لمشاهدة جسم طوله 10.0 cm، ويقع على بُعد 425 cm من العدسة الشيئية.

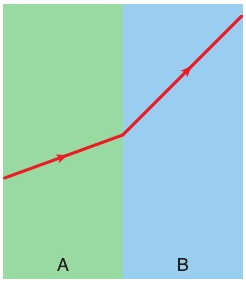
a. ما موقع الصورة المتكوّنة باستخدام العدسة الشيئية وطولها، واتجاهها؟ هل هذه الصورة حقيقية أم خيالية؟

b. إذا أصبحت الصورة المتكونة عن العدسة الشيئية بمثابة الجسم للعدسة العينية. فما موقع الصورة التي يراها الشخص عند النظر في التلسكوب؟ وما طولها واتجاهها؟ وهل هذه الصورة صورة حقيقية أم خيالية؟

c. ما مقدار تكبير التلسكوب؟

تطبيق المفاهيم

80. أي من الوسطين A أو B، **في الشكل 34** له معامل انكسار أكبر؟ وضّح ذلك.



الشكل 34

81. كيف تتغيّر سرعة الضوء عند ازدياد معامل الانكسار؟

82. **السراب الأسطوري** وفقًا للأسطورة، أبحر إريك الأحمر من أيسلندا واكتشف جزيرة جرينلاند بعد رؤيته للجزيرة في هيئة السراب. اشرح كيف يمكن أن يحدث السراب.

83. **الزجاج الأمامي المتشقّق** عندما تنظر من خلال زجاج متشقق، فإنك تشاهد خطًا فضي اللون على طول امتداد الشق، حيث يكون الزجاج منفصلًا عنده، كما أن هنالك هواء موجود في الشق. يدل هذا الخط الفضي إلى أنَّ الضوء ينعكس عن الشق. ارسم مخطط أشعة لتفسير سبب حدوث ذلك. وما هي الظاهرة التي يمثلها؟

84. **أقواس المطر** لماذا لا يمكنك رؤية قوس المطر في السماء جنوبًا إذا كنت في نصف الكرة الأرضية الشمالي؟ وإلى أي اتجاه عليك النظر لرؤية أقواس المطر إذا كنت في نصف الكرة الجنوبي؟

McGraw-Hill Education حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

85. يكسر المنشور الضوء الأزرق بزاوية أكبر من الضوء الأحمر. فسّر ذلك.

86. هل يزيد أم يقل قياس الزاوية الحرجة كلما ازداد معامل انكسار الوسط الذي ينتقل خلاله الشعاع؟

87. لماذا يُعدّ الزيغ اللونيّ عيبًا بالنسبة إلى العدسات، ولا يعد كذلك بالنسبة إلى المرايا؟

88. أي زوج من الأوساط التالية له زاوية حرجة أقل: الهواء والماء أم الهواء والزجاج المصقول؟

89. افترض أنّ **الشكل 13** أُعيد رسمه باستخدام عدسة لها البُعد البؤري نفسه ولكن لها قطر أكبر. فسّر سبب عدم تغيُّر موقع الصورة. هل ستتأثر الصورة بأي طريقة؟

90. يستخدم أحد السبَّاحين عدسة مكبرة أثناء الغوص تحت الماء حتى تساعده على مشاهدة جسم صغير في قاع حوض سباحة. واكتشف أنَّ العدسة المكبرة لا تُكبِّر الجسم جيدًا كما يجب. اشرح لماذا لا تعمل العدسة المكبرة في الماء كما كانت تعمل في الهواء.

91. عند التعرُّض لضوء الشمس الساطع يكون بؤبؤ العينين أصغر مما يكون عليه عند التعرُّض للضوء الخافت. اشرح لماذا تستطيع عيناك تجميع الضوء بشكل أفضل في الضوء الساطع.

92. المناظير تُكوّن العدسات الشيئية في المناظير صورًا حقيقية ومعتدلة للأجسام مُقارنةً بالأجسام الأصلية. أين تقع الصور بالنسبة إلى العدسات العينية؟

مراجعة عامة

93. وُضعَ جسم طوله 3.0 cm على بعد 20 cm أمام عدسة مجمِّعة. فتَكَوَّنت صورة حقيقية على بُعد 10 cm من العدسة. ما مقدار البُعد البؤري للعدسة؟

94. تبلغ الزاوية الحرجة لضوء ينتقل من قالب من الزجاج المصقول إلى وسط آخر 45.0°. ما معامل انكسار الوسط الذي ينتقل إليه الضوء؟

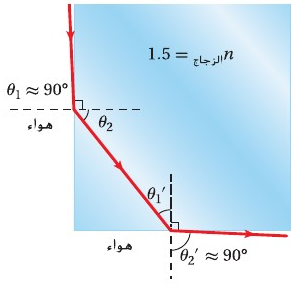
95. أوجد سرعة الضوء في حجر ثلاثي أكسيد الأنتيمون، إذا كان معامل انكساره يساوي 2.35.

96. علم الفلك كم عدد الدقائق الإضافية التي سيستغرقها الضوء عند انتقاله من الشمس إلى الأرض إذا امتلأ الفضاء بينهما بالماء بدلًا من الفراغ؟ علمًا بأن بُعد الشمس من الأرض يساوي $1.5 \times 108\ km$.

97. شباك الصرَّاف في البنك يُستخدم لوح سميك من البلاستيك سمكه 25 mm و $n = 1.5$ في شباك الصرَّاف الآلي في البنك. فعندما يسقط شعاع ضوئي على اللوح بزاوية تساوي 45°. سيخرج الشعاع من اللوح بزاوية تساوي 45° ولكن من موقع آخر. استخدم مخطط أشعة لإيجاد البُعد بين الشعاع الذي يخرج والشعاع الذي كان سيخرج في حالة عدم وجود البلاستيك.

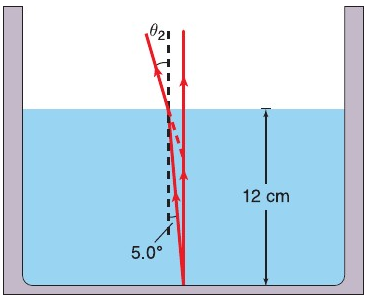
98. استنتج المعادلة $n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$ من الصيغة العامة لقانون سنل للانكسار. $n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$. واذكر الافتراضات اللازمة.

99. من غير الممكن الرؤية من خلال الجوانب المتجاورة لقوالب مربعة من زجاج معامل انكساره يساوي 1.5. حيث يؤثر الجانب المجاور للجانب الذي ينظر من خلاله المراقب كأنه مرآة. يوضّح **الشكل 35** الحالة المحددة لجانب مجاور لا يؤثر كأنه مرآة. استخدم معرفتك بالهندسة وبالزوايا الحرجة لتثبت أنّ هيئة هذا الشعاع غير قابلة للتحقيق عندما يكون $n_{\text{الزجاج}} = 1.5$



الشكل 35

100. العمق الظاهري تنعكس أشعة الشمس من قاع حوض سمك وتنتشر في جميع الاتجاهات. **الشكل 36** يوضّح شعاعين من هذه الأشعة المنعكسة من نقطة في قاع الحوض ينتقلان إلى السطح. فتنكسر أشعة الضوء في الهواء كما هو موضّح. يُعدّ امتداد الخط الأحمر المتقطع إلى الخلف، من شعاع الضوء المنكسر، خط النظر الذي يتقاطع مع الشعاع الرأسي عند الموقع الذي سيرى فيه المراقب صورة قاع الحوض. أوجد زاوية انكسار الشعاع في الهواء. عند أي عمق سيبدو قاع الحوض إذا نظرت في الماء؟ أوجد ناتج قسمة العمق الظاهري على العمق الحقيقي وقارن الناتج بمعامل الانكسار.



الشكل 36

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

101. ما البُعد البؤري لقرنية عينيك عندما تقرأ كتابًا يبعد من القرنية بمقدار 35.0 cm؟ علمًا بأن المسافة من كل قرنية إلى الشبكية تساوي 19 mm.

التفكير الناقد

102. إدراك العلاقات المكانية ينتقل الضوء الأبيض خلال هواء معامل انكساره ($n = 1.00$) ويدخل في لوح زجاجي بزاوية سقوط 45° بالضبط. فإذا كان معامل انكسار الزجاج الصواني الكثيف $n = 1.7708$ لضوء أزرق طوله الموجي ($\lambda = 435.8$ nm) و $n = 1.7273$ لضوء أحمر طوله الموجي ($\lambda = 643.8$ nm). ما الاختلاف في زوايا الانكسار للضوءين الأحمر والأزرق؟

103. قارن وقابل أوجد الزاوية الحرجة لضوء ينتقل من جليد معامل انكساره ($n = 1.31$) إلى الهواء. في المناطق الشديدة البرودة، هل تكون خطوط الألياف الضوئية المصنوعة من الجليد أفضل من تلك المصنوعة من الزجاج لانتقال الضوء داخل السلك؟ وضّح ذلك.

104. طرح مسألة "يُنتج الليزر ضوءًا طوله الموجي 453 nm...." أكمل هذه المسألة بحيث يجب حلها باستخدام قانون سنل.

105. إدراك السبب والنتيجة استخدم زميلك عدسة محدبة في إجراء تجربة لتكوين صورة لها $x_i = 25$ cm و $h_i = 4.0$ cm. وأنت تفحص عدسة مقعرة بُعدها البؤري 15− cm، وضعتَ العدسة المقعرة بين العدسة المحدبة والصورة الأصلية على بُعد 10 cm من الصورة. دُهشت عندما رأيت صورة حقيقية أكبر من الجسم على الحائط. وقد قيل لك إنَّ الصورة المتكوّنة عند استخدام العدسة المحدبة أصبحت الآن بمثابة الجسم للعدسة المقعرة، ونتيجة وجودها على الجانب المقابل للعدسة المقعرة، فهي تُعدّ جسمًا خياليًا. استخدم هذه الدلالات لإيجاد موقع الصورة الجديدة وطولها. ولتوقّع ما إذا كانت العدسة المقعرة قد غيَّرت اتجاه الصورة الأصلية أم لا.

106. عرِّف بشكل عملي اذكر اسم الظاهرة التي تسبب طيف ألوان قوس المطر وأشرح كيفية حدوثها.

107. تُستخدم عدسة في عرض صورة جسم على شاشة. افترض أنَّك غطّيت النصف الأيمن من العدسة. ماذا سيحدث للصورة؟

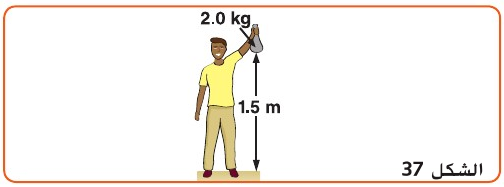
الكتابة في الفيزياء

108. ابحث في نظام العدسة المستخدم في الآلات البصرية، مثل جهاز عرض الشفافيات أو آلات التصوير الخاصة أو التلسكوب. ثم حضر عرضًا تصويريًا للصف توضح من خلاله كيفية تكوين هذه الآلات للصور.

109. تختلف عملية التكيُّف في العين، وهي التي تنقبض فيها العضلات المحيطة بالعدسة في العين أو تنبسط حتى تُمكّن العين من رؤية الأجسام القريبة أو البعيدة من كائن إلى آخر. ابحث في هذه الظاهرة في حيوانات مختلفة، وأعدّ تقريرًا للصف توضح من خلاله كيفية التكيف في عيون هذه الحيوانات لرؤية الأشياء.

مراجعة تراكمية

110. إذا أسقطت حقيبة كتلتها 2.0 kg وفيها طلقات رصاص صغيرة من ارتفاع 1.5 m كما هو موضّح في **الشكل 37**، يمكنك افتراض أنَّ نصف طاقة الوضع ستتحوّل إلى طاقة حرارية في طلقات الرصاص. وسيتحوّل النصف الآخر إلى طاقة حرارية في الأرض. كم مرة قد يتعيّن عليك إسقاط الحقيبة لرفع حرارتها بمقدار 10°C؟



الشكل 37

111. تُطلق سيارة بوقها عندما تقترب من أحد الأشخاص عند عبوره ممر المشاة. ما الذي سيسمعه هذا الشخص عندما تتوقف السيارة لتسمح له بعبور الشارع؟

112. افترض أنَّك تستطيع أن تقف على سطح الشمس وتزن نفسك. وافترض أيضًا أنَّك تستطيع قياس الاستضاءة على يدك من طيف الشمس المرئي الناتج في هذا الموقع. ثم تخيَّل أنَّك تنتقل إلى موقع أبعد من مركز الشمس مما كنت تقف عنده بمقدار 1000 مرة.

a. ما وجه المقارنة بين قوة الجاذبية المؤثرة فيك من الشمس وما كانت عليه على السطح؟

b. ما وجه المقارنة بين الاستضاءة على يدك من الشمس في الموضع الجديد وما كانت عليه عندما كنت تقف على سطحها؟ (للتبسيط، افترض أنَّ الشمس مصدر نقطي في كلا الموقعين)

c. قارن تأثير المسافة في كل من قوة الجاذبية والاستضاءة.

113. مرآة التجميل يبلغ طول أنف عميل يجرِّب كريمًا للوجه 3.00 cm. ويقع على بُعد 6.00 cm أمام مرآة مقعرة بُعدها البؤري يساوي 14.0 cm. أوجد موقع صورة أنف العميل وطوله باستخدام:

a. مخطط أشعة حيث المقاييس متناسبة

b. معادلتي المرآة والتكبير

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

الاختيار من متعدد

1. يوجّه شعاع مصباح يدوي نحو بركة سباحة في الظلام بزاوية 46° بالنسبة إلى العمود المقام على سطح الماء. ما زاوية انكسار الشعاع في الماء؟ (معامل انكسار الماء هو 1.33).

A. 18° **C.** 33°

B. 30° **D.** 44°

2. تبلغ سرعة الضوء في الماس 1.24×10^8 m/s. ما معامل انكسار ألماس؟

A. 0.0422 **C.** 1.24

B. 0.413 **D.** 2.42

3. أي من الظواهر التالية لا ترتبط بتكوين أقواس المطر؟

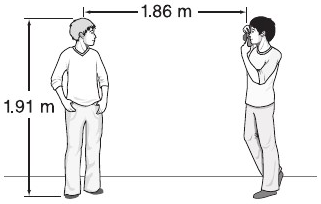
A. الحيود **C.** الانعكاس

B. تحلل الضوء الأبيض **D.** الانكسار

4. يلتقط أحمد صورة لعلي. كما هو موضّح في الشكل أدناه. مستخدمًا كاميرا تحتوي على عدسة محدبة ذات بُعد بؤري مقداره 0.0470 m. حدد موقع صورة علي.

A. 1.86 cm **C.** 4.82 cm

B. 4.70 cm **D.** 20.7 cm



5. ما مقدار تكبير الجسم الذي يبلغ بعده 4.15 m أمام الكاميرا التي يصل موضع الصورة فيها إلى 5.0 cm؟

A. −0.83 **C.** 0.83

B. −0.012 **D.** 1.22

6. أي من التالية لا تؤثر في تكوين السراب؟

A. تسخين الهواء بالقرب من الأرض

B. مويجات هيجنز

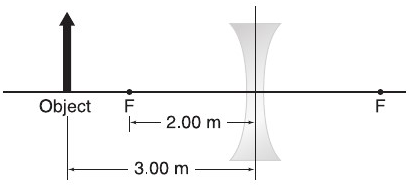
C. الانعكاس

D. الانكسار

7. ما بُعد الصورة في الحالة الموضّحة في الشكل التالي؟

A. −6.00 m **C.** 0.167 m

B. −1.20 m **D.** 0.833 m



8. ما الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي عندما ينتقل الضوء من الزجاج ($n = 1.52$) إلى الماء ($n = 1.33$)؟

A. 29.0° **C.** 48.8°

B. 41.2° **D.** 61.0°

9. ماذا يحدث للصورة المتكونة باستخدام عدسة محدبة عند تغطية نصف العدسة؟

A. يختفي نصف الصورة.

B. تصبح الصورة معتمة.

C. تصبح الصورة ضبابية.

D. تصبح الصورة مقلوبة.

أسئلة ذات إجابات مفتوحة

10. إذا كانت الزاوية الحرجة للانعكاس الكلي الداخلي عند الحد الفاصل بين ألماس والهواء 24.4°. ما زاوية الانكسار في الهواء إذا سقط ضوء على الحد الفاصل بزاوية 20.0°؟

11. جسم يبعد من عدسة بمقدار 6.98 cm تكونت له صورة على بعد 2.95 cm من العدسة وعلى الجانب نفسه من العدسة. ما نوع العدسة؟ وضّح إجابتك.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education