شارح: انعكاس الضوء

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نَصِف مسارات الضوء المنعكس عن الأسطح المنتظمة وأسطح الانتشار من خلال تطبيق قانون الانعكاس.

يمكننا أن نتذكَّر أن الأشعة الضوئية تتحرَّك في خطوط مستقيمة. وإذا لم يُصادِف الشعاع الضوئي أيَّ شيء على الإطلاق، فسيستمر في التحرُّك إلى ما لا نهاية دون توقُّف. ولكن في الواقع، دائمًا يواجه الضوء شيئًا في مساره.

لفهم ما يحدث عندما يواجه الشعاع الضوئي جسمًا، قد يكون من المفيد التفكير في الضوء على أنه جسيم يتحرَّك في اتجاه هذا الشعاع. بعد ذلك، عندما نفكِّر في الضوء، نتخيَّل جسمًا صلبًا يصطدم بجسم آخر أو بحاجز.

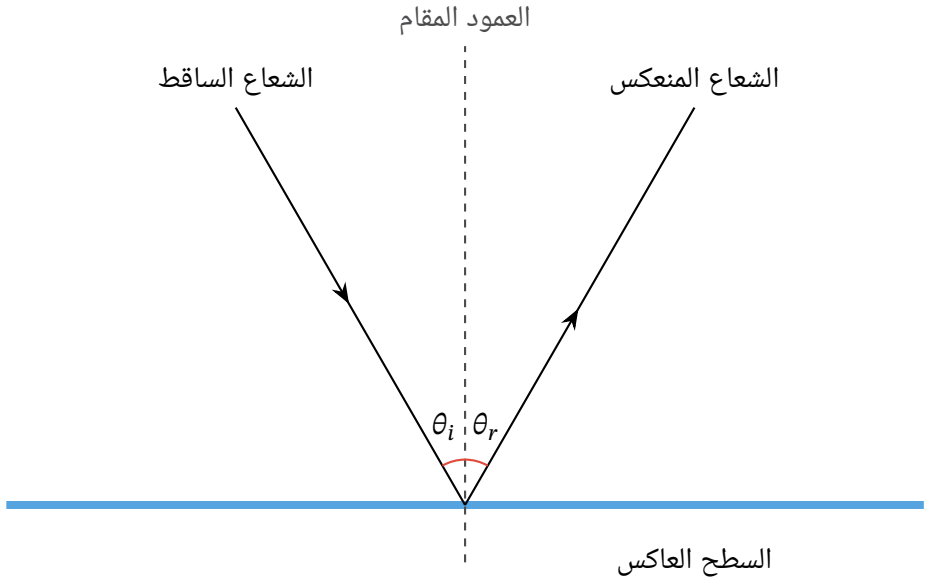
وهذا يماثل فكرة اصطدام كرة بجدار. ومن خبرتنا، نعلم أن الكرة ترتد عن الجدار في هذه الحالة. وبالمثل، يرتد الشعاع الضوئي عن الجسم الذي يصطدم به. وتُعرَف هذه العملية بالانعكاس.

تحدث عملية الانعكاس هذه عندما يتحرَّك الضوء في خط مستقيم عبْر الهواء ويواجه جسمًا صلبًا في مساره. ولكن، ليست تلك الحالة هي الحالة الوحيدة لحدوث ذلك؛ فالانعكاس يحدث بصورة عامة عندما يكون هناك سطح فاصل بين أي وسطين. تذكَّر أن الوسط هو أي مادة يمكن أن ينتقل الضوء خلالها. لذا، قد يتناول حديثنا السطح الفاصل بين الهواء والماء، أو بين الزجاج والبلاستيك، وهكذا.

في الواقع، ترجع رؤيتنا للأشياء إلى حقيقة أنها تعكس الضوء. وفيما عدا ذلك، فالأشياء الوحيدة التي سنتمكَّن من رؤيتها هي الأجسام التي تبعث ضوءًا. نُسمِّي هذه الأجسام مصادر الضوء. ومصادر الضوء هذه، مثل الشمس أو المصباح، قليلة نسبيًّا ونادرة. إن معظم الأجسام الموجودة حولنا لا تبعث ضوءًا خاصًّا بها، لكنها تعكس الضوء من مصدر خارجي. ومن ثَمَّ، يمكننا رؤية هذه الأجسام لا لسبب إلا لعكسها الضوء الساقط عليها.

تبيَّن أن الضوء خلال انعكاسه يخضع لقانون يُعرَف بقانون الانعكاس.

لنرى كيف يُطبَّق هذا القانون، نبدأ بإلقاء نظرة على الشكل الآتي الذي ينعكس فيه شعاع ضوئي عن سطح مستوٍ:



رسمنا الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنعكس في هذا الشكل باستخدام سهمين يمثِّلان اتجاه الضوء. كما أطلقنا اسمين على الزاويتين الموجودتين في الشكل. وهاتان الزاويتان هما θ_i، التي تُعرَف بزاوية السقوط، وθ_r، التي تُعرَف بزاوية الانعكاس.

لاحظ أن هاتين الزاويتين مقيستان مع الخط المتقطِّع العمودي على السطح. ويُعرَف هذا الخط باسم «العمود المقام» على السطح.

زاوية السقوط، θ_i، هي زاوية الشعاع الضوئي الساقط مقيسة مع العمود المقام على السطح. وبالمثل، زاوية الانعكاس، θ_r، هي زاوية الشعاع الضوئي المنعكس مقيسة مع العمود المقام نفسه.

يتيح لنا قانون الانعكاس تحديد الاتجاه الذي سيتحرَّك الشعاع المنعكس نحوه. بعبارة أخرى، يخبرنا القانون بما ستساويه زاوية الانعكاس، θ_r، بمعلومية زاوية السقوط، θ_i. وهذا القانون مُعرَّف كالآتي.

تعريف: قانون الانعكاس

الزاوية التي يسقط بها الشعاع الضوئي على سطح تساوي الزاوية التي ينعكس بها، وتقع هذه الزاوية على الجانب المقابل من العمود المقام.

رياضيًا، إذا كانت زاوية السقوط θ_i، وزاوية الانعكاس θ_r، فإن:

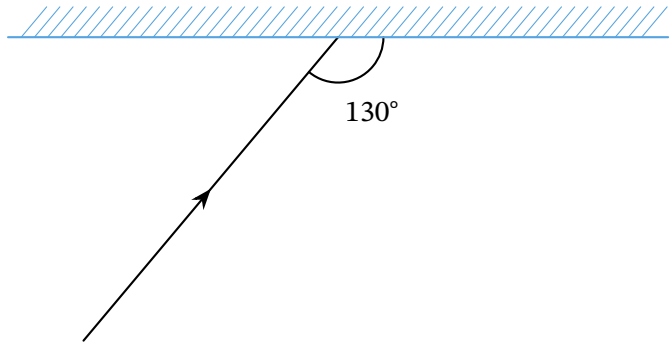
$$\theta_i = \theta_r.$$

تجدر الإشارة هنا إلى أننا رسمنا صورة ثنائية الأبعاد، في حين أن العالم الحقيقي ثلاثي الأبعاد. في الحقيقة، يمكننا دائمًا أن نتناول مقطعًا عرضيًّا ثنائي الأبعاد كالموجود في الشكل. والسبب في ذلك هو أن الشعاع المنعكس يقع دائمًا في المستوى المُعرَّف بالشعاع الساقط والعمود المقام على السطح.

نتناول الآن مثالًا لمسألة مطلوب منا فيها حساب زاوية انعكاس شعاع ضوئي.

مثال ١: حساب زاوية انعكاس شعاع ضوئي

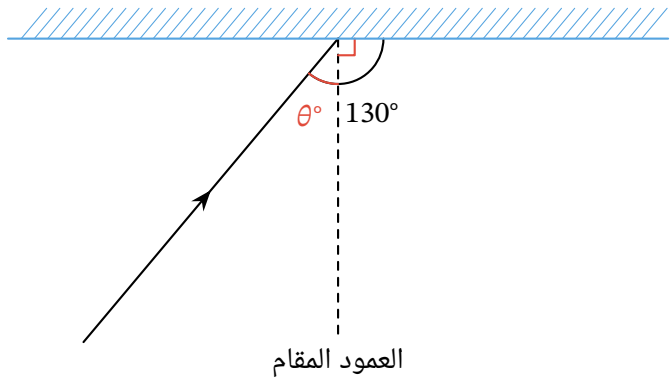
يسقط شعاع ضوئي على سطح عاكس، كما هو موضَّح في الشكل. ما قياس زاوية الانعكاس؟



الحل

يُعطينا هذا السؤال شكلًا يوضِّح شعاعًا ضوئيًّا ساقطًا على سطحٍ مستوٍ عاكس ويطلب منا حساب زاوية الانعكاس.

لدينا زاوية قياسها 130° على الشكل، ولكن علينا أن ننتبه إلى أنها ليست زاوية السقوط في الحقيقة. ولإيجاد زاوية السقوط، علينا رسم العمود المقام على السطح:



بعد ذلك، ستكون الزاوية التي أسميناها θ_i، وهي زاوية سقوط الشعاع مقيسة مع هذا العمود المقام، هي زاوية السقوط.

بما أننا نعلم أن العمود المقام على السطح، وفقًا للتعريف، عمودي على السطح، إذن تكون الزاوية المحصورة بين العمود المقام والسطح نفسه 90°.

يمكننا أن نلاحظ من الشكل أن الزاوية 130° تساوي 90°؛ أي الزاوية المحصورة بين السطح والعمود المقام، زائد الزاوية المسماة بـ θ_i.

وهذا يعني أن:

$$130^\circ = 90^\circ + \theta_i.$$

يمكننا إعادة ترتيب هذه المعادلة لجعل θ_i في طرف بمفرده من خلال طرح 90° من الطرفين:

$$\theta_i = 130^\circ - 90^\circ = 40^\circ.$$

وبهذا نكون قد عرفنا أن زاوية سقوط الشعاع الضوئي $\theta_i = 40^\circ$، ويمكننا استخدام قانون الانعكاس لإيجاد زاوية الانعكاس.

تذكَّر أن قانون الانعكاس ينص على أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

إذا أسمينا زاوية الانعكاس هذه θ_r، فإن قانون الانعكاس يخبرنا بأن:

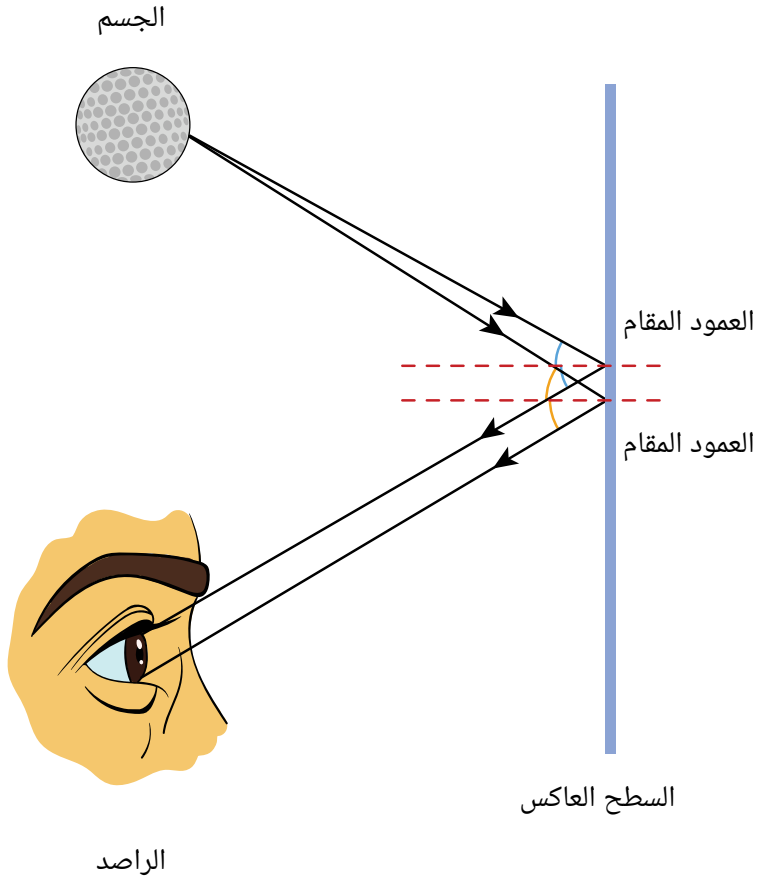
$$\theta_r = \theta_i = 40^\circ.$$

إذن إجابة هذا السؤال هي أن زاوية الانعكاس تساوي 40°. لقد بيَّنَّا أن هذا الشعاع المنعكس يقع في مستوى الشعاع الساقط نفسه، ولكن بزاوية قياسها 40° على الجانب المقابل من العمود المقام.

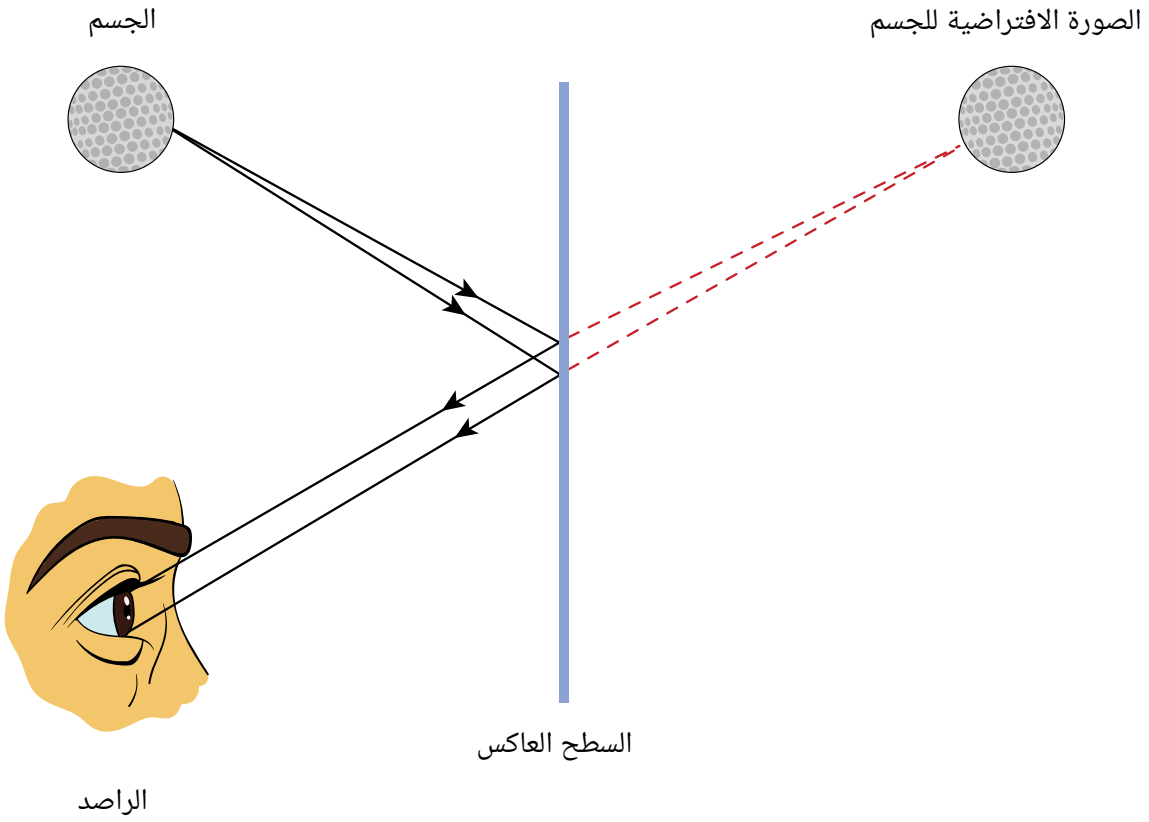
عندما ننظر إلى جسمٍ ما في مرآة، فإننا نعلم من واقع خبرتنا أننا لا نرى الجسم في موضعه الحقيقي. وبدلًا من ذلك، نرى صورة لهذا الجسم تبدو كأنها موضوعة خلف المرآة. تُعرَف هذه الصورة بالصورة الافتراضية؛ لأن الصورة ليست «حقيقية»، فهي تمثِّل ببساطة الموضع الذي تبدو الأشعة الضوئية قادمة منه إلينا.

نرى كيف يحدث ذلك بتناوُل أشعة ضوئية صادرة من جسمٍ ما عندما تنعكس تلك الأشعة عن مرآة.

نتناول شعاعين صادرين من الجسم بزاويتين مختلفتين. ومن قانون الانعكاس، نعلم أن الشعاع الساقط على المرآة ينعكس بزاوية تساوي زاوية السقوط. يوضِّح الشكل الآتي ذلك:



يرى الراصد الذي ينظر إلى المرآة الأشعة الضوئية المنعكسة عن المرآة. وبالنسبة إلى هذا الراصد، يبدو الشعاع الضوئي كأنه قادم عبْر المرآة. وإذا تتبَّعنا الأشعة المنعكسة عائدين بها إلى الجانب الآخر من المرآة، فسنجد أنها تلتقي عند نقطة خلف المرآة. وهذه النقطة هي الموضع الذي تتكوَّن فيه الصورة الافتراضية للجسم. ويوضِّح الشكل الآتي ذلك:

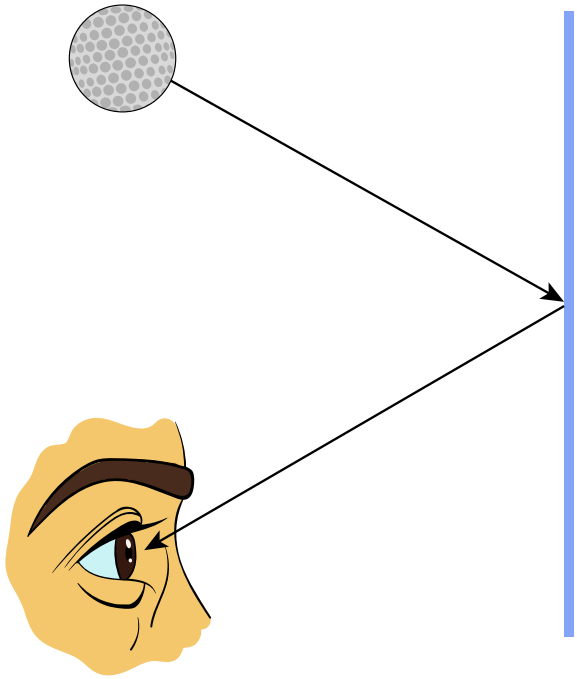


يمكننا أن نلاحظ من الشكل أن الصورة الافتراضية تبعُد عن المرآة المسافة نفسها التي يبعُدها الجسم عن المرآة. بعبارة أخرى، تكون هذه الصورة الافتراضية خلف المرآة على بُعد يساوي بُعد الجسم أمام المرآة.

نتناول مثالًا لمسألة عن تَكوُّن الصور الافتراضية.

مثال ٢: الانعكاس وتَكوُّن الصور

يوضِّح الشكل الآتي عين راصد يرى انعكاس جسم في مرآة. عند أيٍّ نقطة من النِّقاط A, B, C, D, E يُمكِن رؤية صورة الجسم؟



- A
- B
- D
- C
- E

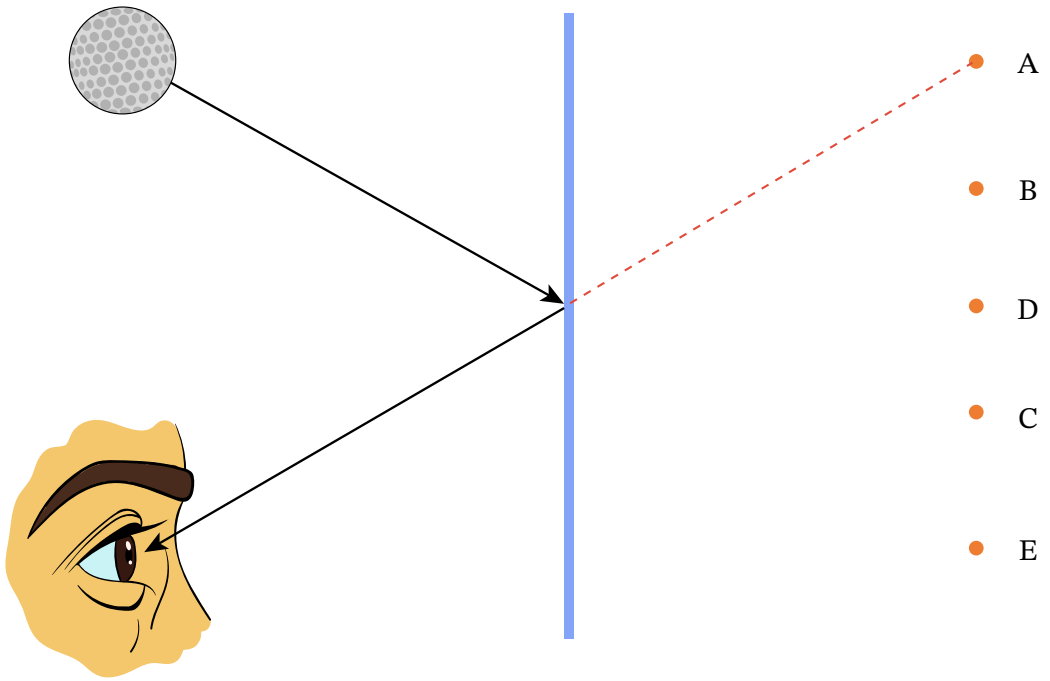
الحل

للإجابة عن هذا السؤال، علينا أن نتذكَّر أن الراصد ينظر إلى المرآة. وهذا يعني أنه يرى الشعاع الضوئي المنعكس فقط.

بالنسبة إلى الراصد، يبدو هذا الشعاع المنعكس كأنه قادم عبر سطح المرآة من خلف المرآة.

لتحديد موضع الصورة التي يراها الراصد، علينا مد هذا الشعاع المنعكس إلى خلف المرآة.

بفعل ذلك، نحصل على الآتي:



لقد مددنا الشعاع المنعكس باستخدام خط أحمر متقطِّع.

يمكننا ملاحظة أن هذا الامتداد للشعاع المنعكس يمر بالنقطة A. وبذلك نعرف أن الصورة التي يراها الراصد تتكوَّن عند النقطة A.

يمكن أيضًا استخدام قانون الانعكاس لتحديد المسار الذي سيسلكه الشعاع بعد انعكاسه عن السطح.

في حالة الأسطح المستوية تمامًا، تكون هذه العملية مباشرة. وقد رأينا بالفعل كيف نُوجِد زاوية انعكاس شعاع مثل هذا. نرسم الشعاع الساقط حتى النقطة التي يلتقي عندها مع السطح، ثم نرسم العمود المقام على السطح عند النقطة التي يسقط عندها الشعاع. وأخيرًا، يخبرنا قانون الانعكاس بأن الشعاع المنعكس يكون في الجانب المقابل للعمود المقام بالنسبة إلى الشعاع الساقط، وذلك بالزاوية المقيسة من العمود المقام نفسها. ويمكننا بعد ذلك مد هذا الشعاع المنعكس بالقدر الذي نريده، مع العلم أنه سينتقل في خط مستقيم.

إن أهم ما نود ذكره هو أن العمود المقام على السطح يُشير في الاتجاه نفسه إلى كل النقاط في حالة السطح المستوي. وهذا يعني أن جميع الأشعة الساقطة في اتجاه السطح بالزاوية نفسها تنعكس عن السطح وتغادره بالزاوية نفسها.

عندما يكون لدينا ضوء منعكس عن سطحٍ مستوٍ بهذه الطريقة، فإن هذا الانعكاس يُعرَف باسم الانعكاس المنتظم.

نتناول الآن مثالًا لمسألة تتضمَّن الانعكاس المنتظم.

مثال ٣: حساب مسار أشعة ضوئية تتعرَّض لانعكاس منتظم

الانعكاس المنتظم هو انعكاس أشعة الضوء عن سطح مصقول، كما هو موضَّح في الشكل. يوضِّح الشكل ثلاث نقاط D, E, F قد تمر بها أشعة الضوء الثلاثة A, B, C بعد انعكاسها.

١. أيُّ نقطة يمر بها الشعاع A؟

٢. أيُّ نقطة يمر بها الشعاع B؟

٣. أيُّ نقطة يمر بها الشعاع C؟

الحل

يطلب منا السؤال تحديد أي نقطة من النقاط الثلاث المحتملة D, E, F، يمر بها كل شعاع من أشعة الضوء الثلاثة بعد انعكاسها عن السطح المصقول الموضَّح في الشكل.

للإجابة عن هذا السؤال، علينا أولًا مد كلٍّ من هذه الأشعة الثلاثة حتى تلتقي بالسطح.

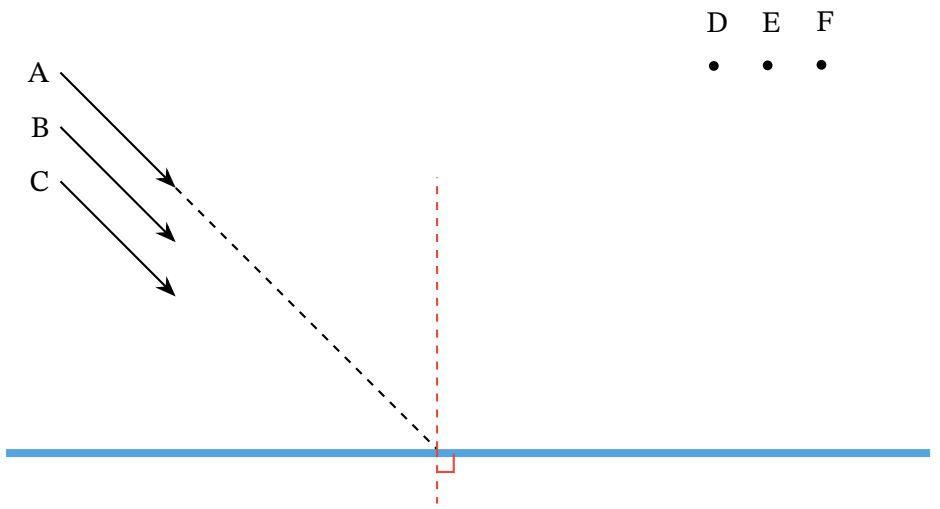
بعد ذلك، علينا رسم العمود المقام على السطح عند تلك النقطة وقياس الزاوية التي يصنعها هذا الشعاع الساقط مع العمود المقام، وتلك هي زاوية السقوط.

وأخيرًا، نستعين بقانون الانعكاس لرسم الشعاع المنعكس بزاوية تساوي زاوية السقوط مقيسة من العمود المقام (وهي زاوية الانعكاس).

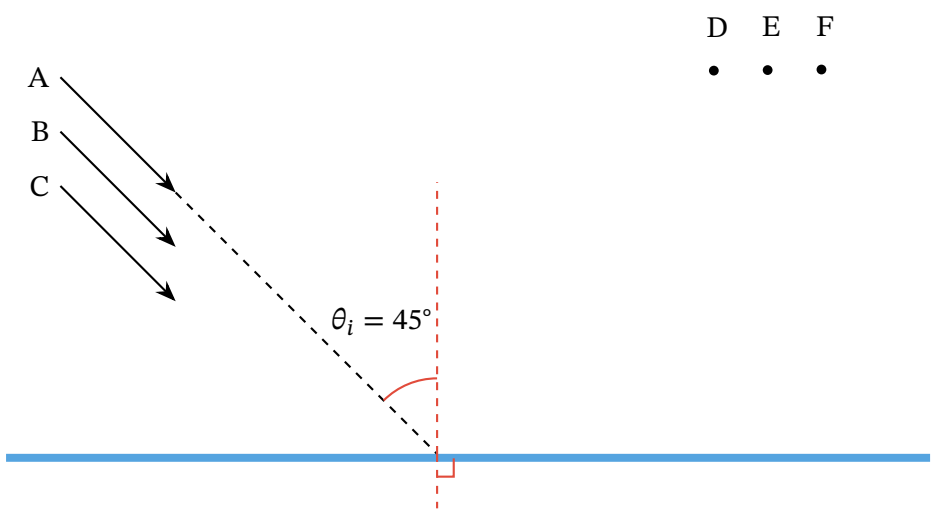
سنعمل على حل الجزء 1 خطوة بخطوة، ثم نكرِّر العملية نفسها للإجابة عن الجزأين التاليين بصورة أكثر إيجازًا.

الجزء 1

في هذا الجزء من السؤال، مطلوب منا تحديد النقطة التي يمر بها الشعاع A. لذا، نمد هذا الشعاع حتى يلتقي بالسطح ونرسم العمود المقام على السطح عند نقطة التقاء الشعاع بالسطح.



الخطوة التالية هي قياس زاوية السقوط.



كما هو موضَّح في الشكل، هذه الزاوية تساوي 45° تقريبًا.

بعد ذلك، يخبرنا قانون الانعكاس بأن زاوية الانعكاس تساوي زاوية السقوط، لكنها تقع في الجانب المقابل من العمود المقام.

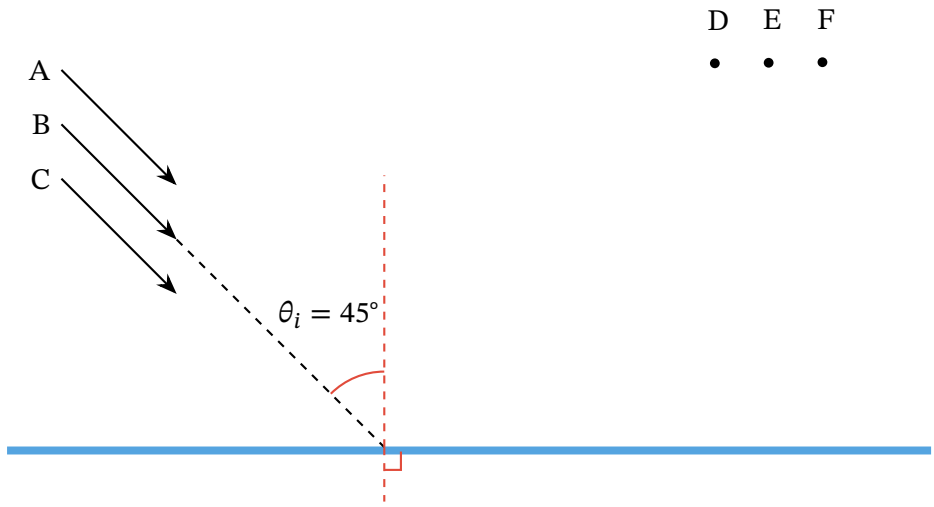
وهذا يعني أن علينا جعل قياس زاوية الانعكاس 45° في الجانب الأيمن من العمود المقام، ورسم المسار الذي سيسلكه الشعاع المنعكس وفقًا لهذه الزاوية.

يوضِّح مد هذا الشعاع أنه يمر بالنقطة F.

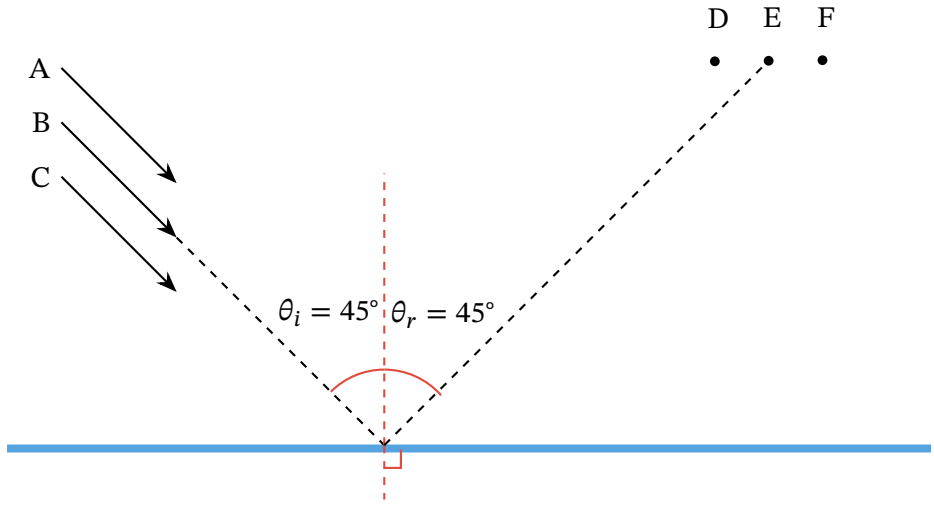
الجزء 2

يطلب منا هذا الجزء من السؤال تكرار الأمر نفسه مع الشعاع B.

وكما فعلنا في الجزء 1، نمد الشعاع إلى السطح ونرسم العمود المقام على السطح عند نقطة التقاء الشعاع به. نلاحظ أن الشعاع B يوازي الشعاع A؛ ومن ثَمَّ، ستكون زاوية السقوط هي 45° نفسها.



يخبرنا قانون الانعكاس بأن زاوية الانعكاس تساوي زاوية السقوط، لكنها تقع على الجانب المقابل من العمود المقام؛ ومن ثَمَّ، يمكننا رسم مسار الشعاع المنعكس.

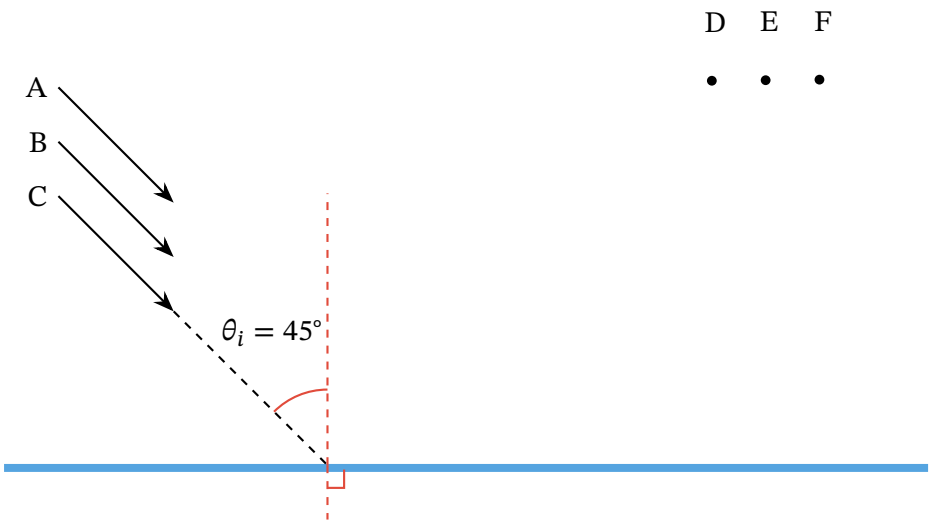


يوضِّح مد هذا الشعاع أنه يمر بالنقطة E.

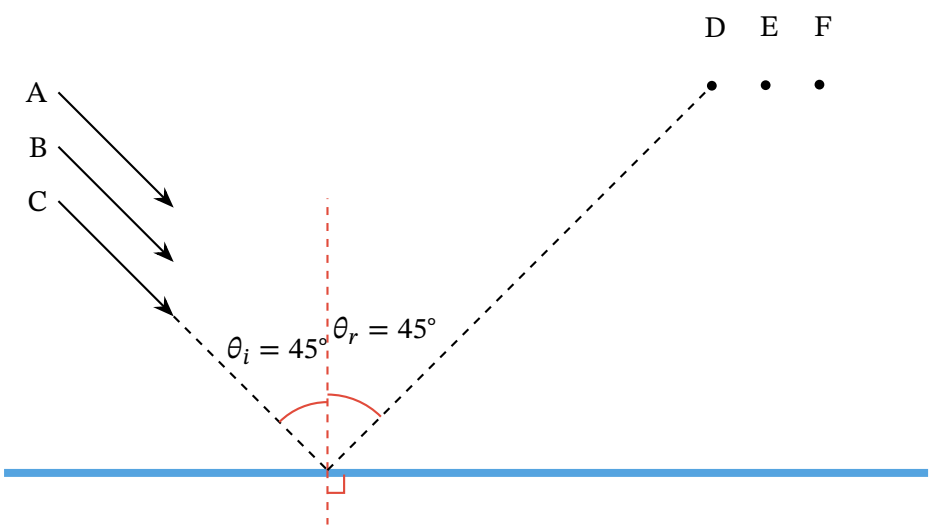
الجزء 3

يطلب منا الجزء الأخير من السؤال تكرار الأمر نفسه مرةً أخرى مع الشعاع C.

كما فعلنا في الجزأين 1 و2، نمد الشعاع إلى السطح ونرسم العمود المقام على السطح عند نقطة التقاء الشعاع به. الشعاع C يوازي الشعاعين A وB ؛ لذا، ستكون زاوية السقوط 45° مرةً أخرى.



يمكننا رسم مسار الشعاع المنعكس بالاستعانة بقانون الانعكاس مجددًا.

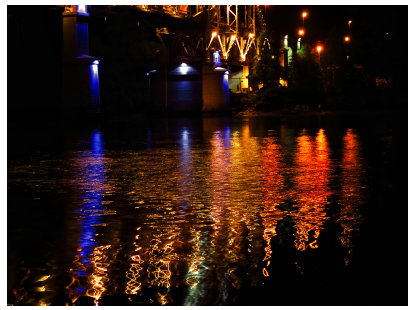


يوضِّح مد هذا الشعاع أنه يمر بالنقطة D.

عرفنا أنه عندما يكون السطح مستويًا، نحصل على انعكاس منتظم. وفي هذه الحالة، جميع الأشعة الضوئية القادمة بزاوية معيَّنة تغادر بالزاوية نفسها. ومن المهم ملاحظة أن هذا يعني أن كلًّا منها يغادر بالزاوية نفسها.

النتيجة في هذه الحالة هي أن الصورة المنعكسة تشبه الجسم بدرجة كبيرة. ومثال ذلك هو النظر إلى انعكاس الأجسام على سطح الماء. في صورة كالصورة الآتية، نرى بحيرة صافية بها صورة تبدو مثالية تمامًا للجسر خلفها.

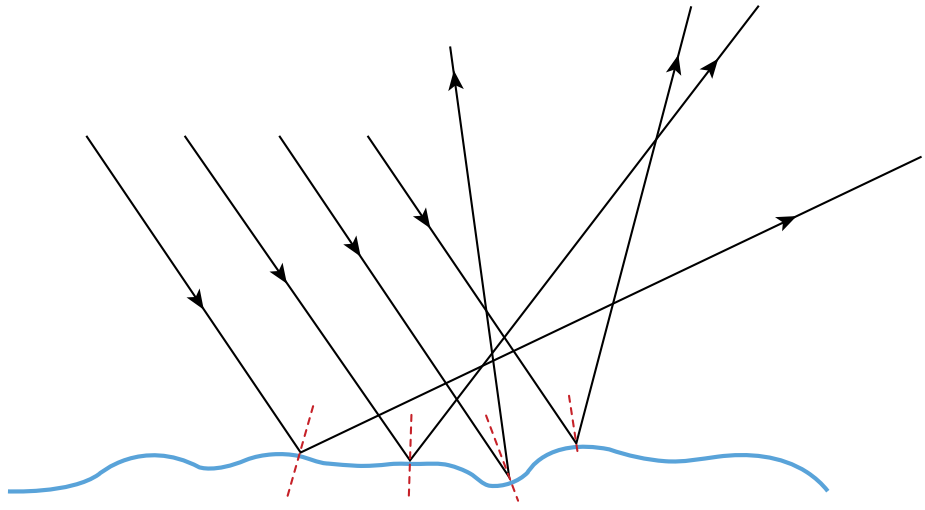
لكن إذا كان سطح الماء مضطربًا وغير مستوٍ، فلن نرى هذا الانعكاس الرائع، وبدلًا من ذلك، نرى صورة مشوشة وغير واضحة نوعًا ما، كما في الصورة الآتية:



تُعرَف هذه الحالة الثانية؛ عندما يكون السطح غير مستوٍ، بالانعكاس المنتشر.

من المهم أن ندرك أن قانون الانعكاس لا يزال مُنطبقًا. ولكن، لأن السطح مُضطرب وغير مستوٍ، فإن العمود المقام على السطح يُشير في اتجاهات مختلفة عند النقاط المختلفة على السطح.

افترض أن لدينا أشعة ضوئية ساقطة على سطح غير مستوٍ، وافترض أيضًا أن هذه الأشعة جميعها تسقط بالزاوية نفسها، لكنها تلتقي بالسطح عند مواضع مختلفة. يوضِّح الشكل الآتي الأشعة الساقطة والمنعكسة في هذه الحالة:



إذا نظرنا إلى كل شعاع ساقط على حدة، فسنجد أنه ينعكس عن النقطة التي يسقط عليها وفقًا لقانون الانعكاس. وهذا يعني أنه يمكننا رسم العمود المقام على السطح عند كل نقطة وقياس زاوية سقوط الشعاع مع هذا العمود المقام. وبعد ذلك، يمكننا الحصول على زاوية الانعكاس المقيسة مع العمود المقام بمعرفتنا أنها تساوي زاوية السقوط هذه.

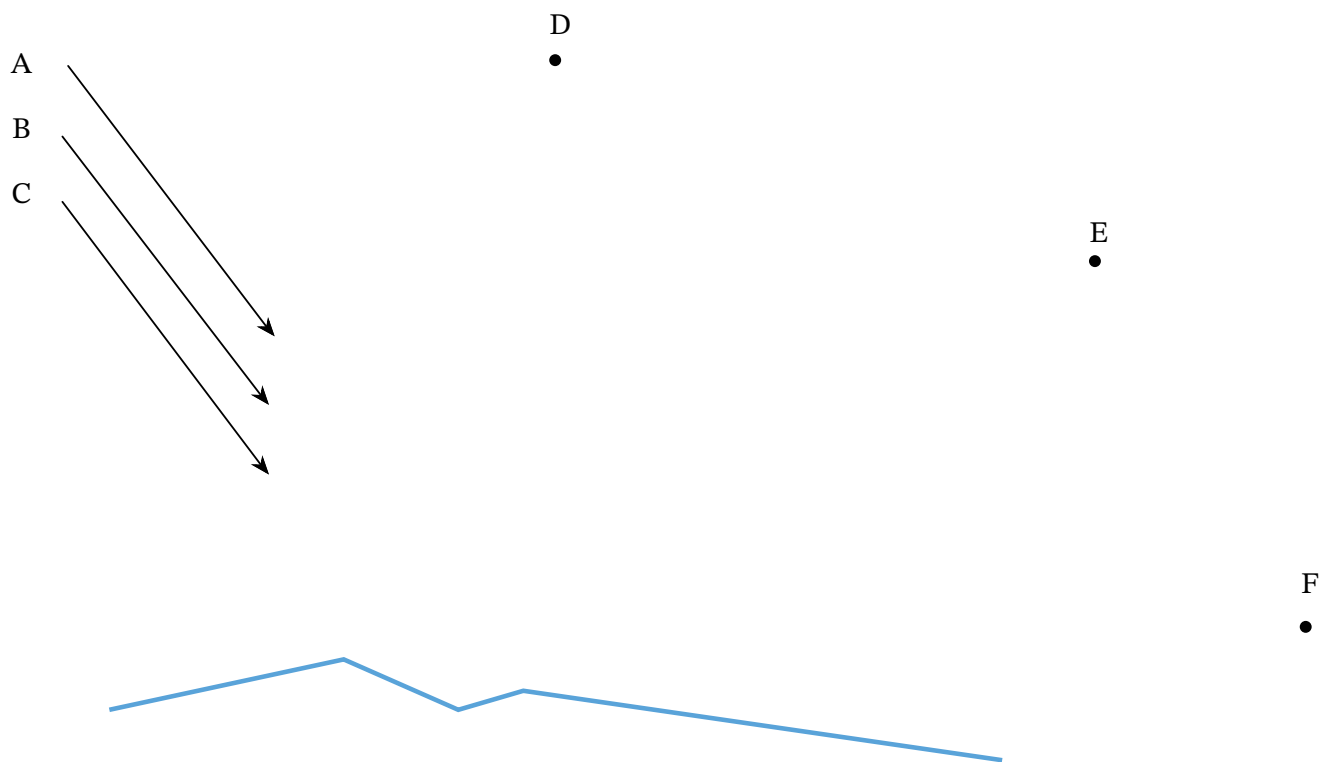
بالنظر إلى الأشعة المنعكسة، نلاحظ أن كلًّا منها يُشير في اتجاه مختلف عن الآخر. لقد سقطت جميع الأشعة بالزاوية نفسها. وقانون الانعكاس لا يزال ينطبق على كل شعاع ساقط. لكن على الرغم من هذه الحقائق، فإن ما يحدث في حالة الانعكاس المنتشر هو أن جميع الأشعة المنعكسة تُشير في اتجاهات مختلفة. والسبب في ذلك هو أن كل شعاع ساقط يلتقي بالسطح بشكل مختلف؛ ومن ثَمَّ، يكون له عمود مقام مختلف.

إن حقيقة أن الأشعة المنعكسة تُشير في اتجاهات مختلفة هي التي تجعل الصورة المنعكسة تبدو غير واضحة في حالة الانعكاس المنتشر.

نختم هذا الشارح بتناول مثال لمسألة تتضمَّن الانعكاس المنتشر.

مثال ٤: حساب مسار أشعة ضوئية تتعرَّض لانعكاس منتشر

الانعكاس المنتشر هو انعكاس أشعة الضوء عن سطح غير مستوٍ، كالموضَّح في الشكل. يوضِّح الشكل ثلاث نقاط D, E, F قد تمر بها أشعة الضوء الثلاثة A, B, C بعد انعكاسها.



١. أيُّ نقطة من النقاط سيمر بها شعاع الضوء A؟

٢. أيُّ نقطة من النقاط سيمر بها شعاع الضوء B؟

٣. أيُّ نقطة من النقاط سيمر بها شعاع الضوء C؟

الحل

يطلب منا السؤال تحديد أي نقطة من النقاط الثلاث المحتملة D, E, F سيمر بها أيٌّ من أشعة الضوء الثلاثة A, B, C بعد انعكاسها عن السطح غير المستوي الموضَّح في الشكل.

للإجابة عن هذا السؤال، علينا أولًا مد كل شعاع من هذه الأشعة الثلاثة حتى يلتقي بالسطح.

بعد ذلك، علينا رسم العمود المقام على السطح عند النقطة؛ حيث يلتقي الشعاع الساقط بالسطح، وقياس الزاوية التي يصنعها هذا الشعاع مع العمود المقام، وتكون هذه هي زاوية السقوط.

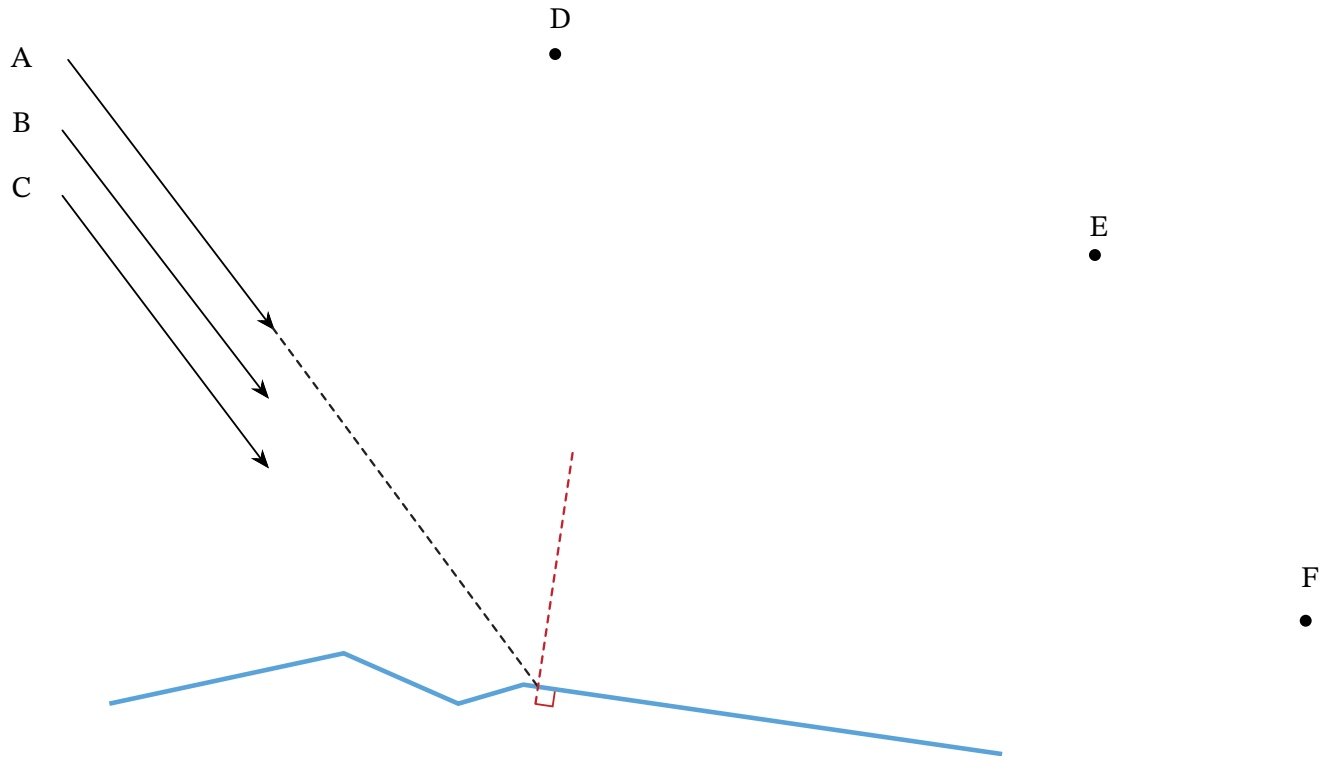
وأخيرًا، نستعين بقانون الانعكاس لرسم شعاع خارج بزاوية تساوي زاوية السقوط (زاوية الانعكاس)؛ حيث تكون الزاويتان مقيستين مع العمود المقام.

اللافت للنظر هنا، مقارنةً بحالة الانعكاس المنتظم عن سطح مصقول، هو أن العمود المقام على السطح سيُشير في اتجاهات مختلفة عند النقاط المختلفة على السطح.

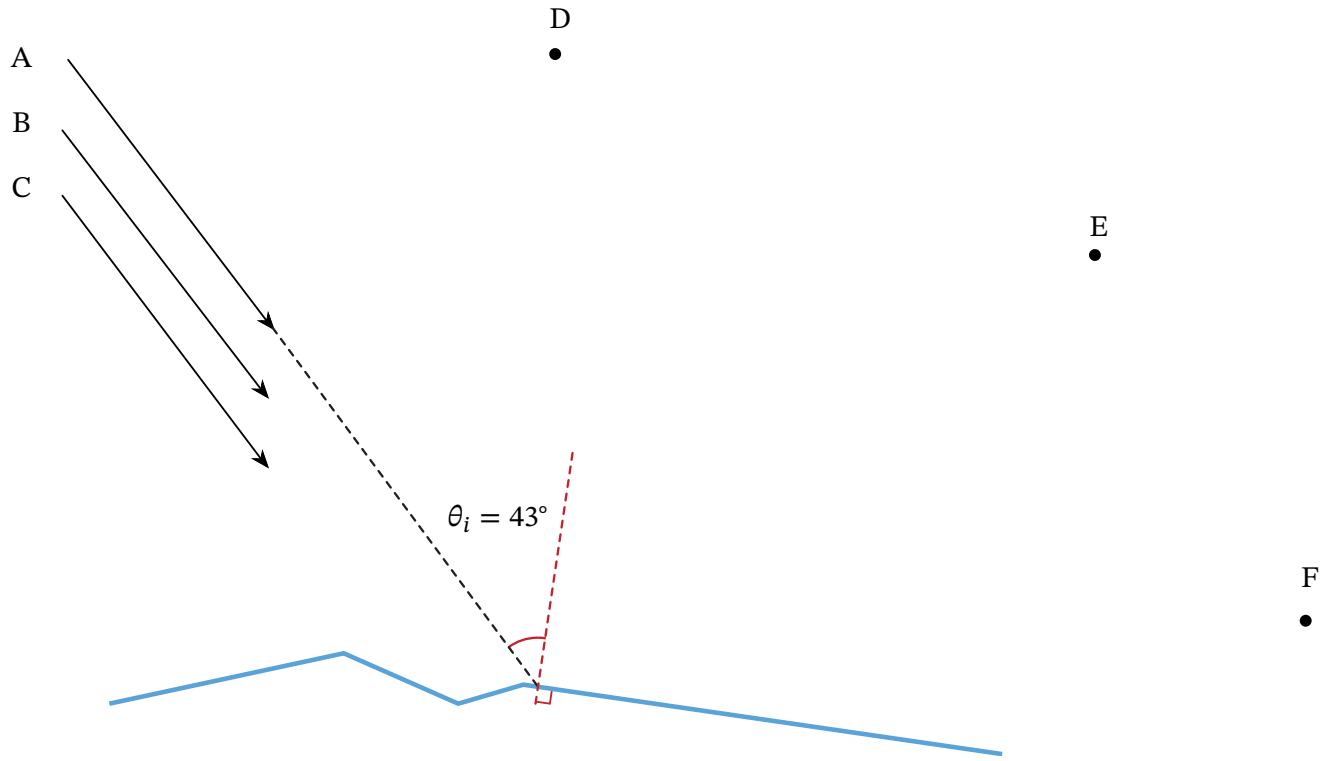
سنعمل على حل الجزء 1 خطوة بخطوة، ثم نكرِّر العملية نفسها للإجابة عن الجزأين التاليين بصورة أكثر إيجازًا.

الجزء 1

في هذا الجزء الأول من السؤال، مطلوب منا تحديد النقطة التي يمر بها الشعاع A. إذن نمد هذا الشعاع حتى يلتقي بالسطح، ونرسم العمود المقام على السطح عند نقطة التقاء الشعاع بالسطح.



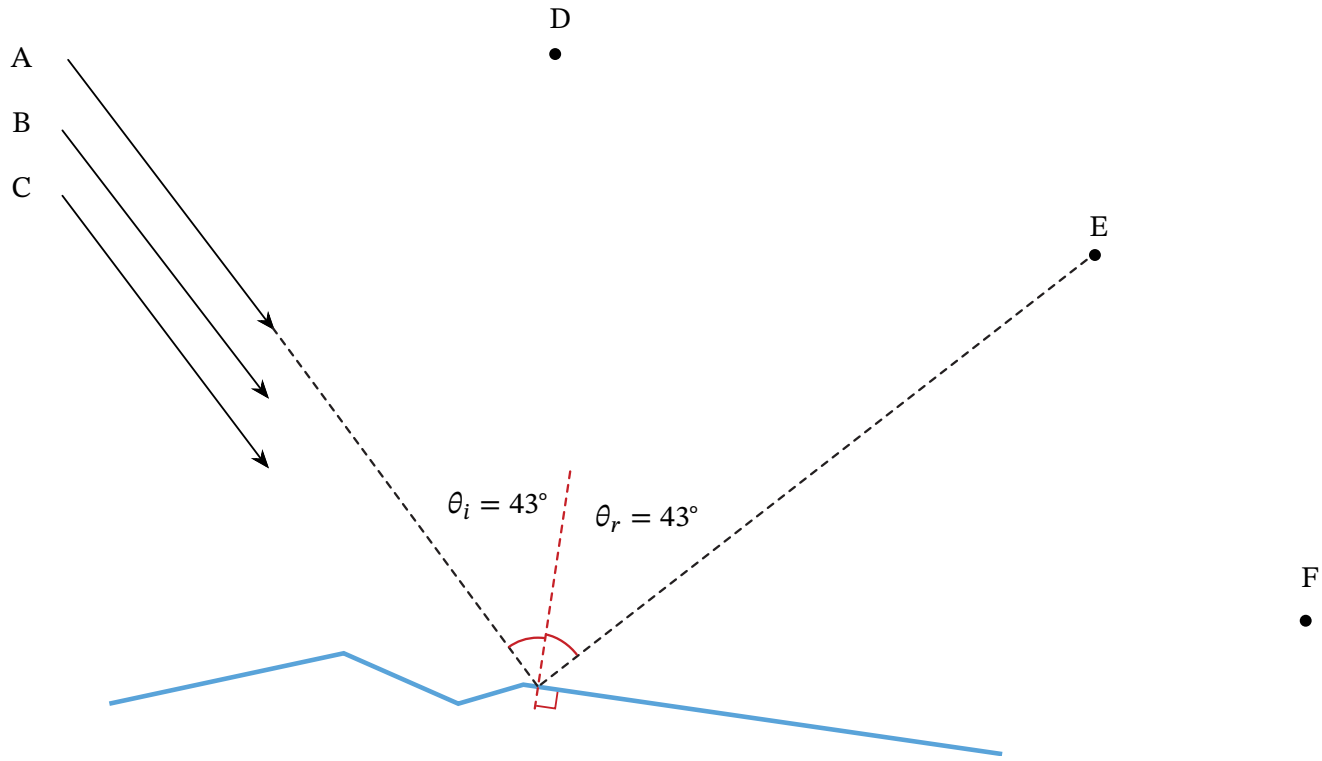
الخطوة التالية هي قياس زاوية السقوط، وهي الزاوية بين الشعاع الساقط A والعمود المقام.



كما هو موضَّح في الشكل، هذه الزاوية تساوي 43° تقريبًا.

بعد ذلك، يخبرنا قانون الانعكاس بأن زاوية الانعكاس تساوي زاوية السقوط، لكنها تقع في الجانب المقابل من العمود المقام.

ومن ثَمَّ، نجعل زاوية الانعكاس تساوي 43° في الجانب الأيمن من العمود المقام، ونرسم المسار الذي يسلكه الشعاع المنعكس بهذه الزاوية.

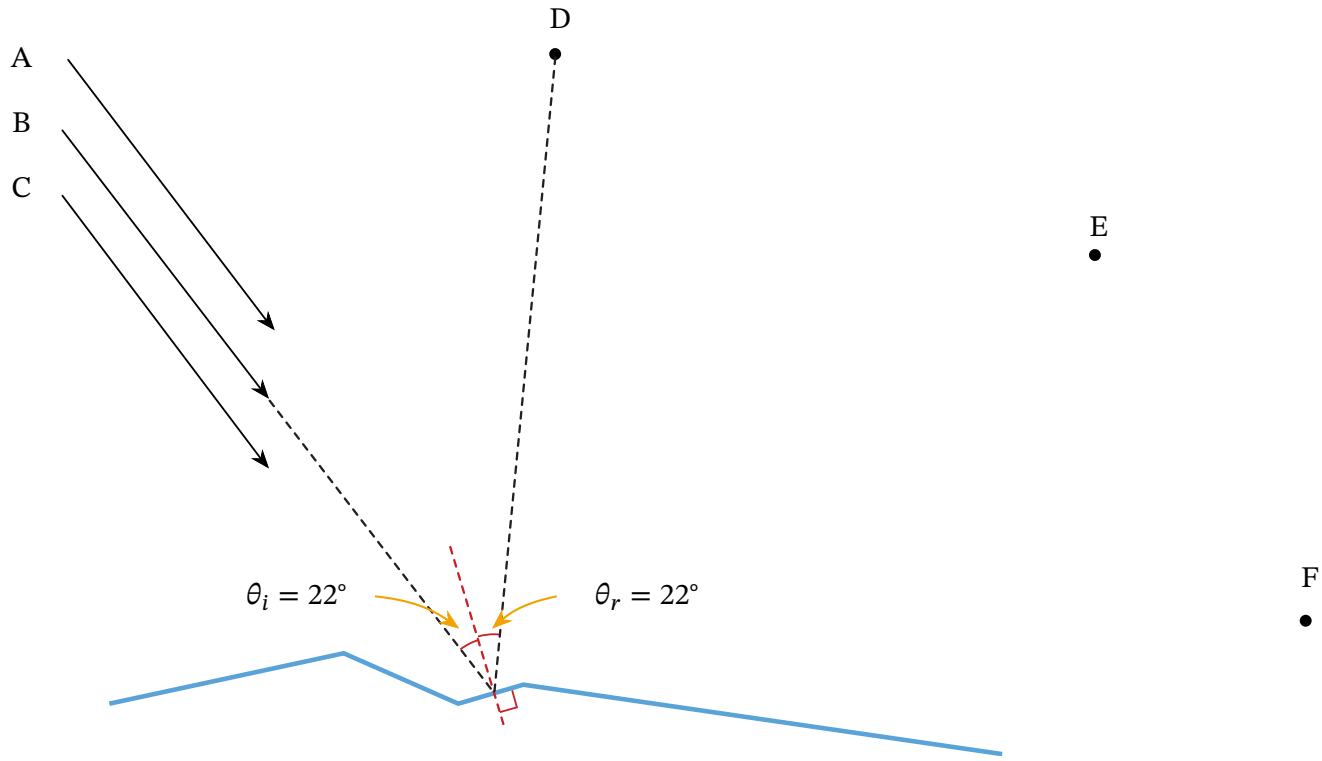


يوضِّح مد هذا الشعاع أنه يمر بالنقطة E.

الجزء 2

يطلب منا هذا الجزء الثاني من السؤال تكرار الأمر نفسه مع الشعاع B.

وكما فعلنا مع الشعاع A، نمد الشعاع حتى يلتقي بالسطح، ونرسم العمود المقام عند هذه النقطة. لاحظ أنه نظرًا لكون السطح غير مصقول، فإن العمود المقام في حالة التقاء الشعاع B بالسطح يُشير في اتجاه مختلف عن الاتجاه الذي يُشير إليه في حالة التقاء الشعاع A بالسطح. وبقياس زاوية سقوط الشعاع B، نجد أنها 22°.

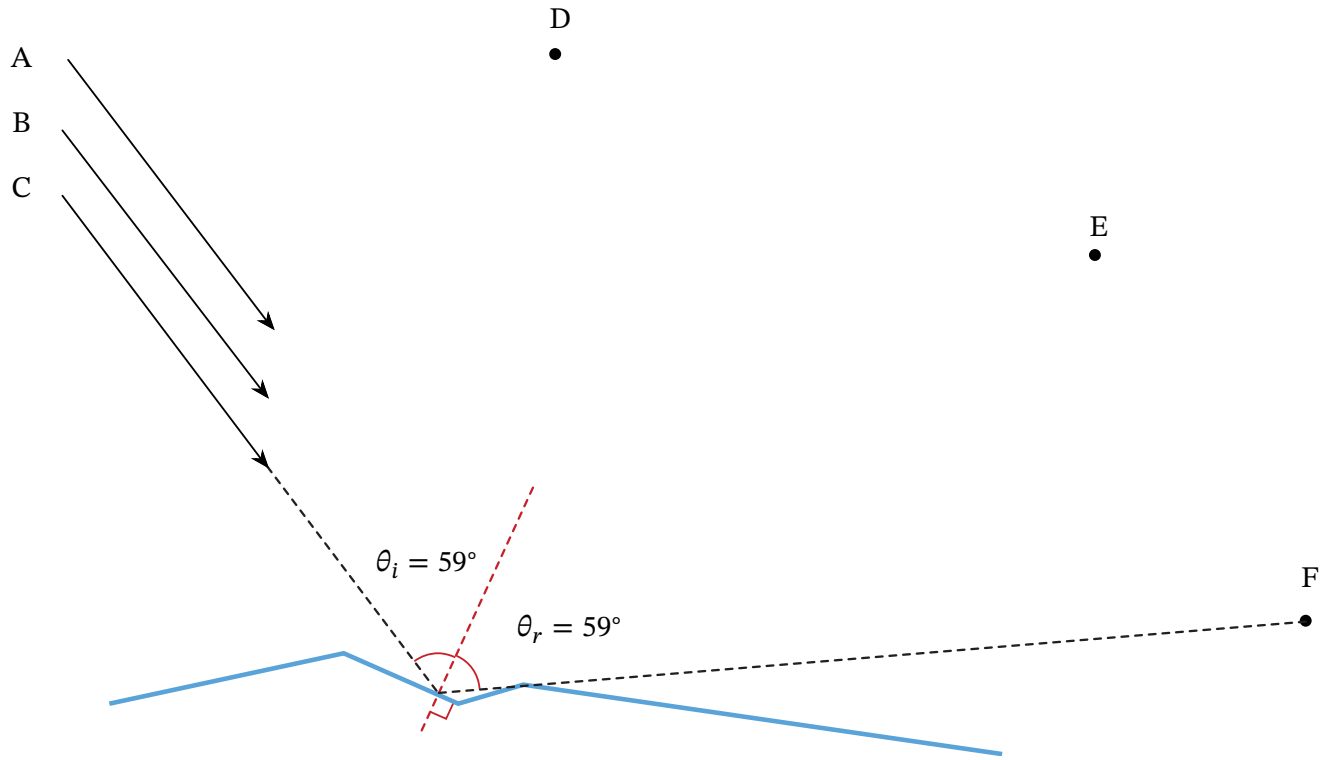


يخبرنا قانون الانعكاس بأن الشعاع المنعكس يصنع الزاوية نفسها التي قياسها 22° في الجانب المقابل من العمود المقام. ويوضِّح مد هذا الشعاع المنعكس أنه يمر بالنقطة D.

الجزء 3

يطلب منا هذا الجزء الأخير من السؤال تكرار الأمر نفسه مرة أخرى، لكن هذه المرة مع الشعاع C.

كما فعلنا مع الشعاعين A وB، نمد الشعاع حتى يلتقي بالسطح، ونرسم العمود المقام عند هذه النقطة. ومرة أخرى، يُشير العمود المقام في اتجاه مختلف هنا لكون السطح غير مصقول. وبقياس زاوية سقوط الشعاع C، نجد أنها 59°.



يخبرنا قانون الانعكاس أن الشعاع المنعكس يصنع الزاوية نفسها التي قياسها 59° في الجانب المقابل من العمود المقام. ويوضِّح مد هذا الشعاع المنعكس أنه يمر بالنقطة F.

النقاط الرئيسية

- عندما يواجه شعاع ضوئي سطحًا فاصلًا بين وسطين، فقد ينعكس بعض الضوء أو ينعكس بالكامل.
- عندما ينعكس الضوء، فإنه يخضع لقانون الانعكاس. وينص هذا القانون على أن زاوية السقوط، θ_i، تساوي زاوية الانعكاس، θ_r.ويمكن كتابة ذلك رياضيًّا على الصورة $\theta_i = \theta_r$.وتُقاس الزاويتان θ_i وθ_r من العمود المقام، وهو الخط الذي يصنع زاوية قائمة مع السطح.
- عندما يرى الراصد انعكاس جسم ما في مرآة، فإن الجسم يبدو للراصد كأنه موضوع خلف المرآة. ويرجع ذلك إلى أن الراصد يرى صورة افتراضية للجسم. وتقع هذه الصورة الافتراضية خلف المرآة على بُعد يساوي بُعد الجسم أمام المرآة.
- عندما ينعكس الضوء عن سطح مستوٍ، نحصل على انعكاس منتظم. وفي هذه الحالة، يظل العمود المقام على السطح هو نفس العمود عند جميع النقاط على السطح. وتشبه الصورة المنعكسة الجسم بدرجة كبيرة.
- عندما ينعكس الضوء عن سطح غير مستوٍ، نحصل على انعكاس منتشر. ويختلف العمود المقام على السطح عند النقاط المختلفة على السطح؛ ولذلك تتشتت الأشعة المنعكسة في اتجاهات مختلفة، وتكون الصورة المنعكسة غير واضحة.