شارح: حساب الحركة الموجية

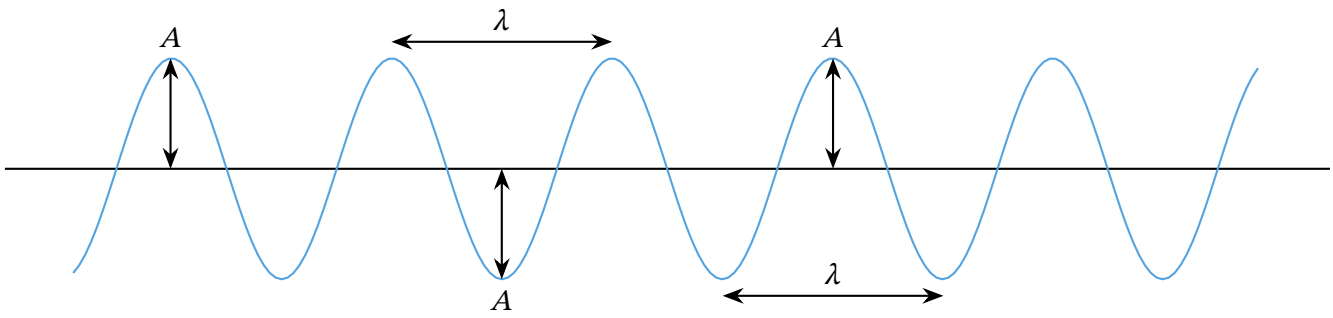
في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نستخدم معادلة سرعة الموجة، $s = f\lambda$، لحساب حركة الموجات ذات التردُّدات والأطوال الموجية المختلفة.

الموجة هي نوع من الاضطراب ينقُل الطاقة من نقطة إلى أخرى. تحتاج بعض الموجات إلى وسط تتحرك خلاله، مثل موجات الماء أو موجات الصوت، التي تُعد اهتزازات لجسيمات الهواء. هناك أنواع من الموجات الأخرى، مثل الضوء، التي يمكنها الانتقال في الفراغ.

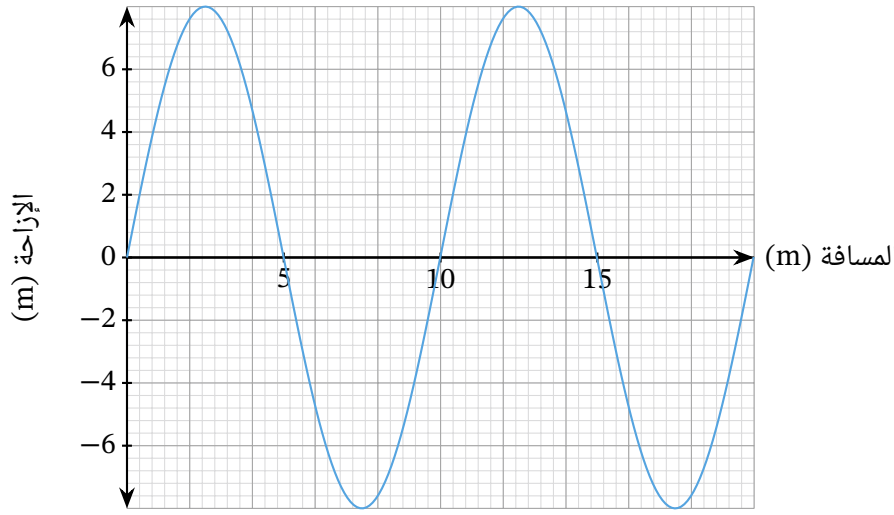
من بين الأمور التي يجب علينا تذكُّرها عندما نتحدث عن الحركة الموجية هي أن الحركة الموجية تشير إلى أن الطاقة تنتقل لمسافة ما. وحتى عندما تعبر الموجة عبر وسط ما، فإن الوسط نفسه لا يتحرك بالضرورة كثيرًا. على سبيل المثال، تتحرك جزيئات الماء المنفردة حركة طفيفة عندما تعبر موجة ما من خلالها؛ فهي تصطدم بجزيئات الماء الأخرى وتنقل الطاقة لكنها لا تتحرك مع الموجة.

هناك كميتان نستخدمهما عند التحدث عن الحركة الموجية، وهما **الطول الموجي والسعة.** الطول الموجي للموجة هو المسافة التي تحتاجها الموجة لتكمل دورة واحدة كاملة. السعة هي المسافة من مركز الموجة أو نقطة اتزانها إلى أعلى قمة أو أقل قاع أو مقدار أقصى إزاحة لها.

بالنسبة إلى الموجة التي لا تتغير، يمكننا قياس السعة من أي قمة أو قاع وقياس الطول الموجي بين أي نقطتين متتاليتين عندما تكون الموجة في الطور نفسه، كما في الشكل الآتي:

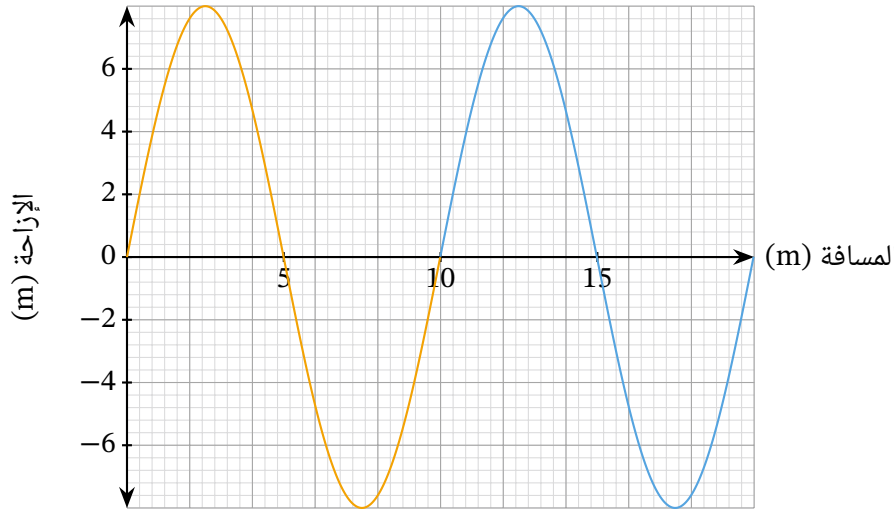


يمكننا قراءة الطول الموجي وسعة الموجة من التمثيل البياني للإزاحة مقابل المسافة.



السعة، التي هي مقدار أقصى إزاحة، تساوي: 8 m.

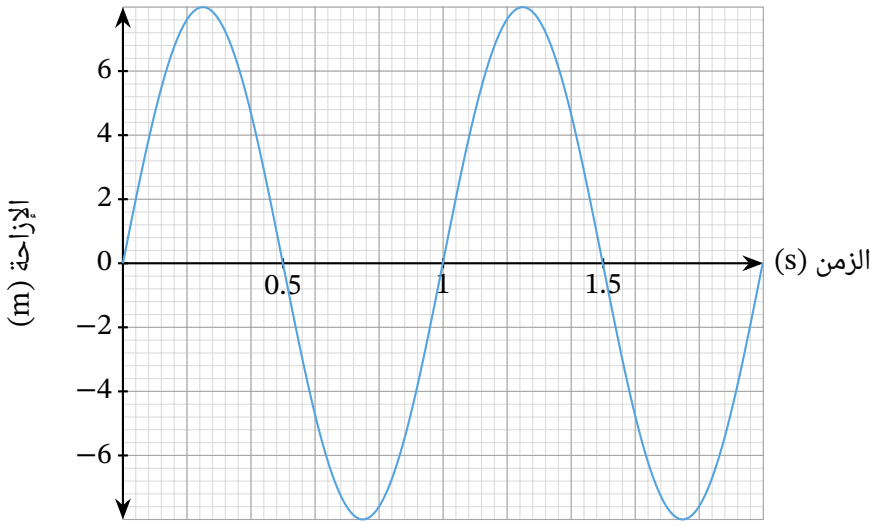
بالنسبة لهذه الموجة، تكتمل الدورة الواحدة التي تبدأ من مسافة 0 m بالارتفاع إلى أقصى إزاحة لها ثم الهبوط مرورًا بالصفر إلى أدنى قيمة، ثم الارتفاع مرة أخرى إلى الصفر. في الشكل الآتي، تمثل المنطقة المرسومة باللون البرتقالي دورة واحدة:



لاحظ أنه لا يكفي أن تعود الموجة إلى الإزاحة الأصلية التي تساوي: 0 m فقط. فلا بُد أيضًا أن تكون الموجة في الطور نفسه الذي كانت عليه في بداية الدورة؛ أي تزيد من إزاحتها.

تقطع الموجة في الشكل أعلاه مسافة 10 m لإكمال دورة واحدة، وهذا يعني أن لها طول موجي يساوي: 10 m. لاحظ أن هذه القيمة تظل هي نفسها بغض النظر عن الموضع الذي نبدأ منه في دورة الموجة، بشرط أن نقيس المسافة المقطوعة للعودة إلى الطور نفسه في الدورة التالية. كان بإمكاننا أن نقيس من قمة الموجة إلى القمة التالية، على سبيل المثال. لكن، عند قراءة القيم من تمثيل بياني، يكون من الأسهل عادة اختيار نقطة تقطع عندها الموجة خطوط الشبكة باعتبارها نقطة بداية.

لقد تناولنا حتى الآن الموجات على التمثيلات البيانية للإزاحة مقابل المسافة. يمكننا التعامل مع هذه التمثيلات باعتبارها تمثيلات لحالة زمنية منفردة، حيث نرى تغير طور الموجة بتغير المسافة. هناك طريقة أخرى لتمثيل الموجات، وهي النظر إلى الموجة عند نقطة ثابتة في الفراغ، وقياس التغير في إزاحتها بمرور الزمن. يمكننا فعل ذلك على تمثيل بياني للإزاحة مقابل الزمن.



في هذا التمثيل البياني، نلاحظ أن الموجة تستغرق زمنًا مقداره 1 s لإكمال دورة واحدة. نقول إن هذه الموجة لها **زمن دوري** مقداره 1 s؛ حيث يُعرَّف الزمن الدوري بأنه الزمن الذي تستغرقه الموجة لتكمل دورة واحدة.

إلى جانب ذلك، ثمة قيمة أكثر شيوعًا في الاستخدام وهي **التردد**، والذي يُعرّف بأنه عدد الدورات التي تكملها الموجة في ثانية واحدة. إذا كان للموجة زمن دوري مقداره p، فسيكون التردد $f = \frac{1}{p}$. وحدة قياس التردد هي الهرتز، ويُرمز لها اختصارًا بـ Hz حيث 1 Hz = 1 دورة لكل ثانية. في المثال أعلاه، $p = 1$ s، ومن ثَمَّ، يمكننا إيجاد التردد من خلال المعادلة:

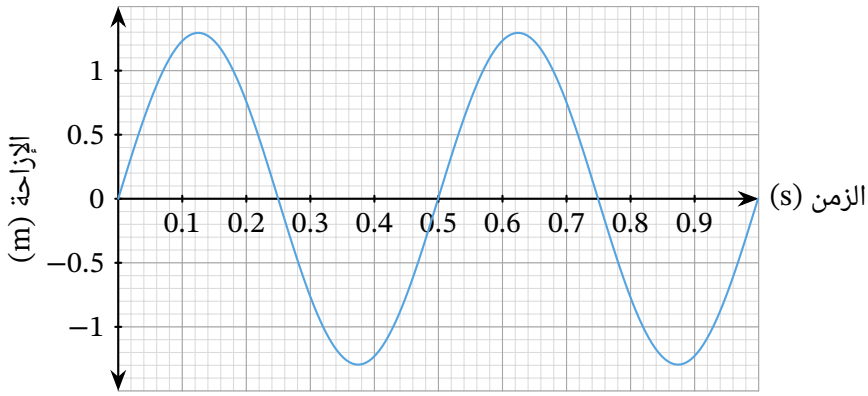
$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{p} \\ &= \frac{1}{1\text{ s}} \\ &= 1\text{ Hz}. \end{aligned}$$

كما يمكننا قراءة ذلك مباشرة من التمثيل البياني من خلال ملاحظة أن عدد الدورات الكاملة خلال 1 s يساوي واحدًا؛ وبذلك، يكون للموجة ترددًا يساوي: 1 Hz.

تساعدنا الأمثلة الآتية في التدرب على حساب تردد الموجة.

مثال ١: فهم تردُّد الموجة

ما تردد الموجة الموضحة في التمثيل البياني؟



الحل

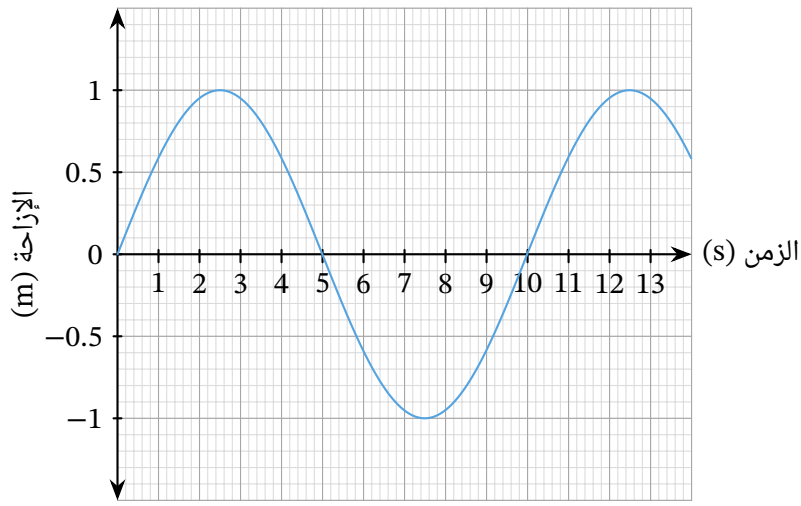
يمثل التمثيل البياني الإزاحة مقابل الزمن لموجة تبدأ بإزاحة تساوي: 0 m عند زمن مقداره: 0 s وتهتز بين ±1.3 m. باستخدام التمثيل البياني، علينا إيجاد تردد الموجة.

تذكر أن تردد الموجة هو عدد الدورات الكاملة خلال 1 s. يوضح التمثيل البياني فترة زمنية تساوي 1 s؛ لذا علينا إيجاد عدد الدورات الكاملة الموضحة عليه.

تعني الدورة الواحدة الكاملة أنه لابد أن تعود الموجة إلى الإزاحة نفسها وأن تكون في الطور نفسه. وعلى الرغم من أنها تعود إلى إزاحة تساوي 0 m خلال حوالي 0.25 s، فإن هذا لا يمثل دورة كاملة؛ لأن الإزاحة تتناقص في هذه الحالة، بينما كانت تتزايد في البداية. تكتمل الدورة الموجية الأولى عند زمن مقداره 0.5 s. بعد الزمن الذي مقداره 1 s تكون الموجة قد أكملت دورتين كاملتين. ومن ثَمَّ، نستنتج أن تردد الموجة يساوي 2 Hz.

مثال ٢: فهم تردد الموجة

ما تردد الموجة الموضحة في التمثيل البياني؟



الحل

في هذا المثال، لدينا تمثيل بياني للإزاحة مقابل الزمن لموجة تستغرق 10 s لتكمل دورة واحدة كاملة، وعلينا إيجاد التردد. الزمن الدوري، p، لهذه الموجة يساوي 10 s؛ إذن، يمكننا إيجاد التردد، f، من خلال المعادلة:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{p} \\ &= \frac{1}{10\ \text{s}} \\ &= 0.1\ \text{Hz}. \end{aligned}$$

إذن، تردد الموجة يساوي 0.1 Hz.

لقد تناولنا اثنتين من خواص الموجات: الطول الموجي والتردد. ثمة كمية أخرى يمكننا الاستفادة منها، وهي سرعة الموجة.

عندما نتحدث عن سرعة الموجة، فإننا نعني السرعة التي ينتقل أو ينتشر بها جزء معين من الموجة. لاحظ هنا أن الطاقة، أو الاضطراب الناتج عن الموجة، هو الذي يتحرك، وليس المادة نفسها.

يمكننا حساب السرعة، s، للموجة بمعلومية التردد، f، والطول الموجي، λ، من خلال المعادلة:

$$s = f\lambda.$$

إذا نظرنا إلى وحدة قياس كل من f، λ من تعريفي التردد والطول الموجي، نجد أن:

$$[s] = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن}} \times \frac{\text{المسافة}}{\text{عدد الدورات}}.$$

عدد الدورات موجود لدينا في البسط والمقام؛ ومن ثَمَّ يمكننا حذفهما معًا، فنحصل على:

$$[s] = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}},$$

وهو ما يعطينا وحدة القياس المعتادة للسرعة. إذا كان لدينا طول موجي مقيس بوحدة المتر وتردد مقيس بوحدة الHz (والتي تكافئ $\frac{1}{\text{s}}$)، فستكون وحدة قياس السرعة: متر لكل ثانية (m/s).

ولكي نرى ذلك عمليًّا، سنختتم الشارح ببعض الأمثلة على استخدام هذه المعادلة.

مثال ٣: حساب سرعة الموجة

موجة صوتية في جسمٍ مُعيَّن تردُّدها: 260 Hz، وطولها الموجي: 2.5 m. بأيِّ سرعة تنتشر هذه الموجة الصوتية في ذلك الجسم، لأقرب متر لكل ثانية؟

الحل

في هذا المثال، سنتناول موجة صوتية. نعلم من معطيات السؤال كل من التردد $f = 260\ \text{Hz}$، والطول الموجي $2.5\ \text{m}$، وعلينا أن نحسب سرعة الموجة.

تذكر أن سرعة الموجة، s، ترتبط بالتردد والطول الموجي من خلال المعادلة: $s = f\lambda$. بالتعويض بالأعداد لدينا، نحصل على:

$$\begin{aligned} s &= f\lambda \\ &= 260\ \text{Hz} \times 2.5\ \text{m} \\ &= 650\ \text{m/s}. \end{aligned}$$

ومن ثَمَّ، نستنتج أن الموجة الصوتية تنتشر بسرعة: $650\ \text{m/s}$.

مثال ٤: حساب تردد الموجة

يمتد رصيف بحري من الشريط الساحلي إلى البحر مسافة: $180\ \text{m}$. تتحرك الأمواج مرورًا بالرصيف البحري عندما تتجه من البحر إلى الشاطئ. تبلغ المسافة بين قمم الأمواج $15\ \text{m}$، وتنتقل قمم الأمواج من نهاية الرصيف البحري إلى الشاطئ في غضون 24 ثانية. ما تردد الأمواج؟

الحل

يتناول هذا المثال موجات الماء. علمنا من المعطيات أن المسافة بين قمم الأمواج $15\ \text{m}$. هذه هي المسافة بين النقاط المتتالية التي تكون فيها الموجة في الطور نفسه، وعليه فهي تساوي الطول الموجي.

علمنا أيضًا أن الأمواج تقطع المسافة من طرف الرصيف البحري إلى الشاطئ، والتي تساوي: $180\ \text{m}$ خلال زمن مقداره $24\ \text{s}$. بناءً على ذلك، يمكننا حساب سرعة الأمواج على الصورة:

$$\begin{aligned} \text{السرعة} &= \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} \\ &= \frac{180\ \text{m}}{24\ \text{s}} \\ &= 7.5\ \text{m/s}. \end{aligned}$$

أصبح لدينا الآن السرعة، $s = 7.5\ \text{m/s}$ والطول الموجي، $\lambda = 15\ \text{m}$، والمطلوب منا إيجاد التردد.

تذكر أن السرعة والطول الموجي والتردد يرتبطون معًا من خلال المعادلة: $s = f\lambda$. يمكننا إيجاد التردد، f، بقسمة طرفي المعادلة على λ، وهو ما يعطينا:

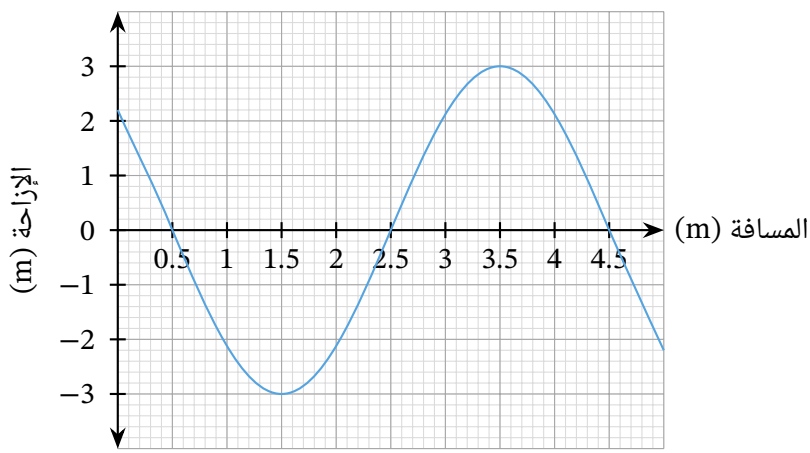
$$\begin{aligned} f &= \frac{s}{\lambda} \\ &= \frac{7.5\ \text{m/s}}{15\ \text{m}} \\ &= 0.5\ \text{Hz}, \end{aligned}$$

ثم، نستخدم العلاقة $\text{Hz} = \frac{1}{\text{s}}$ لنحصل على الوحدة الصحيحة للتردد.

إذن، تردد الموجة يساوي 0.5 Hz.

مثال ٥: فهم حركة الموجة

يوضح الشكل الآتي موجة سرعتها 460 m/s.



١. ما سعة هذه الموجة؟

٢. ما الطول الموجي لهذه الموجة؟

٣. ما تردد هذه الموجة؟

٤. عند أي قيمة للمسافة تكون الإزاحة الموجبة لهذه الموجة مساوية لسعتها؟

الحل

الجزء الأول

في هذا المثال، لدينا تمثيل بياني للإزاحة مقابل المسافة لموجة ما وعلمنا أن هذه الموجة لها سرعة تساوي: 460 m/s. والكمية التي علينا إيجادها هي السعة.

تذكر أن سعة الموجة هي المسافة بين مركزها أو موضع اتزانها ومقدار أقصى إزاحة لها. في هذا المثال، الإزاحة من موضع الاتزان تساوي: 0 m والإزاحة من القمة تساوي: 3 m. إذن، نستنتج أن سعة الموجة تساوي: 3 m.

الجزء الثاني

مطلوب منا في هذا الجزء إيجاد الطول الموجي للموجة. يمكننا أن نبدأ من المرة الأولى عندما قطعت الموجة المحور الأفقي، عند مسافة: 0.5 m، وهي النقطة التي تتناقص عندها الإزاحة. في المرة التالية عندما قطعت الموجة المحور، عند 2.5 m، تزداد الإزاحة، وهذا يعني أن الدورة لا تكتمل إلا عند المسافة 4.5 m. إذن، الطول الموجي يساوي $4.5\ \text{m} - 0.5\ \text{m} = 4.0\ \text{m}$.

الجزء الثالث

علينا الآن إيجاد تردد الموجة. بما أن لدينا الطول الموجي، $\lambda = 4\ \text{m}$، والسرعة، $s = 460\ \text{m/s}$، يمكننا إيجاد التردد، f من خلال العلاقة $s = f\lambda$. علينا أولًا قسمة طرفي المعادلة على λ:

$$\begin{aligned} f &= \frac{s}{\lambda} \\ &= \frac{460\ \text{m/s}}{4\ \text{m}} \\ &= 115\ \text{Hz}. \end{aligned}$$

إذن، تردد الموجة يساوي: 115 Hz.

الجزء الرابع

وأخيرًا، مطلوب منا إيجاد قيمة المسافة التي تكون عندها الإزاحة الموجبة للموجة مساوية لسعتها. أوجدنا أعلاه أن السعة تساوي 3 m، وعلينا إيجاد قيمة المسافة التي تساوي الإزاحة عندها 3 m. وهذا يحدث عند المسافة 3.5 m.

النقاط الرئيسية

- سعة الموجة هي مقدار أقصى إزاحة لها من موضع اتِّزانها.
- الطول الموجي هو المسافة اللازمة لتكمل الموجة دورة كاملة واحدة.
- الزمن الدوري للموجة هو الزمن المستغرق لإكمال دورة واحدة.
- تردد الموجة هو عدد الدورات الكاملة خلال ثانية واحدة.
- يرتبط التردد، f، بالزمن الدوري، p، من خلال المعادلة $f = \frac{1}{p}$.
- وحدة قياس التردد هي ال هرتز ، Hz، حيث 1 =1 Hz دورة لكل ثانية.
- ترتبط سرعة انتشار الموجة، s، بالتردد، f، والطول الموجي، λ، من خلال المعادلة $s = f\lambda$.