

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الموجات  
وخصائصها

التمثيل  
الرياضي  
للموجات

منصة أساس النظمية

## الموجة The wave



اضطرابٌ أو اهتزازٌ ينتقلُ من مكانٍ إلى آخرَ

تعدُّ الموجةُ وسيلةً لنقلِ الطاقةِ

ومعَ أنَّ الاضطرابَ يتسبَّبُ في حدوثِ اهتزازٍ  
لدقائقِ الوسطِ الناقلِ للموجة، إلا أنَّ هذه الدقائقَ  
لا تنتقلُ من موقعٍ إلى آخرَ مثلَ الطاقةِ.

تتولَّدُ الموجاتُ في الوسطِ نتيجةَ اهتزازِ المصدرِ المولِّدِ للموجاتِ،  
ثمَّ ينتقلُ الاهتزازُ من المصدرِ خلالَ الوسطِ الناقلِ.

## أنواع الموجات Types of Waves

الموجات تُقسم من حيث طبيعة انتشارها وحاجتها إلى وسط تنتقل خلاله إلى نوعين، هما: موجات ميكانيكية وموجات الإشعاع الكهرمغناطيسي.

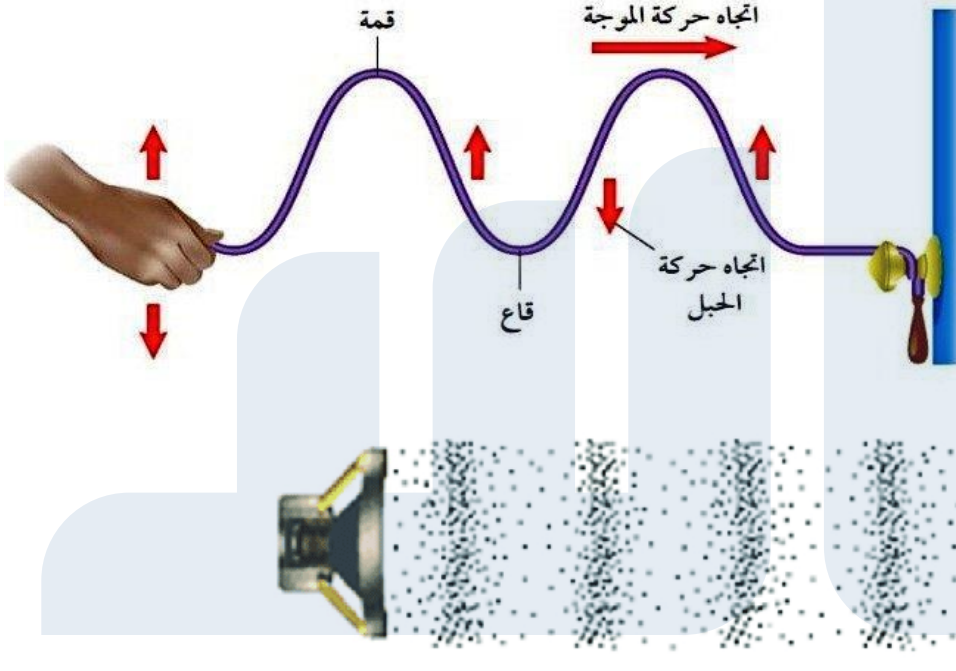
### الموجات الميكانيكية

تنتقل الموجات الميكانيكية على شكل اضطراب أو اهتزاز في أجزاء الوسط الناقل

لحدوث هذه الموجات يجب توافر أمرين

مصدر مهتز لتوليد الموجات

وسط مادي تنتقل فيه الموجات على شكل اهتزاز في الجسيمات التي يتكوّن منها الوسط.



# التمثيل الرياضي للموجات

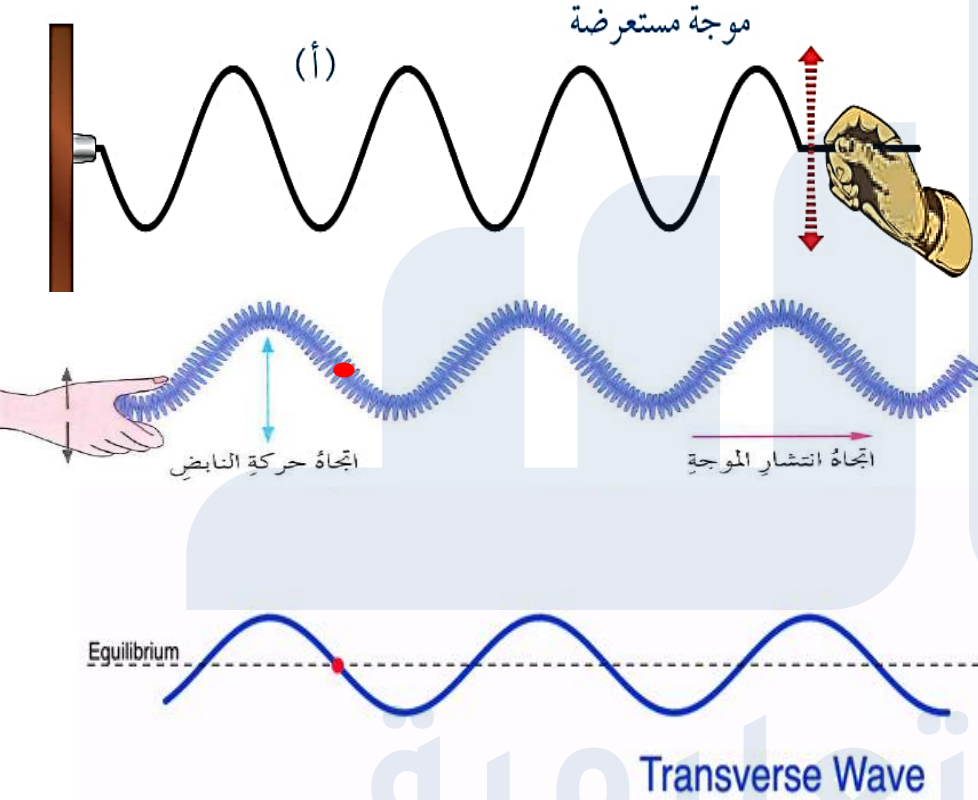
## أنواع الموجات Types of Waves

### الموجات الميكانيكية

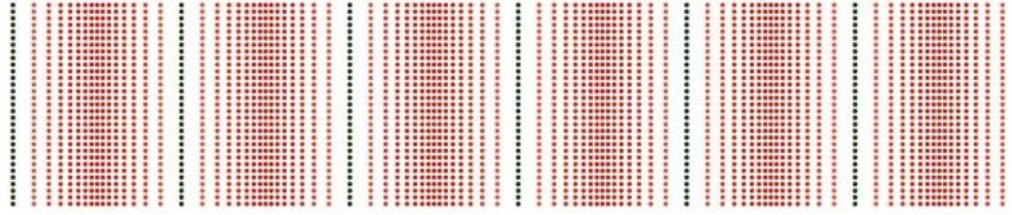
تُقسم الموجات الميكانيكية من حيث طريقة الاهتزاز الذي تحدثه الموجات في جسيمات الوسط الناقل إلى نوعين، هما:

### الموجات المستعرضة

- الموجات المستعرضة Transverse waves: هي موجات تهتز فيها جسيمات الوسط باتجاه يتعامد مع اتجاه انتشار الموجة. ومن الأمثلة موجات سطح الماء والموجات التي تنتقل في نابض أو حبل مشدود



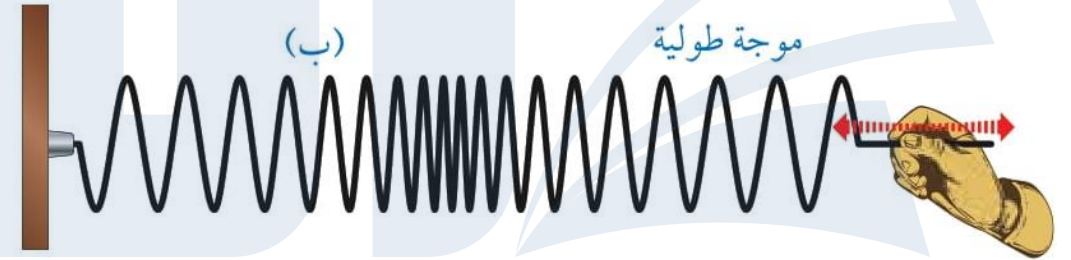
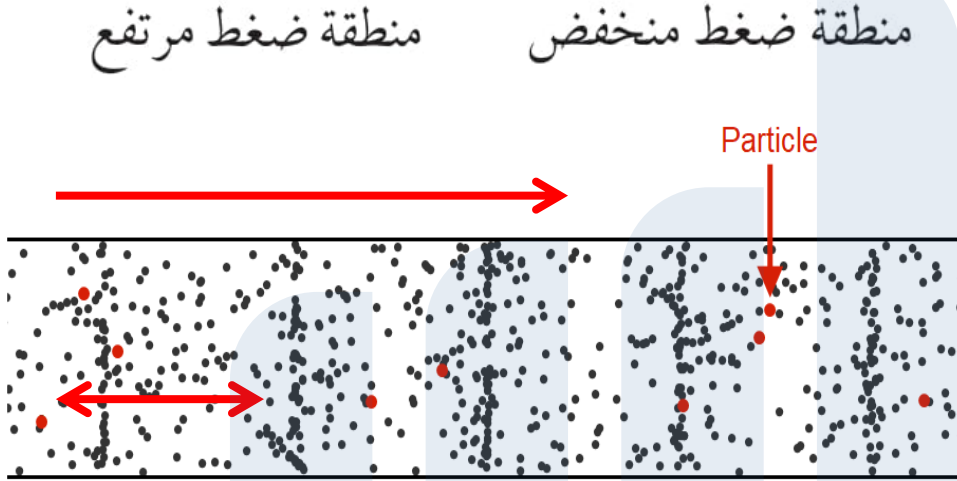




# التمثيل الرياضي للموجات

## أنواع الموجات Types of Waves

- الموجات الطولية Longitudinal waves: هي موجات تهتز فيها جسيمات الوسط باتجاه يوازي اتجاه انتشار الموجة. ومن الأمثلة عليها موجات الصوت في الهواء، والموجات التضاغية في النابض، كما يُبين الشكل (1/ب).



بينما تكون الجزيئات أكثر تباعداً في منطقة التخلخل



Longitudinal Wave

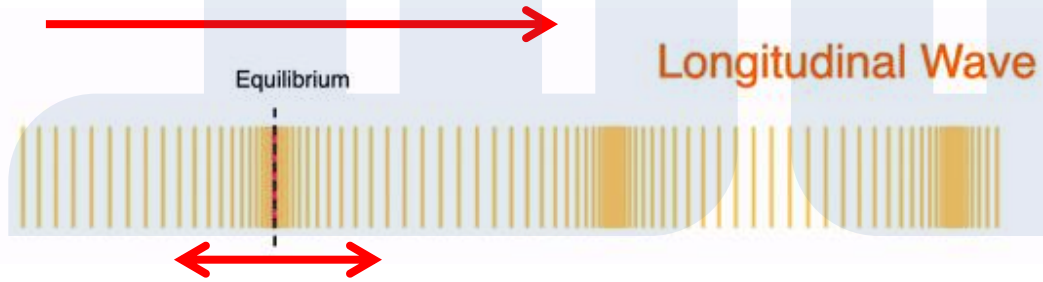
التضاغط منطقة تتقارب فيها جزيئات الوسط

# التمثيل الرياضي للموجات

✓ **أتحقق:** أفرق بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

## الموجات الطولية

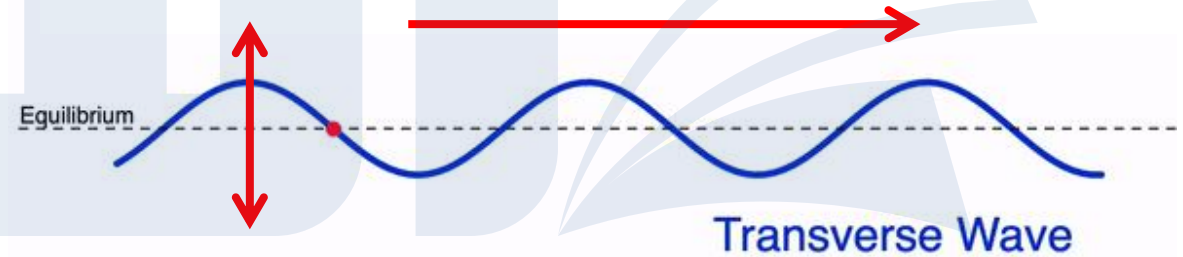
الموجة التي يكون فيها اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها باتجاه انتشار الموجة نفسها موجة طولية



تتكون من تضاغطات وتخللات

## الموجات المستعرضة

الموجة التي يكون اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها متعامداً مع اتجاه انتشارها موجة مستعرضة



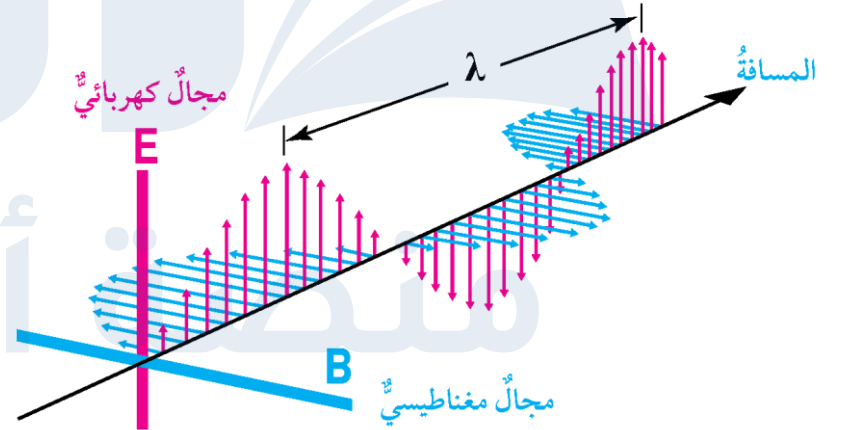
تتكون من قمم وقيعان

أساس التعليلية

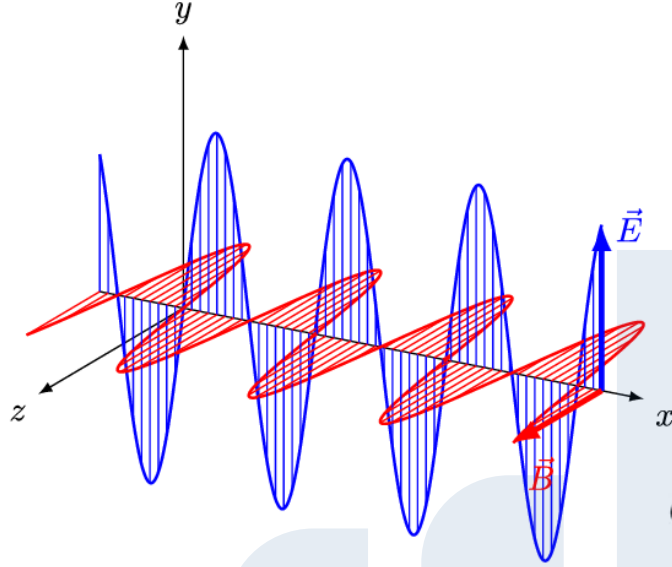
## أنواع الموجات Types of Waves

### موجات الإشعاع الكهرمغناطيسي

تتكوّن الموجات الكهرمغناطيسية من مجالين: كهربائي ومغناطيسي، تنتقل في الفراغ وفي الأوساط المادية، وهي لا تحتاج إلى إحداث اضطراب ميكانيكي في الوسط، بل تنتقل على شكل اضطراب في المجالين الكهربائي والمغناطيسي.



## أنواع الموجات Types of Waves



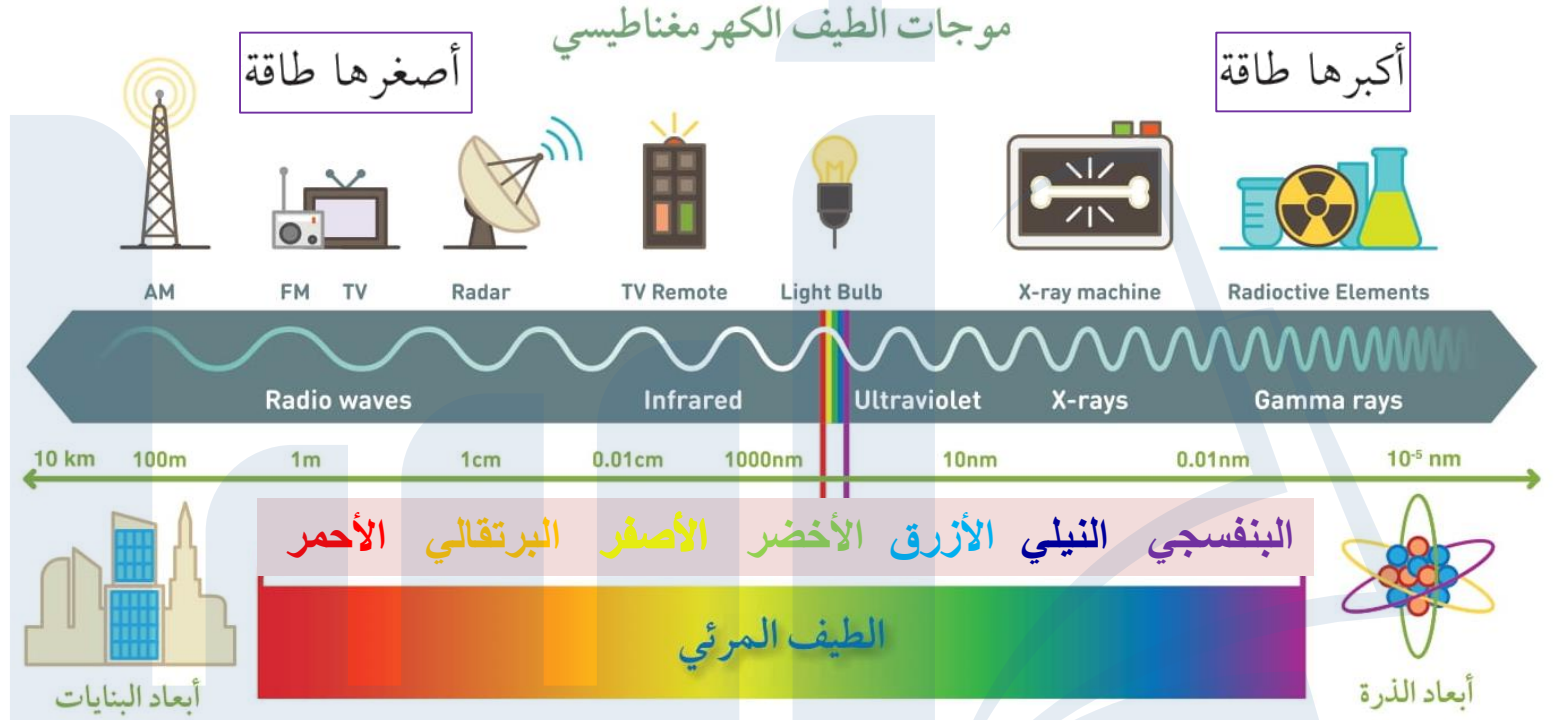
### موجات الإشعاع الكهرمغناطيسي

وتتّصف الموجات الكهرمغناطيسية بصفات عامّة، أهمّها:

- تتكوّن من مجالين أحدهما كهربائي والآخر مغناطيسي يتذبذب أحدهما باتجاه عمودي على الآخر، ومتساويان في تردّدهما، الذي يُمثّل تردد الموجة نفسها.
- موجات مستعرضة يكون اتّجاه تذبذب المجالين الكهربائي والمغناطيسي متعامداً مع اتّجاه انتشارها.
- تنتقل الموجات الكهرمغناطيسية جميعها في الفراغ بسرعة  $(c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$  مهما كان تردّدها.



# التمثيل الرياضي للموجات



موجات الراديو: الاتصالات، موجات تحت حمراء: أجهزة الإنذار والتحكم،  
موجات سينية: تصوير العظام، موجات جاما: في الطب.

أستخرجُ من الشكل تطبيقًا تكنولوجيًا واحدًا لاستخدام كلٍّ من موجات الراديو، وموجات الأشعة تحت الحمراء، وموجات الأشعة السينية، وموجات أشعة جاما.



## أنواع الموجات Types of Waves

### موجات الإشعاع الكهرمغناطيسي

أثبتت دراسة الكثير من الظواهر أنّ الأشعة الكهرمغناطيسية لها طبيعة مزدوجة، فهي تظهر بصفات الموجات أحياناً كما في ظاهرتي التداخل والحيود، وتظهر بصفات الجسيمات أحياناً أخرى كما في الظاهرة الكهرضوئية التي سأدرسها لاحقاً، والتي تؤدي إلى انبعاث إلكترونات حرّة من سطح الفلزّ؛ عند سقوط إشعاع كهرمغناطيسي ذي طاقة كافية على هذا الفلزّ.

## أنواع الموجات Types of Waves

### موجات الإشعاع الكهرمغناطيسي

يتكوّن الإشعاع الكهرمغناطيسي من حزم من الطاقة، وهذه الطاقة مكّماة؛ أي تتكوّن من كمّات (وحدات أساسية) يُطلق على كلّ منها اسم فوتون **Photon**. ينتقل الفوتون في الفراغ بسرعة الضوء. ومع أنّ للفوتون صفات مادّية، إضافة إلى صفاته الموجية؛ إلا أنّ كتلته تساوي صفرًا. والطاقة التي تحملها الموجة الكهرمغناطيسية تساوي عددًا صحيحًا من مضاعفات طاقة الفوتون، وهذا يشبه مبدأ تكمية الشحنة، الذي ينصّ على أنّ شحنة الجسم تساوي عددًا صحيحًا من مضاعفات شحنة الإلكترون.

### الطول الموجي

المسافة بين أيّ نقطتين متتاليتين ومتماثلتين في إزاحتهما

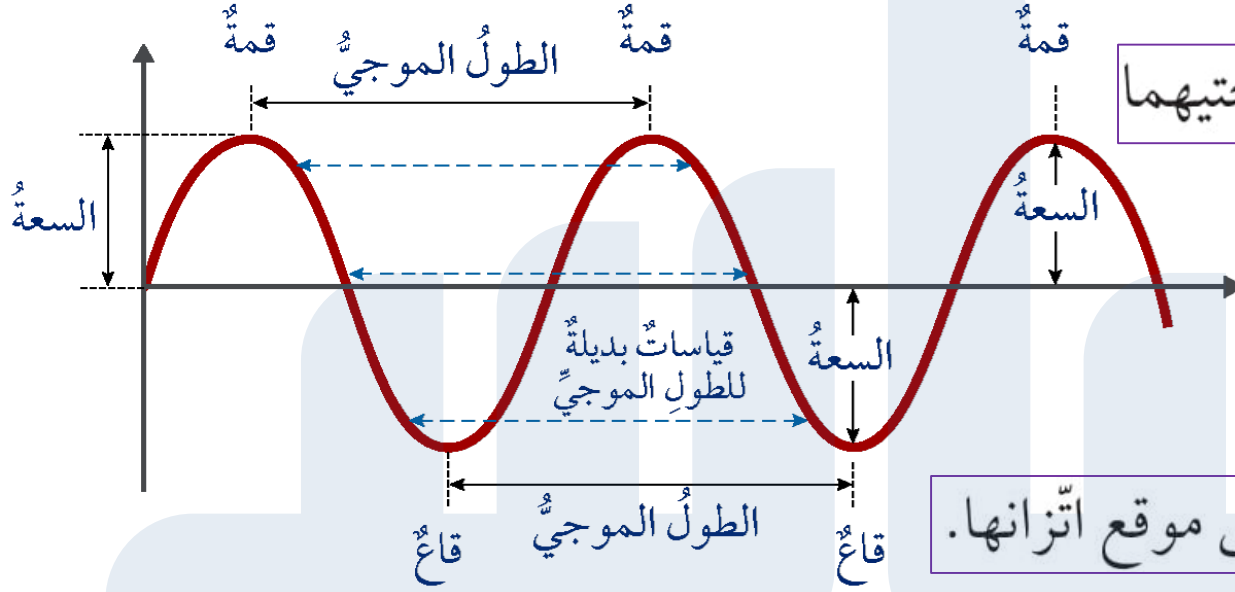
يُرمزُ إليه بالحرفِ اليونانيّ  $(\lambda - \text{لامدا})$

### السعة (A)

أقصى إزاحة تُحدثها الموجة لجُسيمات الوسط بالنسبة إلى موقع اتزانها.

لكلّ موجة طول موجي وسعة يُميّزانهما عن غيرها من الموجات

تناسب الطاقة التي تنقلها الموجة مع سعتها، فزيادة سعة اهتزاز المصدر المولّد للموجات، تزداد سعة الموجة فتزداد طاقتها.



المسافة بين قمتين متتاليتين

المسافة بين قاعين متتاليتين

## وصف الموجات

### التردد ( $f$ )

عدد الموجات الكاملة التي تعبر نقطة ثابتة في الوسط خلال ثانية واحدة  
طاقة الموجة تتناسب طرديًا مع ترددها

### السرعة ( $v$ )

سرعة الموجة في الوسط الواحد فهي ثابتة  
يعتمد مقدارها على نوع الوسط وخصائصه

$$v = \lambda f$$

منصة أساس التعليم

### الزمن الدوري ( $T$ )

الزمن اللازم لمرور موجة كاملة خلال نقطة محدّدة  
يتناسب الزمن الدوري للموجة عكسيًا مع تردّها

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

بتعويض الزمن الدوري في العلاقة الخاصّة بالسرعة، يمكن حساب  
سرعة الموجة بدلالة زمنها الدوري:



**أفكر:** أيّ الكمّيات الآتية الخاصّة  
بوصف الموجة تعتمد على  
مصدر الموجة؟ وأيّها تعتمد  
على الوسط الناقل؟ السرعة،  
السعة، التردّد، الطاقة.

منصة أساس التعليمية

## التمثيل الرياضي للموجات

✓ **أتحقق:** أوضح المقصود بكل من التردد والزمن الدوري، ثم أصف العلاقة بينهما.

**التردد ( $f$ )**

عدد الموجات الكاملة التي تعبر نقطة ثابتة في الوسط خلال ثانية واحدة

**الزمن الدوري ( $T$ )**

الزمن اللازم لمرور موجة كاملة خلال نقطة محدّدة

يتناسب الزمن الدوري للموجة عكسيًا مع ترددها  $T = \frac{1}{f}$

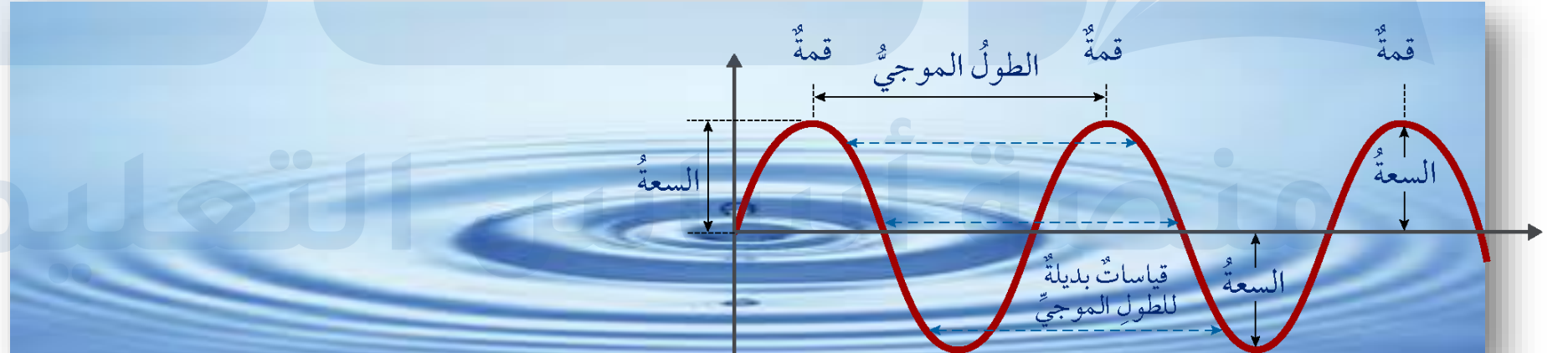
منصة أساسيات التعليم

## التمثيل البياني للموجة

يمكن تمثيل الحركة الموجية بيانيًا بطريقتين؛ الطريقة الأولى منحنى (الإزاحة - الموقع)، والطريقة الثانية منحنى (الإزاحة - الزمن).

### منحنى (الإزاحة - الموقع)

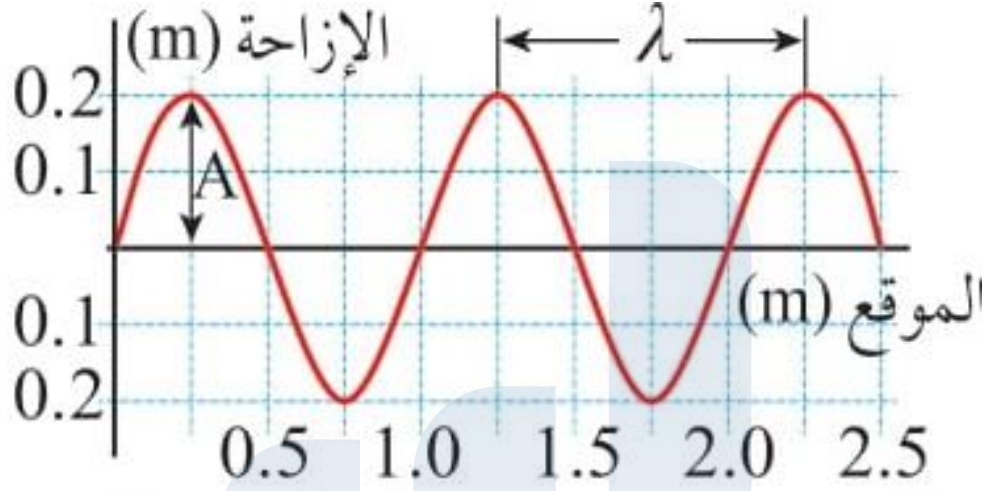
يصف هذا المنحنى البياني إزاحة جسيمات الوسط عن نقطة الاتزان عند مرور الموجة فيه. يُشبه صورة ثابتة تُبين الموجة في لحظة زمنية معينة؛ أي عند تثبيت الزمن.



# التمثيل الرياضي للموجات

## التمثيل البياني للموجة

### منحنى (الإزاحة - الموقع)



يُمثّل التدرّيج على محور (x) مواقع دقائق الوسط المهتزة وبعدها عن مصدر الموجة ويُمثّل التدرّيج على محور (y) الإزاحة لدقائق الوسط عن نقطة الاتزان إلى أعلى وأسفل يفيد المنحنى في معرفة كلٍّ من:

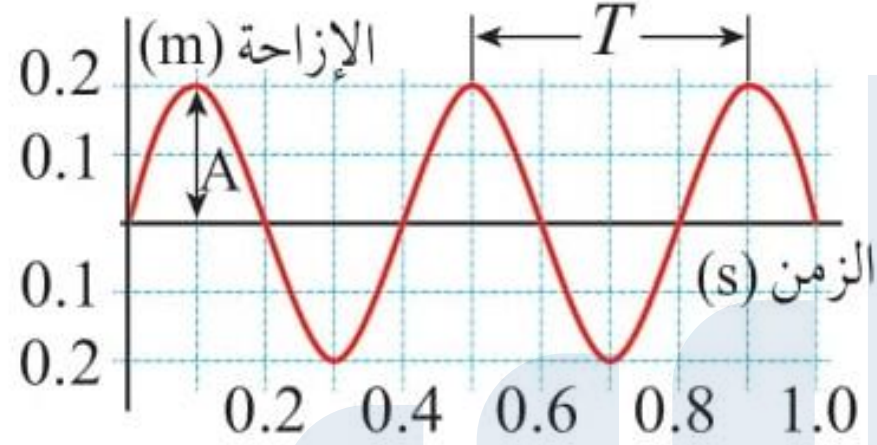
السعة الطول الموجي

مواقع القمم والقيعان المتتالية على سطح الماء عند لحظة زمنية محددة.

# التمثيل الرياضي للموجات

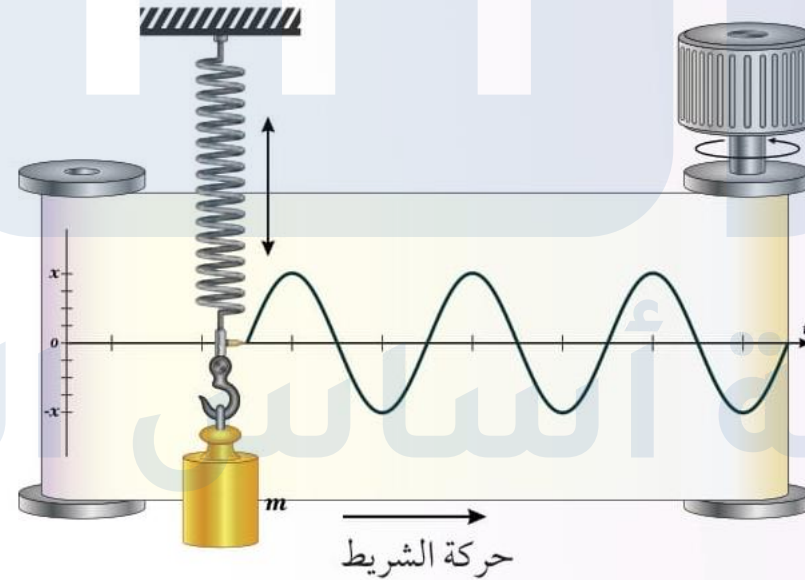
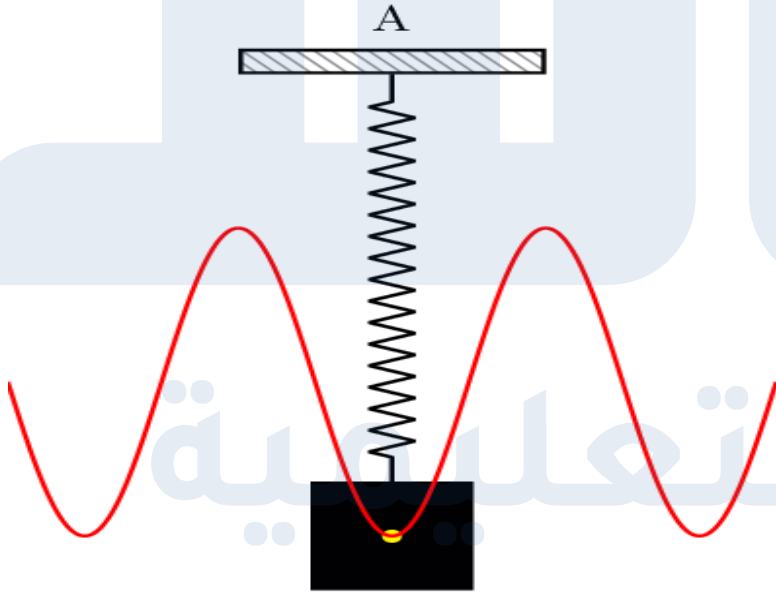
## التمثيل البياني للموجة

### منحنى (الإزاحة - الزمن)



يصف هذا المنحنى البياني شكل الموجة بالنسبة إلى الزمن

يصف الإزاحة الرأسية لجسيم واحد من جسيمات الوسط عن نقطة اتزانه، وكيف يتغير موقع هذا الجسيم مع مرور الزمن. دون أن ننظر إلى جسيمات أخرى من الوسط

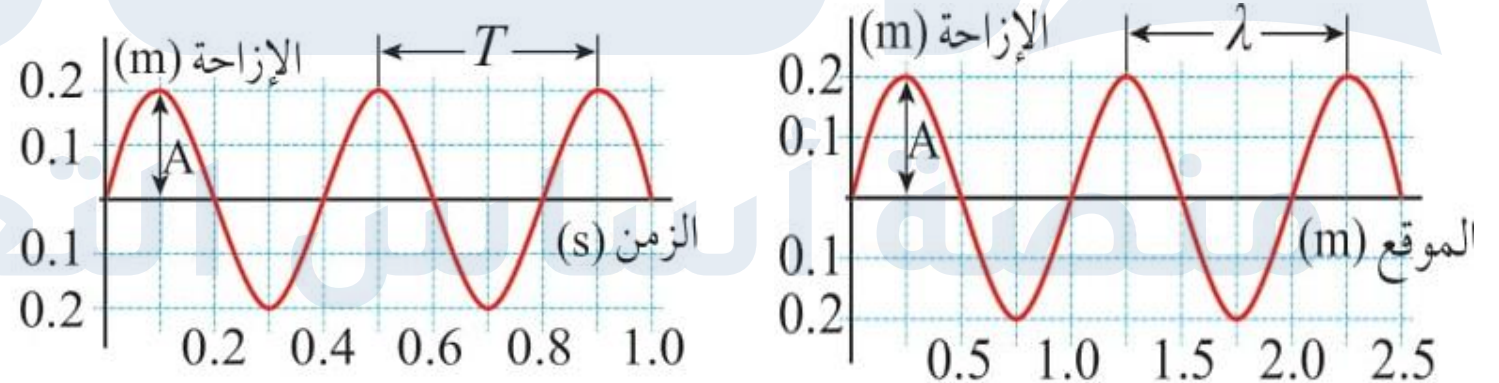




## التمثيل الرياضي للموجات

✓ **أتحقق:** عن طريق المقارنة بين الشكلين (أ) و (ب) / 5،  
أستنتج تماثلاً في الشكل بين الطول الموجي والزمن الدوري.  
أفسر هذا التماثل.

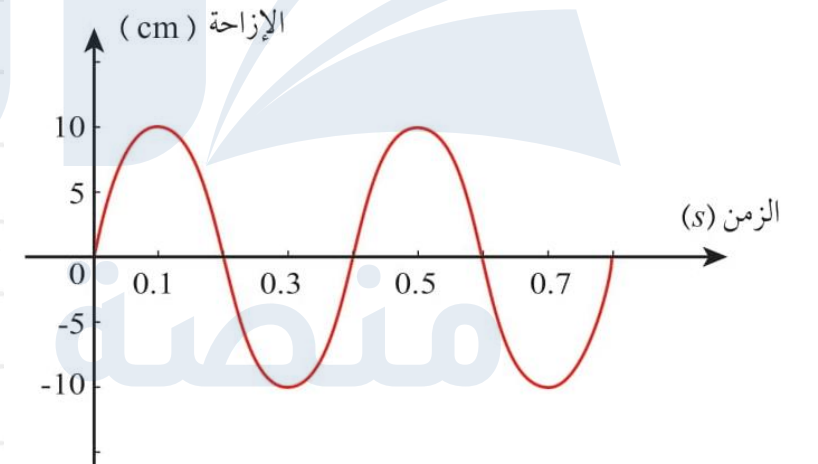
يمثل الطول الموجي المسافة بين قمتين متتاليتين، علماً أن القمتان تمثلان موقعين في الوسط لهما الإزاحة الرأسية العظمى نفسها. في حين يمثل الزمن الدوري الفاصل الزمني بين قمتين متتاليتين، علماً أن القمتين تمثلان لحظتين زمنيتين تكون فيهما الإزاحة الرأسية للموقع نفسه قيمة عظمى.



## المثال ١

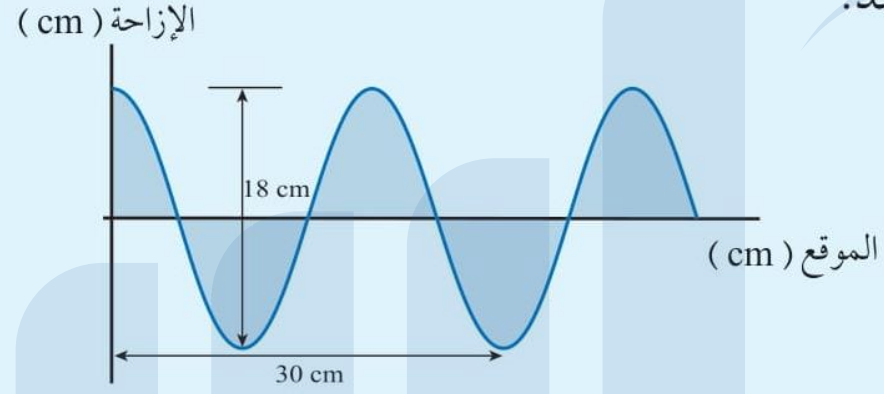
يبين الشكل (6) منحنى (الإزاحة - الزمن) لحركة موجية. بالاعتماد على البيانات المثبتة على الشكل، وإذا علمت أن الطول الموجي (10 cm). أجد ما يأتي:

- أ. السعة
- ب. الزمن الدوري
- ج. التردد
- د. سرعة انتشار الموجات.



يبين الشكل (7) منحنى (الإزاحة - الموقع) لحركة موجية ترددها (25Hz). بالاعتماد على البيانات المكتوبة على الشكل، أجد:

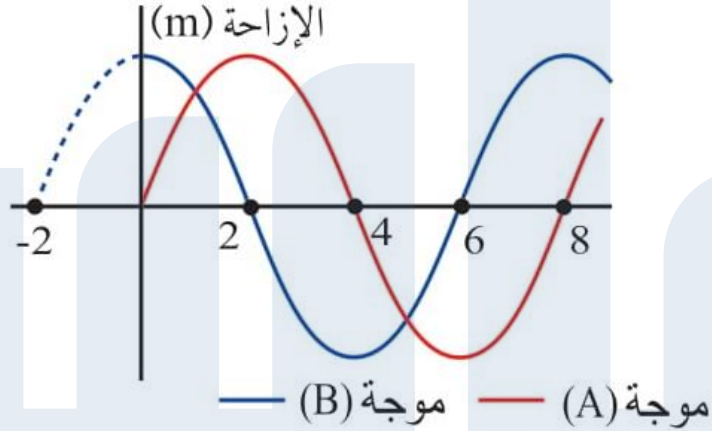
الشكل (7): منحنى  
(الإزاحة - الموقع)  
لحركة موجية.



- أ. السعة.
- ب. الطول الموجي.
- ج. الزمن الدوري.
- د. السرعة.

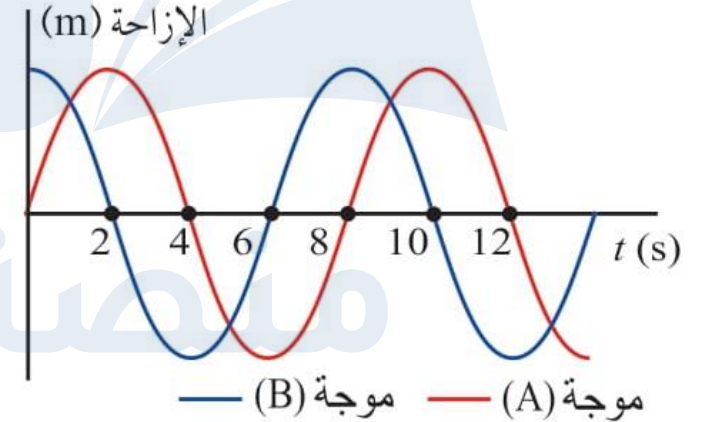
## المثال 2

موجتان (A, B) الطول الموجي لكل منهما (0.24 m) تنتشران في الوسط نفسه. يُبين الشكل (8) منحنى (الإزاحة-الزمن) للموجتين معًا. بناءً على الشكل؛ أجد ما يأتي:



الشكل (9): صنعت الموجة (B) إزاحة عظمى عند  $(t = 0s)$ ؛  
لذا، يمكنني أن أتخيل أنها بدأت الاهتزاز من  $(t = -2s)$ .

- الزمن الدوري والتردد لكل من الموجتين (A, B).
- الفارق الزمني الذي تأخرت به إحدى الموجتين عن الأخرى.
- الفرق في زاوية الطور بين الموجتين.



## مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** أمثل بيانياً الحركة الموجية بطريقتين؛ الأولى منحنى (الإزاحة - الموقع) والثانية منحنى (الإزاحة - الزمن)، وأوضح الوصف الذي يقدمه كل منحنى عن الحركة الموجية، وما يمثله التدرج على محور  $(y)$  ومحور  $(x)$ .



## مراجعة الدرس

2. **أحلّ:** أصنّف الموجات الآتية إلى ميكانيكية أو كهرومغناطيسية: الأشعة تحت الحمراء، الأشعة السينية، الموجات الصوتية، موجات الضوء المرئي، الموجات المنتشرة في نابض، الموجات الزلزالية.

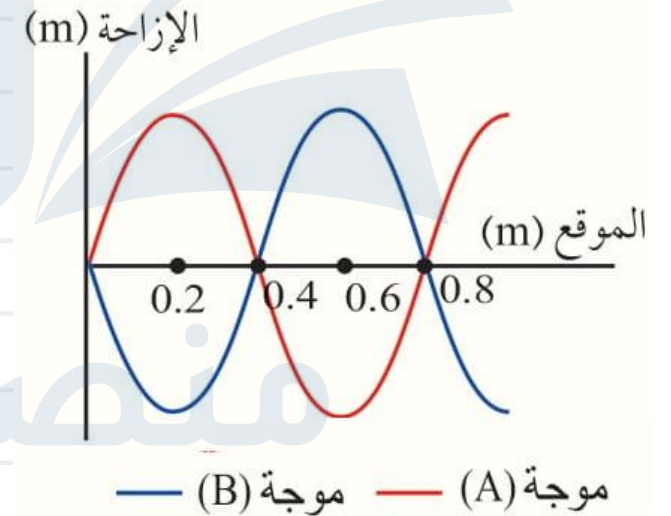
موجات تنقل الطاقة الميكانيكية: الموجات الصوتية، موجات النابض، الموجات الزلزالية.  
موجات تنقل الطاقة الكهرومغناطيسية: الأشعة تحت الحمراء، الأشعة السينية، الضوء المرئي.

## مراجعة الدرس

3. أَسْتَعْمَلُ المتغيّرات: موجتان (A, B) الزمن الدوري لكلّ منهما (0.40 s) تنتشران في وسط واحد. بناءً على الشكل، أجد ما يأتي:

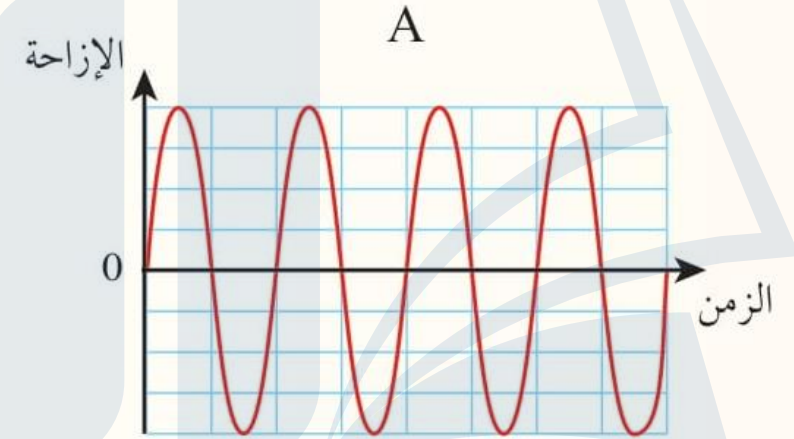
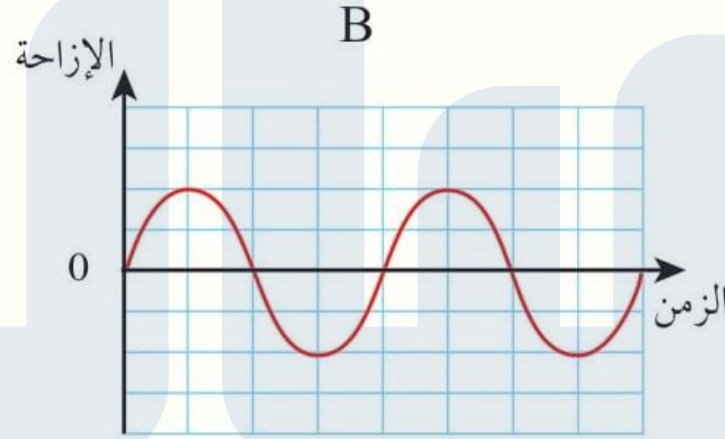
أ. الطول الموجي لكلّ من الموجتين (A, B).

ب. فرق الطور بين الموجتين.



## مراجعة الدرس

4. **التفكير الناقد:** يبين الشكل منحنى (الإزاحة - الزمن) لحركتين موجيتين (A) و (B) تنتقلان في الوسط نفسه. أقرن بين الحركتين من حيث: السعة، التردد، الطول الموجي، والسرعة.





من قنع من الدنيا باليسير

هان عليه كل عسير

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الموجات  
وخصائصها

الموجات  
الموقوفة  
والرنين

منصة أساس النظمية



ظواهر موجية

التراكب والتداخل

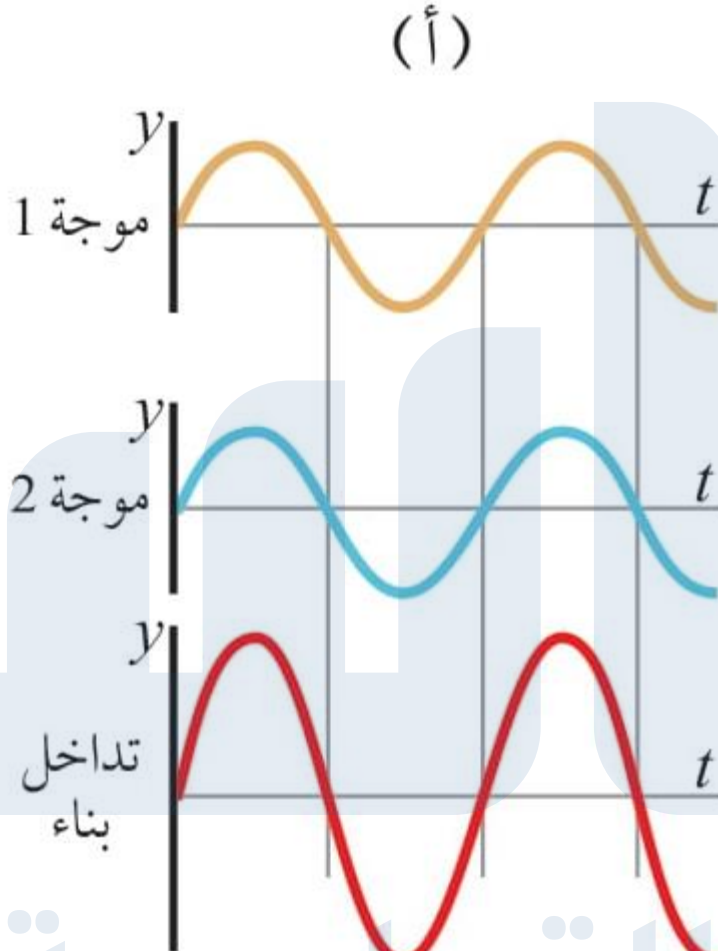
- التراكب: المعنى العام لكلمة تراكب؛ أن تضع شيئاً فوق آخر، لكن في حالة الموجات؛ فإنّ التراكب **Superposition**، يعني جمع الإزاحات الناتجة عن موجتين (أو أكثر) عند التقائهما في نقطة في الوسط الذي تنتقلان خلاله. ويحدث التراكب في كلا النوعين؛ الموجات الطولية والموجات المستعرضة، ولكن يُشترط أن تكون الموجتان من النوع نفسه.

منصة أساس التعليمية

# الموجات الموقوفة والرنين

## ظواهر موجية

### التراكب والتداخل

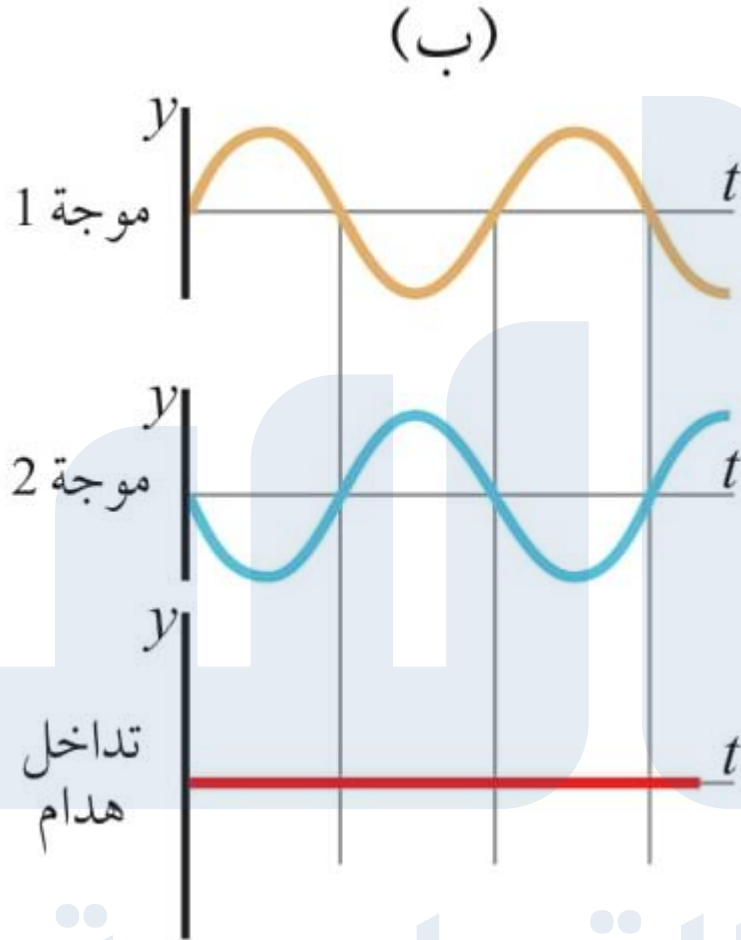


- مبدأ تراكب الموجات Principle of superposition: ينصّ على أنّه عند حدوث تراكب موجتين؛ فإنّ الإزاحة الناتجة عند أي نقطة في الوسط تساوي ناتج الجمع المتجهي للإزاحتين الناتجتين عن الموجتين وهما منفردتان. الشكل (19/أ) يوضح تراكب موجتين لهما نفس التردد والطول الموجي والسعة ومتفقتان في الطور، بينما الشكل (19/ب) يوضح تراكب موجتين لهما نفس التردد والطول الموجي، لكن الفرق في الطور بينهما يساوي  $180^\circ$ .

# الموجات الموقوفة والرنين

## ظواهر موجية

### التراكب والتداخل



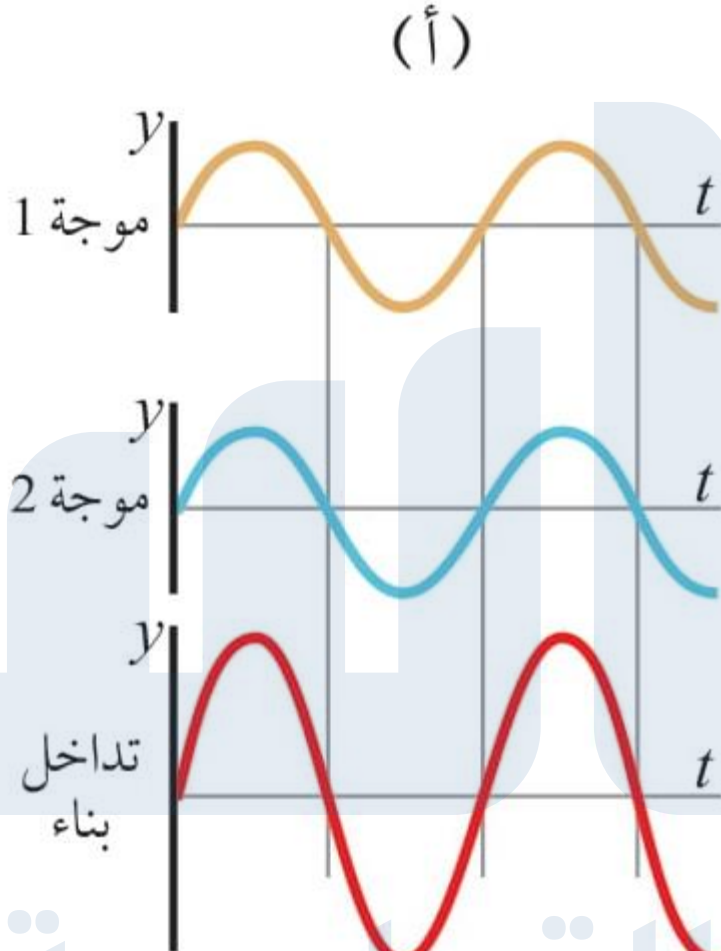
- مبدأ تراكب الموجات Principle of superposition: ينصّ على أنّه عند حدوث تراكب موجتين؛ فإنّ الإزاحة الناتجة عند أي نقطة في الوسط تساوي ناتج الجمع المتجهي للإزاحتين الناتجتين عن الموجتين وهما منفردتان. الشكل (19/أ) يوضح تراكب موجتين لهما نفس التردد والطول الموجي والسعة ومتفقتان في الطور، بينما الشكل (19/ب) يوضح تراكب موجتين لهما نفس التردد والطول الموجي، لكن الفرق في الطور بينهما يساوي  $180^\circ$ .

منصة أساس التعليمية

# الموجات الموقوفة والرنين

## ظواهر موجية

### التراكب والتداخل



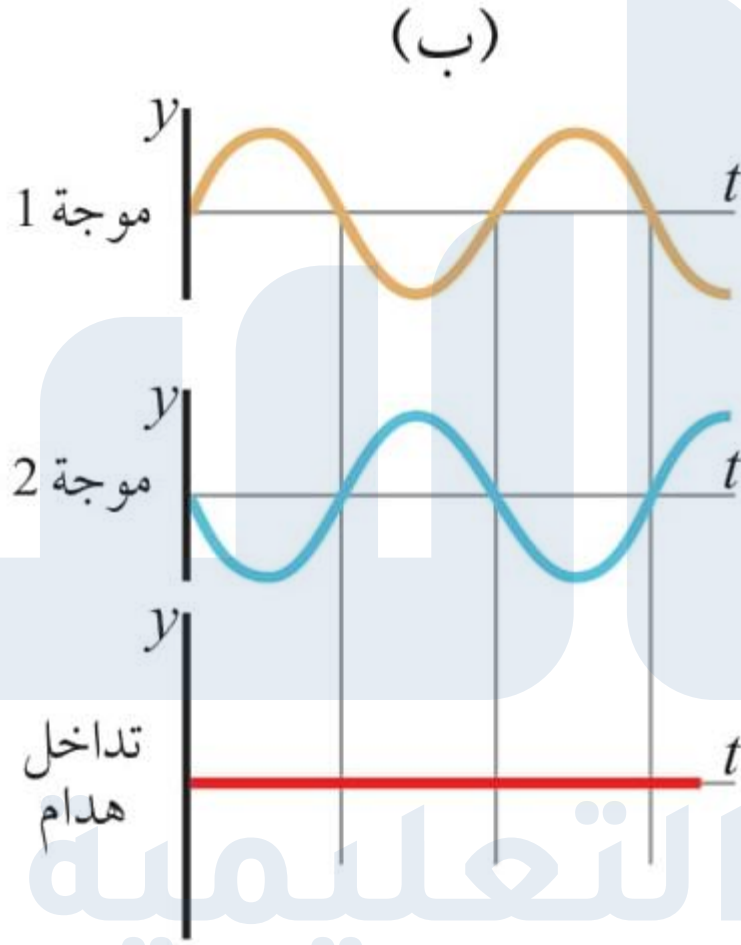
- التداخل البناء والتداخل الهدام: عندما تكون السعة الناتجة عن التقاء موجتين أكبر من السعة لكل منهما؛ نحصل على تداخل يُسمى تداخلاً بناءً **Constructive interference**، يُبين الشكل (19/أ). أن سعة الموجة الناتجة عن التداخل البناء لموجتين متساويتين في السعة، تساوي ضعف سعة أي من الموجتين. وعندما تكون إزاحات الموجتين المترابيتين عند نقطة في الوسط متعاكستين؛ فإن نمط التداخل الناتج يُسمى تداخلاً هداماً **Destructive interference**، وفي حال كانت الموجتان المتداخلتان متساويتين في السعة؛ تُلغي إحدى الموجتين الأخرى، فتكون الإزاحة المحصلة صفراً، كما يُبين الشكل (19/ب).



# الموجات الموقوفة والرنين

## ظواهر موجية

### التراكب والتداخل



- التداخل البناء والتداخل الهدام: عندما تكون السعة الناتجة عن التقاء موجتين أكبر من السعة لكل منهما؛ نحصل على تداخل يُسمى تداخلاً بناءً **Constructive interference**، يُبين الشكل (19/أ). أن سعة الموجة الناتجة عن التداخل البناء لموجتين متساويتين في السعة، تساوي ضعف سعة أيٍّ من الموجتين. وعندما تكون إزاحات الموجتين المترابيتين عند نقطة في الوسط متعاكستين؛ فإن نمط التداخل الناتج يُسمى تداخلاً هداماً **Destructive interference**، وفي حال كانت الموجتان المتداخلتان متساويتين في السعة؛ تُلغي إحدى الموجتين الأخرى، فتكون الإزاحة المحصلة صفراً، كما يُبين الشكل (19/ب).



# الموجات الموقوفة والرنين

ظواهر موجية

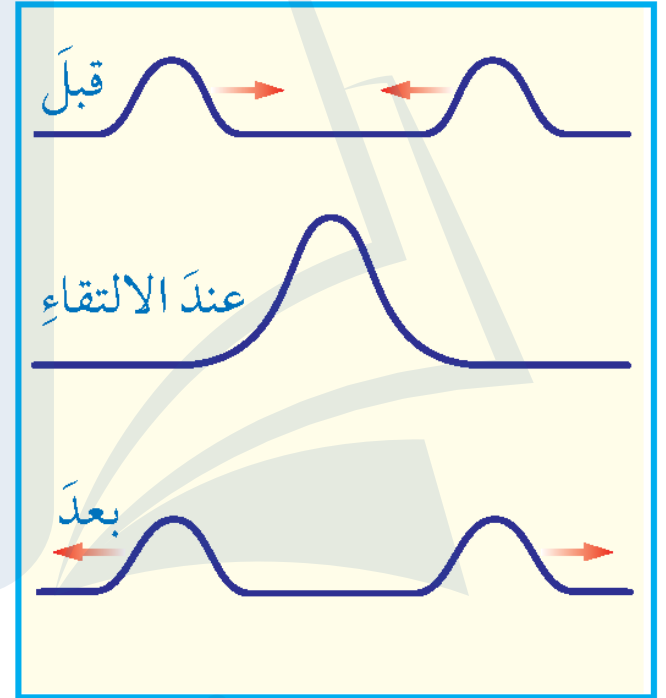
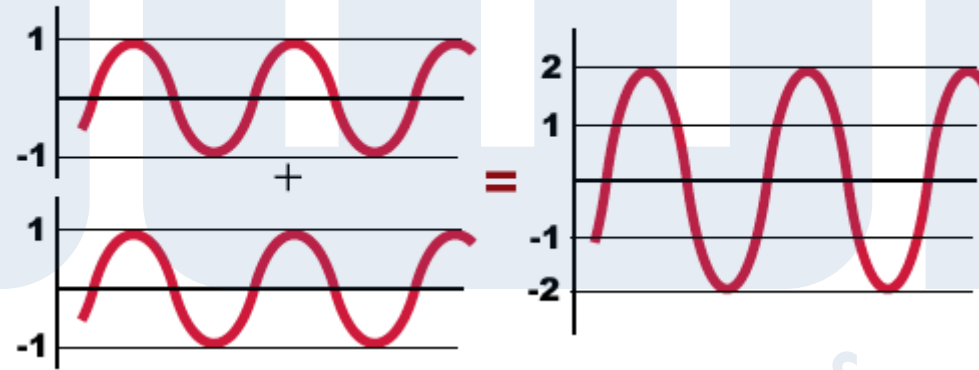
التراكب والتداخل

أنواع التداخل

تداخل هدام

تداخل بناء

Constructive Interference



لاحظ أنه ينتج عن الأثر المشترك للقيمتين لحظة تراكبهما قمة مضاعفة،  
وينتج عن هذا التراكب تداخل بناء

# الموجات الموقوفة والرنين

ظواهر موجية

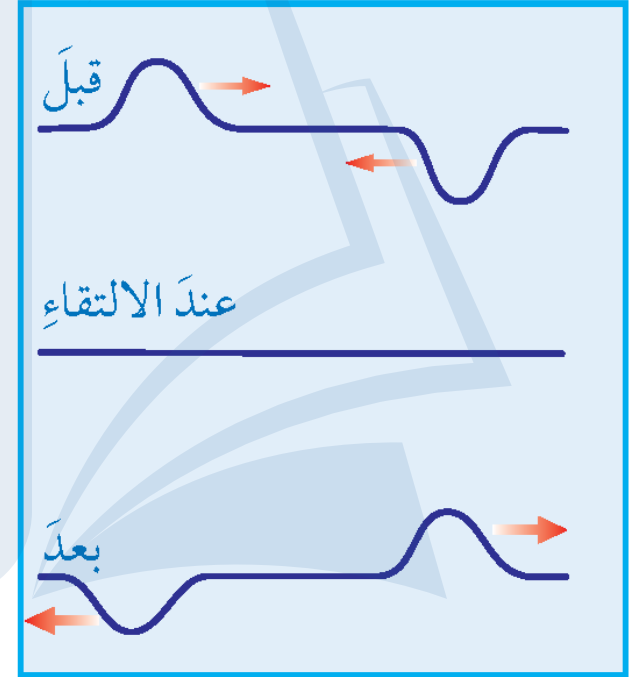
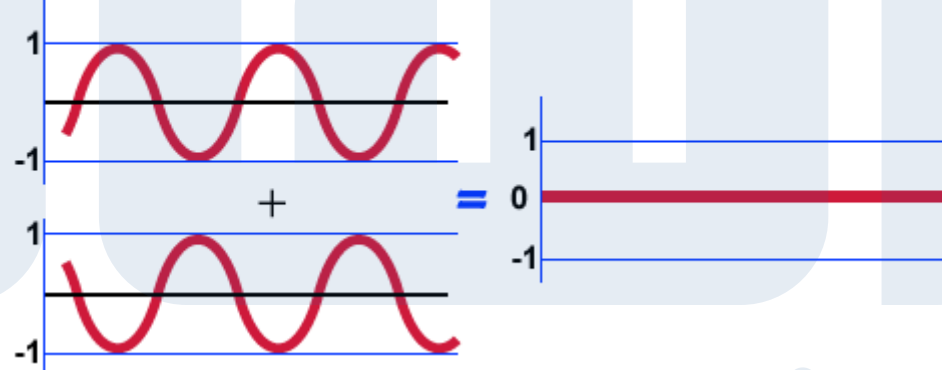
التراكب والتداخل

أنواع التداخل

تداخل هدام

تداخل بناء

**Destructive Interference**



تراكب قمة مع قاع ينتج عنه انعدام للإزاحة، وتختفي الموجتان في لحظة تراكبهما ويُسمى هذا التراكب تداخلاً هداماً

أسس التعليمية

ظواهر موجية

التراكب والتداخل

✓ **أتحقق:** عند التقاء موجتين من النوع نفسه، متساويتين في الطول الموجي والتردد في نقطة واحدة، ما شروط الحصول على إزاحة محصلة مقدارها يساوي صفراً (تداخل هدام تام)؟

بعد أن تتساوى الموجتان المتداخلتان في الطول الموجي والتردد، فإنه لكي يحدث تداخل بناء بينهما يجب أن تكونا متفقتين في الطور؛ أي تلتقي قمة مع قمة وقاع مع قاع.

منصة أساس التعليمية

الموجات الموقوفة **Standing waves** هي أنماط موجية ثابتة الأشكال تنتج عن تراكب موجتين متساويتين في التردد والطول الموجي والسعة، تنتقلان في اتجاهين متعاكسين في الوسط نفسه

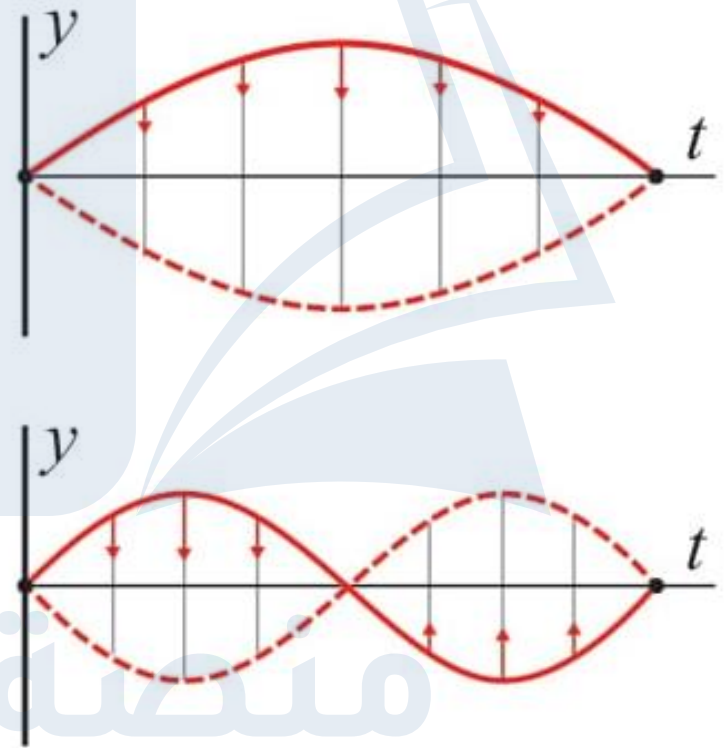
لا تنقل الطاقة، بل تبقى بين طرفي الوسط، ويلزم تزويدها بمصدر مستمر للطاقة لتعويض الطاقة المفقودة.

وهي ظاهرة تحدث في الموجات المستعرضة والموجات الطولية.

# الموجات الموقوفة والرنين

الموجات الموقوفة

الموجات الموقوفة في وتر



أساس التعليم

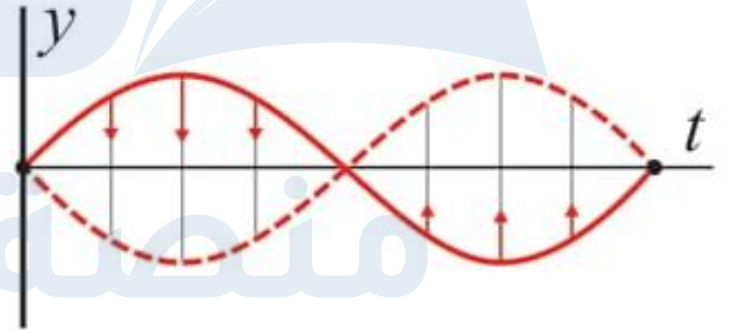


# الموجات الموقوفة والرنين

## الموجات الموقوفة

### الموجات الموقوفة في وتر

وينتج عن التقاء موجتين تنتشران باتجاهين متعاكسين، ظهور نقاط في الوتر تُسمى عقدًا وأخرى تُسمى بطونًا. والعقدة **Node** هي نقطة تكون الإزاحة المحصّلة عندها صفرًا والبطن **Antinode** هو نقطة تكون الإزاحة المحصّلة عندها عظمى.



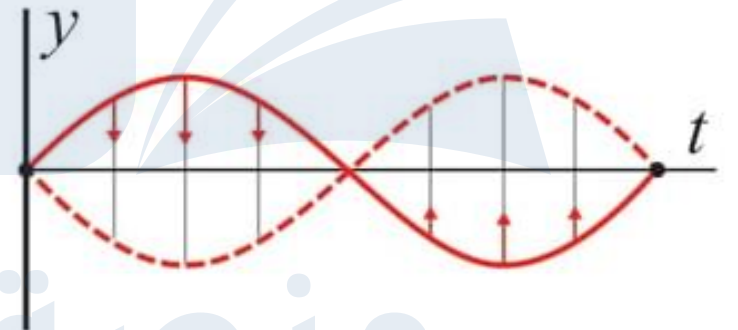
أساس التعليمية

# الموجات الموقوفة والرنين

## الموجات الموقوفة

### الموجات الموقوفة في وتر

سُميت الموجة الموقوفة بهذا الاسم؛ لأنها لا تتقدّم، فاهتزازها ناتج عن اهتزاز أجزاء الوتر بسعة تتغير من الصفر في مناطق العُقد إلى قيمتها العظمى ( $A$ ) في مناطق البطون.



منصة أساس التعليمية

## الموجات الموقوفة والرنين

✓ **أتحقق:** أوضح المقصود بكلّ من العقد والبطون في الموجات الموقوفة.

العقدة منطقة تكون الإزاحة المحصلة عندها صفراً في جميع الأوقات، والبطن منطقة تكون الإزاحة المحصلة فيها عظمى عند جميع الأوقات.

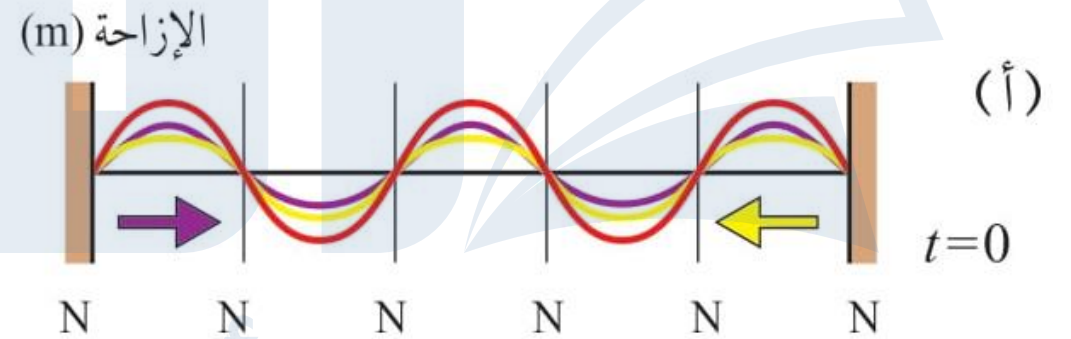
منصة أساس التعليمية

# الموجات الموقوفة والرنين

## الموجات الموقوفة في وتر

الشكل (21): منحنى (الإزاحة - الزمن)  
لموجتين متراكبتين والموجة الموقوفة  
النتيجة، عند لحظات زمنية مختلفة.

• مشهد (أ): عند اللحظة الزمنية ( $t = 0$ ) في بداية الحركة الموجية، حيث الفرق في الطور بين الموجتين يساوي صفرًا يظهر فيها التقاء القمم مع القمم والقيعان مع القيعان فتنتج عنها البطون، ويتضح تكوّن العقد ( $N$ ) التي لا يحدث عندها اهتزاز في الموجة الموقوفة الناتجة.

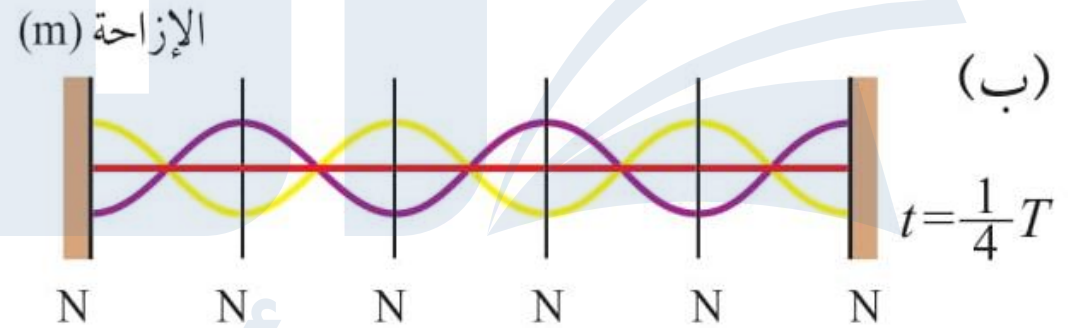


## الموجات الموقوفة والرنين

### الموجات الموقوفة في وتر

الشكل (21): منحنى (الإزاحة - الزمن)  
لموجتين متراكبتين والموجة الموقوفة  
الناتجة، عند لحظات زمنية مختلفة.

• مشهد (ب): عند اللحظة الزمنية  $(t = \frac{1}{4}T)$ ، تقدّمت  
كلّ موجة بمقدار  $(\frac{1}{4}\lambda)$  فأصبح فرق الطور بينهما  
يساوي  $\pi$ ، وتلتقي القمم مع القيعان فتعدم الإزاحة في  
كلّ أجزاء الوتر وتظهر على شكل خط مستقيم.



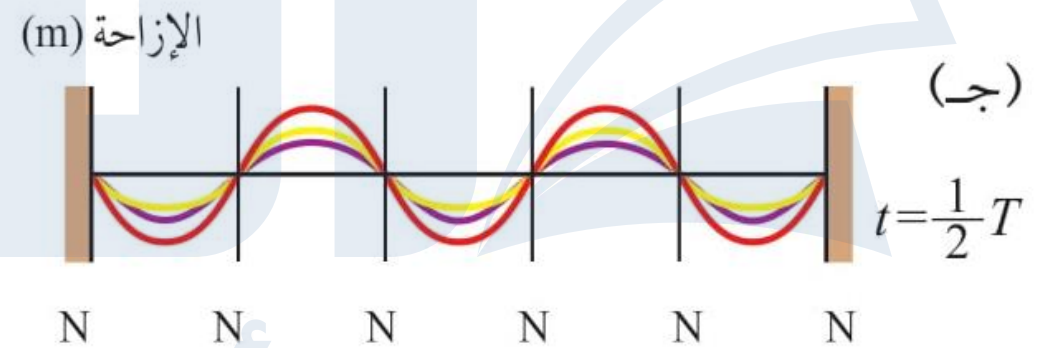


# الموجات الموقوفة والرنين

## الموجات الموقوفة في وتر

الشكل (21): منحنى (الإزاحة - الزمن)  
لموجتين متراكبتين والموجة الموقوفة  
النتيجة، عند لحظات زمنية مختلفة.

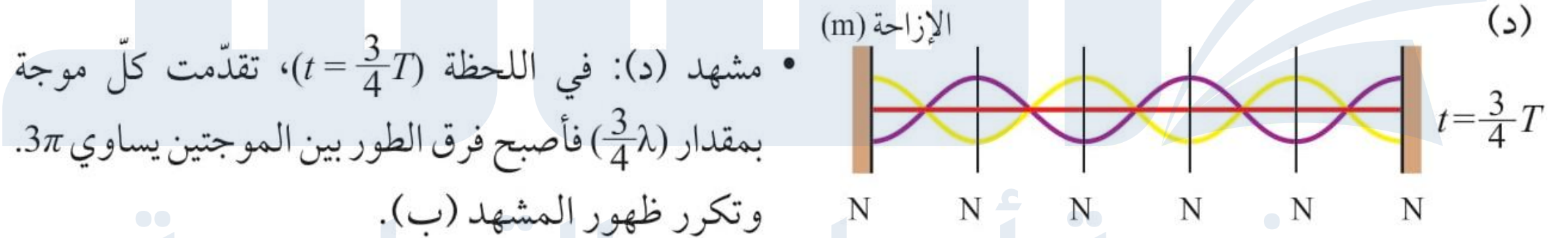
• مشهد (ج): في اللحظة الزمنية  $(t = \frac{1}{2}T)$ ، حيث  
تقدّمت كلّ موجة بمقدار  $(\frac{1}{2}\lambda)$  فأصبح فرق الطور بين  
الموجتين يساوي  $2\pi$ . تلتقي القمم مع القمم والقيعان  
مع القيعان فنتج عنها البطون، ويتّضح تكوّن العقد (N)  
التي تنعدم عندها الإزاحة في الموجة الموقوفة الناتجة.



## الموجات الموقوفة والرنين

### الموجات الموقوفة في وتر

الشكل (21): منحنى (الإزاحة - الزمن)  
لموجتين متراكبتين والموجة الموقوفة  
النتيجة، عند لحظات زمنية مختلفة.

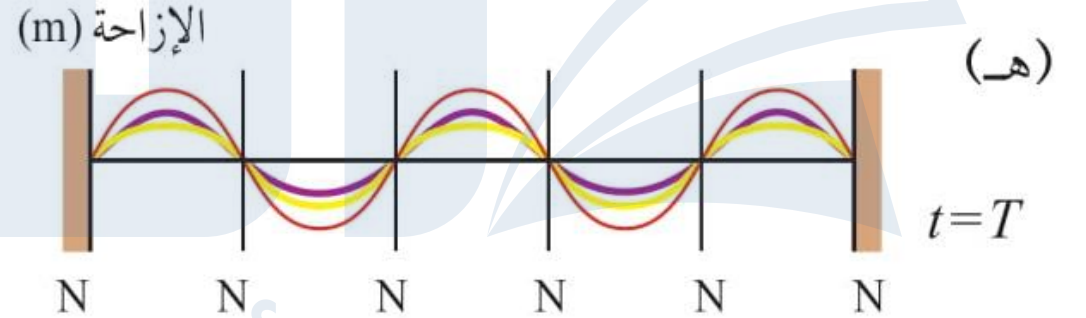


# الموجات الموقوفة والرنين

## الموجات الموقوفة في وتر

الشكل (21): منحنى (الإزاحة - الزمن)  
لموجتين متراكبتين والموجة الموقوفة  
النتيجة، عند لحظات زمنية مختلفة.

مشهد (هـ): في اللحظة ( $t = T$ )، تقدّمت كلّ موجة مسافة بمقدار ( $\lambda$ )، فأصبح فرق الطور بين الموجتين يساوي  $4\pi$ . وتكرّر المشهد (أ) الذي حدث عند اللحظة ( $t = 0$ ).

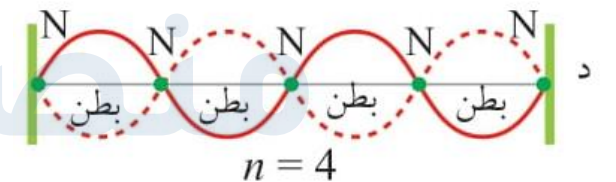
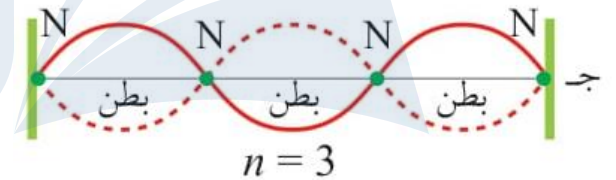
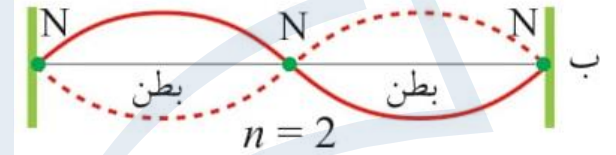
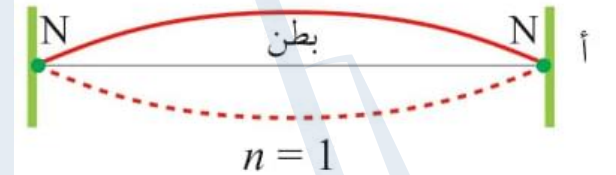


منصة أساس التعليمية

# الموجات الموقوفة والرنين

## التوافقات

نمط الموجات الموقوفة المتولدة في الوتر المشدود يتغير بتغير التردد

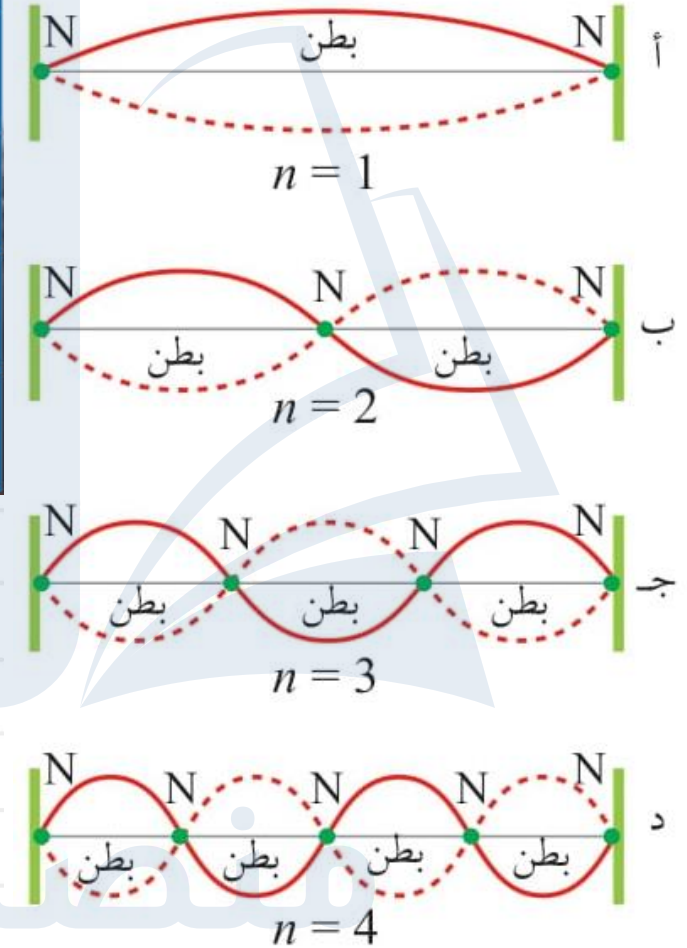


أساسية التعليم

# الموجات الموقوفة والرنين

## التوافقات

الشكل	التوافق	العُقد	الطول الموجي	التردد
أ	الأول	2	$\lambda = 2L$	$f = \frac{v}{2L}$
ب	الثاني	3	$2\lambda = 2L$	$f = \frac{2v}{2L}$
ج	الثالث	4	$3\lambda = 2L$	$f = \frac{3v}{2L}$
د	الرابع	5	$4\lambda = 2L$	$f = \frac{4v}{2L}$



أساس التعليمية





### الربط مع الموسيقى

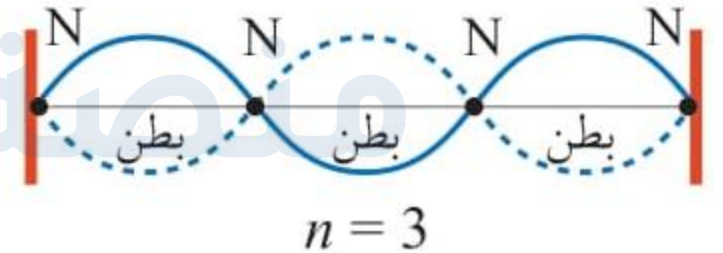
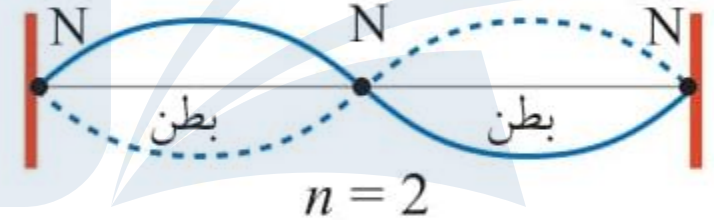
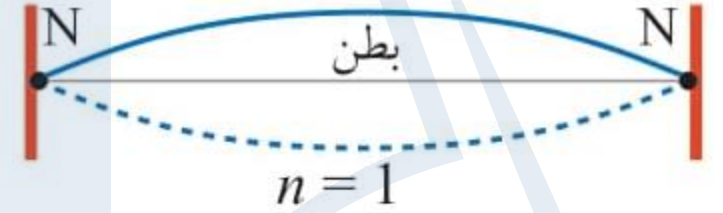


تُعزف آلة الكمان وآلة الربابة باستخدام قوس يحتوي على حزمة مشدودة من الشعر، تنزلق على أوتار الآلة؛ فتنشأ في الوتر موجات موقوفة. وعند وضع الأصبع على الوتر يُحدّد طول الوتر والطول الموجي فيصبح قصيراً، وتنتج نغمة عالية الدرجة مقارنة مع نغمة الوتر الكامل.

# الموجات الموقوفة والرنين

## المثال 5

أقل تردد يمكن توليده في وتر قيثارة (196 Hz). أحسب الترددات التالية اللذين يمكن توليدهما في الوتر، مع ثبات العوامل الأخرى.

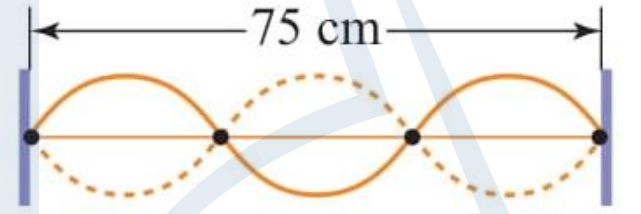


أساس التعليمية

## الموجات الموقوفة والرنين

### المثال 6

- يُبين الشكل (24) موجات موقوفة في وتر طوله (75 cm)، وتردد الموجات يساوي (18 Hz). أحسب كلاً من:
- أ. الطول الموجي.
  - ب. سرعة الموجة في الوتر.



## الموجات الموقوفة والرنين

✓ **أتحقق:** وتر طوله (0.8 m) تولدت فيه موجات موقوفة طولها الموجي ( $\lambda = 0.4 \text{ m}$ )، فهل تُمثّل النقطة ( $x = 0.7 \text{ m}$ ) عقدة أم بطن؟ أوضّح إجابتي.

عندما يكون الطول الموجي ( $\lambda = 0.4 \text{ m}$ )، فإن العقد ستكون عن نهاية كل موجة ومنتصفها، أي عند النقاط التالية:  $x = 0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 \text{ m}$ ، وبين كل نقطتين منها سيكون بطن، أي أن النقطة ( $x = 0.7 \text{ m}$ ) هي بطن.

منصة أساسس التعليمية

الموجات الموقوفة والرنين

الموجات الموقوفة في الأعمدة الهوائية

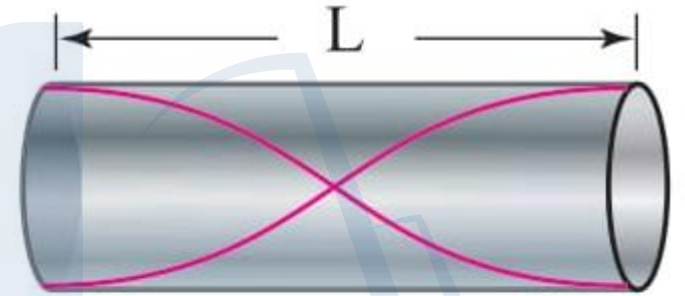


منصة أساس التعليمية



# الموجات الموقوفة والرنين

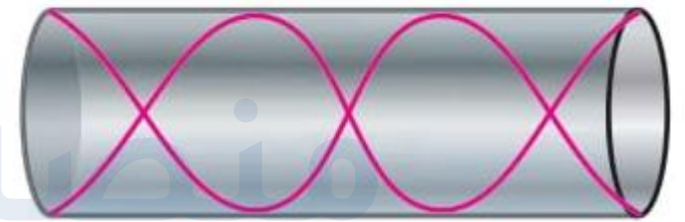
الأعمدة الهوائية المفتوحة



التوافق الأول  $n = 1$



التوافق الثاني  $n = 2$

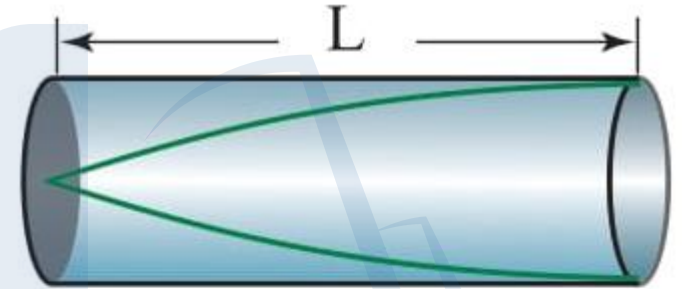


التوافق الثالث  $n = 3$

أساس التعليمية

# الموجات الموقوفة والرنين

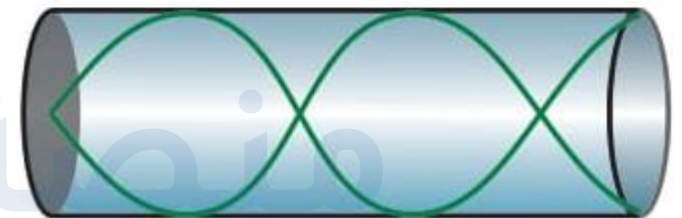
## الأعمدة الهوائية المغلقة



التوافق الأول  $n = 1$



التوافق الثاني  $n = 3$



التوافق الثالث  $n = 5$

أساس التعليمية

## المثال 7

أجرت حنين تجربة لقياس طول موجة الصوت المتولّدة في عمود هواء مغلق النهاية، طوله (62.5 cm). إذا كان أقلّ تردّد (136 Hz)، فأحسب كلّاً من:

- الطول الموجي.
- سرعة الموجة في الهواء داخل الأنبوب.
- التردّد التالي.

أُقارن بين الموجات الصوتية الموقوفة المتولّدة في التوافق الأول في عمودَي هواء طول كلّ منهما (90 cm)؛ الأول مفتوح النهاية والثاني مغلق النهاية، علماً بأنّ سرعة الصوت في الهواء (340 m/s)؛ من حيث:

أ. الطول الموجي.

ب. التردد.

## مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** أوضح المقصود بالموجات الموقوفة، ثم أذكر شروط تكونها في وتر مشدود، وأبين أهميّة وجود قوّة خارجية دورية تؤثر في هذا الوتر، تتفق مع الوتر في ترددها.

الموجات الموقوفة: أنماطاً اهتزازية ثابتة الأشكال تنتج عن تراكب موجتين متساويتين في التردد والطول الموجي والسعة، تنتقلان في اتجاهين متعاكسين في الوسط نفسه.

شرط حدوثها: حدوث تراكب بين موجتين متساويتين في التردد والسعة والطول الموجي تنتقلان باتجاهين متعاكسين في الوسط نفسه.

أهمية تزويدها بالطاقة: لتعويض الطاقة المفقودة بسبب القوى المعيقة للاهتزاز مثل الاحتكاك.



## مراجعة الدرس

2. **أُقارن** بين أنماط التوافقات المختلفة للموجات الموقوفة التي تنشأ في الأعمدة الهوائية المفتوحة، وتلك التي تنشأ في الأعمدة الهوائية المغلقة.

في الأعمدة الهوائية المفتوحة (مفتوحة البداية ومفتوحة النهاية) تكون سعة الاهتزاز عظمى عند الطرفين، بينما في الأعمدة الهوائية المغلقة (مفتوحة البداية ومغلقة النهاية) تكون سعة الاهتزاز عظمى عن البداية وصفرًا عند النهاية المغلقة.

في الأعمدة الهوائية المفتوحة تتكون جميع التوافقات ( $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ )، بينما في الأعمدة الهوائية المغلقة تتكون التوافقات الفردية فقط ( $n = 1, 3, 5, \dots$ ).

## مراجعة الدرس



3. **أفسر:** ما أهميّة تغيير طول الوتر عند العزف على آلة موسيقية وترية مثل العود؟ وما أهميّة وجود تجويف هوائي بحجم مناسب لهذه الآلة، كما في الشكل؟

تغيير طول الوتر عند العزف على آلة وترية مثل العود، يؤدي إلى تغيير الترددات التوافقية بذلك يمكن الحصول على نغمات بدرجات مختلفة. اما التجويف الهوائي فيساعد على حدوث رنين عند التردد الطبيعي للوتر، مما يضخم الصوت.

## مراجعة الدرس

4. ما الإجراء الذي يتّبعه المهندسون عند تصميم المباني المرتفعة والجسور وغيرها؛ للحدّ من تزايد اهتزازها ووصولها إلى سعة اهتزاز كبيرة تُشكّل خطرًا على المبنى أو الجسر.

يُحدث المهندسون تغييرات في الشكل الخارجي للبناء أو الحبال التي تشدّ الجسور المعلقة، حتى لا يكون التردد الطبيعي لها متفق مع التردد الطبيعي القوى الخارجية المؤثرة في الجسر.

## مراجعة الدرس

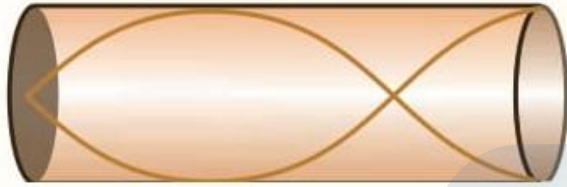
5. **أحلّ:** يهتز وتر مشدود محدثاً موجات موقوفة فيه، مشكّلة (3) عقد وبطنين. أعبّر عن الطول الموجي والتردد بدلالة كلّ من طول الوتر وسرعة الموجة.

## مراجعة الدرس

6. **أستعمل المتغيرات:** إذا كان تردد التوافق الثاني الذي يمكن توليده في وتر قيثارة هو (392 Hz). فأحسب الترددات الأولى والثالث اللذين يمكن توليدهما في الوتر نفسه مع ثبات بقية العوامل الأخرى.



## مراجعة الدرس



7. **أحسب:** يُبين الشكل رسمًا بيانيًا لموجات موقوفة في عمود هواء مغلق النهاية طوله (0.6 m). إذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء (340 m/s)، فأحسب كلاً من:
- أ. الطول الموجي.
  - ب. تردد الموجات الموقوفة.



اغرس اليوم شجرة  
تنم في ظلها غداً

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

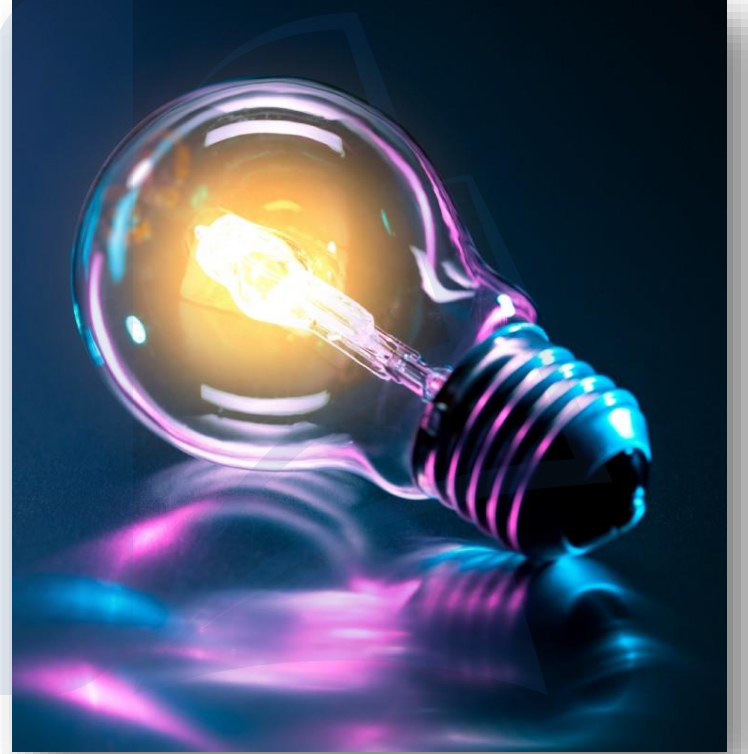
الموجات  
وخصائصها

التداخل  
والحيود  
لموجات  
الضوء

منصة أساس التعلّيمية

التداخل والحيود لموجات الضوء

طبيعة الضوء



منصة أساس التعليمية

التداخل والحيود لموجات الضوء

تداخل موجات الضوء

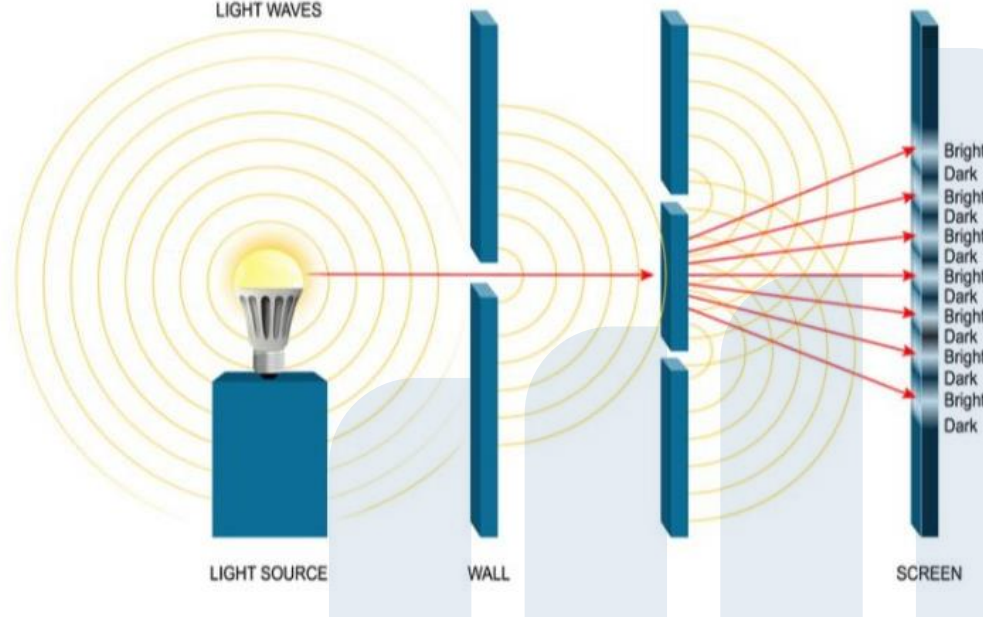


منصة أساسس التعليمية



# التداخل والحيود لموجات الضوء

## تداخل موجات الضوء



كي يظهر نمط تداخل منتظم يمكن ملاحظته في موجات الضوء، لا بدّ من أن تكون موجات المصدرين الضوئيين متناغمة (متجانسة)، والتناغم **Coherence** يتطلّب تحقيق ما يأتي:

- أن يكون كلّ مصدر من مصدري الضوء أحادي اللون Monochromatic، أي إنّ موجاته لها طول موجي واحد.
- أن تتساوى موجات المصدرين في ترددها، أو طولها الموجي.
- أن تحافظ موجات المصدرين على فرق ثابت في الطور بينها.

التعليمية

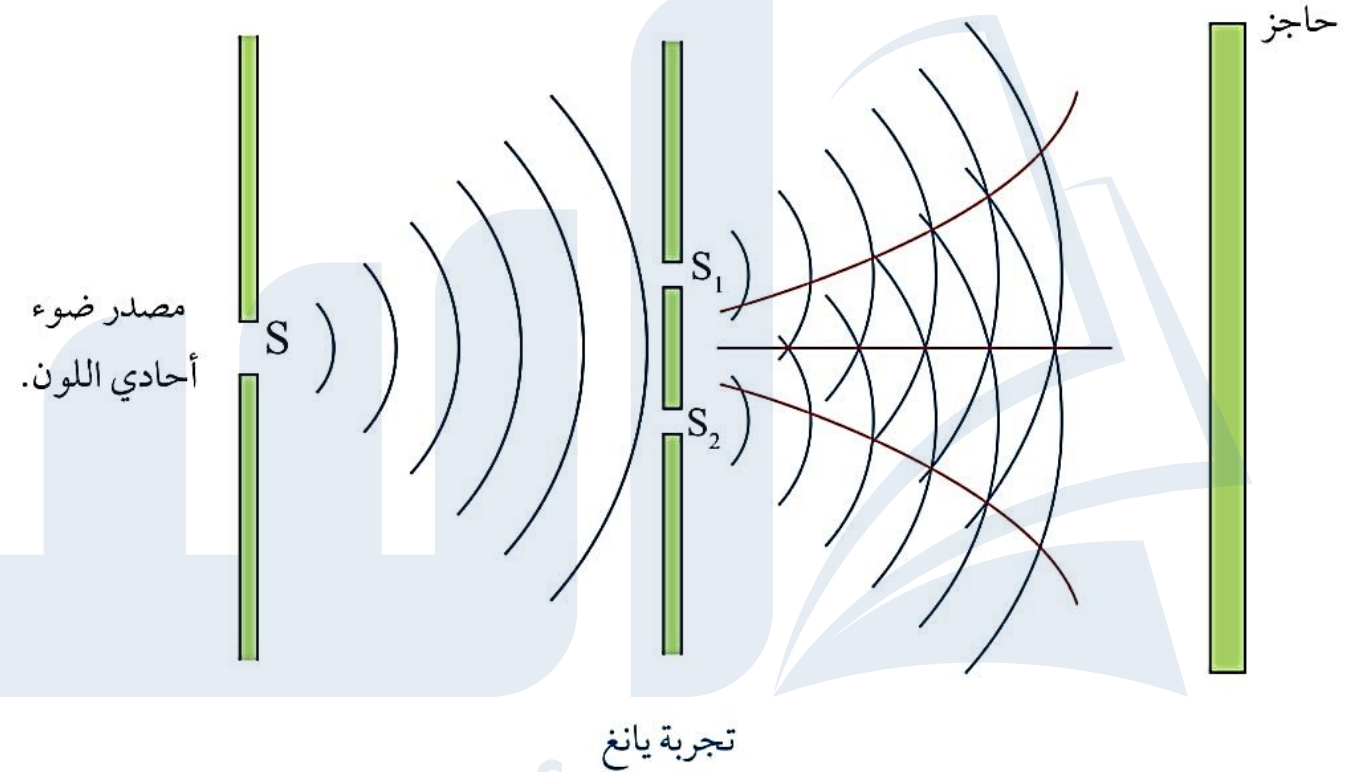
## التداخل والحيود لموجات الضوء

✓ **أتحقق:** هل يكون مصدران ضوئيان أحدهما أخضر والثاني أحمر متناغمين أم لا؟ أوضّح إجابتي.

لا يكون المصدران الضوئيان الأحمر والأخضر متناغمان، لأنهما مختلفان في الطول الموجي، بينما التناغم يتطلب أن تتساوى موجات المصدرين في الطول الموجي.

منصة أساسس التعليمية

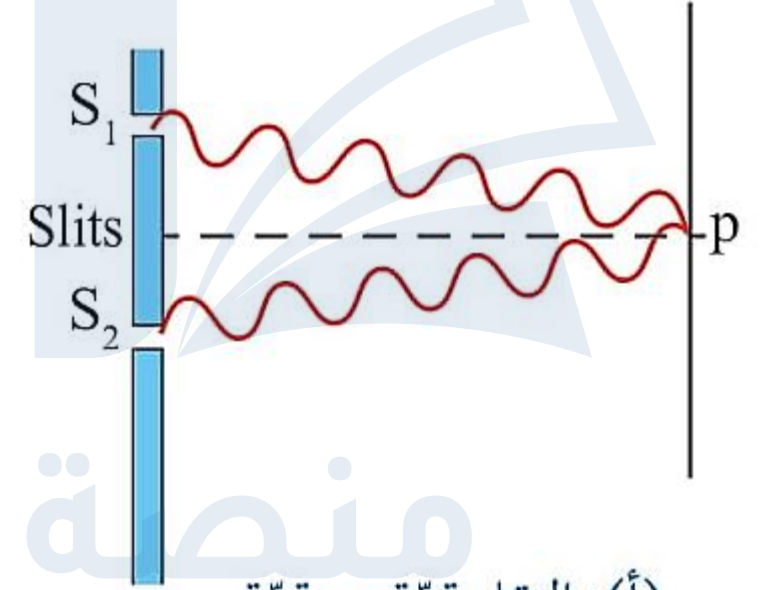
تداخل الشق المزدوج



# التداخل والحيود لموجات الضوء

## تداخل الشق المزدوج

1. يتكوّن عند النقطة P في الشكل (أ/30) هدب مضيء ناتج عن تداخل بناء لشعاعين متّفقين في الطور، لأنّهما قطعاً مسافة متساوية، ويُسمّى الهدب المركزي.



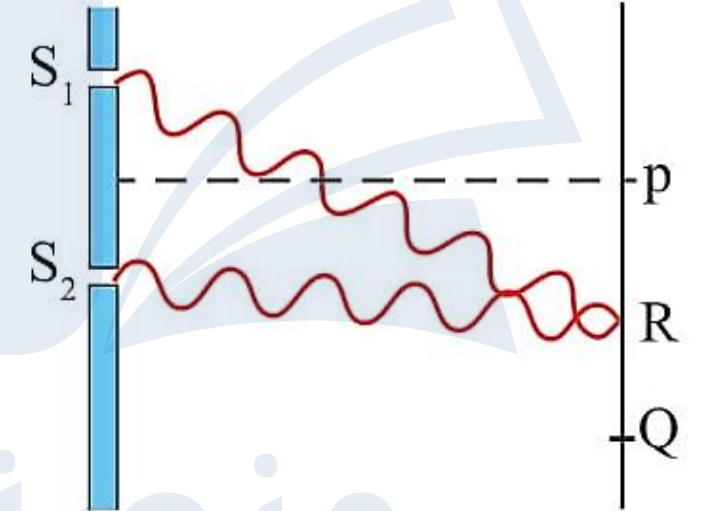
(أ): التقاء قمة مع قمة.

منصة أساس التعليمية

## التداخل والحيود لموجات الضوء

### تداخل الشق المزدوج

2. يتكوّن عند النقطة R في الشكل (30/ب) هدب معتم ناتج عن تداخل هدام لشعاعين الفرق في الطور بينهما يساوي  $\pi$  لأنّ فرق المسار بينهما  $(\frac{1}{2}\lambda)$ .



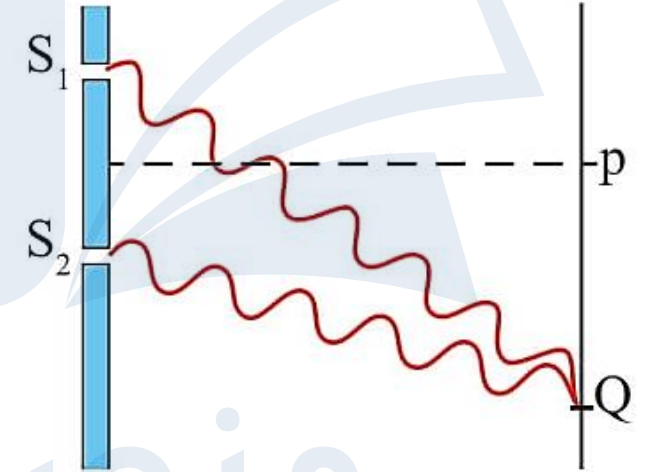
(ب): التقاء قمة مع قاع.



## التداخل والحيود لموجات الضوء

### تداخل الشق المزدوج

3. يتكوّن عند النقطة Q في الشكل (30/ج) هدب مضيء ناتج عن تداخل بناء لشعاعين متّفقين في الطور؛ لأنّ فرق المسار بينهما موجة كاملة ( $\lambda$ ).



(ج): التقاء قمة مع قمة.

منصة أساس التعليمية

## تداخل الشق المزدوج

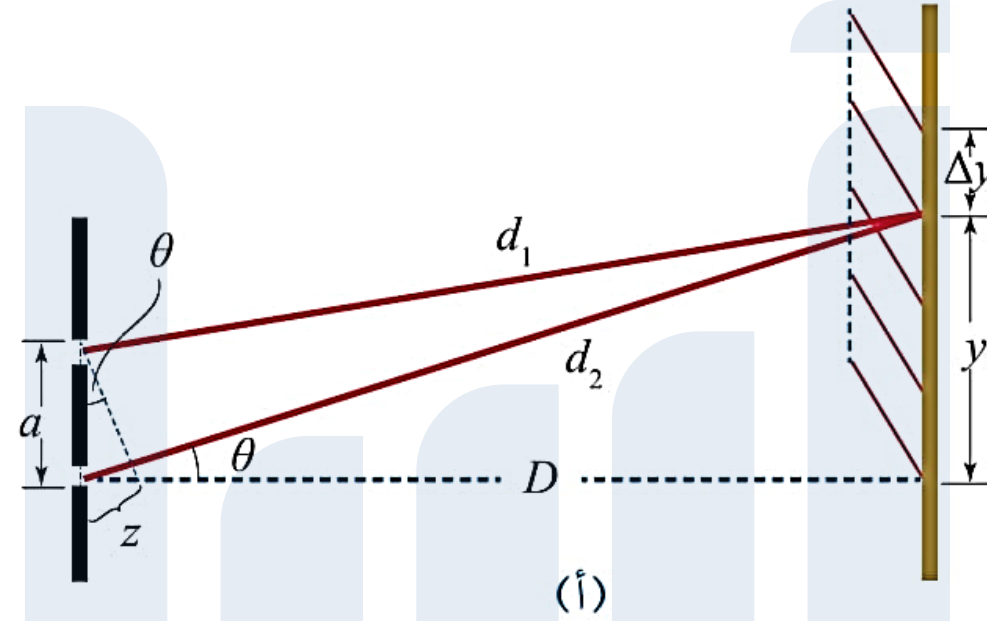
4. تتكوّن الأهداب المضيئة والمعتمة على جانبي الهدب المركزي، وتكون متماثلة، وتفصلها مسافات متساوية، ويمكن الاطلاع

عليها في الجدول (4) الآتي:

الهدب	$n$	فرق المسار	الفرق في الطور بين الشعاعين
المضيء المركزي	0	صفر	0
المعتم الأول		$\frac{\lambda}{2}$	$\pi$
المضيء الأول	1	$\lambda$	0
المعتم الثاني		$\frac{3\lambda}{2}$	$\pi$
المضيء الثاني	2	$2\lambda$	0

# التداخل والحيود لموجات الضوء

## تداخل الشق المزدوج



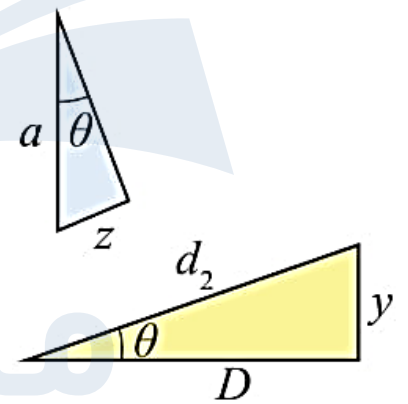
الشكل (31):

(أ): مسارات الأشعة المتداخلة،

وتكوّن الأهداب المضيئة الناتجة

من التداخل على الحاجز.

(ب): تشابه المثلثات.



(ب)

منصة أساس التعليم

## التداخل والحيود لموجات الضوء

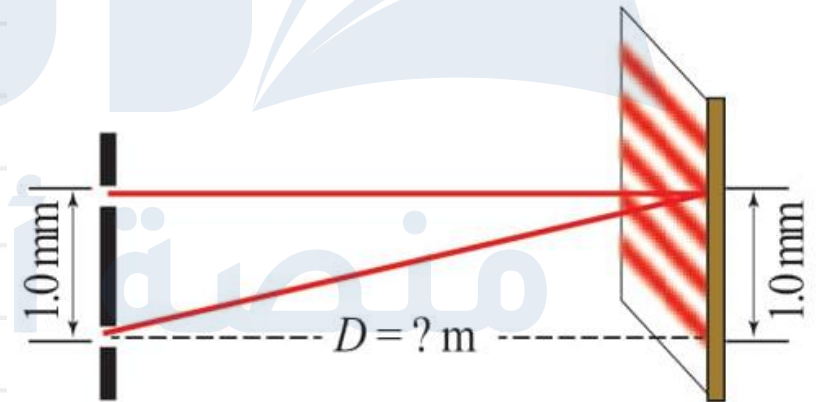
✓ **أتحقق:** تخرج الأشعة الضوئية جميعها من الشقين وهي متفقة في الطور. ما الذي يؤدي إلى حدوث تداخل هدام، تنتج عنه أهداب معتمدة على الحاجز؟

عندما تخرج موجتان متناغمتان من شقين، تكون الموجتان متساويتان في الطور، لكن عند نقطة التقائهما يختلف طول المسار الذي تقطعه كل موجة، وهذا الاختلاف يؤدي إلى تداخل بناء أو هدام.

منصة أساس التعليم

## المثال 8

أ. ما مقدار المسافة بين الحاجز والشقين؟  
ب. عند إبعاد الحاجز إلى مثلي المسافة السابقة،  
المسافة بين هذين مضيئين متتاليين؟





## المثال 9



أُجريت تجربة يانغ لقياس الطول الموجي لضوء ليزر أخضر، كما في الشكل (33). كانت المسافة بين الشقين (1.3 mm)، ووضع الحاجز على بعد (94.5 cm) منهما، وعند قياس المسافة بين الهدبين المضيئين الأول والثاني كانت (0.4 mm). أحسب مقدار الطول الموجي للضوء الأخضر؟

## التداخل في الأغشية الرقيقة

نشاهد أنماط تداخل موجات الضوء في الأغشية الرقيقة، مثل طبقة رقيقة من الزيت أو أحد المشتقات النفطية على سطح الماء، أو غشاء فقاعة الصابون. فعندما يسقط ضوء أبيض على هذه الأغشية، نلاحظ ألواناً مختلفة، كما في الشكل (34)، تنتج عن تداخل الموجات المنعكسة عن طبقتي الغشاء الداخلية والخارجية.



الشكل (34): تداخل موجات الضوء المنعكس عن غشاء فقاعة الصابون.

## التداخل في الأغشية الرقيقة

للتعرّف إلى ما يحدث عند انعكاس شعاع ضوئي عن سطح الغشاء الرقيق، يجب أن نتذكّر حالات انتقال الموجة الميكانيكية بين حبلين أحدهما رفيع والآخر غليظ، وما حدث للجزء المنعكس منها في كلّ حالة، والتي نلخصها في الحقائق الآتية:

- عند سقوط موجة على الحد الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين، إذا كان معامل انكسار الوسط الثاني أكبر من معامل انكسار الوسط الأول؛ فإنّ الجزء المنعكس من الموجة يكون مقلوباً (يحدث له تغيير في الطور مقداره  $180^\circ$ ).



الشكل (34): تداخل موجات الضوء المنعكس عن غشاء فقاعة الصابون.



## التداخل في الأغشية الرقيقة

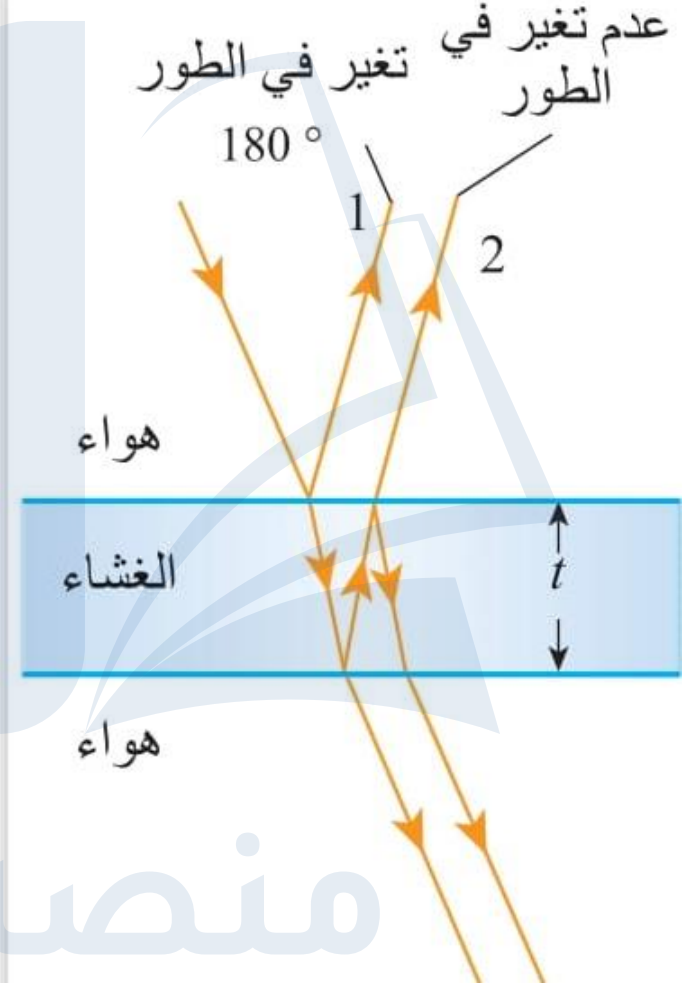
- عند سقوط موجة على الحد الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين، إذا كان معامل انكسار الوسط الثاني أقل من معامل انكسار الوسط الأول؛ فلا يحدث تغيير في الطور عند انعكاس الموجة.
- يقلّ الطول الموجي للضوء عند دخوله وسط معامل انكساره ( $n$ ) ليصبح:  $(\lambda_n = \frac{\lambda}{n})$ ، حيث ( $\lambda$ ) الطول الموجي للضوء في الهواء.



الشكل (34): تداخل موجات الضوء المنعكس عن غشاء فقاعة الصابون.

## التداخل في الأغشية الرقيقة

ليكن لديّ غشاء فقاعة صابون منتظم السمك، سُمكه ( $t$ ) ومعامل انكسار مادته ( $n$ ). أفترضُ سقوط الأشعة من الهواء بصورة عمودية تقريبًا على الغشاء، كما يُبين الشكل (35). ينعكس الشعاع مرّتين: الأولى عند الوجه العلوي؛ إذ ينعكس الشعاع 1 مع حدوث فرق طور  $180^\circ$ ، والثانية عند الوجه السفلي؛ إذ ينعكس الشعاع 2 دون تغيير في الطور، وينفذ الشعاعان 3, 4 داخل الفقاعة.

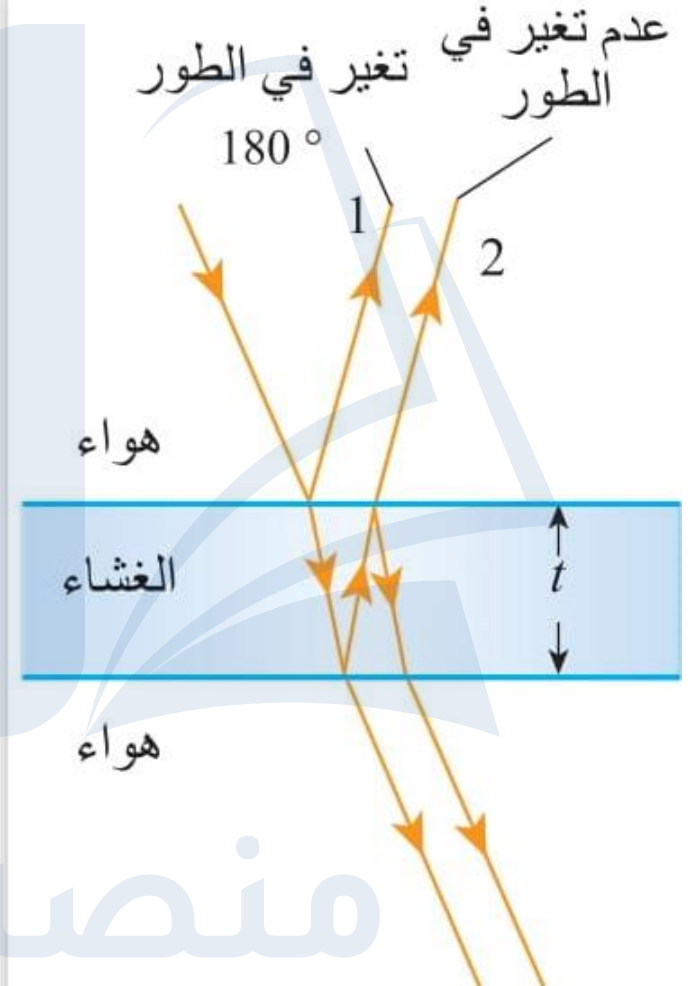




## التداخل والحيود لموجات الضوء

### التداخل في الأغشية الرقيقة

نتج عن الانعكاس فرق طور  $180^\circ$  بين الشعاعين 1, 2، وهذا يعادل فرق مسار مقداره  $\frac{\lambda_n}{2}$ . لكن الشعاع الثاني 2 قطع مسافة إضافية داخل الغشاء تساوي  $2t$ ، وبما أن سقوط الأشعة عمودي تقريباً على الغشاء، وإذا كان سُمك الغشاء يساوي ربع طول موجي؛ فإن المسافة الإضافية  $2t$  تُحدث فرق مسار  $2t = \frac{\lambda_n}{2}$ ، فيعود الشعاع 2 متفقاً في الطور مع الشعاع 1 ويكون التداخل بينهما بناءً.



منصة أساس التعليمية

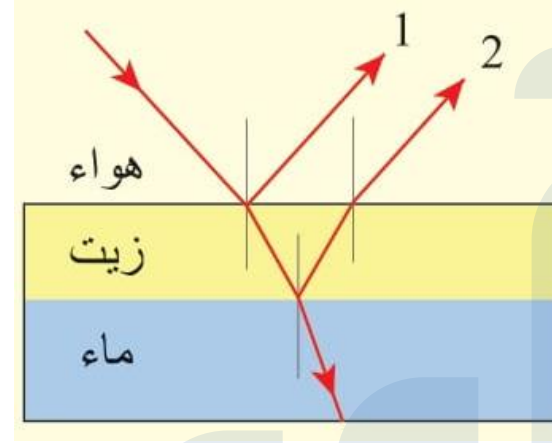
## التداخل في الأغشية الرقيقة

طلاء عدسات آلات التصوير: تُطلى عدسات آلات التصوير بطبقة رقيقة من مادة شفافة لها معامل انكسار أقل من معامل انكسار الزجاج العدسة، ويكون سُمك هذه الطبقة بمقدار ربع طول موجي، فينتج عن ذلك أن تتداخل الأشعة المنعكسة عن وجهي الطلاء الخارجي والداخلي تداخلاً هداماً، ما يُقلّل انعكاس الضوء عن العدسة بنسبة كبيرة جداً، وهذا يزيد من كمية الضوء التي تعبر العدسة ويحسن كفاءة التصوير. عند تحديد سُمك طبقة الطلاء تكون المقارنة مع متوسط الأطوال الموجية للضوء المرئي، ما يجعل بعض الأشعة التي تقع في طرفي الطيف المرئي تنعكس عن الطلاء. ألاحظ انعكاس اللون البنفسجي عن العدسة في الشكل (36).



الشكل (36): عدسة آلة تصوير مطلية بطبقة رقيقة مانعة للانعكاس.

## التداخل والحيود لموجات الضوء



**أفكر:** عند سقوط ضوء من الهواء على غشاء رقيق من الزيت يطفو فوق سطح الماء، وانعكاس الشعاع مرتين؛ الأولى 1 عن السطح الفاصل بين الهواء والزيت، والثانية 2 عن السطح الفاصل بين الزيت والماء. إذا علمت أن معامل انكسار الماء أكبر منه للزيت، أصف ما يحدث من تغيّر في الطور بالنسبة إلى الشعاعين المنعكسين.

منصة أساس التعليمية

## التداخل والحيود لموجات الضوء

✓ **أتحقق:** لماذا يحدث فرق في الطور عند الانعكاس عن الوجه العلوي،

ولا يحدث عند الانعكاس عن الوجه السفلي لغشاء الصابون؟

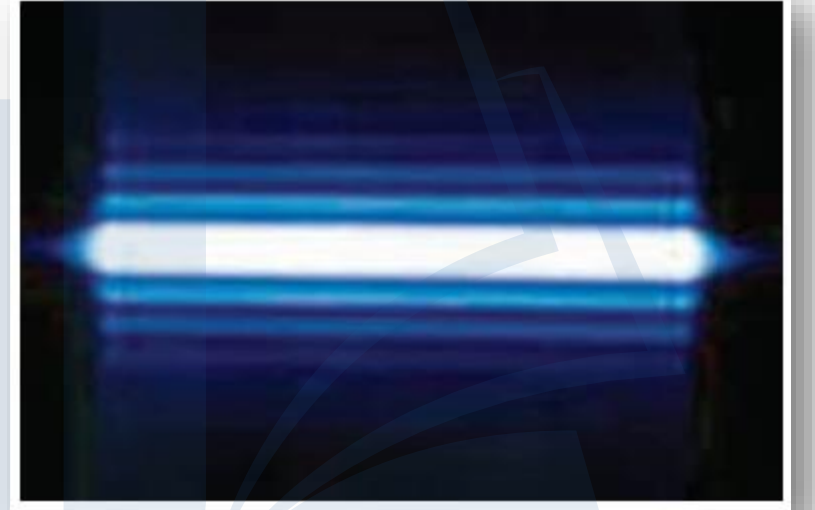
لأن سقوط الضوء على الحد الفاصل بين الهواء والصابون، كان من وسط معامل انكساره صغير (الهواء) إلى وسط معامل انكسار الوسط أكبر (الصابون)، لذلك كان الجزء المنعكس من الموجة مقلوبًا. أما على الوجه الداخلي لغشاء الفقاعة كان السقوط من وسط معامل انكساره كبير (الصابون) إلى وسط معامل انكساره أصغر (الهواء)، فلم تنعكس الموجة مقلوبة.

منصة أساس التعليمية

## حيود موجات الضوء

### الحيود عبر شق ضيق

عند مرور شعاع ضوئي من شق ضيق، ينتشر على جانبي الشق، وإذا أُتيح للضوء السقوط على حاجز بعيد مقابل للشق؛ فإنه يكون أهداباً مضيئة وأخرى معتمة، كما يُبين الشكل (37). تتكون هذه الأهداب نتيجة حدوث تداخل بناء وآخر هدام لأشعة الضوء المختلفة، التي نفذت خلال طرفي الشق الضيق. أي إن ظاهرة الحيود تؤدي إلى التقاء الموجات، ما يُسبب حدوث تداخل بينها.



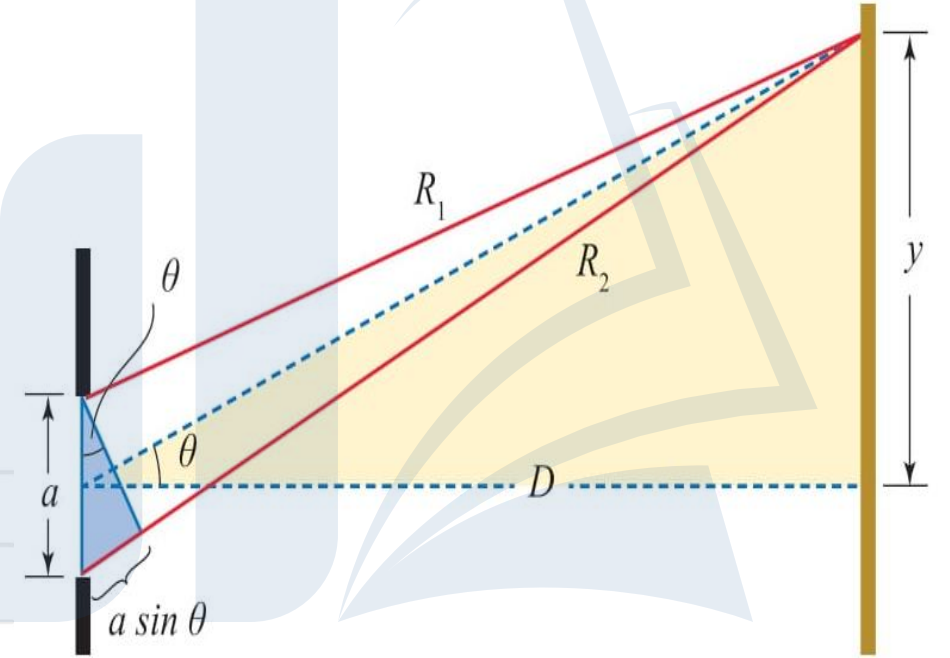


## التداخل والحيود لموجات الضوء

### حيود موجات الضوء

### الحيود عبر شق ضيق

أفترض شعاعين  $R_1, R_2$  يتجهان من طرفي الشق إلى نقطة على الحاجز يظهر عندها هدبًا معتمًا، وتبعد إلى الأعلى عن مركز الحاجز مسافة  $y$ ، والمسافة بين الشق والحاجز  $D$ ، كما يُبين الشكل (38). أعلم أن الموجات جميعها تغادر الشق وهي متفقة في الطور كونها ناتجة من المصدر نفسه. وهذا يعني أن تكون الهدب المعتم عند التقاء الشعاعين  $R_1, R_2$  ناتج عن قطع أحدهما مسافة أكبر من الثاني بفرق مسار مقداره  $\Delta d = \frac{\lambda}{2}$ ، أي إن:



منصة أساس التعليمية



# التداخل والحيود لموجات الضوء

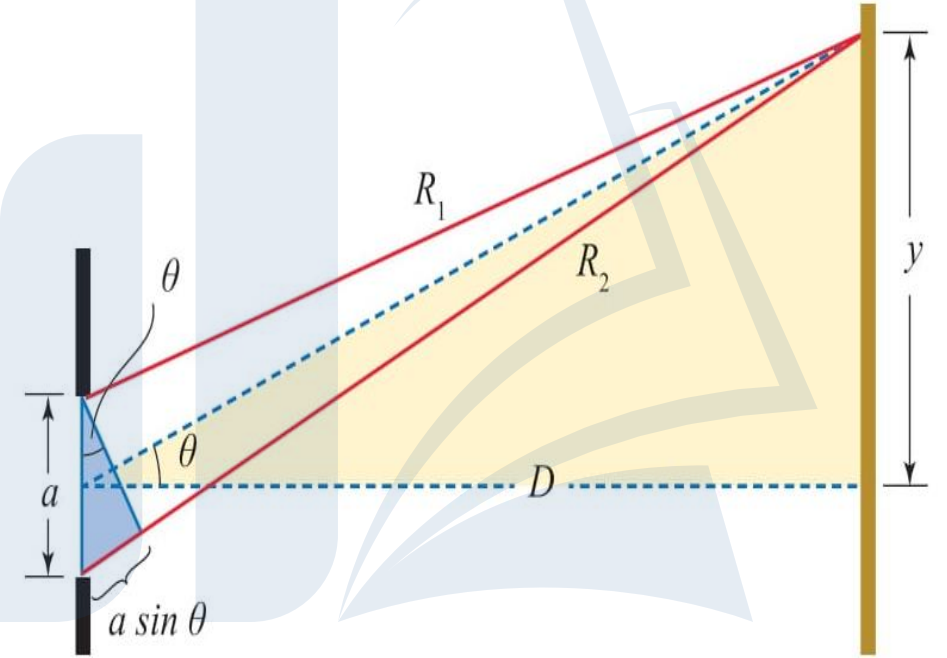
## حيود موجات الضوء

### الحيود عبر شق ضيق

عندما يتكوّن هدبٌ مضيء عند نقطة التقاء الشعاعين على الحاجز، فإنّ فرق المسار بينهما يكون بمقدار موجة كاملة أو مضاعفاتهما، أي إنّ:

$$a \sin \theta = n\lambda$$

حيث  $n$  عدد صحيح.



منصة أساسس التعليمية

أفكر:

• إذا كان الهدب المعتم الأول ينتج عن فرق مسار بين الشعاعين مقداره  $\frac{\lambda}{2}$ ، فما مقدار فرق المسار الذي ينتج عنه الهدب المعتم الثاني؟

• إذا كان الهدب المضىء الأول ينتج عن فرق مسار بين الشعاعين مقداره  $\lambda$ ، فما مقدار فرق المسار الذي ينتج عنه الهدب المضىء الثاني؟

## التداخل والحيود لموجات الضوء

✓ **أتحقق:** ما الفرق بين ظاهرتي التداخل والحيود؟

ظاهرة الحيود هي انحراف مسار الموجات عند نفاذها خلال شق اتساعه يكون قريباً من الطول الموجي، وكذلك انحراف الموجات عند مرورها قرب حافة حاز، أما ظاهرة التداخل فهي تراكم موجتين أو أكثر عند التقائهما في نقطة، وقد يكون التقاء الموجتين نتيجة حيودهما.

منصة أساسس التعليمية

## المثال 10

نفذ ضوء متناغم (متجانس) من شق صغير اتساعه  $16 \mu\text{m}$ ، فتكوّنت أهداب حيود على حاجز يبعد عن الشق مسافة  $2 \text{ m}$ ، إذا كان الهدب المعتم الأول يبعد لأعلى عن مركز الحاجز مسافة  $4 \text{ cm}$ ؛ فأحسبُ الطول الموجي للضوء.

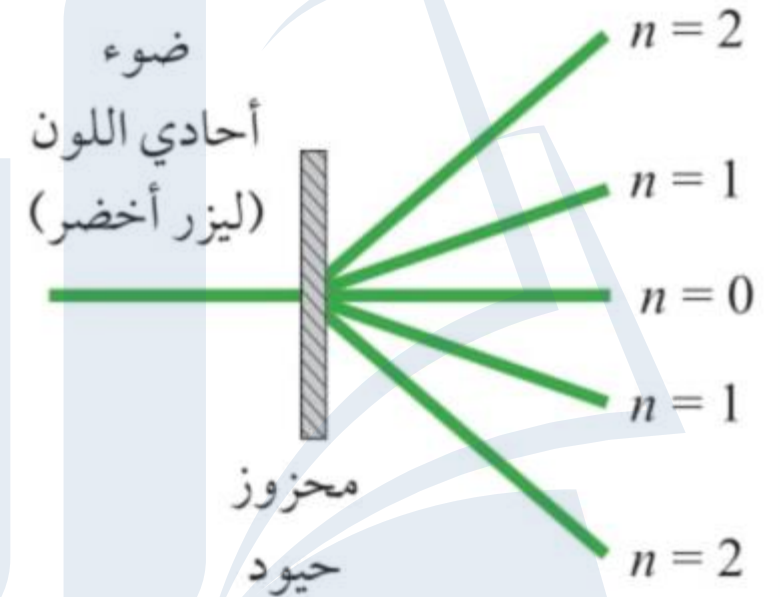
## محزوز الحيود

هي سلسلة من الشقوق المتوازية التي تفصلها مسافات متساوية يمرّ خلالها الضوء. وتُصنع من قطعة زجاجية أو بلاستيكية شفافة، تُرسم عليها خطوط سوداء رفيعة متوازية، تفصلها مسافات شفافة تُشكّل الشقوق، التي يصل عددها إلى 300 شقّ في الملمتر الواحد، كما يُبين الشكل (39/أ).



# التداخل والحيود لموجات الضوء

حيود ضوء أحادي اللون في محزوز الحيود



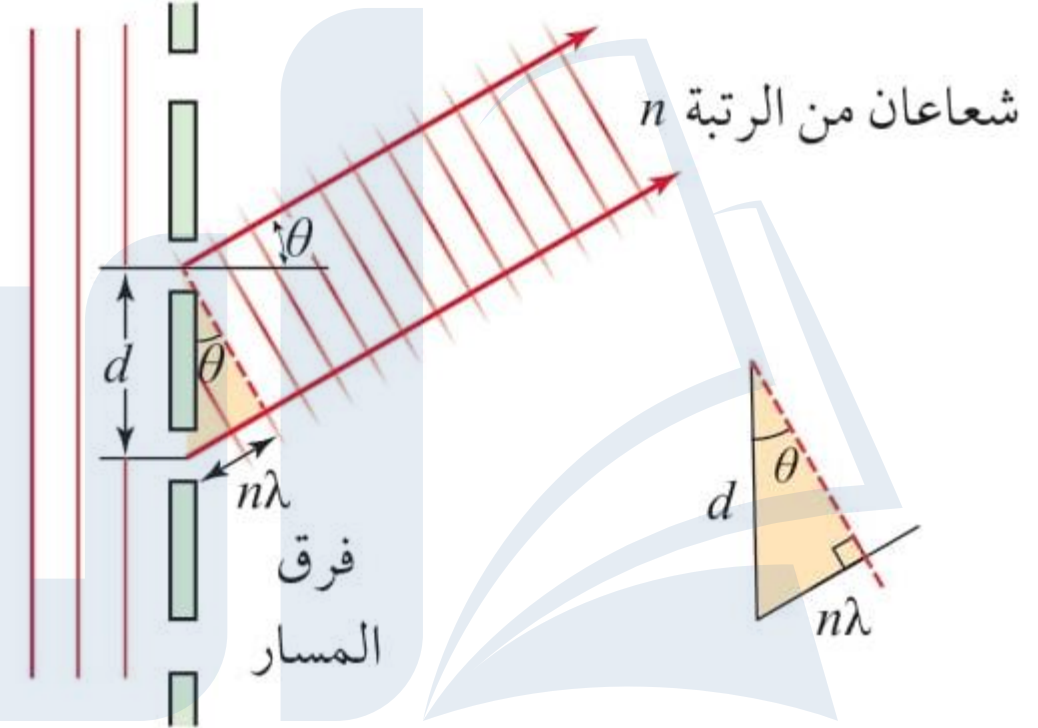
منصة أساس التعليمية



# التداخل والحيود لموجات الضوء

حيود ضوء أحادي اللون في محزوز الحيود

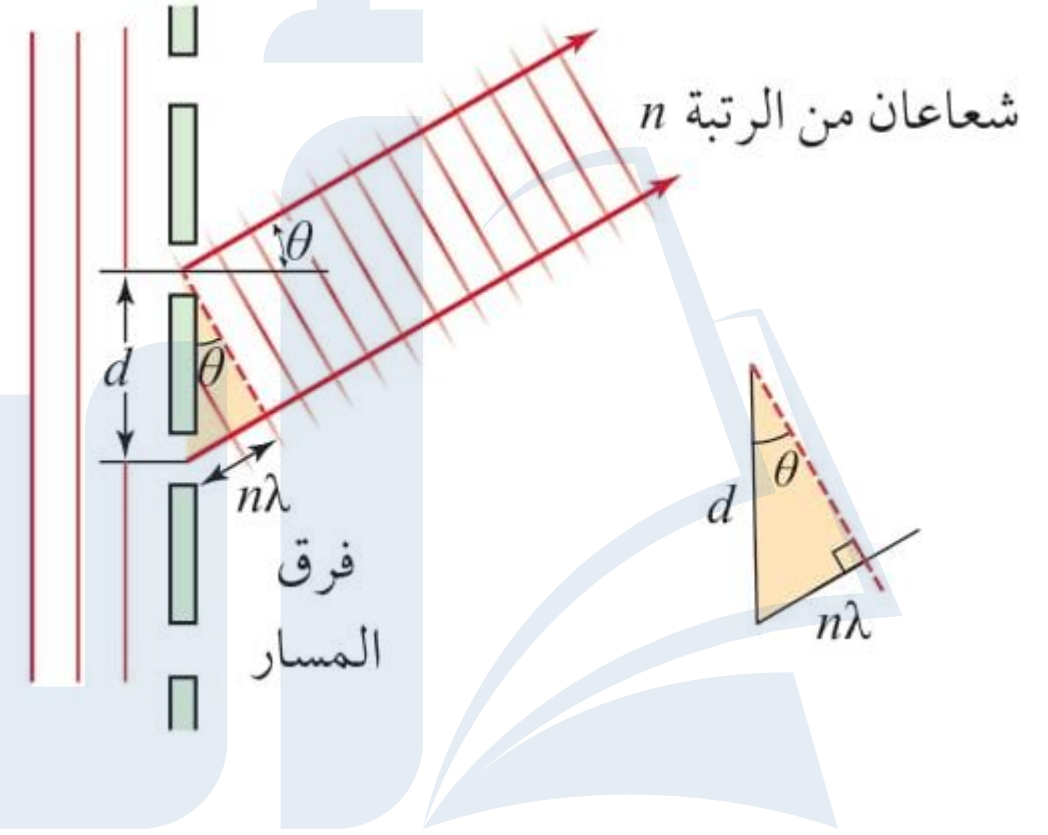
$$\sin \theta_n = \frac{n\lambda}{d}$$



منصة أساسس التعليمية

## التداخل والحيود لموجات الضوء

تُحسب المسافة بين الشقين من عدد الخطوط في وحدة الأطوال،  
الذي يكون مكتوباً على المحزوز. فمثلاً، المحزوز الذي يحتوي على  
300 خط في ملتر واحد، تكون فيه المسافة بين شقين:



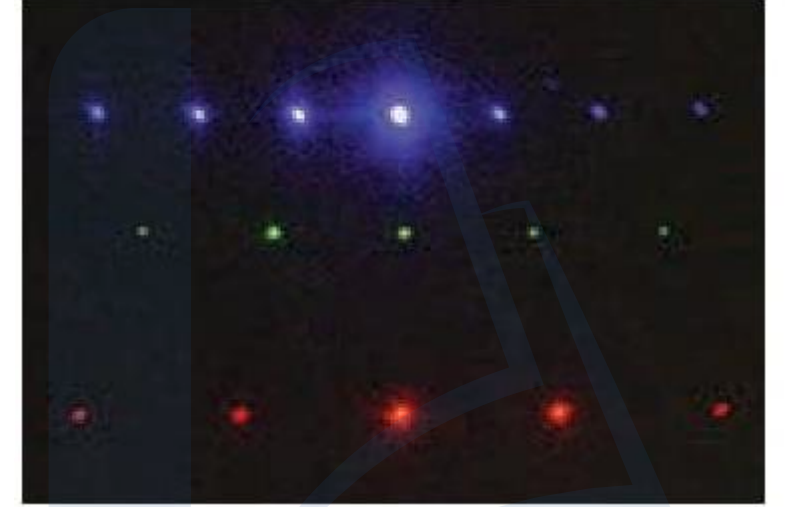
منصة أساس التعليمية

## المثال ١١

أجريت تجربة باستخدام محزوز حيود مكتوب عليه 450 خطاً في كل ملليمتر، وضوء طول موجته 650 nm. أحسب مقدار الزاوية التي يميل بها الهدب المضيء الأول.

## حيود الضوء الأبيض في محزوز الحيود

ألاحظ في الشكل أنّ الهدب الأول لكلّ لون ينحرف بزاوية تختلف عن اللونين الآخرين، ما يعني أنّ زاوية الحيود تختلف باختلاف الطول الموجي. كما يُبيّن الشكل أنّ الزاوية تزداد بزيادة الطول الموجي، فاللون الأحمر له أكبر زاوية حيود، واللون الأزرق له أصغرها.

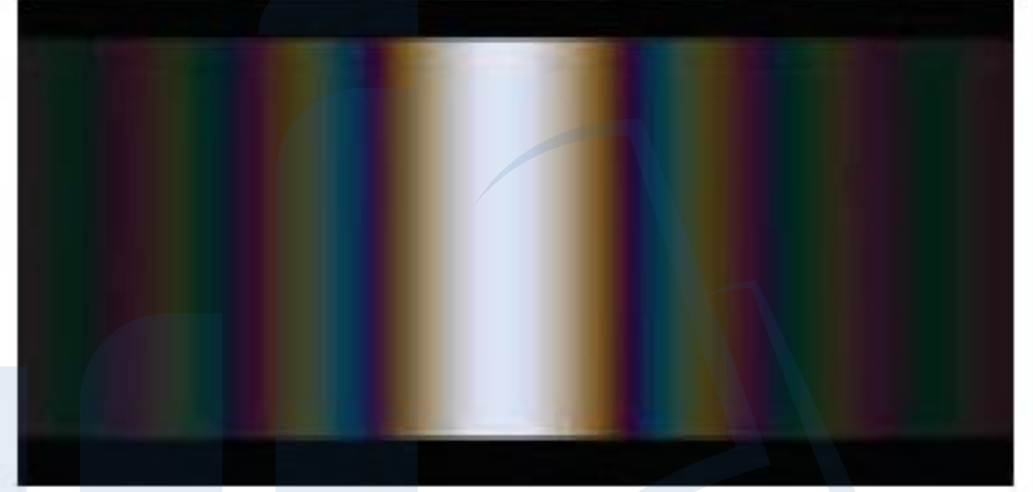


حيود الضوء لثلاثة مصادر  
نقطية أحادية اللون.

## التداخل والحيود لموجات الضوء

كلّ موجة منها تحيد (تنحرف) بزاوية مختلفة.

أستنتج من ذلك أنّ محزوز الحيود يعمل على تحليل الضوء الأبيض إلى مكوّناته، كما يفعل المنشور.



تحليل الضوء الأبيض إلى مكوّناته نتيجة الحيود.

باستخدام العلاقة السابقة، يمكن قياس زاوية حيود أيّ من ألوان الضوء وحساب طوله الموجي. والعلاقة هي:

$$\sin \theta_n = \frac{n\lambda}{d}$$

منصة أساس التعليمية

## التداخل والحيود لموجات الضوء

يمكن إجراء عملية تحليل الضوء بمزيد من الدقة باستخدام جهاز المطياف الضوئي، الذي يتكوّن من منصة لوضع محزوز الحيود، وتلسكوب خاصّ لتحديد أيّ من الأهداب الملوّنة، وتدرّج لقياس الزوايا بدقّة، كما يُبيّن الشكل (42)، ثمّ استخدام العلاقة السابقة لحساب الطول الموجي لكلّ لون.



الشكل (42): المطياف الضوئي.



يُستخدم محزوز الحيود لتحليل الطيف الناتج عن التركيبات الذرية والجزيئية، وكذلك في تحليل أطياف النجوم لدراسة تركيبها وخصائصها الأخرى. كما يُستخدم في تصوير بعض العينات الطبية، باستخدام أطوال موجية محدّدة، أو تحفيز بعض الجزيئات في خلايا هذه العينات.

# التداخل والحيود لموجات الضوء

## تطبيقات على ظاهرتي تداخل الضوء وحيوده



تعرفنا إلى محزوز الحيود الشفاف الذي ينفذ منه الضوء، ثمّ يحيد ويتداخل. ولكن، يوجد محزوز حيود عاكس بحيث يحتوي على خطوط دقيقة عاكسة وأخرى معتمة لا تعكس الضوء، فيحدث للضوء المنعكس حيود وتداخل وتحليل إلى الألوان المختلفة، وهذا يوجد في الطبيعة ضمن تركيب ريش بعض الطيور؛ كما في الطائر الطنان، وتركيب أجنحة بعض الفراشات الملونة.

صورة مجهرية لجناح فراشة تعمل

كمحزوز حيود.

منصة أساس

### قوة التفريق في محزوز الحيود

يُعدّ استخدام محزوز الحيود مع جهاز المطياف الضوئي عند تحليل طيف معيّن، أكثر دقّة من استخدام المنشور للغرض نفسه؛ وذلك لأنّ الخطوط الملوّنة في المنشور تكون عريضة ومتداخلة، في حين تكون الخطوط الملوّنة في محزوز الحيود دقيقة ومنفصلة عن بعضها، كما تكون إضاءتها أكثر شدّة.

## مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** أوضح المقصود بكلّ من تداخل الضوء وحيوده، وأُبين الشروط التي يجب تحقيقها في مصدرين ضوئيين؛ كي يتكوّن نمط تداخل منتظم لموجاتهما.

**تداخل الضوء:** عندما يصدر عن شقين شعاعان ضوئيان متناغمان ويلتقيان عند نقطة على حاجز، فإنهما يتداخلان تداخلاً بناءً أو هداماً، حسب فرق الطور بينهما، فتظهر على الحاجز أهداباً مضيئة وأخرى معتمة تفصل بينها مسافات متساوية.



## مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** أوضح المقصود بكل من تداخل الضوء وحيوده، وأبين الشروط التي يجب تحققها في مصدرين ضوئيين؛ كي يتكوّن نمط تداخل منتظم لموجاتهما.

**حيود الضوء:** عند مرور شعاع ضوئي من شق ضيق، فإنه ينتشر على جانبي الشق، وإذا أتيح للضوء السقوط على حاجز بعيد مقابل للشق، فإنه يكون أهداباً مضيئة وأخرى معتمة. تتكون هذه الأهداب نتيجة حدوث تداخل بناء وآخر هدام لأشعة الضوء المختلفة التي نفذت خلال طرفي الشق الضيق. أي أن ظاهرة الحيود تؤدي إلى التقاء الموجات مما يسبب حدوث تداخل بينها.

منصة أساس التعليمية



## مراجعة الدرس

1. **الفكرة الرئيسية:** أوضح المقصود بكلّ من تداخل الضوء وحيوده، وأبين الشروط التي يجب تحقيقها في مصدرين ضوئيين؛ كي يتكوّن نمط تداخل منتظم لموجاتهما.

- أن يكون كلّ مصدر من مصدري الضوء أحادي اللون Monochromatic، أي إنّ موجاته لها طول موجي واحد.

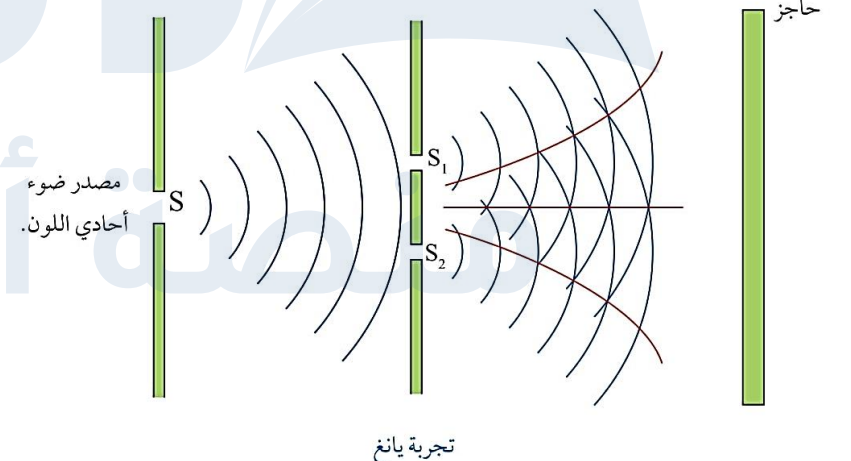
- أن تتساوى موجات المصدرين في ترددها، أو طولها الموجي.

- أن تحافظ موجات المصدرين على فرق ثابت في الطور بينها.

## مراجعة الدرس

2. **أُقارن** بين سبب تكوّن الأهداب المضيئة والأهداب المعتمة على حاجز أبيض، في تجربة يانغ.

يتكون الهدب المضيء على الحاجز نتيجة التقاء شعاعين ضوئيين لهما طول المسار نفسه، أو أن فرق المسار بينهما من المضاعفات الصحيحة للطول الموجي. ويتكون الهدب المعتم نتيجة التقاء شعاعين ضوئيين فرق المسار بينهما نصف طول موجي، أو من مضاعفات الرقم  $(n + 1/2)\lambda$ .



## مراجعة الدرس



3. **أفسّر** سبب ظهور الألوان المختلفة عند انعكاس الضوء عن بعض أنواع عدسات آلات التصوير، على الرغم من أن الضوء الساقط عليها أبيض، وهي شفافة عديمة اللون؟

تُطلى عدسات آلات التصوير بطبقة رقيقة من مادة شفافة لها معامل انكسار أقل من معامل انكسار زجاج العدسة، ويكون سمك هذه الطبقة بمقدار ربع طول موجي، فينتج عن ذلك أن تتداخل الأشعة المنعكسة عن وجهي الطلاء الخارجي والداخلي تداخلاً هداماً. عند تحديد سمك طبقة الطلاء تكون المقارنة مع متوسط الأطوال الموجية للضوء المرئي، مما يجعل بعض الأشعة التي تقع في طرف الطيف المرئي تنعكس عن الطلاء، فتظهر بعض الألوان نتيجة ذلك.

## مراجعة الدرس

4. أيّ الظواهر الضوئية الآتية يمكن تفسيرها باستخدام النموذج الجسيمي للضوء؟ وأيها باستخدام النموذج الموجي؟ وأيها باستخدام النموذجين؟ (الانعكاس، التداخل، الظاهرة الكهروضوئية، الحيود، الانكسار).

النموذج الموجي يفسر كل من: الانعكاس والتداخل والانكسار والحيود.

النموذج الجسيمي يفسر: الانعكاس والانكسار والظاهرة الكهروضوئية.



## مراجعة الدرس

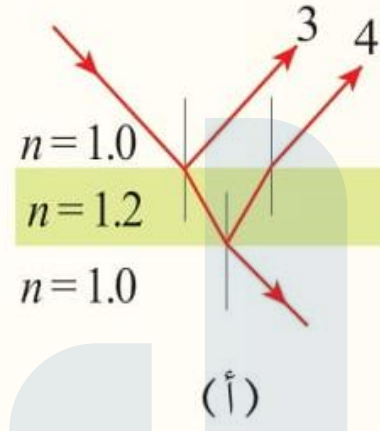
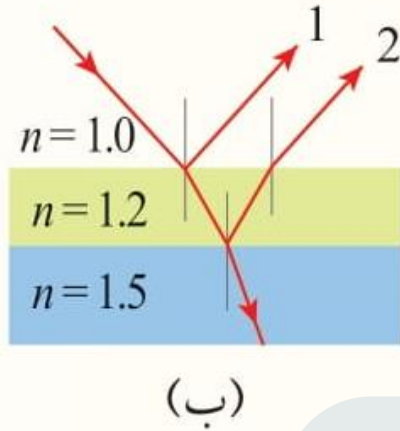
5. **أحلّل** الشكل المجاور، الذي يُمثّل صورة عمود التُقّطت في النهار والشمس تختفي خلف العمود، وأُبيّن الظاهرة العلمية التي تعرضها الصورة، وكيف تحدث.

صورة العمود الظاهرة في الشكل تبين بوضوح انحراف أشعة الشمس عند مرورها بالقرب من حافة العمود، نتيجة حدوث ظاهرة الحيود.





## مراجعة الدرس



6. أوضّح ما يحدث لطور موجات الضوء للأشعة (1, 2, 3, 4)، عند انعكاسها عن السطحين العلوي والسفلي لكل غشاء، كما يُبين الشكلان المجاوران.

- الشعاع (1) ينعكس مع حدوث اختلاف في الطور بمقدار  $(\pi)$ ، لأن  $(n_2 > n_1)$ .
- الشعاع (2) ينعكس مع حدوث اختلاف في الطور بمقدار  $(\pi)$ ، لأن  $(n_3 > n_2)$ .
- الشعاع (3) ينعكس مع حدوث اختلاف في الطور بمقدار  $(\pi)$ ، لأن  $(n_2 > n_1)$ .
- الشعاع (4) ينعكس دون حدوث اختلاف في الطور لأن  $(n_3 < n_2)$ .

## مراجعة الدرس

7. **أستعمل المتغيرات:** أُجريت تجربة يانغ لقياس الطول الموجي لضوء أحادي اللون، فكانت المسافة بين الشقين (1.4 mm)، وكانت المسافة بين الحاجز والشقين (140 cm)، وعند قياس المسافة بين الهدبين المضيئين الأول والثالث كانت (1.2 mm). أحسب مقدار الطول الموجي للضوء.

## مراجعة الدرس

8. **أحسب:** في تجربة باستخدام محزوز حيود مكتوب عليه 250 خطّ في كل مللمتر، كانت زاوية الحيود التي يميل بها الهدب المضيء الثاني  $n_2$  بمقدار  $(15^\circ)$ . ما مقدار الطول الموجي للضوء المستخدم في التجربة؟



قال تعالى:

(وَإِذَا سَأَلَكَ عِبَادِي عَنِّي فَإِنِّي قَرِيبٌ  
أُجِيبُ دَعْوَةَ الدَّاعِ إِذَا دَعَانِ  
فَلْيَسْتَجِيبُوا لِي وَلْيُؤْمِنُوا بِي  
لَعَلَّهُمْ يَرْشُدُونَ)



منصة أساتذة تعليمية

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الموجات  
وخصائصها

أسئلة  
الوحدة

منصة أساس التعليمية

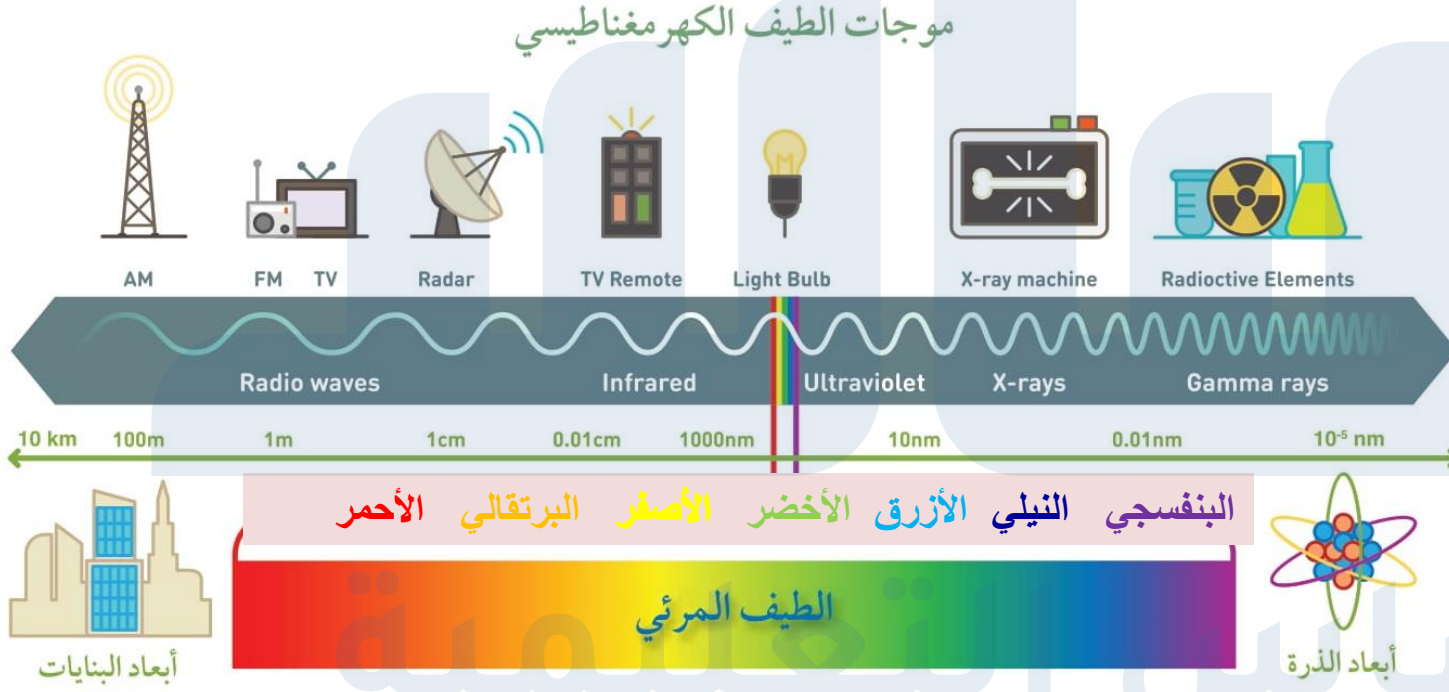


# أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

1. أيّ الأطوال الموجية الآتية، تقع ضمن الأشعة تحت الحمراء في الطيف الكهرمغناطيسي؟

- أ. (600 nm)  
ب. (250 mm)  
ج. (20 cm)  
د. (300  $\mu$ m)



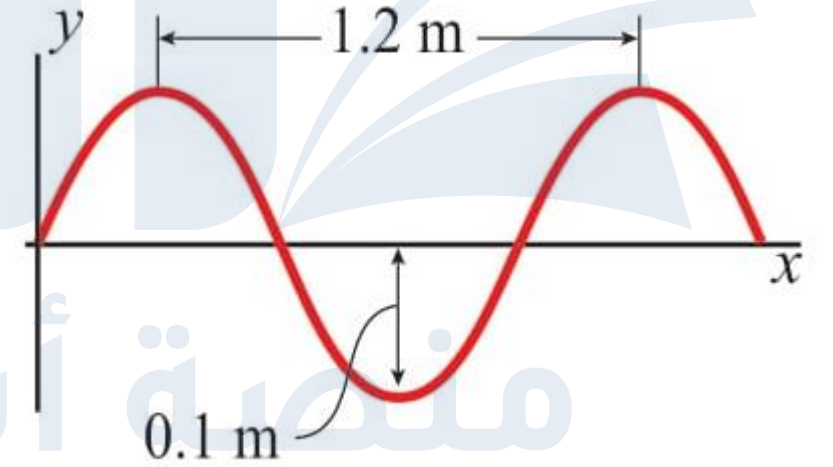
## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

2. تنتقل موجة مستعرضة في حبل أفقي، وتعبّر نقطة محدّدة 8 قمم في (12 s). مستعينًا بالشكل؛ فإن سرعة الموجة تساوي:

أ. (0.8 m/s)      ب. (1.5 m/s)

ج. (1.8 m/s)      د. (2.4 m/s)



منصة أساس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

محذوف أحابنا 😊

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

3. تنتقل موجة مستعرضة في حبل أفقي وفق العلاقة الآتية:

$$y(x,t) = 0.2 \sin (3x - 8t)$$

أيّ الجمل الآتية، تصف الموجة بصورة صحيحة؟

أ. السعة (0.2 m)، والتردد الزاوي (3 rad/s).

ب. السعة (0.2 m)، والرقم الموجي (3 rad/m).

ج. التردد الزاوي (0.2 rad/s)، والسعة (3 m).

د. التردد الزاوي (8 rad/s)، والرقم الموجي (0.2 m).

منصة أساس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

1. أضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في ما يأتي:

4. تتكوّن الموجات الموقوفة وفق أكثر من نمط توافق في الخيط الواحد، نُميّزها بالرقم  $(n)$ . أيّ العبارات الآتية توضّح العلاقة بين عدد العُقد والرقم التوافقي  $(n)$ ؟

- أ. عدد العُقد يساوي  $(n - 1)$ .
- ب. عدد العُقد يساوي  $(n + 1)$ .
- ج. عدد العُقد يساوي  $(\frac{n}{2})$ .
- د. عدد العُقد يساوي  $(\frac{n}{2} + 1)$ .

منصة أساسس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

2. **أحسب** تردد الموجات الكهرمغناطيسية ذوات الأطوال الموجية الآتية: (640 m)، (10 cm)، ( $1.0 \mu\text{m}$ )، (330 nm)، ثم أحدد موقع كل منها ضمن الطيف الكهرمغناطيسي.

منصة أساس التعليمية



## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

3. عندما أُحرِّك رأسياً بانتظام طرف حبل مشدود أفقياً بمعدل 3 مرّات في الثانية. كم سيكون الزمن الدوري للموجة المنتشرة؟ وهل يؤثر عدد الاهتزازات في سرعة الموجة؟ أبرّر إجابتي.

منصة أساس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

4. أفسّر:

أ. عندما تنتقل نبضة رأسية في حبل مشدود أفقيًا، هل تنعكس دائمًا بشكل مقلوب؟ أوضّح إجابتي.

تنعكس مقلوبة عندما يكون الطرف البعيد للحبل مثبتًا ولا يسمح له بالحركة، وذلك نتيجة تأثير رد الفعل من الجدار في الحبل. لكن عندما يسمح لطرف الحبل بالانزلاق للأعلى والأسفل فإن النبضة تنعكس معتدلة.

ب. حبل طويل معلق بالسقف، أمسكت بطرفه السفلي وحركته أفقيًا بشكل منتظم. فتكوّنت موجات ثابتة. أفسّر ذلك.

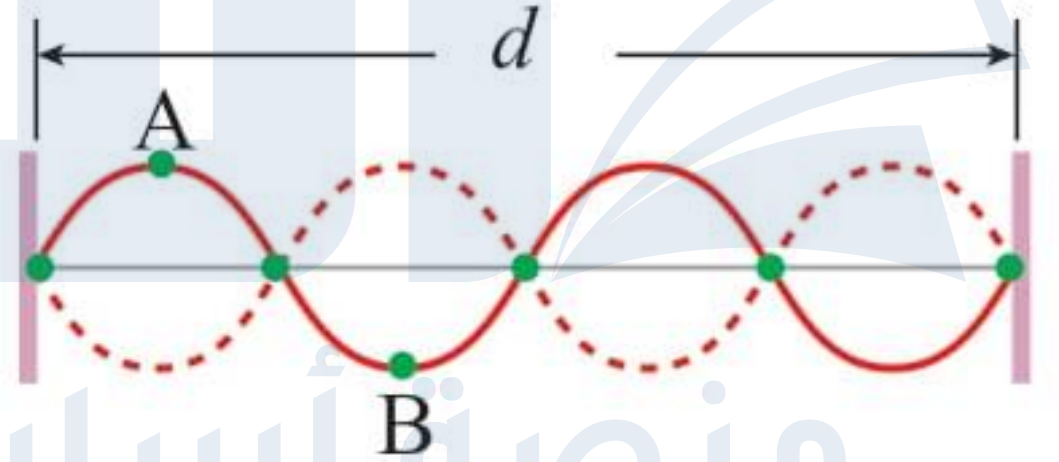
انتقلت الموجات نحو الأعلى ثم انعكست عن السقف، وحدث تداخل بينهما فنتجت موجات موقوفة.

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

5. أجرى عمر تجربة باستخدام خيط مشدود، ولاحظ تكوّن موجات موقوفة فيه، ثم رسم الشكل المجاور لتوضيح ما حصل عليه. أساعد عمر في الإجابة عما يأتي:

أ. أعبّر عن طول الخيط بدلالة الطول الموجي.

ب. أبين العلاقة في الطور بين النقطتين A و B على الخيط، وأشرح إجابتي.



## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

6. تنتشر موجة مستعرضة في حبل مشدود، وتُحقق العلاقة الآتية:

$$y(x, t) = 0.35 \sin (3\pi x - 10\pi t + \frac{1}{4}\pi)$$

إذ إنّ الوحدات المستخدمة هي متر وثانية. أجب عما يأتي:

أ. ما اتجاه انتشار الموجة على محور  $(x)$ ؟

ب. ما الإزاحة الرأسية لجزء مهتز من الحبل عند  $(x = 0.1 \text{ m})$ ،  $(t = 0 \text{ s})$ ؟

ج. ما مقدار الطول الموجي والتردد للموجة؟

د. ما مقدار ثابت الطور للموجة؟

محذوف أحابنا 😊

منصة أساس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

7. **أحلّ:** تكوّنت موجات موقوفة في وتر مشدود بين نقطتين ثابتتين المسافة بينهما (86 cm). أجب عمّا يأتي:

- أ. عند تكوّن بطن واحد؛ ما المسافة بين عُقدتين متتاليتين؟ ما مقدار الطول الموجي؟
- ب. عند تكوّن بطنين؛ ما المسافة بين عُقدتين متتاليتين؟ ما مقدار الطول الموجي؟

منصة أساس التعليمية



## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها



8. **أقارن:** لدى وسيم ناي مفتوح النهاية، ولدى شقيقه يوسف مزمار مغلق النهاية، إذا كانت الآلتان متساويتين في الطول. أيّ منهما يمكن استخدامها لعزف نغمة أكثر انخفاضًا بتوليدها موجات موقوفة ضمن التوافق الأول؟ أوضح إجابتني بالرسم.

الناي المفتوح النهاية يكون تردد التوافق الأول فيه  $(f = \frac{v}{2L})$ ، والمزمار مغلق النهاية يكون تردد التوافق الأول فيه  $(f = \frac{v}{4L})$ ، وحيث أن سرعة الهواء واحدة، وطول العمود متساوي، فإن المزمار يولد نغمة أكثر انخفاضًا، لأنه أقل ترددًا من الناي. تردد المزمار يساوي نصف تردد الناي.

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

9. **أتوقع:** أجرت حنين تجربة لاستقصاء توافقات الموجات الموقوفة، فاستخدمت وترًا مشدودًا ومولّد اهتزازات. بدأت بزيادة التردد ومراقبة الموجات الموقوفة في الحبل، ثم دوّنت بعض القياسات في الجدول الآتي:

التردد (Hz)	100	200	300			
عدد البطون	1	2	3			
الطول الموجي (m)	1.00	0.50	0.33			

أكمل الجدول، بتوقع الترددات وعدد البطون والأطوال الموجية للمراحل الثلاث الإضافية للتجربة.

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها



10. تحاول رؤى استقصاء ترددات التوافقات المختلفة في الأعمدة

الهوائية المغلقة النهاية، والشكل المجاور يُبين وضعها أنبوبًا مفتوح الطرفين داخل مخبر فيه ماء، واستخدامها شوكة رنانة.

أ. كيف تتحكم رؤى في طول عمود الهواء؟

تتحكم في طول عمود الهواء بمقدار غمسها للأنبوب الزجاجي في الماء.

ب. كيف تعلم بأن موجات موقوفة تولدت في عمود الهواء؟

تعلم بتكون موجات موقوفة عند سماعها صوت الشوكة الرنانة مضخمًا بسبب الرنين.

ج. كيف يمكنها قياس الطول الموجي لموجات الصوت في الهواء

في تجربتها هذه؟

بمعرفة طول عمود الهواء، ورقم التوافق، وتردد الشوكة الرنانة الذي يكون مكتوب عليها.

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

11. أسقط ضوء أحادي اللون على محزوز حيود يحتوي على 500 خطاً في 1 مللمتر. فكانت زاوية الحيود للهدب المضيء الأول ( $15^\circ$ ). أحسب الطول الموجي للضوء الساقط.

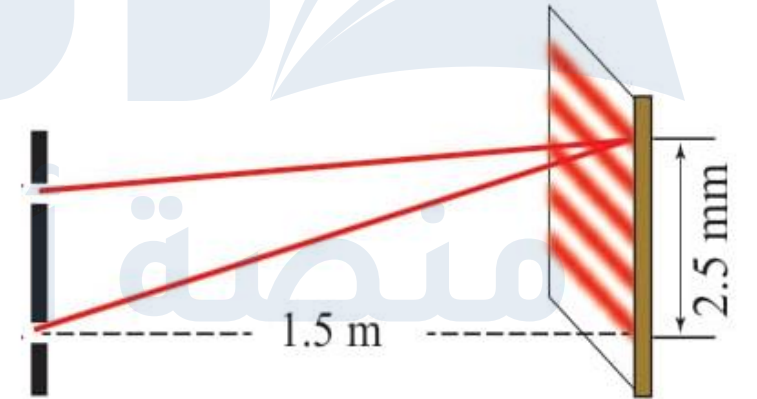
منصة أساسس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

12. أجرت مجموعة طالبات تجربة، فاستخدمن مصدرين ضوئيين متناغمين لتوليد نمط تداخل على حاجز، تفصل المصدرين مسافة (1.2 mm)، ويبعدان عن الحاجز مسافة (1.5 m)، لاحظت المجموعة تكوّن 4 أهداب مضيئة في مسافة (2.5 mm) على الحاجز، كما في الشكل.

أ. أحسبُ الطول الموجي للضوء.

ب. ما القيم التي تتغير عند تقريب الحاجز من الشقين؟





## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

13. **حل مشكلات:** تُستخدم الخلايا الشمسية لتوليد الكهرباء من أشعة الشمس. ويتكوّن سطحها العلوي من السيليكون ( $n = 3.5$ )، وهي تعكس الضوء بنسبة (30%). أقدم رأياً أُبين فيه كيف يمكن زيادة كفاءة هذه الخلايا بزيادة الضوء الذي ينفذ داخلها، وتقليل الضوء المنعكس عنها؟

يمكن طلاء الخلايا بطبقة شفافة رقيقة لا يتعدى سمكها ربع طول موجي، ويكون معامل انكسارها أكبر من معامل انكسار الهواء، وأقل من معامل انكسار السيليكون، فيحدث تداخل هدام للضوء المنعكس مما يقلل من نسبة الضوء المنعكس، ويزيد نسبة الضوء النافذ.

منصة أساسس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

14. محزوز حيود يحتوي على 600 خط في كل ملليمتر، أسقط عليه

ضوء ليزر طوله الموجي (405 nm)، أحسب زاوية الحيود:

أ. للهدب المضيء الأول.

ب. للهدب المضيء الثاني.

منصة أساسس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها

15. استُخدم محزوز حيود لتوليد نمط تداخل باستخدام ضوء طوله الموجي (670 nm). تكوّن الهدب المضيء الثاني بزاوية حيود ( $58^\circ$ ). أحسب عدد خطوط المحزوز لكل مللمتر.

منصة أساسس التعليمية

## أسئلة الوحدة – الموجات وخصائصها



16. تُبيّن الصورة في الشكل المجاور نوعين من النظارات الطبيّة، الأولى عدساتها غير مطلية، والثانية عدساتها مطلية بطبقة رقيقة معامل انكسارها أقلّ من معامل انكسار الزجاج. أصف الاختلاف بين الصورتين، وأفسّر سبب هذا الاختلاف.

يبدو انعكاس الضوء عن عدسات النظارة الأولى واضحًا مما يقلل من نسبة الضوء النافذ خلالها، بينما العدسات المطلية في الصورة الثانية لا يظهر انعكاس الضوء عنها، مما يزيد من نسبة الضوء النافذ خلالها، ويحدث أيضًا تداخل هدام بين الأشعة المنعكسة والنااتج عن اختيار السمك المناسب لطبقة الطلاء.

منصة أسئلة أحبّابنا  التعليمية



# الكلمة الطيبة

جواز مرور إلى كل القلوب

منصة أساسيات تعليمية