حسب المنهاج الجديد

منصة تلاخيص منهاج أردني تقدم للكم

النيرد في مادة الفيزياء

الوحدة الخامسة من مادة الفيزياء الصف الأول ثانوي

الدرس الأول والثاني

الأستاذ معاذ أبو يحيى والأستاذ عز الدين أبو رمان

يمكنكم متابعة شروحاتنا والتواصل معنا من خلال :

0795360003 مدرسة الفيزياء مدرسة الفيزياء

مقدمة دوسية النيرد

بسم الله، والصلاة والسلام على خير معلم الناس الخير نبينا محمد وعلى آله وصحبة أجمعين ، أما بعد :

مدرسة الفيزياء فكرةٌ قد بدأناها في السنة الماضية واليوم نُكمل المسيرَ معكم في المنهاج الجديد لمادة الفيزياء للصف الأول ثانوي، أردنا آلا نكون رقمًا عاديا سهلًا كما هو حال الكثيرين للآسف وإنما حدث مميز وذكرى تُخلد في ذاكرة كل طالب ومعلم وولي أمر.

اليوم أكاد أجزم وأنا كُلي ثقة بأن ملفاتنا هي الأولى من نوعها التي تُعطي كل هذا الاهتمام والشمولية والتنوع لمادة جديدة ليست من مواد مرحلة التوجيهي وهذا العمل واللهِ ليس شطارةً وإبداعاً منا وإنما من فضل وتوفيق الله تعالى لنا ودعاء أحبتنا بالخير لنا.

في هذه الدوسية قُمنا بترتيب طرح المواضيع والمحتوى والأفكار وإضافة ملاحظات وشروحات لأساليب حل الأسئلة وطريقة التعامل معها ورسومات توضيحية ملونة ومُصممة خصيصًا لهذه الدوسية، وقُمنا بجمع وإضافة أسئلة وتدريبات على مختلف أفكار المادة وحل أسئلة فكر والواجبات والتمارين الواردة في الكتاب المدرسي، وفي نهاية كل درس وضعنا لكم مُرفق حل أسئلة الدروس وأسئلة إضافية وإثرائية على كل موضوع رئيسي حتى نتمم عليكم كل ما تحتاجونه في المادة وكل ما هو لازم لحصول الطالب على العلامة الكاملة.

في النهاية نسأل الله للجميع العلم النافع والعمل الصالح والتوفيق والسداد والإخلاص والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته.

أ.معاذ أمجد أبو يحيى ، أ.عز الدين أبو رمان

محتويات الكورس

الوحدة الخامسة : الموجات وخصائصها

الدرس الأول : التمثيل الرياضي للموجات 4

حلول أسئلة الدرس الأول 28

الدرس الأول : التمثيل الرياضي للموجات 30

حلول أسئلة الدرس الثاني 50

تابعونا على مجموعة مدرسة الفيزياء على الفيس بوك :

تجدون فيها كل ما يخص المادة من أوراق عمل وامتحانات وشروحات

تابعونا على قناة مدرسة الفيزياء على اليوتيوب :

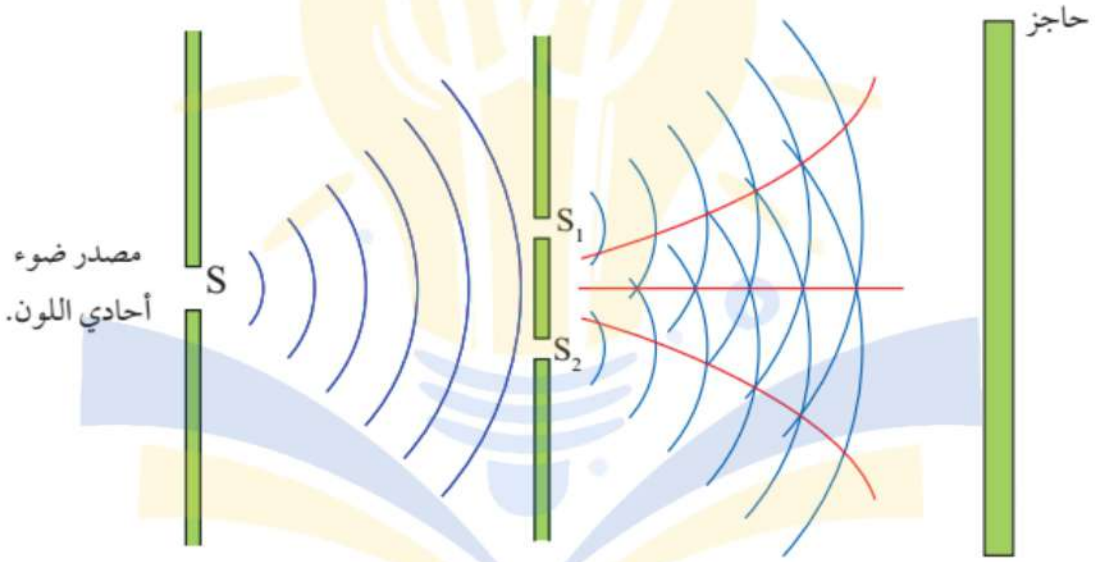
تجدون فيها شرح جميع دروس المادة وحل أسئلة المادة

تابعونا على منصة تلاخيص منهاج أردني على الفيس بوك :

تجدون فيها تلاخيص وشروحات المواد الدراسية لمختلف الصفوف

الوحدة الخامسة من مادة فيزياء الصف الأول ثانوي

الموجات وخصائصها



مدرسة الفيزياء

▪ ما تحتاجه قبل البداية:

☑ أساس رياضي جيد للعمليات الحسابية على الأعداد الصحيحة والعشرية.
☑ معرفة ممتازة في إجراء القسمة الطويلة للأعداد الصحيحة والعشرية.
☑ معرفة ممتازة في مهارات التعويض والترتيب وإيجاد الكمية المجهولة.
☑ معرفة جيدة في مفهوم إيجاد جيب وجتا الزوايا والزاوية المرجعية.
☑ معرفة جيدة في مفاهيم الحركة التوافقية البسيطة وخصائصها.

الوحدة الخامسة : الموجات وخصائصها

الدرس الأول : التمثيل الرياضي للموجات

الطاقة : إحدى صور الوجود (مادة أو جسم + طاقة = الكون)

- الكمية التي يجب نقلها إلى كائن من أجل أداء عمل ما.
- كمية محفوظة يمكن تحويلها من شكل لآخر، ولكن لا يتم إنشاؤها أو إتلافها.
- تنتقل من مكان لآخر باستخدام حركات تسمى بـ(الحركات الموجية).

سؤال وضح ما هو المقصود بالموجة ؟

اضطراب أو اهتزاز ينتقل من مكان إلى آخر وهي وسيلة لنقل الطاقة (أحد أشكال انتقال الطاقة).

سؤال وضح "الموجات تنقل الطاقة ولا تنقل المادة" ؟

أي أن الموجة تعتبر وسيلة لنقل الطاقة رغم أن الموجة تتسبب في حدوث اهتزاز لدقائق الوسط الناقل لها إلا أنها لا تنقل أي من هذه الدقائق من موقع إلى آخر مثل الطاقة.

سؤال ما المقصود بالحركة الموجية؟

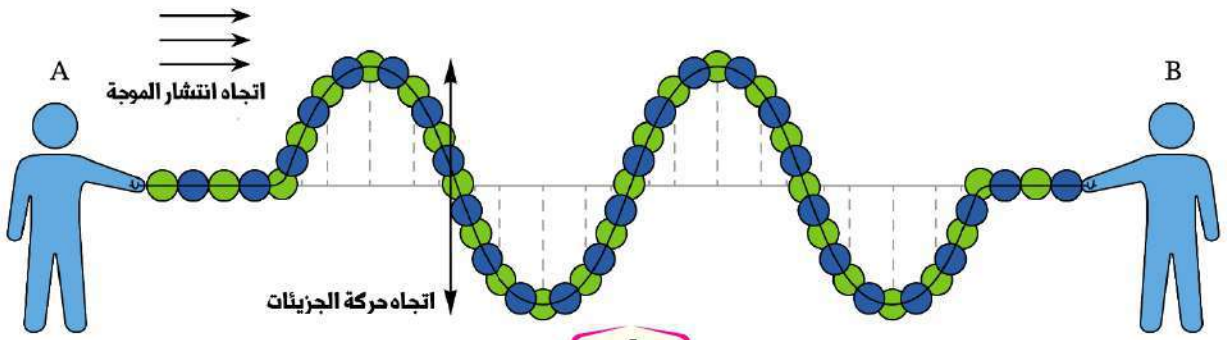
الطريقة التي تنتشر بها الموجات في الأوساط المختلفة وتختلف باختلاف أنواع الموجات.

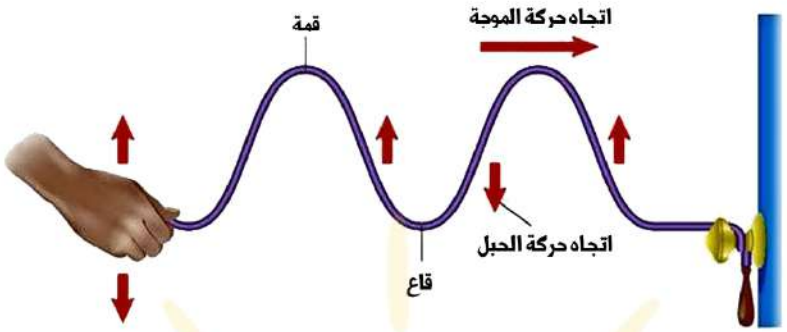
تقسم الموجات بناءً على اتجاه اهتزاز دقائق الوسط إلى :

- الموجات المستعرضة.
- الموجات الطولية.

الموجات المستعرضة : هي الموجات التي يكون اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها متعامد مع اتجاه انتشارها.

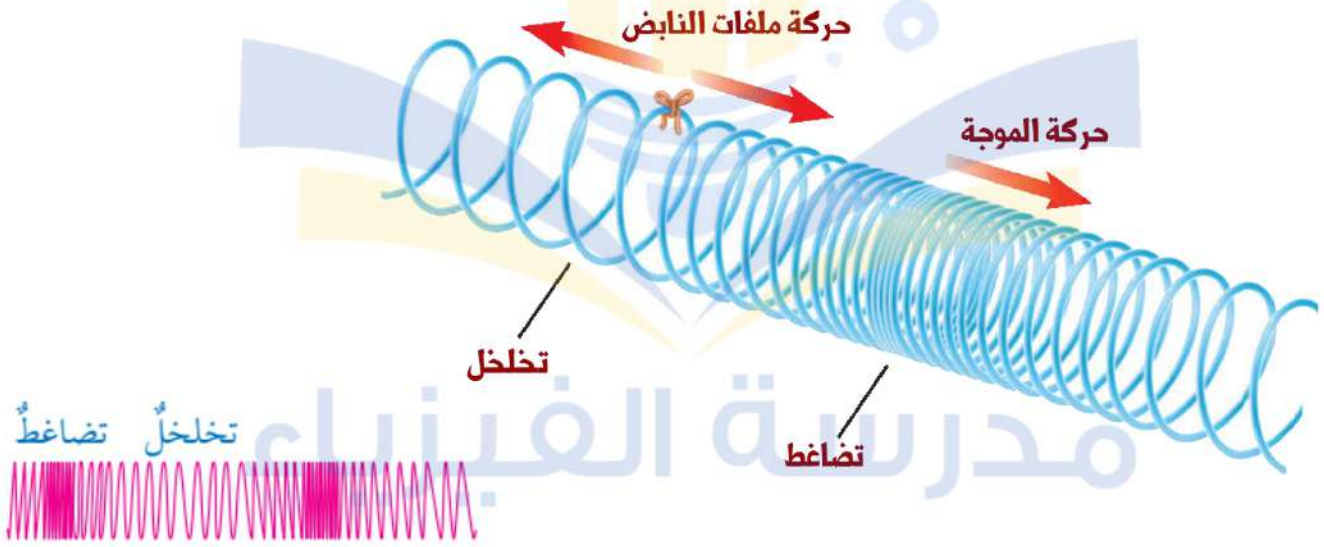
- مثل موجات سطح الماء والموجات التي تنتقل في نابض أو حبل مشدود.
- تنتشر الموجات المستعرضة في الأوساط الصلبة والسائلة ولا يمكنها الانتقال خلال الغازات.
- بعض الموجات المستعرضة (مثل موجات الضوء) يمكنها الانتقال في الفراغ.



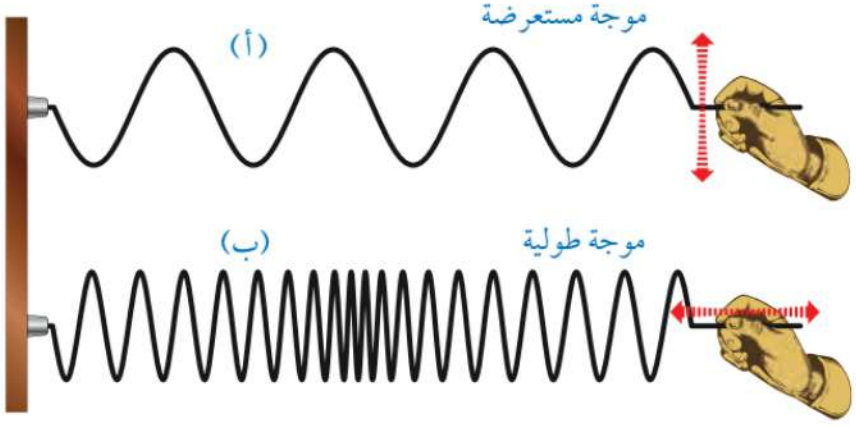


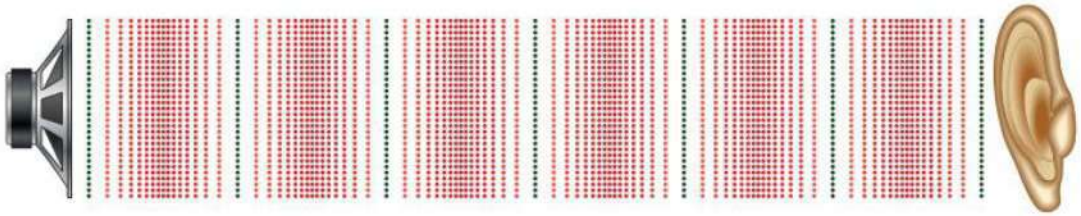
✪ **الموجات الطولية :** هي الموجات التي يكون فيها اتجاه اهتزاز جزيئات الوسط الناقل لها باتجاه محور انتشار الموجة نفسها.

- من الأمثلة عليها موجات الصوت وبعض أنواع الموجات التي تنتقل في النابض على شكل تضاغط وتخلخل.
- تنتشر الموجات الطولية في الأوساط جميعها الصلبة والسائلة والغازية.
- تسمى المناطق التي تتقارب فيها جزيئات الوسط (حلقات النابض) بمناطق التضاغط والمناطق التي تتباعد في جزيئات الوسط (حلقات النابض) بمناطق التخلخل.



مدرسة الفيزياء





تتكون موجات الصوت في الهواء من سلسلة تضاغطات وتخلخلات متتالية ومتساوية في المسافات فيما بينها.

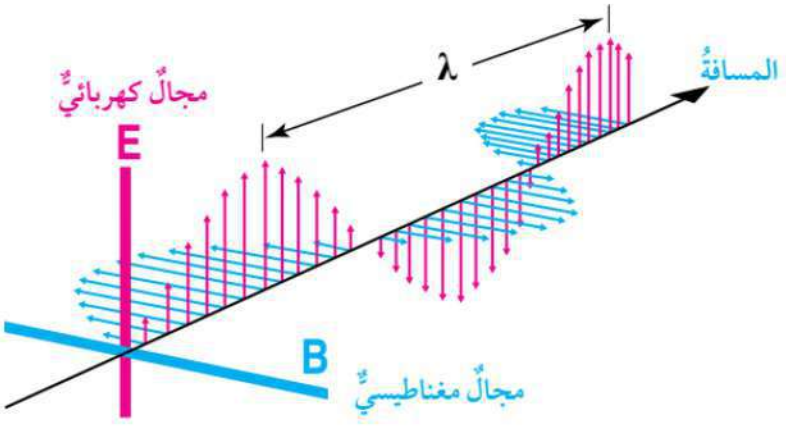
يمثل التضاغط منطقة ضغط مرتفع ويمثل التخلخل منطقة ضغط منخفض.

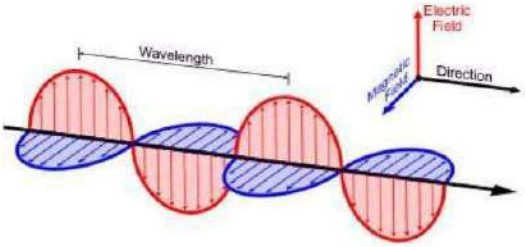
✪ **تقسم الموجات بناءً على طبيعة الأوساط التي تنتشر فيها إلى :**

- الموجات الميكانيكية.
- الموجات الكهرمغناطيسية.

- **الموجات الميكانيكية:** هي الموجات التي تحتاج وسط للانتقال فيه والانتشار خلاله.
- تسمى بالموجات الميكانيكية لأنها تنقل الطاقة الميكانيكية خلال الوسط.
- يجب أن يكون هناك مصدر مهتز لتوليد هذه الموجات.
- يمكن أن تكون موجات مستعرضة أو طولية.

- **الموجات الكهرمغناطيسية:** هي الموجات التي لا تحتاج وسط للانتقال فيه والانتشار خلاله.
- ينتقل الاشعاع الكهرمغناطيسي على شكل موجات مستعرضة تسمى موجات كهرمغناطيسية.
- للإشعاع الكهرمغناطيسي طبيعتان : موجية وجسيمية.
- يجب أن يكون هناك مصدر مهتز لتوليد هذه الموجات.
- لا تحتاج إلى وسط مادي للانتقال فيه وهي تنتقل في جميع الأوساط.
- الطاقة التي تنقلها الموجات الكهرمغناطيسية طاقة كهربائية ومغناطيسية.
- تتكون الموجات الكهرمغناطيسية من مجالين متعامدين أحدهما كهربائي (E) والآخر عمودي (B) يتذبذب كل منهما بشكل عمودي على الآخر وكلاهما عمودي على اتجاه انتشار الموجة.





الموجات الكهرومغناطيسية

- تحصل موجات الاشعاع الكهرومغناطيسي على طاقتها من مصدر يتكون من جسيمات مشحونة مثل الإلكترونات.
- لكل موجة كهرومغناطيسية تردد (f) مساوٍ لتردد مصدرها وطول موجي (λ) خاص بها.
- تنتقل موجات الإشعاع الكهرومغناطيسي جميعها في الفراغ بسرعة ثابتة هي سرعة الضوء وتنتقل أيضا في الأوساط المادية لكن بسرعة مختلفة.

c (سرعة الضوء في الفراغ) = 299 792 458 m/s m = 3×10^8 m/s

- لا تختلف سرعة الموجات الكهرمغناطيسية في الهواء كثيرًا عن سرعتها في الفراغ.
- تنتشر على شكل موجات مستعرضة فقط.
- تقل سرعة الموجات الكهرمغناطيسية كثير عن انتقالها في الأوساط المادية الأخرى مثل الزجاج والماء.

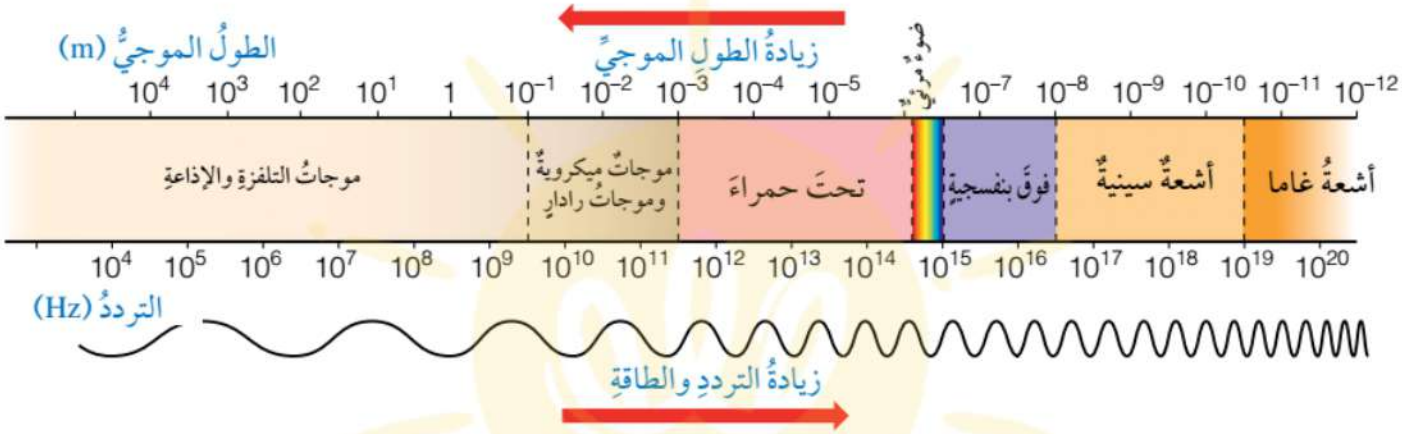
الوسط	سرعة الموجات الكهرومغناطيسية
الفراغ	$2.99792 \times 10^8\ m/s$
الهواء	$2.9970 \times 10^8\ m/s$
الماء	$2.25 \times 10^8\ m/s$

وجه المقارنة	الأمواج الميكانيكية	الأمواج الكهرومغناطيسية
طبيعة الوسط	الأوساط المادية	الأوساط المادية والفراغ
طبيعة الاهتزاز	مستعرضة أو طولية	مستعرضة فقط
نوع الطاقة	ميكانيكية	كهربائية ومغناطيسية
سرعتها	سرعة الوسط	سرعة الضوء إذا كانت في وسط الفراغ والهواء
أمثلة عليها	أمواج الماء ، الوتر المهتز ، الصوت	أمواج الراديو ، الضوء ، أشعة غاما ، الضوء المرئي

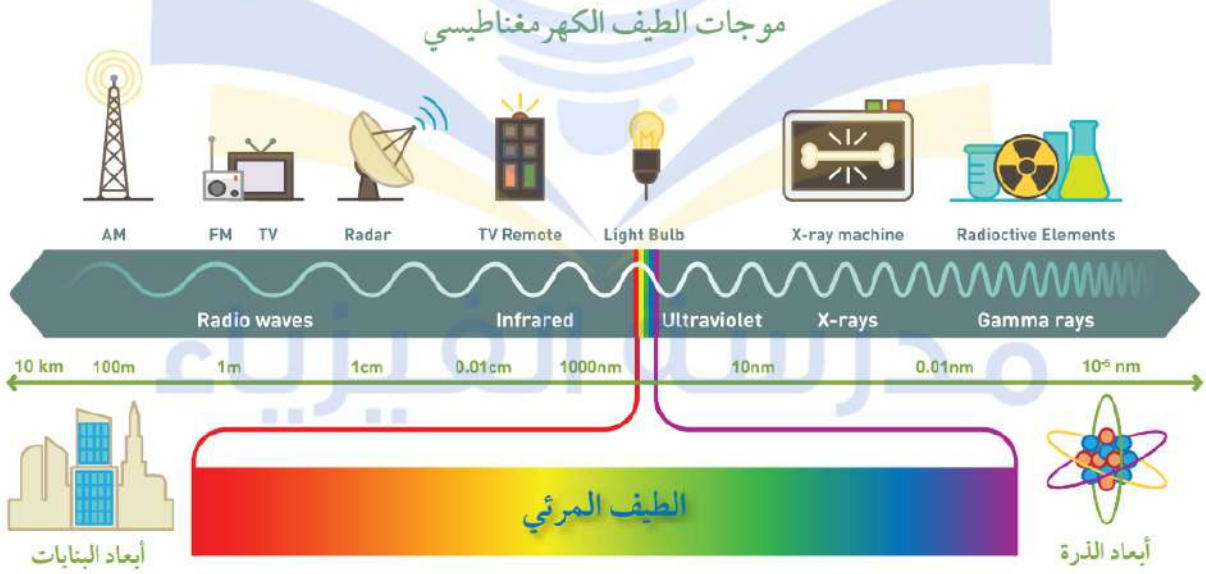
الطيف الكهرمغناطيسي

عبارة عن مجال واسع من الأطوال الموجية المختلفة لموجات الاشعاع الكهرمغناطيسي

- يبين الشكل الآتي المكونات الرئيسية للطيف الكهرمغناطيسي :



- الموجات التي لها أكبر طول موجي هي (موجات التلفزة والإذاعة).
- الموجات التي لها أقل طول موجي هي (موجات أشعة غاما).
- الموجات التي لها أكبر تردد هي (موجات أشعة غاما).
- الموجات التي لها أقل تردد هي (موجات التلفزة والإذاعة).



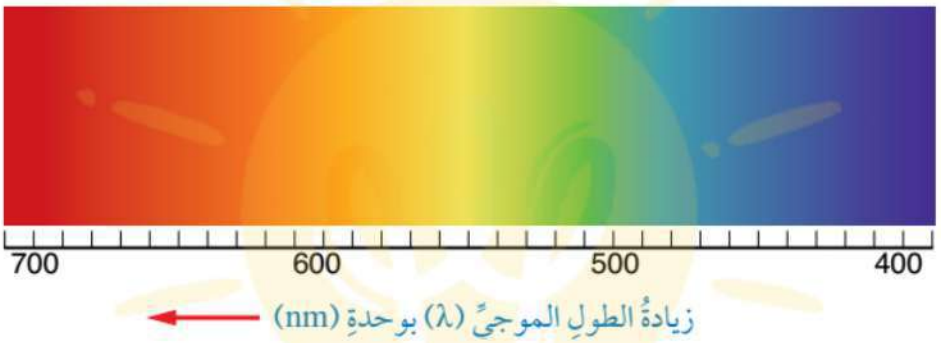
سؤال ما هي مكونات الطيف الكهرمغناطيسي؟

موجات أشعة غاما ، موجات الأشعة السينية ، موجات الأشعة فوق البنفسجية ، موجات الضوء المرئي ، موجات الأشعة تحت الحمراء ، الموجات الميكروية ، موجات التلفزة والموجات الإذاعية.

- يشمل الطيف الكهرمغناطيسي الموجات المرئية والموجات غير المرئية.

- **الموجات غير المرئية :** أشعة غاما ، الأشعة السينية ، الأشعة فوق البنفسجية ، الأشعة تحت الحمراء ، الموجات الميكروية ، موجات التلفزة والإذاعة.
- **الموجات المرئية :** الضوء المرئي ويتألف من ألوان الطيف سبعة ألوان.

الضوء المرئي



- يشكل الضوء المرئي جزء صغير من الطيف الكهرمغناطيسي وهذا الجزء هو ما تراه عين الإنسان.
- تنحصر الأطوال الموجية للضوء المرئي بين (400 nm – 700 nm).
- يمكن تمييز سبعة ألوان في طيف الضوء المرئي وهي (البنفسجي ، النيلي ، الأزرق ، الأخضر ، الأصفر ، البرتقالي ، الأحمر).

- أصغر طول موجي تراه عين الإنسان (400 nm) (اللون البنفسجي).
- أكبر طول موجي تراه عين الإنسان (700 nm) (اللون الأحمر).
- الضوء البنفسجي يمتلك أكبر تردد وطاقة وأصغر طول موجي.
- الضوء الأحمر يمتلك أصغر تردد وطاقة وأكبر طول موجي.

مدرسة الفيزياء

- للأشعة الكهرمغناطيسية طبيعة مزدوجة فهي تظهر بصفات الموجات (كما في ظاهرة التداخل والحيود) وتظهر بصفات الجُسيمات (كما في الظاهرة الكهروضوئية).
- يتكون الإشعاع الكهرومغناطيسي من حزم من الطاقة وهذه الطاقة مكماة.
- تقاس الطاقة بوحدة (الجول) و (الإلكترون فولت).

سؤال وضح ما معنى أن الطاقة مكماة؟

أي أن لها طاقة محددة وغير قابلة للتجزئة.

سؤال **ما المقصود بالـ "الفوتون" ؟**

هو الوحدة الأساسية للضوء، وهو كَمّات من الأشعة الكهرومغناطيسية متناهية الصغر.

- ينتقل الفوتون في الفراغ بسرعة الضوء ودائما يكون الفوتون في حالة الحركة.
- للفوتون صفات مادية وصفات موجية وكتلته الفوتون تساوي صفرًا.
- بالأصل يمكننا التعامل مع الفوتونات على أنها جسيمات عديمة الشحنة..

سؤال **ما مبدأ تكمية الطاقة ؟**

الطاقة التي تحملها الموجة الكهرومغناطيسية تساوي عددًا صحيحًا من مضاعفات طاقة الفوتون.

طاقة الموجة الكهرومغناطيسية = عدد الفوتونات × طاقة الفوتون

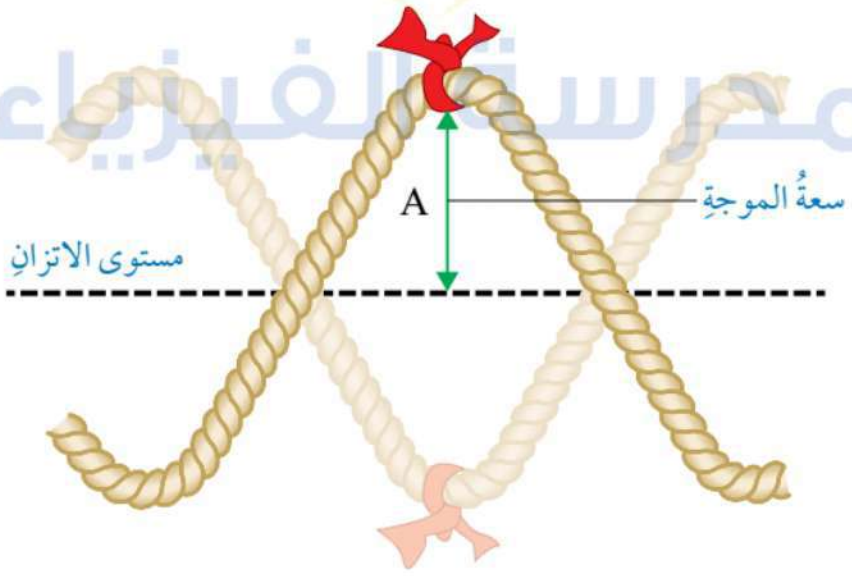
سؤال **ما صفات الموجة؟ أو ما هي الصفات المشتركة التي نميز بها الحركة الموجية ؟**

سعة الموجة، طول الموجة ، التردد ، سرعة الموجة

سؤال **وضح ما المقصود بكل مما يأتي ؟**

سعة الموجة : أقصى إزاحة تُحدثها الموجة لدقائق الوسط الناقل بالنسبة إلى موقع اتزانها.

موقع الاتزان : نقطة على الحبل المشدود أفقيًا بشكل مستقيم في حالة عدم انتقال أي موجة خلاله.



ملاحظات مهمة

- في الموجات المستعرضة تتحرك دقائق الوسط في اتجاهين متعاكسين على طرفي موقع اتزانها، أي أنها تهتز.
- يبدو اهتزاز دقائق الوسط أكثر وضوحًا في الموجات المستعرضة.
- يرمز إلى سعة الموجة بالرمز (A).
- سعة الموجة تزداد بازدياد طاقة المصدر وتقل بزيادة البعد عنه.

✓ **أتحقَّقُ: من أين تحصل الموجات على طاقتها ؟**

تحصل الموجة على الطاقة من مصدر الاهتزاز الذي يولد هذه الموجة سواء كانت طولية أم مستعرضة.

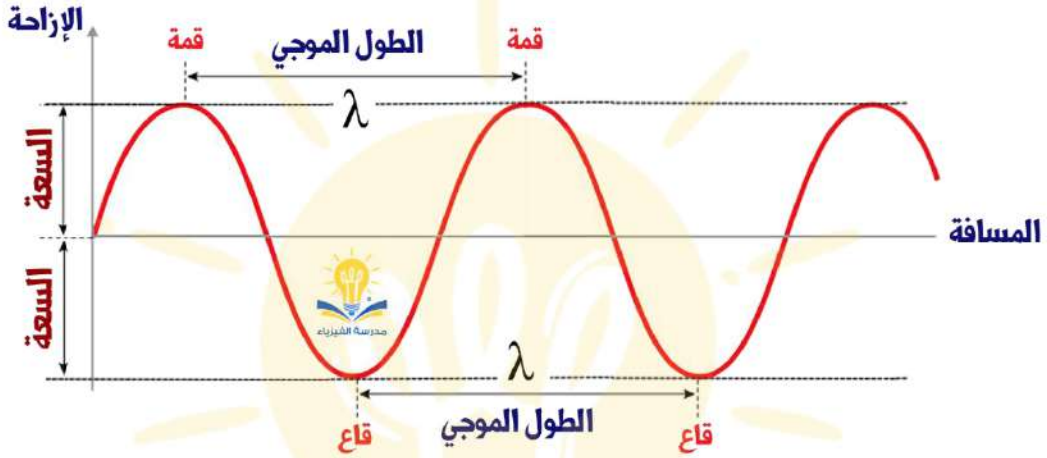
سؤال إضافي **إذا كانت المسافة الرأسية بين أعلى إزاحة وأدنى إزاحة لجزيئات الماء عند مرور موجات مستعرضة هي (60 cm) ، فما مقدار سعة هذه الموجة ؟**

مقدار سعة الموجة = 30 cm

سؤال ما هو المقصود بالطول الموجي ؟

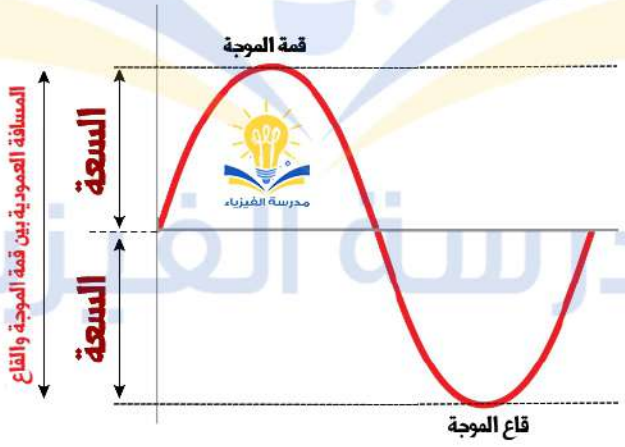
المسافة بين قمتين متتاليتين أو بين قاعين متتاليين ويرمز لها بالرمز لامدا (λ).

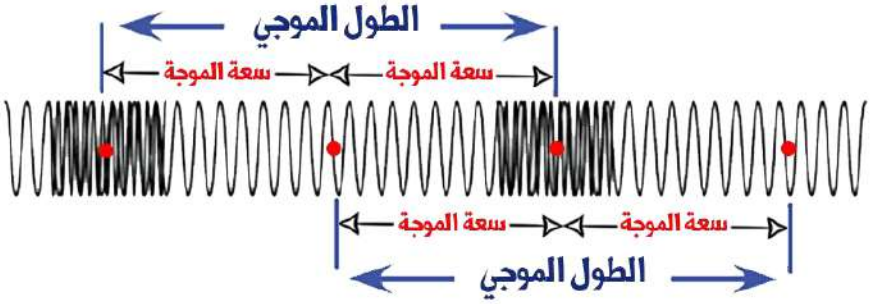
أو المسافة بين أي نقطتين متناظرتين ومتتاليتين على الموجة.



ملاحظات مهمة

- سعة الموجة المستعرضة تساوي نصف المسافة العمودية بين قمة الموجة وقاعها.
- سعة الموجة الطولية تساوي نصف المسافة بين مركزي تضاغط وتخلخل متتاليين.





سؤال وضح ما هو المقصود بتردد الموجة؟

عدد الموجات الكاملة (n) التي تعبر نقطة ثابتة في الوسط خلال ثانية واحدة.

(صفة لعدد الاهتزازات التي يكملها الجسم المهتز في الثانية الواحدة)

- يعتبر التردد مقياس لتكرار حدث معين وهنا التردد كان مقياس لتكرار الموجات المتماثلة.
- يرمز للتردد بالحرف اللاتيني (f) ويقاس بوحدة الهيرتز (Hz) وتكافئ (s^{-1}).

سؤال وضح ما هو المقصود بالزمن الدوري ؟

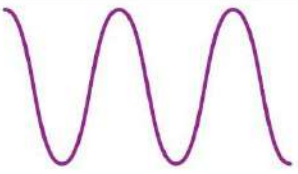
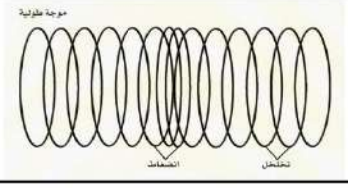
المدة الزمنية اللازمة لعبور موجة كاملة واحدة نقطة ثابتة في الوسط.

(الزمن اللازم حتى تعيد الموجة نفسها)

- يطلق على تكرار الموجات المتماثلة (التردد).
- يرمز للزمن الدوري بالرمز (T) ويقاس بوحدة الثانية (s) .
- يعطى الزمن الدوري بالعلاقة :

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

الزمن الكلي للموجات : t ، عدد الموجات الكاملة (الاهتزازات) : n

وجه المقارنة	الأمواج المستعرضة	الأمواج الطولية
التعريف	تتحرك جزيئات الوسط عموديًا على خط انتشار الموجة	تتحرك جزيئات الوسط باتجاه موازي لخط انتشار الموجة
المكونات	قمم وقيعان	تضاغطات وتخلخلات
الانتشار	الأوساط الصلبة والسائلة فقط ولا تنتشر في الغازية	جميع الأوساط الصلبة والسائلة والغازية
أمثلة	أمواج البحر والضوء	أمواج النابض والصوت
الرسم		

سؤال إضافي NERD **إذا كانت سعة الموجة الطولية في نابض هي (20 cm) فما مقدار طولها الموجي ؟**

في الموجات الطولية الطول الموجي مساوي لضعف سعة الموجة وبالتالي :

مقدار الطول الموجي = 40 cm

سؤال إضافي NERD **كيف يمكنني التمييز بين الموجات المستعرضة والموجات الطولية؟**

في الموجات المستعرضة يكون اهتزاز دقائق الوسط عموديًا على اتجاه انتشار الموجة بينما يكون موازيًا لاتجاه انتشارها في الموجات الطولية.

سؤال إضافي NERD **يهتز جسم وهو يلامس سطح الماء فيصدر عنه (12) موجة مستعرضة في مدة زمنية مقدارها (3 s) ، وتنتشر على سطح الماء. أحسب كلاً من الزمن الدوري والتردد.**

$$T = \frac{t}{n} = \frac{3}{12} = 0.25\ s \quad , \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.25} = 4\ s^{-1}$$

سؤال إضافي NERD **يهتز جسم في الهواء فتصدر عنه (240) موجة طولية في مدة زمنية مقدارها (6 s) ، وتنتشر في الهواء. أحسب كلاً من الزمن الدوري والتردد.**

$$T = \frac{t}{n} = \frac{6}{240} = 0.025\ s \quad , \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.025} = 40\ Hz$$

ملاحظات مهمة

- تصدر الموجات عن مصدر مهتز يكون ترددها مساوي لتردد هذا المصدر.
- التردد لا يعتمد على نوع الوسط لذلك عند انتقال موجة بين وسطين مختلفين يبقى ترددها ثابتا لا يتغير. (تردد الموجات يعتمد فقط على تردد المصدر).

سؤال إضافي NERD **إذا كانت المسافة بين القمة الأولى والقمة العاشرة لموجات مستعرضة انتشرت في حبل (45 m) ، فاحسب الطول الموجي ؟**

$$\lambda = \frac{\text{المسافة بين القمم}}{\text{عدد القمم}} = \frac{45}{10} = 4.5\ m$$

سؤال **وضح كيف يتم حساب سرعة الموجة؟**

من خلال قسمة المسافة التي تقطعها الموجة على الزمن الكلي اللازم لقطع المسافة.

- يرمز للسرعة بالرمز (v) والمسافة بالرمز (s) والزمن (t) .
- تعطى سرعة الموجة بالعلاقة :

$$v = \frac{s}{t}$$

- تتناسب سرعة الموجة (v) طرديا مع ترددها (f).
- يتناسب الطول الموجي (λ) عكسيا مع تردد الموجة (f).
- العلاقة بين سرعة الموجة والتردد والطول الموجي يمكن صياغتها بالشكل الآتي :

$$f \propto \frac{1}{\lambda}$$

- حاصل ضرب الطول الموجي بالتردد يعطي مقدار ثابت وهي سرعة انتشار الموجة في الوسط الناقل لها وتكون ثابتة للوسط الواحد :

$$v = f\lambda = \frac{\lambda}{T}$$

سؤال إضافي NERD **يمسك صبي بطرف حبل مشدود ويحركه للأعلى والأسفل بتردد مقداره (5 Hz) ، إذا كان طول الموجة الواحدة يساوي (0.4 m) فجد سرعة انتقال الموجات في الحبل.**

$v = f\lambda = 5 \times 0.4 = 2$ m/s

سؤال إضافي NERD **مصدر اهتزاز يولد على سطح ماء موجات بتردد (20 Hz) ، فإذا كانت المسافة بين قمتين متتاليتين (5 cm) :**

أ - احسب سرعة الموجات الناتجة ؟ وما نوعها ؟

$v = f\lambda = 20 \times 0.05 = 1$ m/s

الموجات الناتجة هي موجات مستعرضة لأنها انتقلت على شكل قمم وقيعان.

ب - كم يصبح طول الموجات المتولدة إذا زاد تردد المصدر إلى مثلي قيمته ؟

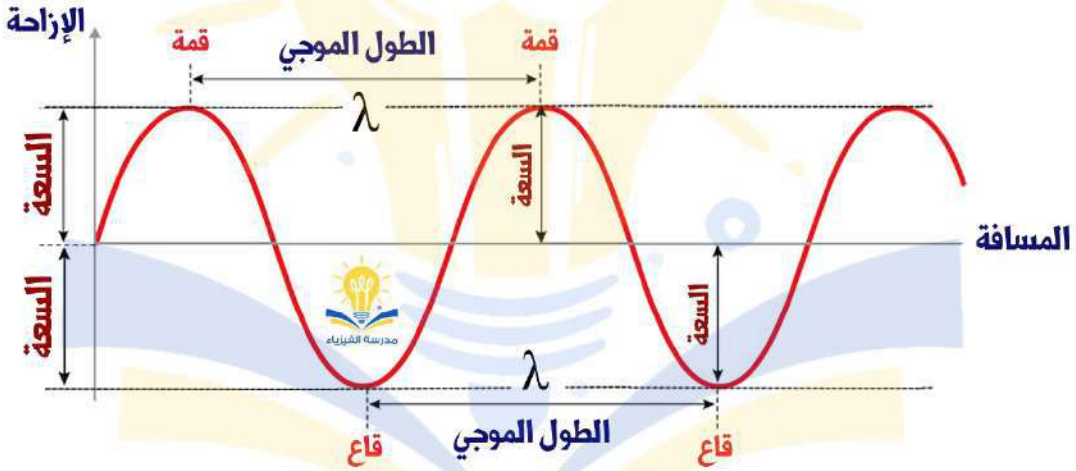
$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1}{40} = 0.025 \text{ m}$$

ملاحظات مهمة

- تختلف سرعة الموجات باختلاف أنواعها كمثال تختلف سرعة موجات الماء عن سرعة موجات الصوت.
- تختلف سرعة الموجة عند انتقال الموجة بين وسطين مختلفين فمثلا سرعة الصوت في الهواء مختلفة عن سرعته في الماء..
- التعويض بالقوانين بالوحدات الأساسية.

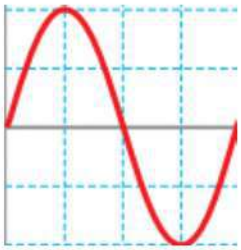
تمثيل الموجات بيانيًا

- **(منحنى الإزاحة - الموقع)** لقياس الإزاحة في مواقع مختلفة عندما يكون الزمن ثابتًا.



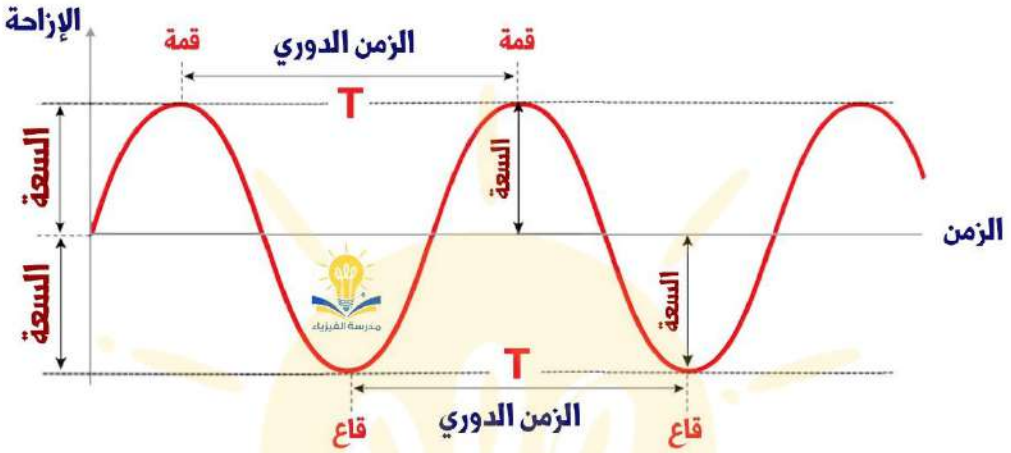
- المسافة هنا هي البعد عن مركز الموجة أو المصدر والإزاحة هي إزاحة الموجة للأعلى والأسفل (الاضطراب).
- تكون الإزاحة على محور الـ (y) والمسافة على محور الـ (x).
- نستفيد من المنحنى في معرفة الطول الموجي والسعة ومواقع القمم والقيعان عند لحظة زمنية معينة.

ملاحظات مهمة



- يمثل الشكل الرسم العام للموجة الكاملة حيث يتم فيها تشكل قمة وقاع للموجة.
- المسافة هي البعد بين دقائق الوسط التي تهتز ومصدر الموجات.
- الإزاحة هي مقدار ابتعاد دقائق المهتزة عن مركز اتزانها.
- عندما تكون الموجة مستعرضة تكون المسافة أفقية والإزاحة عمودية.

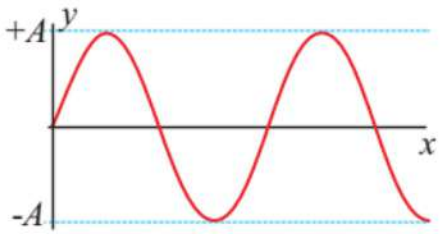
■ **(منحنى الإزاحة - الزمن)** لقياس الإزاحة في لحظات زمنية مختلفة في موقع واحد.

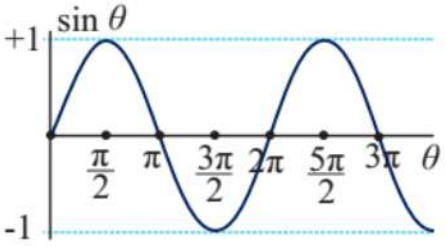


- يصف هذا المنحنى البياني شكل الموجة بالنسبة إلى الزمن وتكون الإزاحة على محور الـ (y) والزمن على محور الـ (x).
- نستفيد من المنحنى في معرفة الزمن الدوري والسعة وعدد القمم والقيعان خلال مدة زمنية محددة.
- لا يمثل الزمن الدوري المسافة بين القمتين أو القاعين وإنما المسافة بين قيم (x) للقمتين أو القاعين المتتاليين.

اقتران الموجة

- تساعدنا المعادلات الرياضية على الوصول للخصائص الأخرى للموجات والتعامل مع الحركة الموجية بشكل أكثر دقة.
- وُجد تشابه بين منحنى الموجة ومنحنيات الاقترانات الدائرية المثلثية جيب الزاوية وجيب تمام الزاوية.
- الموجة الجيبية هي الموجة التي يتفق تمثيلها البياني مع اقتران الجيب.
- اقتران الجيب يصف العلاقة بين الزاوية وجيب الزاوية والذي يحدد شكل منحنى العلاقة الجيبية هي الزاوية (وهي نفسها زاوية الطور كما أخذنا سابقًا).





تمثل المعادلة الرياضية العلاقة الممثلة لأي اقتران جيبي:

$$y(\theta) = A sin\theta$$

θ : زاوية الطور , A : سعة الموجة

تعتمد زاوية الطور على موقع الجزء المهتز من الموجة المستعرضة واللحظة الزمنية التي تحسب عندها الإزاحة الرأسية.

الإزاحة بدلالة الموقع

- درسنا سابقًا العلاقة بين الإزاحة والزمن والخصائص المبنية على ذلك أما الآن في هذه الوحدة فإننا سنقوم بدراسة العلاقة بين موقع كل جزء من الموجة والإزاحة الحاصلة للموجة عند تثبيت عامل الزمن.
- يمكننا من خلال المعادلة الآتية إيجاد مقدار الإزاحة الرأسية المقابلة لأي نقطة (x) على الحبل عند اللحظة الزمنية $(t = 0\ s)$:

$$y(x, t = 0) = A sin(\theta) = A sin(kx)$$

θ : زاوية الطور , A : سعة الموجة

- يشير الرمز (k) إلى كمية فيزيائية تسمى الرقم الموجي ويمكن حسابها من خلال المعادلة الآتية :

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

k : الرقم الموجي , λ : الطول الموجي

- بعد ترتيب المعادلات يمكننا حساب زاوية الطور من خلال المعادلة الآتية :

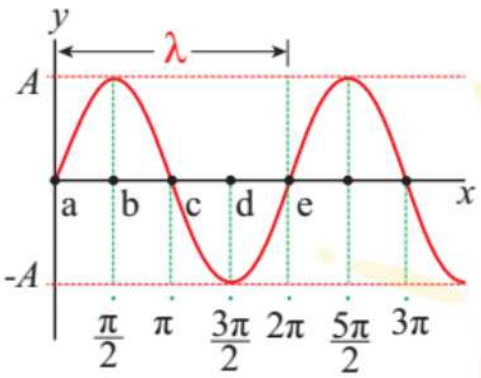
$$\theta = kx = \frac{2\pi}{\lambda} x$$

k : الرقم الموجي , λ : الطول الموجي

ملاحظات مهمة

- وحدة قياس الرقم الموجي هي (rad/m)..
- وحدة قياس زاوية الطور هي (rad).

- يمثل الرسم البياني منحنى الإزاحة بدلالة الموقع وزاوية الطور عند اللحظة ($t = 0\ s$):
- الآن سنقوم بحساب زاوية الطور المقابلة لكل موقع حتى نقوم بإيجاد الإزاحة الرأسية لكل موقع في الرسم.



$$\theta_a = \frac{2\pi}{\lambda} x_a = \frac{2\pi}{\lambda} \times 0 = 0$$

$$\theta_b = \frac{2\pi}{\lambda} x_b = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$$

$$\theta_c = \frac{2\pi}{\lambda} x_c = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{2} = \pi$$

$$\theta_d = \frac{2\pi}{\lambda} x_d = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{3\lambda}{4} = \frac{3\pi}{2}$$

$$\theta_e = \frac{2\pi}{\lambda} x_e = \frac{2\pi}{\lambda} \times \lambda = 2\pi$$

$$y(x_a, t = 0) = A\sin(\theta_a) = A\sin(0) = 0$$

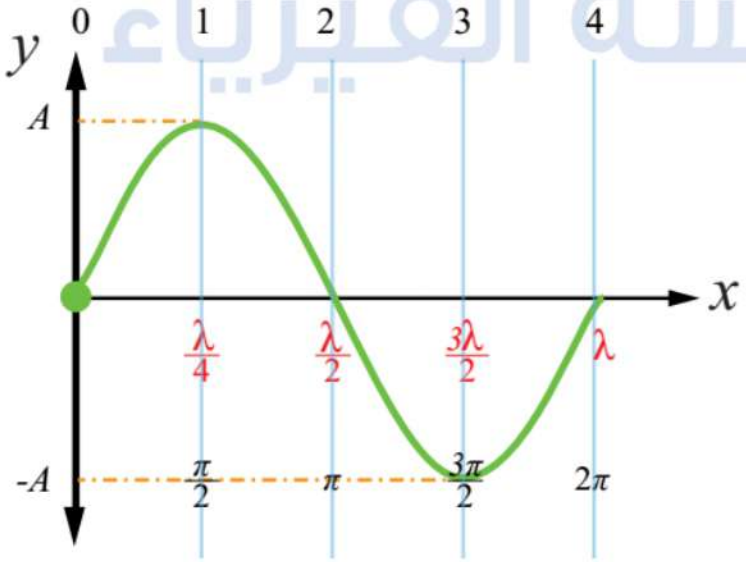
$$y(x_b, t = 0) = A\sin(\theta_b) = A\sin(\frac{\pi}{2}) = A$$

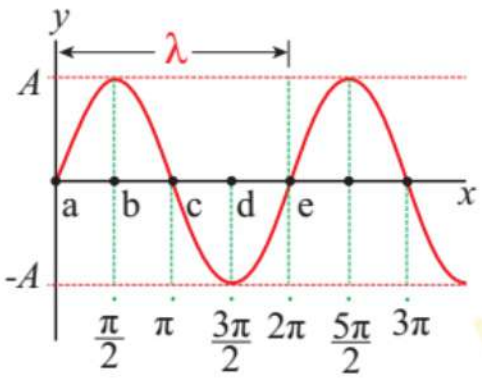
$$y(x_c, t = 0) = A\sin(\theta_c) = A\sin(\pi) = 0$$

$$y(x_d, t = 0) = A\sin(\theta_d) = A\sin(\frac{3\pi}{2}) = -A$$

$$y(x_e, t = 0) = A\sin(\theta_e) = A\sin(2\pi) = 0$$

- نلاحظ أن كل حدث (قمة أو قاع أو موضع اتزان) يمثل ربع طول موجي كما كنا سابقا نتعامل مع الزمن الدوري.



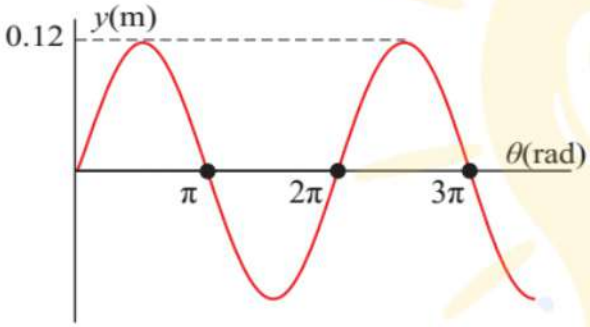


✓ أتحقَّقُ: جد المسافة في الشكل بين كل من (d,e) و نقطة الأصل بدلالة الطول الموجي ثم حدد زاوية الطور المقابلة لكل موقع.

$$x_d = \frac{3\lambda}{4} \ , \ \theta_d = \frac{3\pi}{2}$$

$$x_e = \lambda \ , \ \theta_d = 2\pi$$

سؤال تنتشر موجة جيبية أفقيًا في حبل مشدود باتجاه اليمين $(+x)$ سعتها (0.12 m) وطولها الموجي (0.32 m) وترددها (10 Hz). بناءً على الشكل. جد ما يأتي:



أ - مقدار الرقم الموجي (k).

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\times 3.14}{0.32} = 19.625 \text{ rad/m}$$

ب - أكتب اقتران الموجة عند اللحظة $(t = 0)$.

$$y(x, t = 0) = A\sin(kx) = 0.12\sin(19.625x)$$

جـ - الإزاحة الرأسية للحبل عند الموقع $(x = 0.16\ m)$ عند اللحظة $(t = 0)$.

$$y(0.16, t = 0) = 0.12\sin(19.625 \times 0.16)$$
$$y(0.16, t = 0) = 0.12 \times \sin(3.14\ rad)$$
$$y(0.16, t = 0) = 0.12 \times \sin(180^o) = 0.12 \times 0 = 0\ m$$

سؤال إضافي تمثل المعادلة الآتية اقتران موجة جيبية عند اللحظة $(t = 0)$:

$$y(x, t = 0) = 0.08\sin(\pi x)$$

إذ تُقاس السعة بوحدة (m). جد:

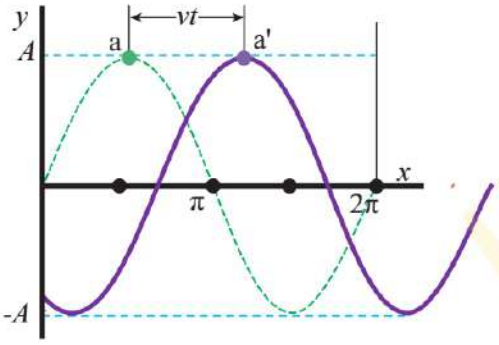
أ - سعة الموجة وطولها الموجي ومقدار الرقم الموجي

$$A = 0.08\ m \ , \ k = \pi\ rad/m \ , \ \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\times\pi}{\pi} = 2\ m$$

ب - الإزاحة الرأسية للموجة عند الموقع $(x = 0.5\ m)$ عند اللحظة $(t = 0)$..

$$y(0.5, t = 0) = 0.08\sin(\pi \times 0.5) = 0.08\ m$$

الإزاحة بدلالة الموقع والزمن



- نلاحظ في الشكل الإزاحة الرأسية عند موقعين رصدت كل منها في لحظة زمنية مختلفة مع تقدم الزمن.
- الموجة (a) تتقدم خلال زمن (t) نحو اليمين بسرعة (v) فتقطع كل نقطة على الموجة مسافة مقدارها (vt) نحو اليمين كما في الشكل.
- نلاحظ أن الإزاحة الرأسية للنقطة (a) عند الموقع (x) هي الإزاحة الرأسية نفسها للنقطة (a) عند الموقع $(x - vt)$.

$$y(x,t) = y(x - vt, 0) = A\sin(k(x - vt))$$

$$= A\sin(kx - \frac{2\pi}{\lambda} vt) = A\sin(kx - 2\pi f t)$$

$$y(x,t) = A\sin(kx - \omega t) = A\sin(kx - \omega t)$$

$$y(x,t) = A\sin(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{2\pi}{T} t)$$

- الاقتران الموجي الذي يصف اعتماد حركة الموجة على كل من الموقع (x) والزمن (t):

$$y(x,t) = A\sin(kx - \omega t)$$

سؤال تنتشر موجة جيبية أفقيًا في حبل مشدود باتجاه اليمين $(+x)$ وتوصف بالاقتران الآتي :

$$y = 0.34\sin(1.57x - 14t)$$

إذ تُقاس $(x\ ,\ y)$ بوحدة المتر وتقاس (t) بوحدة الثانية. جد ما يأتي:

أ - السعة، التردد الزاوي، الرقم الموجي.

$$y(x,t) = A\sin(kx - \omega t)$$

$$A = 0.34\ m\ ,\ \omega = 14\ rad/s\ ,\ k = 1.57\ rad/m$$

ب - الطول الموجي، سرعة الموجة.

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\times 3.14}{1.57} = 4\ m$$

$$v = \lambda f = \lambda \frac{\omega}{2\pi} = 4 \times \frac{14}{2\times 3.14} = 8.92\ m/s$$

جـ - الإزاحة الرأسية لجزء من الحبل يبعد عن نقطة الأصل $(6\ m)$، عند اللحظة $(t = 0.5)$.

$$y(6, t = 0.5\ s) = 0.34sin(1.57 \times 6 - 14 \times 0.5) =$$
$$0.34sin(2.42\ rad) = 0.34sin(138.72^o) = 0.22\ m$$

ثابت الطور

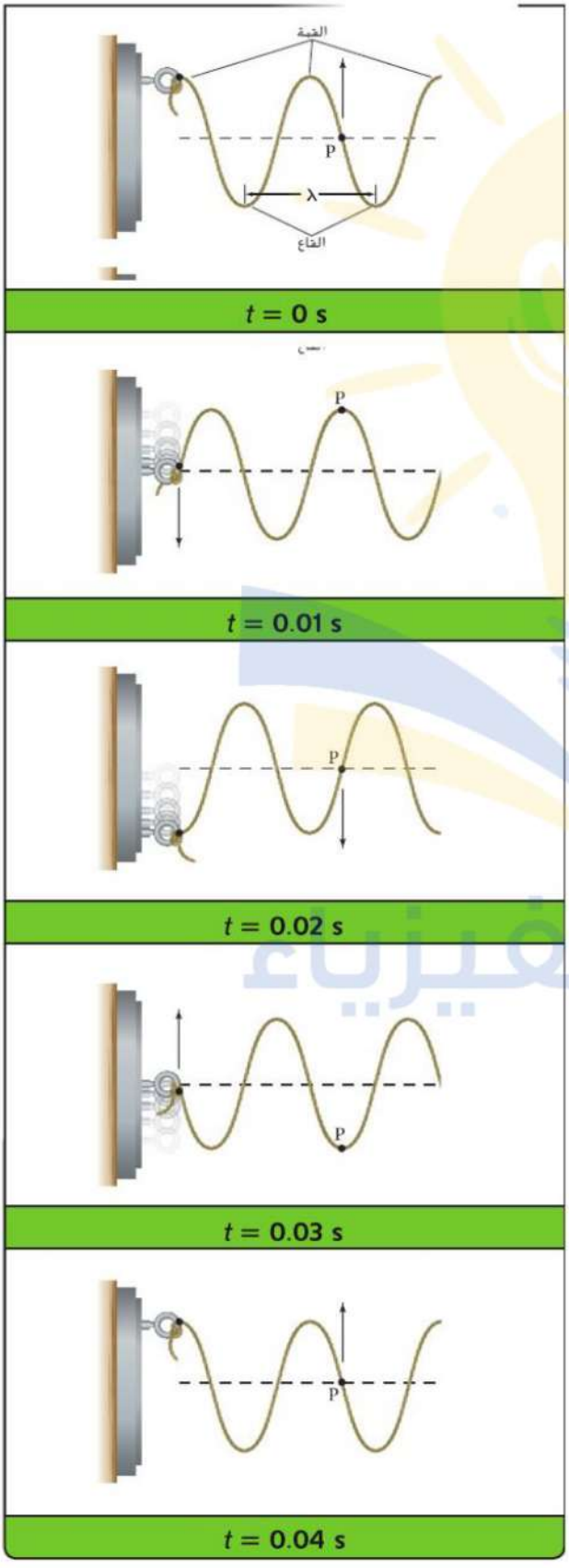
- تعاملنا في المسائل السابقة مع الإزاحة بافتراض أن الموجات قد بدأت الحركة من موضع الاتزان لذلك كانت جميع الموجات متساوية في زاوية الطور.
- قد تختلف الموجات في بدايتها لذلك نُضيف ثابت الطور للتمييز بين الذبذبات والموجات.
- الاقتران الموجي الذي يصف حركة الموجة عند إضافة ثابت الطور:

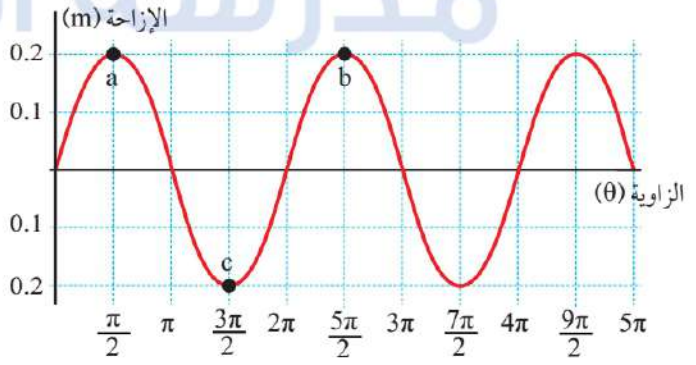
$$y(x,t) = Asin(\theta) = Asin(kx - \omega t + \phi)$$

- نلاحظ بأن أي نقطتين على الموجة يفصل بينهما طول موجي واحد أو مضاعفاته هذا يعني أن لهما الطور نفسه والزمن الدوري نفسه.
- في الشكل أدناه نلاحظ أن موقع النقطة (a) يفصله عن النقطة (b) فرق في زاوية الطور مقداره:

$$\Delta\theta_{a,b} = \frac{5\pi}{2} - \frac{\pi}{2} = 2\pi = 360^o$$

متماثلتان في الطور

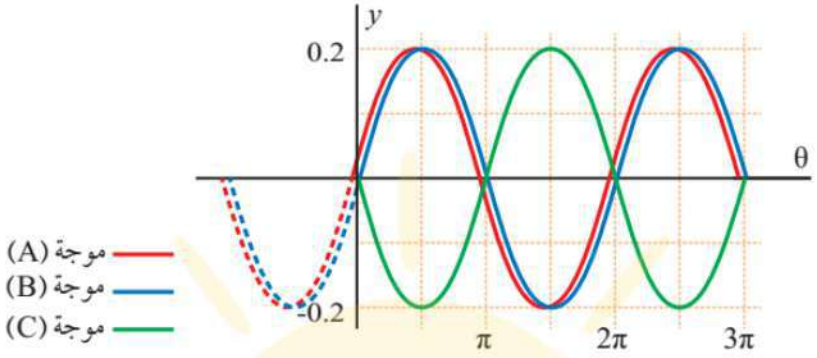




$$\Delta\theta_{c,b} = \frac{5\pi}{2} - \frac{3\pi}{2} = \pi = 180^o$$

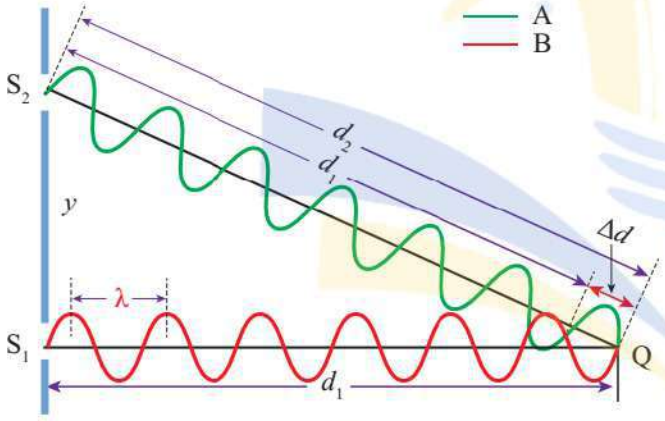
متعاكستان في الطور

- نلاحظ في الشكل موجتان متفقتان في الطور وموجة ثالثة تختلف عن كل منهما في الطور بمقدار (π).



- إذا بدأت موجتان الحركة في اللحظة نفسها وكانت الإزاحة متساوية عند الزوايا جميعها لكل من الموجتين فيمكننا القول أن الموجتين متفقتان في الطور كما نلاحظ في الموجتين (A) و (B).
- ينطبق الاتفاق في الطور أيضا على موجتين إذا بدأت أحدهما بعد بداية الأخرى بزاوية طور قياسها (2π) أو من مضاعفات هذا القياس ($n \times 2\pi$).

- نلاحظ في الشكل أدناه أن الموجتين (A) و (B) متساويتين في التردد والطول الموجي والسعة وكل منهما صادر عن مصدر.



- الزاوية (A) صادرة عن المصدر (S_1) والزاوية (B) صادرة عن المصدر (S_2).
- نلاحظ أن لكل من الموجتين زاوية الطور نفسها عند موقع المصدر.
- تصبح كل من الموجتين مختلفتين في زاوية الطور عند الوصول إلى النقطة (Q) كما في الشكل وسبب الاختلاف في الطور هو اختلاف طول المسار لكل موجة.
- يتضح لنا من الشكل أن هنالك فرقًا بين المسافة التي قطعتها الموجة (A) والمسافة التي قطعتها الموجة (B) وهذا الفرق يسمى بفرق المسار.

$$d_2 - d_1 = \Delta d$$

سؤال إضافي NERD **جسمين مرتبطان بنابضين (A) و (B) يتحركان حركة توافقية بسيطة، إذا علمت أن الزمن الدوري للجسم (A) ضعف الزمن الدوري للجسم (B) فما الجسم الذي له رقم موجي أكبر ؟**

الجسم (A) له تردد أقل لأن زمنه الدوري أكبر وبالتالي له طول موجي أكبر مما يعني أن رقمه الموجي أقل من الرقم الموجي للجسم (B).

✓ أتحقَّقُ: ما فرق المسار بين موجتين، الذي يقابله فرق طور مقداره (π)؟

$$\Delta d = \frac{1}{2}\lambda$$

سؤال تنتشر موجة جيبية أفقيًا في حبل مشدود باتجاه اليمين ($+x$) وتوصف بما يأتي: سعتها ($0.40\ m$) وزمنها الدوري ($0.20\ s$)، وسرعتها ($12\ m/s$)، وثابت الطور (0.86π). جد ما يأتي:

أ - أكتب الاقتران الموجي.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.2} = 5\ Hz \quad , \quad \lambda = \frac{v}{f} = \frac{12}{5} = 2.4\ m$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{2.4} = 0.83\pi \quad , \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.20} = 10\pi$$

$$y(x,t) = Asin(kx - \omega t + \phi)$$

$$y(x,t) = 0.40sin(0.83\pi x - 10\pi t + 0.86\pi)$$

ب - أحسب الإزاحة الرأسية عند ($x = 8\ m$) ، ($t = 0.52\ s$).

$$y(8,0.52) = 0.40sin(0.83\pi \times 8 - 10\pi \times 0.52 + 0.86\pi)$$

$$y(8,0.52) = 0.40sin(6.64\pi - 5.2\pi + 0.86\pi)$$

$$y(8,0.52) = 0.40sin(2.3\pi) = 0.40sin(414^o) = 0.32\ m$$

سؤال إضافي تمثل المعادلة الآتية اقتران موجة جيبية عند اللحظة ($t = 0$) :

$$y(x, t = 0) = 2sin(\pi x - \pi t + \pi)$$

إذ تُقاس السعة بوحدة (cm). جد:

أ - سعة الموجة وطولها الموجي ومقدار الرقم الموجي

$$A = 2\ cm = 0.02\ m \ , \ k = \pi\ rad/m \ , \ \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\times\pi}{\pi} = 2\ m$$

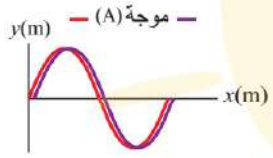
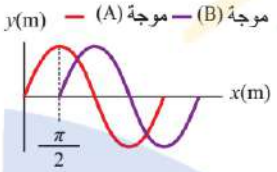
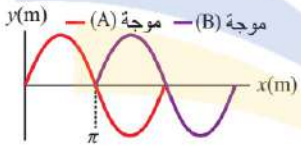
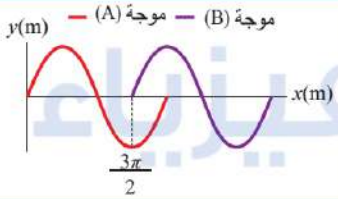
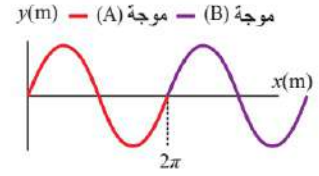
ب - الإزاحة الرأسية للموجة عند الموقع ($x = 0.5\ m$) عند اللحظة ($t = 0$)..

$$y(0.5, t = 0) = 0.08sin(\pi \times 0.5) = 0.08\ m$$

سؤال إضافي NERD هل يختلف الرقم الموجي للجسم المهتز تحت تأثير نابض على سطح الأرض عن الرقم الموجي لنفس الجسم على القمر؟ فسر إجابتك..

لا، لأن الرقم الموجي للجسم المهتز تحت تأثير نابض لا يعتمد على تسارع الجاذبية.

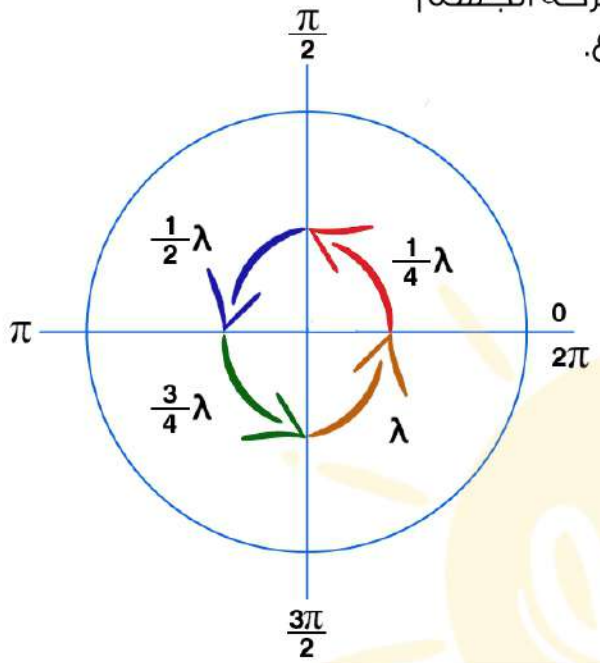
يوضح الشكل ملخصًا للمقارنة بين موجتين (A) و (B) متساويتين في التردد والطول الموجي، باستخدام ثابت الطور وفرق المسار بدلالة الطول الموجي لهما والفارق الزمني بين الموجتين بدلالة الزمن الدوري.

الشكل	الوصف	Δd	Δt	ϕ (degree)	ϕ (rad)
	متّفقتان	0	0	0 °	0
	مختلفتان	$\frac{1}{4}\lambda$	$\frac{1}{4}T$	90 °	$\frac{\pi}{2}$
	متعاكستان	$\frac{1}{2}\lambda$	$\frac{1}{2}T$	180 °	π
	مختلفتان	$\frac{3}{4}\lambda$	$\frac{3}{4}T$	270 °	$\frac{3\pi}{2}$
	متّفقتان	λ	T	360 °	2π

ملاحظات مهمة

- نلاحظ أن كل (2π) يعطينا (T) ويعطينا أيضا (λ).
- يمكننا استخدام مفهوم الأرباع والمستوى الديكارتي لإيجاد فرق الطور مباشرة..

✪ يمكننا استخدام الشكل المجاور لفهم فكرة حركة الجسم وعلاقة الطول الموجي والزمن الدوري والطور بالأرباع.

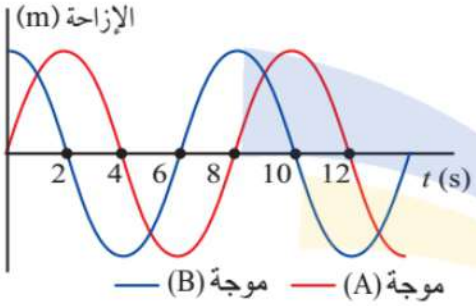


$$(\lambda) \Rightarrow (2\pi)$$

$$(T) \Rightarrow (2\pi)$$

$$(T) \Rightarrow (\lambda)$$

سؤال موجتان (A) و (B) الطول الموجي لكل منهما (0.24 m) تنتشران في الوسط نفسه. يُبين الشكل منحنى (الإزاحة-الزمن) للموجتين معًا. بناءً على الشكل، جد ما يأتي:



أ - الزمن الدوري والتردد لكل من الموجتين.

$$T_A = 8\ s\ ,\ f_A = \frac{1}{T_A} = \frac{1}{8} = 0.125\ Hz$$

$$T_B = 8\ s\ ,\ f_B = \frac{1}{T_B} = \frac{1}{8} = 0.125\ Hz$$

ب - الفارق الزمني الذي تأخرت به إحدى الموجتين عن الأخرى.

من خلال الشكل نلاحظ أن الموجة (A) تأخرت في حركتها عن الموجة (B) بمقدار ربع موجة أي أن الموجة (B) بدأت الاهتزاز قبل الموجة (A) بثانيتين وبالتالي يكون الفارق الزمني بينهما :

$$\Delta t = 2\ s$$

جـ - الفرق في زاوية الطور بين الموجتين.

$$\Delta\theta = \frac{1}{4}(\lambda) = \frac{1}{4}(2\pi) = \frac{\pi}{2}\ rad = 90^o$$

د - فرق المسار بين الموجتين.

$$\Delta d = \frac{1}{4}(\lambda) = \frac{0.24}{4} = 0.06\ m$$

تمرين في السؤال السابق، إذا كان الفرق في زاوية الطور يساوي (4π)، فما مقدار الفارق الزمني وفرق المسار بين الموجتين؟

$$\Delta t = 2T = 2 \times 8 = 16\ s$$

$$\Delta d = 2\lambda = 2 \times 0.24 = 0.48\ m$$

✪ بإمكاننا معرفة الفارق الزمني وفرق المسار بين أي موجتين باستخدام القوانين الرياضية الآتية بشرط إذا علمنا الفرق في زاوية الطور:

$$\Delta t = \Delta\theta \times \frac{T}{2\pi}$$

$$\Delta d = \Delta\theta \times \frac{\lambda}{2\pi}$$

سؤال إضافي NERD موجة جيبية تنتقل باتجاه محور $(+x)$، تمتلك هذه الموجة سعة مقدارها $(15\ cm)$ وطول موجي $(40\ cm)$ وبتردد $(8\ Hz)$. إذا علمت أن $(x = A)$ عند بداية الحركة، فجد كلاً مما يلي:

أ- العدد الموجي والتردد الزاوي.

$$A = 15\ cm = 0.15\ m\ ,\ f = 8\ Hz\ ,\ \lambda = 40\ cm = 0.40\ m$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\times3.14}{0.40} = 15.7\ rad/m$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{8} = 0.125\ s \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\times3.14}{0.125} = 50.24\ rad/s$$

ب- سرعة الموجة.

$$v = \lambda f = 0.40 \times 8 = 3.2\ m/s$$

جـ- أكتب الاقتران الموجي.

$$y(x,t) = A\sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$y(x,t) = 0.15\sin(15.7x - 50.24t + \frac{\pi}{2})$$

حل أسئلة مراجعة الدرس الأول من الوحدة الخامسة

سؤال 1 أكتب اقترانًا موجيًا يصف الإزاحة الرأسية لدقائق وسط صلب عندما تنتشر فيه موجة مستعرضة. مبينًا كلاً من : السعة، زاوية الطور، الرقم الموجي، ثابت الطور، التردد الزاوي.

إجابة هذا السؤال مفتوحة لوضع أي قيمة أو مقدار لكل كمية فيزيائية مطلوبة من الطالب !

$$y(x,t) = A\sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$y(x,t) = 0.15\sin(2x - 10t + \frac{\pi}{2})$$

$$A = 15\ cm = 0.15\ m \ , \ k = 2\ rad/m \ , \ \phi = \frac{\pi}{2}$$

$\theta = 2x - 10t + \frac{\pi}{2}$ ⇨ زاوية الطور

سؤال 2 صنف الموجات الآتية حسب نوع الطاقة التي تنقلها : الأشعة تحت الحمراء، الأشعة السينية، الموجات الصوتية، موجات الضوء المرئي، الموجات المنتشرة في نابض، الموجات الزلزالية.

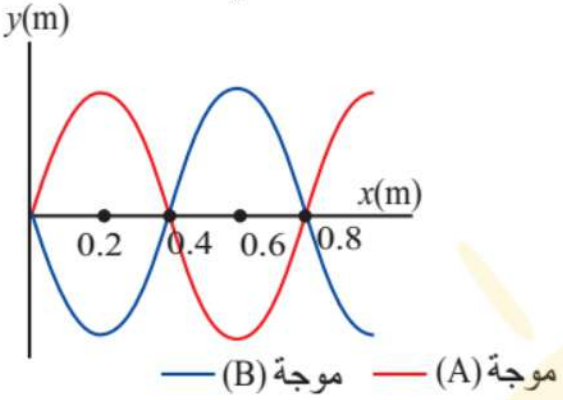
موجات تنقل الطاقة الميكانيكية: الموجات الصوتية، موجات النابض، الموجات الزلزالية.
موجات تنقل الطاقة الكهرومغناطيسية: الأشعة تحت الحمراء، الضوء المرئي، الأشعة السينية.

سؤال 3 تنتشر موجة ميكانيكية في حبل رفيع، ثم تكمل انتشارها في حبل غليظ. أي الكميات الآتية ستتغير عند الحد الفاصل بين الحبلين ؟ (التردد، الزمن الدوري، الطول الموجي، السرعة).

انتقال الموجة بين حبلين مختلفين في السمك يعني أنها انتقلت بين وسطين مختلفين في الخصائص وبالتالي :

- تتغير سرعة الموجة والطول الموجي لها لاعتمادهما على خصائص الوسط.
- لا يتغير تردد الموجة والزمن الدوري لها لاعتمادهما على المصدر.

سؤال 4 موجتان (A,B) الزمن الدوري لكل منهما (0.40 s) تنتشران في وسط واحد.



بناءً على الشكل جد ما يأتي:

أ - الطول الموجي لكل من الموجتين.

$$\lambda = 0.8\ m$$

ب - فرق الطور بين الموجتين.

$$\Delta\theta = \pi = 180^o$$

جـ - ثابت الطور لكل من الموجتين.

$$\phi_A = 0 \quad , \quad \phi_B = \pi$$

سؤال 5 تنتشر موجة جيبية أفقيًا في حبل مشدود باتجاه اليمين ($+x$) سعتها (0.28 m) وطولها الموجي (0.20 m) وترددها (8 Hz) وثابت الطور لها ($\frac{\pi}{2}$). أجب عما يأتي:

أ - احسب مقدار الرقم الموجي (k) والتردد الزاوي.

$$A = 0.28\ m \ , \ f = 8\ Hz \ , \ \lambda = 0.20\ m$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\times\pi}{0.20} = 10\pi\ rad/m = 31.4\ rad/m$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 8 = 16\pi = 50.24\ rad/s$$

ب - أكتب اقتران الموجة.

$$y(x,t) = A sin(kx - \omega t + \phi)$$

$$y(x,t) = 0.28 sin(10\pi x - 16\pi t + \frac{\pi}{2})$$

ب - جد الإزاحة الرأسية عند الموقع ($x = 1.9\ m$) عند اللحظة ($t = 1.5\ s$).

$$y(1.9, t = 1.5) = 0.28 sin(10\pi \times 1.9 - 16\pi \times 1.5 + \frac{\pi}{2})$$

$$= 0.28 sin(19\pi - 24\pi + \frac{\pi}{2}) = 0.28 sin(-4.5\pi\ rad)$$

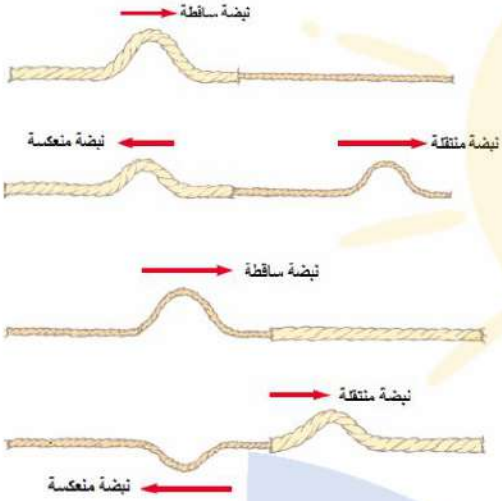
$$= 0.28 sin(-810^o) = 0.28 sin(-90^o) = 0.28 \times -1 = -0.28\ m$$

الوحدة الخامسة: الموجات وخصائصها

الدرس الثاني : الموجات الموقوفة والرنين

■ سلوك الموجات:

عندما تصل موجة إلى الحد الفاصل بين وسطين فإنها من الممكن أن تنعكس وترتد إلى الوسط نفسه أو تمر كلها أو جزء منها خلال الحد الفاصل إلى وسط آخر ويتغير اتجاهها عند الحد الفاصل بين الوسطين.

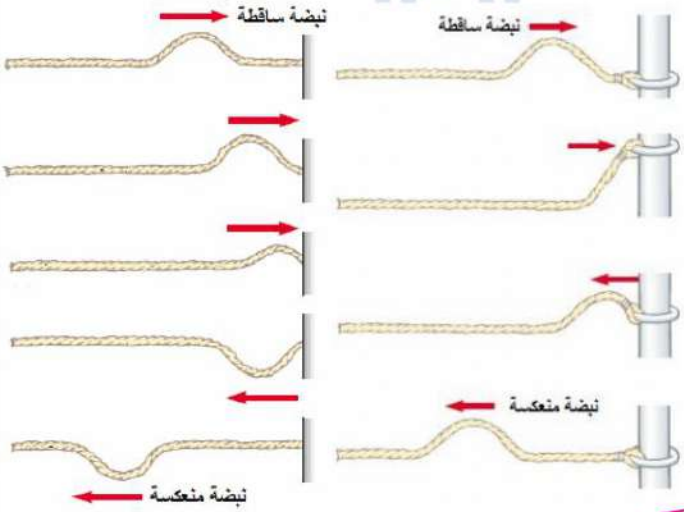


- **الموجات عند الحواجز إذا كان الحد الفاصل نابضا آخر:**

- عندما تتحرك نبضة من النابض الأكثر سمكا إلى النابض الأقل سمكًا فإن جزء من النبضة ينعكس معتدلًا والجزء الآخر ينتقل في النابض الأقل سمكًا.
- عندما تتحرك نبضة من النابض الأقل سمكا إلى النابض الأكثر سمكًا فإن جزء من النبضة ينعكس (مقلوبًا) والجزء الآخر ينتقل في النابض الأقل سمكًا.

سؤال إضافي NERD **في النبضة المنعكسة في الجزء الأول لماذا لم تنعكس الموجة مقلوبة رأسيا عند انعكاسها؟**

عندما تصل الموجة لنقطة التقاء الحبلين تؤثر نهاية الحبل الغليظ بقوة إلى الأعلى في طرف الحبل الرفيع فيستجيب لهذه القوة ويتحرك إلى الأعلى أما قوة رد الفعل التي يؤثر بها الحبل الرفيع في الغليظ تكون غير كافية لقلب الموجة بسبب الممانعة الكبيرة للحبل الغليظ فتنعكس الموجة معتدلة كما في حال سقوطها.



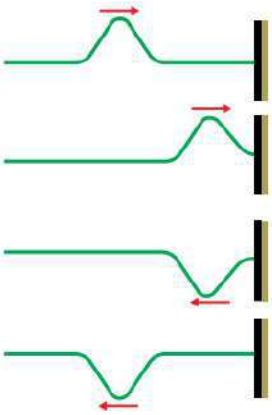
- **الموجات عند الحواجز إذا كان الحد الفاصل حائطا:**

- إذا كان النابض مثبت في حائط صلب تكون النبضة المنعكسة مقلوبة وتكون سعة النبضة المنعكسة مساوية تقريبا لسعة الموجة الساقطة.
- إذا كان النابض متصل بحلقة حرة الحركة حول قضيب حديدي تكون النبضة المنعكسة معتدلة وتكون سعة النبضة المنعكسة مساوية تقريبا لسعة الموجة الساقطة.

أتحقَّقُ: فسر لماذا ترتد النبضة مقلوبة رأسيًا عند انعكاسها عن حاجز ؟

ترتد النبضة المرسلة في حبل نهايته مثبتة في حائط مقلوبة رأسيًا حسب القانون الثالث لنيوتن أثر الحبل في الحائط بقوة نحو الأعلى فأثر الحائط في الحبل بقوة مساوية نحو الأسفل فارتدت الموجة مقلوبة رأسيًا.

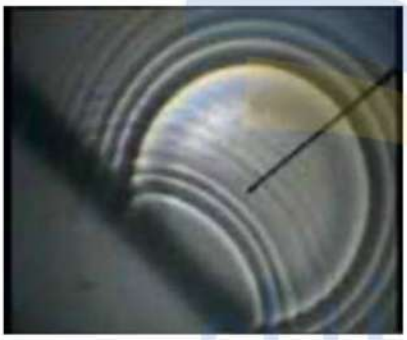
سؤال إضافي NERD وضح كيفية أو آلية انعكاس النبضة الموجية في الحبل كما في الشكل الآتي ؟



عند ارسال نبضة موجية واحدة خلال حبل بعد تثبيت طرفه الثاني في الجدار فإننا نلاحظ أن هذه النبضة ترتد عن الجدار وتنتقل باتجاه معاكس من الجدار إلى الطرف الحر للحبل كما في الشكل.

- تنتقل النبضة باتجاه اليمين كما في المرحلة (أ) وعند اقترابها من نقطة التثبيت على الجدار فإن الحبل يؤثر في الجدار بقوة نحو الأعلى.
- حسب القانون الثالث في الحركة لنيوتن فإن الجدار يؤثر في الحبل بقوة رد فعل نحو الأسفل ويُحدث فيها نبضة جديدة مقلوبة تنتقل عائدة (راجعة) نحو اليسار كما في المرحلة (ب) أي أنها تنعكس.

سؤال إضافي NERD وضح ماذا يحدث لموجات سطح الماء الدائرية عند تعرضها لحاجز ؟



تنعكس عن الحاجز على شكل أقواس دائرية يقع مركزها الوهمي خلف الحاجز كما في الشكل.

ملاحظات مهمة

- كما شرحنا سابقا انعكاس الموجات المستعرضة على سطح الماء أو في الحبل والنابض فإن جميع الموجات المستعرضة الأخرى تنعكس بنفس الطريقة والآلية (ومثال ذلك انعكاس موجات الضوء وباقي الموجات الكهرمغناطيسية).
- نفس الشيء يحدث بالنسبة إلى الموجات الطولية فهي تنعكس عند تعرضها لحاجز يعترض طريق انتشارها ومثال ذلك انعكاس موجات الصوت عند الحواجز المختلفة كالمباني والجبال.

■ الحيود Diffraction:

سؤال وضح ما المقصود بالحيود ؟

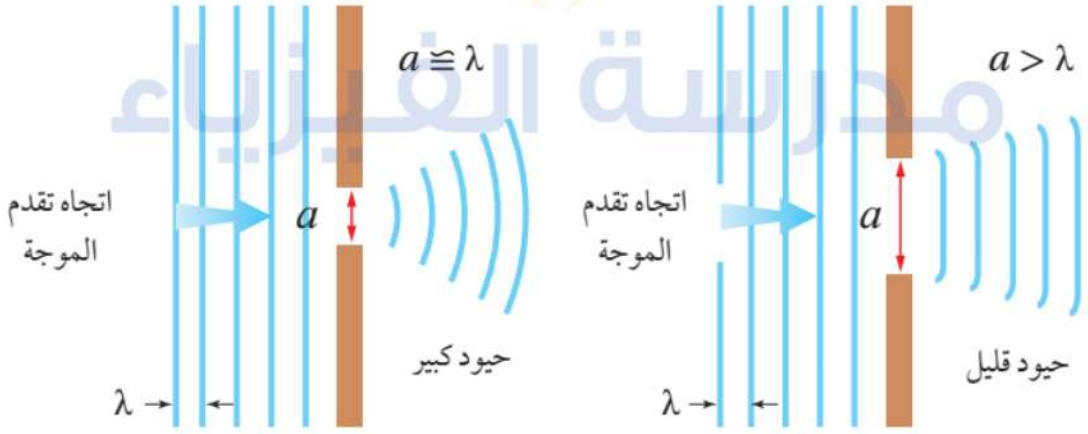
هو ظاهرة انحراف الموجات عن اتجاهها وانتشارها عند مرورها بالقرب من حاجز أو خلال فتحة ضيقة لحاجز في حين تتقدم الموجة في خط مستقيم عندما لا يوجد حواجز في طريقها.

إذا كان اتساع الفتحة أصغر بكثير من الطول الموجي فإن الموجات لن تنفذ من خلالها.

عند زيادة اتساع الفتحة تبدأ الموجات بالنفاذ ويحدث لها حيود عند النفاذ بحيث ينحني مسارها حول جانبي الفتحة.

- جميع الموجات (موجات الماء والصوت والضوء و....) يمكن أن تتعرض للحيود.
- يكون الحيود واضحًا عندما يكون اتساع الفتحة التي تمر من خلالها الموجات مقاربًا لمقدار طولها الموجي.
- يبين الشكل بالجانب نمطين مختلفين لحيود موجات مستقيمة على سطح الماء عند نفاذها من فتحتين مختلفتين في حاجزين وسبب الاختلاف في نمطي الحيود ناتج عن الاختلاف في اتساع الفتحة التي عبرت خلالها الموجات.

- يبين الشكل أدناه نمطين مختلفين لحيود موجات مستقيمة عند نفاذها من فتحتين مختلفتين في حاجزين وسبب الاختلاف في نمطي الحيود ناتج عن الاختلاف في اتساع الفتحة التي عبرت خلالها الموجات.



سؤال ما الشروط اللازم لحدوث ظاهرة الحيود؟

وجود فتحة في حاجز وأن يكون اتساع الفتحة قريبا من الطول الموجي.

سؤال **ما العلاقة بين حيود الموجات واتساع الفتحة؟**

تحدث ظاهرة الحيود بشكل واضح عندما يكون اتساع الفتحة التي تعبرها الموجات مقاربًا لطولها الموجي، أما عندما تكون الفتحة أصغر بكثير من الطول الموجي أو أكبر منه بكثير فلا تحدث ظاهرة الحيود بشكل واضح.
باختصار بسيط كلما كان اتساع الفتحة أكبر من الطول الموجي تتلاشى ظاهرة الحيود.

✓ أتحقَّقُ: **وضح المقصود بظاهرة الحيود مُبينًا الاتساع المناسب للفتحة التي يحدث منها الحيود بالنسبة إلى الطول الموجي.**

هو ظاهرة انحراف الموجات عن اتجاهها وانتشارها عند مرورها بالقرب من حاجز أو خلال فتحة ضيقة لحاجز في حين تتقدم الموجة في خط مستقيم عندما لا يوجد حواجز في طريقها.
وتحدث ظاهرة الحيود بشكل واضح عندما يكون اتساع الفتحة التي تعبرها الموجات مقاربًا لطولها الموجي.

- في التطبيقات البصرية يؤثر حيود الضوء سلبًا في كفاءة الأداة فكلما كانت الفتحة التي يعبر منها الضوء أقل اتساعًا انخفضت قوة التفريق في الأداة البصرية.
- تحدث ظاهرة الحيود للضوء عند نفاذه من عدسة ضيقة أو انعكاسه عن مرآه ضيقة.
- تبين الصورة استخدام مرآه مقعرة في أكبر تلسكوب عاكس بُني في جزيرة كناري وهو يملك قوة تفريق عالية تجعلنا نميز التجمعات النجمية الصغيرة القريبة من بعضها فنراها منفصلة عن بعضها..

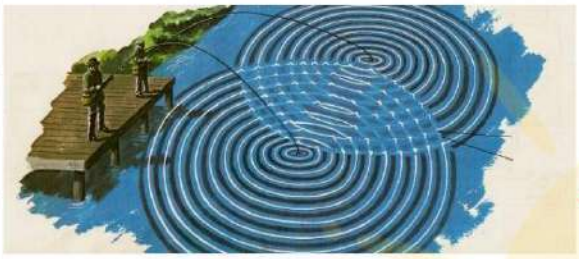
سؤال **ما هي فائدة اتساع المرآة المقعرة؟**

كلما زاد اتساع المرآه يمكننا جمع كمية أكبر من الضوء الوارد من النجوم والتخلص من الحيود الناتج عن الفتحات الصغيرة.

التراكب والتداخل

■ التداخل Interference :

سؤال وضح ما المقصود بالتداخل ؟



التقاء مسارين من الحركة الموجية بحيث ينتج عن التقاء القمم والقيعان نمط محدد.

أو التقاء موجتين أو أكثر في نفس الوسط وبنفس الوقت.

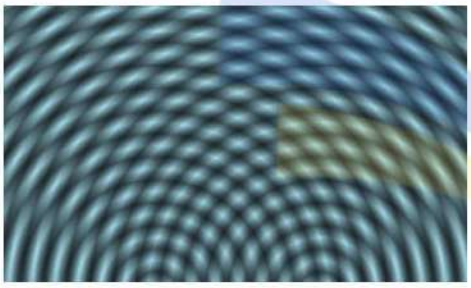
سؤال متى تحدث ظاهرة تداخل الموجات ؟

تحدث عندما تلتقي موجتان أو أكثر في لحظة واحدة عند نقطة محددة فتحدث هذه الموجات – مجتمعة – إزاحة محصلة لجزيئات الوسط المنتقلة خلاله.

سؤال متى تكون عملية التداخل منتظمة؟

عند التقاء موجتان متماثلتان لهما التردد نفسه والطول الموجي نفسه.

ملاحظات مهمة



■ يمثل الشكل صورة لعملية تداخل منتظم لموجات سطح الماء.

■ نمط التداخل المنتظم في الصورة الآتية يتكون عند التقاء موجات ناتجة عن مصدرين متجاورين ومتماثلين على سطح الماء.

■ كما يحدث التداخل لموجات الماء فهو يحدث أيضا للموجات الميكانيكية والكهرمغناطيسية جميعها.

■ حتى تتلاشى الإزاحة تمامًا عن التقاء قمة موجة مع قاع موجة أخرى بينهما تداخل يجب أن تكون الموجتان متساويتين في السعة.

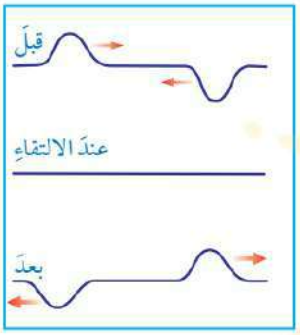
سؤال ما المقصود بتراكب الموجات ؟

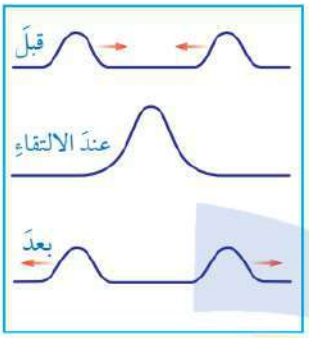
جمع الإزاحات الناتجة عن موجتين أو أكثر عند التقائهما في نقطة في الوسط الذي تنتقلان خلاله..

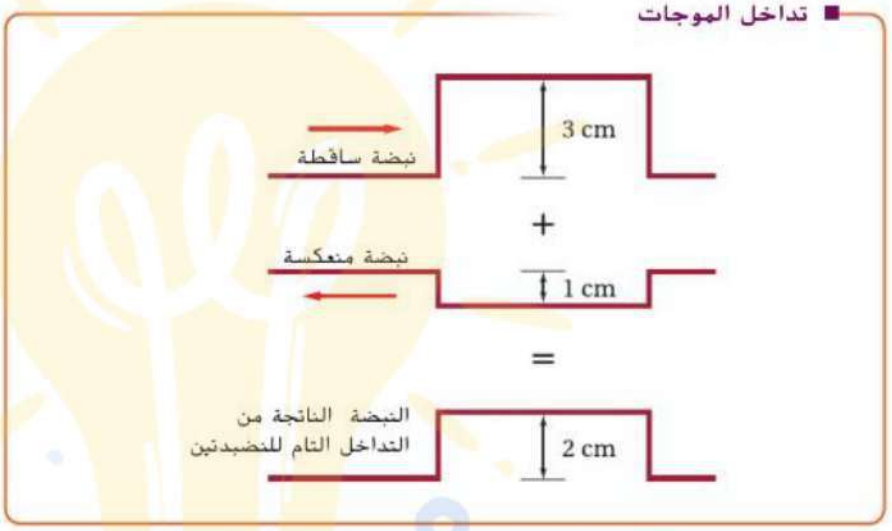
باختصار بسيط : إزاحة الموجة المحصلة تساوي مجموع إزاحتي الموجتين المتداخلتين.

سؤال وضح كيف تحدث عملية تراكب الموجات ؟

عند مرور موجة مستعرضة في نابض باتجاه (اليمين مثلًا) ومرور موجة مستعرضة أخرى في النابض نفسه باتجاه (اليسار مثلًا) فإن الموجتين ستلتقيان في مكان واحد عند لحظة زمنية معينة ويعمل تأثير الموجتين في دقائق النابض عند لحظة التقائهما بشكل مشترك فيظهر النابض بصورة مختلفة عن أي من الموجتين وتكون النتيجة جمع التأثير المشترك للموجتين معًا في جزيئات الوسط التي تنتقل خلاله.







ملاحظات مهمة

- يحدث التراكب بين موجتين في حال انتقالهما باتجاهين متعاكسين أو بالاتجاه نفسه.
- يحدث التراكب بين موجتين أو أكثر عند التقائها بغض النظر عن اتجاه كل منها.
- توضح الصورة مثال بسيط على تراكب الموجات حيث تلتقي موجات دائرية على سطح الماء في حوض.
- حتى تتلاشى الإزاحة تمامًا عن التقاء قمة موجة مع قاع موجة أخرى بينهما تداخل يجب أن تكون الموجتان متساويتين في السعة.

(أ)

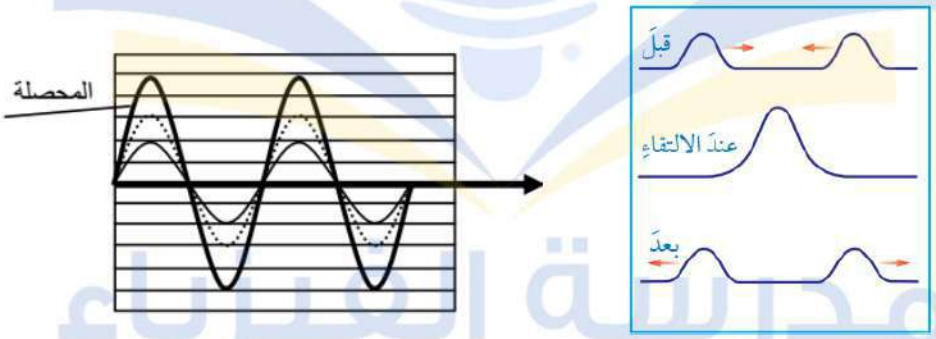
✪ إذا التقت موجتان في نفس الوسط وكانا متزامنتان بأن تلتقي قمة الأولى مع قمة الثانية تحدث إزاحة عظمى كما في الشكل :

✪ إذا التقت موجتان في نفس الوسط وكانتا متضادتان بأن تلتقي قمة الأولى مع قاع الثانية تحدث إزاحة صغرى ، وقد تساوي صفرًا إذا كان للموجتان نفس السعة كما في الشكل :

التداخل البنّاء والهدّام

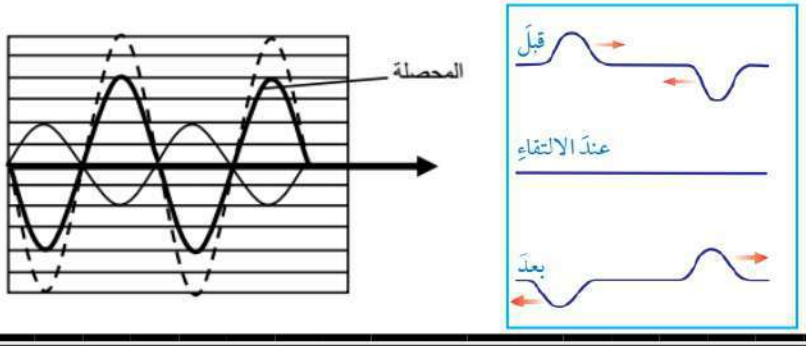
■ (التداخل البنّاء) التقاء موجتين (قمة مع قمة) أو (قاع مع قاع)

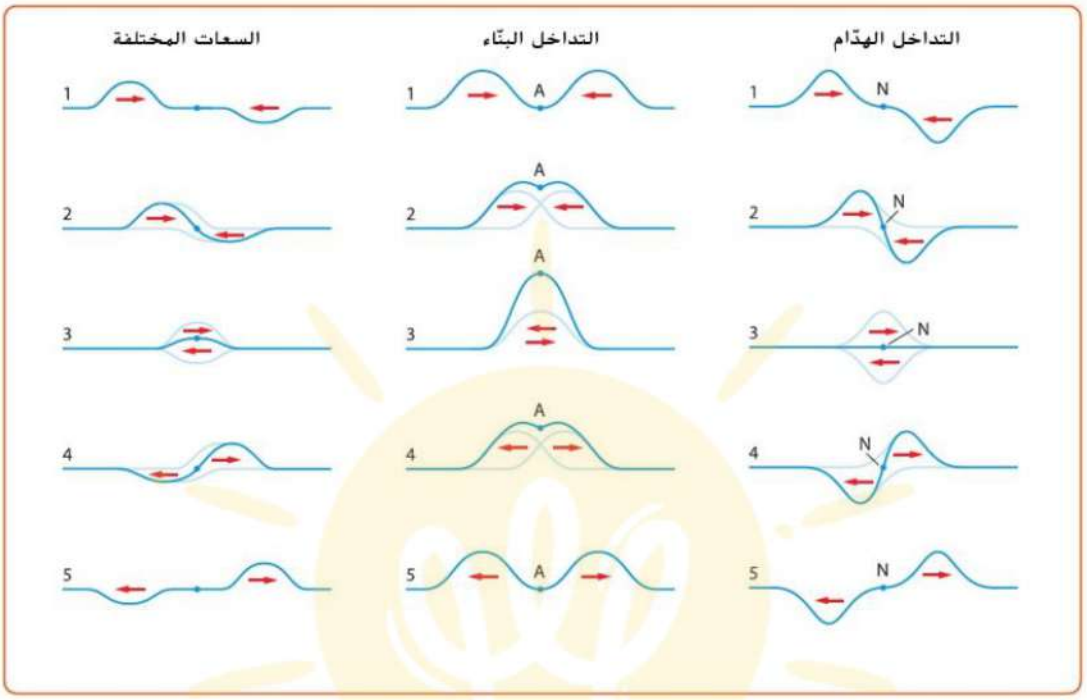
- تكون سعة الموجة المحصلة أكبر من سعة أي من الموجتين المتداخلتين.
- نلاحظ في الصور أدناه أنه ينتج عن الأثر المشترك للقمتين لحظة تراكبهما قمة مضاعفة.
- في حالة الضوء ينتج التداخل البنّاء مناطق أشد إضاءة.



■ (التداخل الهدّام) التقاء موجتين (قمة مع قاع) أو (قاع مع قمة)

- تكون سعة الموجة المحصلة أقل من السعة الكبرى.
- نلاحظ في الصور أدناه أنه ينتج عن الأثر المشترك لحظة تراكب قمة مع قاع أو العكس.
- في حالة الضوء ينتج التداخل الهدّام مناطق إضاءة خافتة أو مناطق مظلمة.





ملاحظات مهمة

- بعد عملية التراكب تعود الموجات إلى شكلها السابق الذي كانت عليه.
- يشترط لحدوث تراكب الموجات أن تكون الموجات من النوع نفسه.

وبالتالي لا يمكن أن يحدث تراكب بين موجتين أحداهما طولية والأخرى مستعرضة أو بين موجة صوتية وكهرمغناطيسية.

- تحدث ظاهرة التداخل في جميع أنواع الموجات.

سؤال: ما هو شرط حدوث التراكب بين الموجات ؟

أن تكون الموجات من نفس النوع و التقاؤهما في موضع واحد.

سؤال: ماذا ينشأ عن تداخل موجات الصوت ؟

تنشأ عن تداخلها أنماط تتألف من مناطق تزداد فيها شدة الصوت ومناطق أخرى ينخفض فيها الصوت.

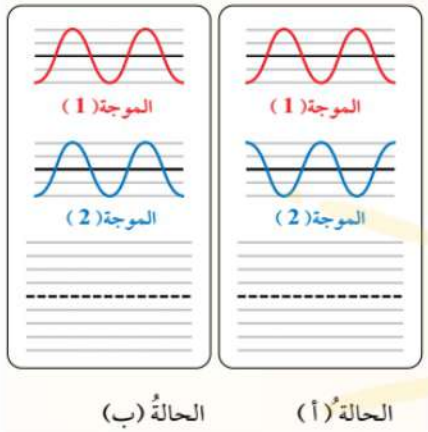
أتحقَّقُ: عند التقاء موجتين من النوع نفسه متساويتين في الطول الموجي والتردد في نقطة واحدة، ما شروط الحصول على إزاحة محصلة مقدارها يساوي صفرًا (تداخل هدّام تام)؟

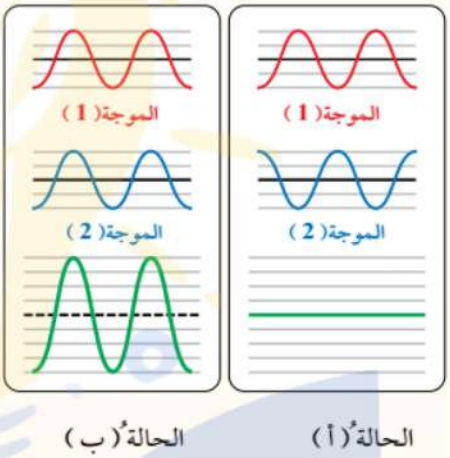
يجب أن تكون كلًا الموجتين متعاكسين في الطور (أي تلتقي قمة مع قاع أو قاع مع قمة) ولهما نفس السعة.

ملاحظات مهمة

✪ يحدث التداخل أيضا بين الموجات التي لا تتساوى في التردد والطول الموجي أو الصادرة عن مصدرين غير متماثلين في التردد لكن لا يكون النمط الناتج عن هذا التداخل منتظم.

سؤال إضافي NERD **أكمل الشكل المجاور برسم الموجة الناتجة عن تراكب الموجتين (1) و (2) في كل من الحالتين (أ) و (ب) ثم أكتب تحت كل حالة إن كان التراكب بنّاءً أو هدّامًا..**





سؤال إضافي NERD **إذا كانت سعة موجة ساقطة (0.53 m) في نابض تتحرك ناحية اليمين وقابلتها نبضة منعكسة سعتها (-0.24 m) فكم تكون سعة الموجة الناتجة عن تراكب الموجتين لحظة مرورهما ببعض؟**

$$A = A_1 + A_2 = 0.53 + -0.24 = 0.29\ m$$

مدرسة الفيزياء

الموجات الموقوفة

سؤال وضح ما المقصود بالموجات الموقوفة؟

هي أنماط موجية ثابتة الأشكال تنتج عن تراكب موجتين متساويتين في التردد والطول الموجي والسعة، تنتقلان في اتجاهين متعاكسين في الوسط نفسه..

سؤال ما خصائص الموجات الموقوفة؟

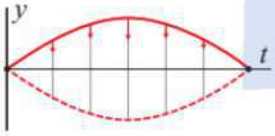
- تحدث في الموجات المستعرضة والموجات الطولية.
- لا تنقل الطاقة بل تبقى بين طرفي الوسط.
- يلزم تزويدها بمصدر مستمر للطاقة لتعويض الطاقة المفقودة.

سؤال أذكر مثالاً على الموجات الموقوفة؟

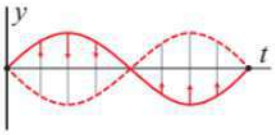
من الأمثلة على الموجات المستعرضة الموقوفة موجات الوتر.
ومن الأمثلة على الموجات الطولية الموقوفة موجات الأعمدة الهوائية.

■ الموجات الموقوفة في وتر

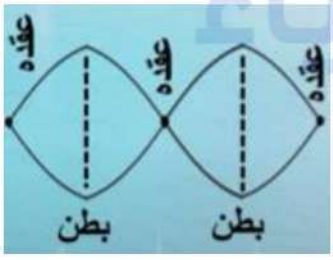
- إذا قُمنا بتثبيت وتر من طرفيه وتحريكه من منتصفه فإن الموجات المستعرضة ستنتشر فيه وتنعكس مقلوبة عن طرفيه المثبتين.



- تكون الموجة المنعكسة مساوية للموجة الأصلية في التردد والطول الموجي ومساوية في السعة بافتراض عدم ضياع الطاقة.
- يحدث تداخل بين الموجتين يعتمد نوعه على فرق الطور بين الموجتين فيكون هدّما في بعض أجزاء الوتر ويكون بنّاءً في بعض أجزاءه الأخرى ليظهر على شكل موجات مستعرضة.



- ينتج عن التقاء موجتين تنتشران باتجاهين متعاكسين ظهور نقاط على الوتر تسمى عقدًا وبطونًا.



سؤال وضح ما المقصود بكل مما يلي:

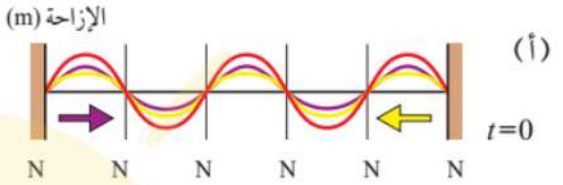
العقدة: نقطة تكون الإزاحة المحصلة عندها صفرًا.

البطن: نقطة تكون الإزاحة المحصلة عندها عظمى.

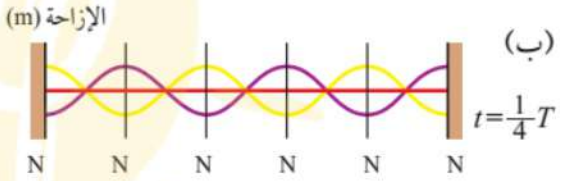
سؤال وضح لماذا سُميت الموجة الموقوفة بهذا الاسم؟

لأنها لا تتقدم فاهتزازها ناتج عن اهتزاز أجزاء الوتر بسعة تتغير من الصفر في مناطق العقد إلى قيمتها العظمى في مناطق البطون.

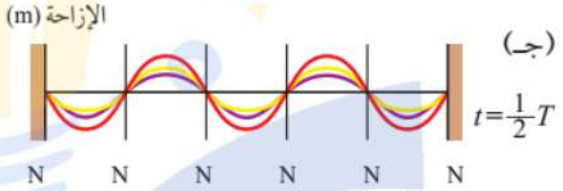
- يوضح الشكل منحنى (الإزاحة–الزمن) لموجتين، الأولى باللون البنفسجي تنتقل في وتر مشدود باتجاه اليمين والثانية باللون البرتقالي تنتقل في الوتر نفسه باتجاه اليسار وتم رصد الحركة في لحظات زمنية مختلفة.
- الموجة التي باللون الأحمر هي الموجة الموقوفة الناتجة عن تراكب الموجتين.



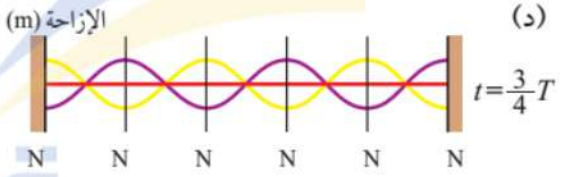
- مشهد (أ): عند اللحظة الزمنية ($t = 0$) في بداية الحركة الموجية، حيث الفرق في الطور بين الموجتين يساوي صفرًا يظهر فيها التقاء القمم مع القمم والقيعان مع القيعان فتنتج عنها البطون، ويتضح تكوّن العقد (N) التي لا يحدث عندها اهتزاز في الموجة الموقوفة الناتجة.



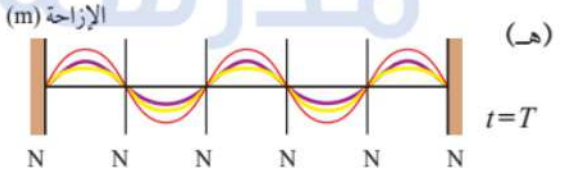
- مشهد (ب): عند اللحظة الزمنية ($t = \frac{1}{4}T$)، تقدّمت كلّ موجة بمقدار ($\frac{1}{4}\lambda$) فأصبح فرق الطوربينهما يساوي π، وتلتقي القمم مع القيعان فتنعدم الإزاحة في كلّ أجزاء الوتر وتظهر على شكل خط مستقيم.



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



- مشهد (د): في اللحظة ($t = \frac{3}{4}T$)، تقدّمت كلّ موجة بمقدار ($\frac{3}{4}\lambda$) فأصبح فرق الطور بين الموجتين يساوي 3π. وتكرر ظهور المشهد (ب).

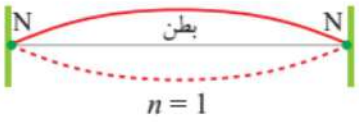


- مشهد (هـ): في اللحظة ($t = T$)، تقدّمت كلّ موجة مسافة بمقدار (λ)، فأصبح فرق الطور بين الموجتين يساوي 4π. وتكرّر المشهد (أ) الذي حدث عند اللحظة ($t = 0$).

عدد العقد = عدد البطون + 1

■ التوافقات

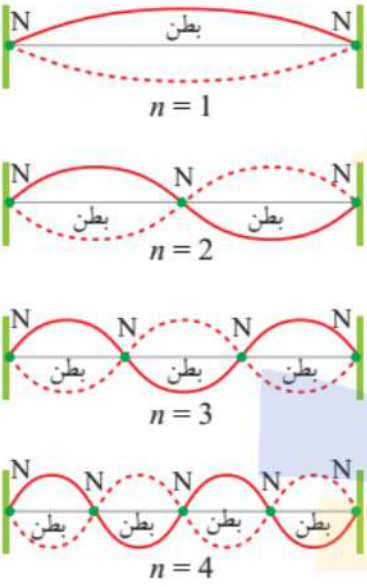
- نمط الموجات الموقوفة المتولدة في الوتر المشدود يتغير بتغير التردد.
- يحصل التوافق الأول عند أدنى تردد للمصدر المولد للموجات الموقوفة.



- يحصل النمط الأول ($n = 1$) عند أقل تردد ممكن فتتشكل نصف موجة موقوفة حيث تتكون من عقدتان عند طرفي الخيط وبطن واحد في منتصف الخيط.
- عند زيادة التردد يتكون التوافق الثاني ($n = 2$) وهو يحتوي على ثلاث عقد وبطنان.

$$\text{عدد البطون } = n \Rightarrow \text{عدد العقد } = n + 1$$

■ الموجات الموقوفة عند اختلاف التردد



- يبين الشكل موجات موقوفة بترددات مختلفة في وتر مشدود.
- كلما زاد التردد تكون نمط توافق جديد وزادت عدد العقد والبطون.
- يمكننا التوصل للعلاقة الرياضية اللازمة لمعرفة التردد والطول الموجي للموجات الموقوفة المتكونة في وسط ما بمعرفة رقم التوافق المتكون (n) وسرعة انتشار الموجات في الوسط (v).

$$n \times \lambda_n = 2L$$

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n}$$

- يبين الجدول الآتي ملخص لصفات الأنماط الواردة سابقًا :

التوافق	العقد	الطول الموجي	التردد
الأول	2	$\lambda_1 = 2L$	$f_1 = \frac{v}{2L}$
الثاني	3	$2\lambda_2 = 2L$	$f_2 = \frac{2v}{2L}$
الثالث	4	$3\lambda_3 = 2L$	$f_3 = \frac{3v}{2L}$
الرابع	5	$4\lambda_4 = 2L$	$f_4 = \frac{4v}{2L}$
الخامس	6	$5\lambda_5 = 2L$	$f_5 = \frac{5v}{2L}$

بعد ترتيب وتجهيز المعادلات يمكننا الخروج بمعادلة لحساب التردد لأي توافق :

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L} = nf_1$$

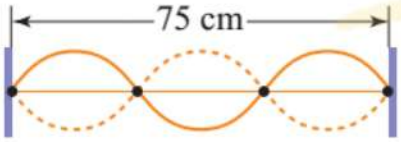
سؤال أقل تردد يمكن توليده في وتر قيثارة (196 Hz). أحسب الترددين التاليين اللذين يمكن توليدهما في الوتر، مع ثبات العوامل الأخرى.

$f_1 = 196\ Hz \quad , \quad f_n = nf_1$

$f_2 = 2 \times 196 = 392\ Hz$

$f_3 = 3 \times 196 = 588\ Hz$

سؤال يبين الشكل موجات موقوفة في وتر طوله (75 cm) وتردد الموجات يساوي (18 Hz). أحسب كلاً من:



أ- الطول الموجي.

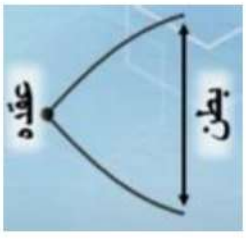
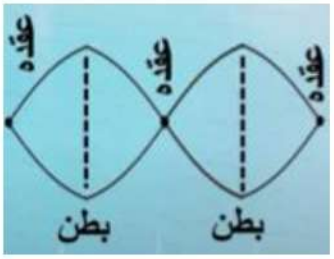
$n = 3 \ , \ L = 75\ cm = 0.75\ m \ , \ f_3 = 18\ Hz$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} = \frac{2 \times 0.75}{3} = 0.5\ m$$

ب- سرعة الموجة في الوتر.

$v = \lambda_n \times f_n = \lambda_3 \times f_3 = 0.5 \times 18 = 9\ m/s$

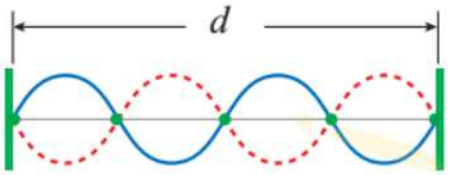
يبين الجدول الآتي وجه المقارنة للتمثيل والتعريف للطول الموجي في الحركة الموقوفة :

وجه المقارنة	$\frac{1}{4}\lambda$	$\frac{1}{2}\lambda$	λ
التمثيل			
التعريف	المسافة بين عقدة وبطن يليها مباشرة والعكس صحيح	المسافة بين عقدتين متتاليين أو بين مركزي بطنين متتاليين	ضعف المسافة بين عقدتين متتاليين أو ضعف المسافة بين بطنين متتاليين.

سؤال إضافي يهتزّ وتر مشدود مُحدثاً موجات موقوفة فيه، مُشكلة (4) بطون، فكم يبلغ عدد العقد التي تشكلت في حركة هذا الوتر؟

تتشكل خمسة عقد.

سؤال إضافي خيط مشدود تكونت فيه موجات موقوفة ورُسمت كما في الشكل المجاور، عبر عن طول الخيط بدلالة الطول الموجي.



$$\lambda_n = \frac{2L}{n} = \frac{2\times L}{4} = \frac{L}{2} \Rightarrow L = 2\lambda$$

سؤال إضافي اهتز حبل طوله (240 cm) اهتزازًا في ثلاث قطاعات عندما كان التردد (15 Hz). احسب سرعة انتشار الموجة في الحبل؟

$$n = 3 \ , \ L = 240\ cm = 2.4\ m \ , \ f_3 = 15\ Hz$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} = \frac{2\times 2.4}{3} = 1.6\ m$$

$$v = \lambda_n \times f_n = \lambda_3 \times f_3 = 0.5 \times 15 = 24\ m/s$$

يمكننا استخدام العلاقة الآتية لحساب التردد أو الطول عند حدوث تغير:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

سؤال إضافي يصدر وتر طوله (50 cm) نغمة ترددها (500 Hz). احسب تردده عندما يصبح طوله (100 cm).

$$f_1 = 500\ Hz \ , \ L_1 = 50\ cm = 0.5\ m \ , \ L_2 = 100\ cm = 1\ m$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{L_2}{L_1} \Rightarrow \frac{500}{f_2} = \frac{1}{0.5} \Rightarrow f_2 = 250\ Hz$$

سؤال إضافي موجة موقوفة ترددها (40 Hz)، إذا كان البعد بين عقدتين متتاليتين (400 cm) فاحسب سرعة انتشار الموجة.

$$f_1 = 40\ Hz \ , \ \frac{1}{2}\lambda = 400\ cm = 4\ m$$

$$\lambda = 8\ m \Rightarrow v = \lambda_n \times f_n = \lambda_1 \times f_1 = 8 \times 40 = 320\ m/s$$

■ تغير اقتران الموجة حسب اتجاه الموجة المتقدمة.

- تعلمنا سابقا أنه يمكننا تمثيل الموجة المتقدمة نحو اليمين بالاقتران :

$$y(x,t) = A\sin(kx - \omega t) = y_1$$

- في حال كانت الموجة تتقدم نحو اليسار يمكننا تمثيل الموجة بالاقتران :

$$y(x,t) = A\sin(kx + \omega t) = y_2$$

- عند حدوث تراكب لموجتين متماثلتين ومتعاكستين ونشوء موجة موقوفة فإن الإزاحة المحصلة لنقاط الوسط جميعها تكون عبارة عن جمع إزاحتي الموجتين معا.

$$y = y_1 + y_2$$

سؤال إضافي تنتشر موجة جيبية أفقيًا في حبل مشدود باتجاه اليسار ($-x$) سعتها (4 cm) وطولها الموجي (0.5 m) وترددها (8 Hz) وثابت الطور لها ($\frac{\pi}{2}$). أجب عما يأتي:

أ - احسب مقدار الرقم الموجي (k) والتردد الزاوي.

$$A = 0.04\ m \ , \ f = 8\ Hz \ , \ \lambda = 0.5\ m$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\times\pi}{0.5} = 4\pi\ rad/m = 12.56\ rad/m$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 8 = 16\pi = 50.24\ rad/s$$

ب - أكتب اقتران الموجة.

$$y(x,t) = A\sin(kx + \omega t + \phi)$$

$$y(x,t) = 0.04\sin(4\pi x + 16\pi t + \frac{\pi}{2})$$

✓ أتحقَّقُ: وتر طوله (0.8 m) تولدت فيه موجات موقوفة طولها الموجي (0.4 m)، فهل تُمثل النقطة (x = 0.7 m) عقدة أم بطن؟ وضح إجابتك..

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{0.4}{4} = 0.1\ m \ , \ \frac{\lambda}{2} = \frac{0.4}{2} = 0.2\ m \ , \ \frac{3\lambda}{4} = \frac{3\times0.4}{2} = 0.6\ m$$

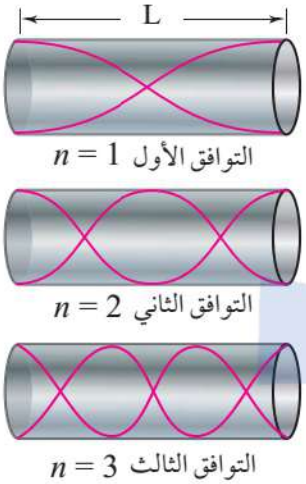
$$\lambda = 0.8\ m$$

النقاط أعلاه تمثل نهاية كل موجة ومنتصفها وهي عبارة عن العقد وبين كل من هذه النقاط ستكون البطون أي أن النقطة (0.7) تمثل بطن لأنها تقع بين العقدة (0.6) و (0.8).

الموجات الموقوفة في الأعمدة الهوائية

- الأعمدة الهوائية نوعان إما أن يكون عمودًا هوائيًا مغلقًا من أحد طرفيه أو مفتوح الطرفين.
- يشبه اهتزاز الأعمدة الهوائية اهتزاز الأوتار المستعرضة فالموجة الصوتية التي تتحرك في العمود الهوائي داخل الأنبوب تنعكس عند وصولها إلى نهاية العمود الهوائي المغلقة ثم تتحرك في الاتجاه المعاكس.
- جزئيات الهواء التي لا يمكنها التحرك عند الطرف المغلق للعمود الهوائي بسبب منعها من الحركة وعند الطرف المفتوح تستطيع جزيئات الهواء الحركة بسهولة للخارج.
- عازف البوق هو مثال على الموجات الموقوفة في الأعمدة الهوائية ويمكنه التحكم بتردد طول عمود الهواء من خلال فتح الصمامات بضغط الأصبع وتغيير النغمة.

■ الأعمدة الهوائية المفتوحة



- عمود الهواء المفتوح يكون مفتوح البداية والنهاية.
- تكون سعة الاهتزاز عظمى عند نهايتي الأنبوب كما في الشكل و تظهر على هيئة بطون.
- تنشأ الموجات الموقوفة بترددات مختلفة مما يحقق مجموعة من التوافقات فنحصل على التوافق الأول والثاني والثالث وهكذا..
- يمكننا استخدام العلاقة الآتية لحساب الطول الموجي للموجات الصوتية الموقوفة للتوافق (n) في عمود الهواء المفتوح الطرفين.

$$n \times \lambda_n = 2L$$

- بعد ترتيب وتجهيز المعادلات يمكننا الخروج بمعادلة لحساب التردد لأي توافق :

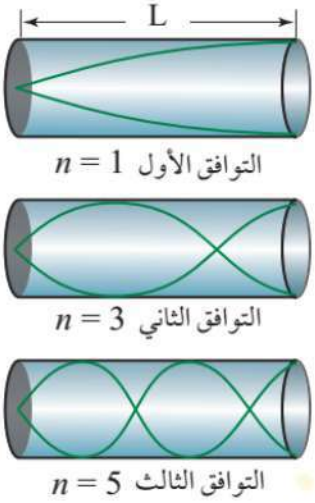
$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L} = nf_1$$

سؤال إضافي **إذا كانت سرعة الصوت في الهواء (340 m/s)، احسب تردد النغمة الأساسية والنغمة التوافقية الثالثة التي يصدرها عمود هوائي طوله (100 cm) إذا كان العمود مفتوحًا.**

$$f_1 = \frac{nv}{2L} = \frac{1\times340}{2\times1} = 170\ Hz$$

$$n = 3 \Rightarrow f_3 = \frac{nv}{2L} = \frac{3\times340}{2\times1} = 510\ Hz$$

■ الأعمدة الهوائية المغلقة



- عمود الهواء المغلق يكون مفتوح البداية ومغلق النهاية.
- تكون سعة الاهتزاز صفرًا عند النهاية المغلقة للأنبوب كما في الشكل وتظهر على هيئة عُقد.
- تختلف التوافقات الناتجة هنا عما سبق إذ تتكون التوافقات الفردية فقط وذلك يتحقق تكون العقد عند النهاية المغلقة.
- يمكننا استخدام العلاقة الآتية لحساب الطول الموجي للموجات الصوتية الموقوفة للتوافق (n) في عمود الهواء مفتوح البداية ومغلق النهاية حيث (n) عدد فردي فقط.

$$n \times \lambda_n = 4L$$

- بعد ترتيب وتجهيز المعادلات يمكننا الخروج بمعادلة لحساب التردد لأي توافق :

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{4L} = nf_1$$

سؤال أجريت حنين تجربة لقياس طول موجة الصوت المتولدة في عمود هواء مغلق النهاية طوله (62.5 cm). إذا كان أقل تردد (136 Hz) فأحسب كلاً من :

أ- الطول الموجي.

$$L = 62.5\ cm = 0.625\ m \ , \ f_1 = 136\ Hz$$

$$\lambda_n = \frac{4L}{n} = \frac{4\times0.625}{1} = 2.5\ m$$

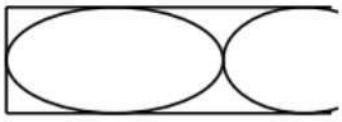
ب- سرعة الموجة في الهواء داخل الأنبوب.

$$v = \lambda_n \times f_n = \lambda_1 \times f_1 = 2.5 \times 136 = 340\ m/s$$

جـ- التردد التالي.

$$f_n = nf_1 \Rightarrow f_n = 3 \times 136 = 408\ Hz$$

سؤال إضافي عندما يهتز عمود هوائي مغلق كما هو مبين بالشكل فإنه يصدر التوافق :



الأول (A) | الثاني (B) | الثالث (C) | الرابع (D)

تمرين قارن بين الموجات الصوتية الموقوفة المتولدة في التوافق الأول في عمودي هواء طول كل منهما (90 cm)، الأول مفتوح النهاية والثاني مغلق النهاية، علمًا بأن سرعة الصوت في الهواء (340 m/s) من حيث:

أ- الطول الموجي.

العمود الأول ⇨ $\lambda_1 = \frac{2L}{n} = \frac{2\times0.9}{1} = 1.8\ m$

العمود الثاني ⇨ $\lambda_1 = \frac{4L}{n} = \frac{4\times0.9}{1} = 3.6\ m$

ب- التردد.

العمود الأول ⇨ $f_1 = \frac{nv}{2L} = \frac{1\times340}{2\times0.9} = 188.9\ Hz$

العمود الثاني ⇨ $f_1 = \frac{nv}{4L} = \frac{1\times340}{4\times0.9} = 94.4\ Hz$

سؤال إضافي NERD أي من الترددات الآتية (120 Hz, 150 Hz, 180 Hz) يمكن أن يكون نمط موجات موقوفة على وتر مشدود طوله (0.5 m) وسرعة الموجات عليه (25 m/s).

$f_1 = \frac{nv}{2L} = \frac{1\times25}{2\times0.5} = 25\ Hz$

$n = \frac{f_n}{f_1} = \frac{180}{25} = 7.2\ m$

$n = \frac{f_n}{f_1} = \frac{150}{25} = 6\ m$

$n = \frac{f_n}{f_1} = \frac{120}{25} = 4.8\ m$

التردد $(150\ Hz)$ يمكن أن يكون نمط موجة موقوفة لأن (n) عدد صحيح.

سؤال إضافي NERD يعتبر أقصر طول عمود هوائي مغلق يحدث اهتزازًا مع شوكة مساويًا لـ :

(A) 4λ (B) 2λ (C) $\frac{1}{2}\lambda$ (D) $\frac{1}{4}\lambda$

سؤال إضافي NERD **ماذا سيحدث لتردد الوتر المهتز إذا زاد طول الوتر للضعف؟**

$$f_n = \frac{nv}{2L} \Rightarrow f_n' = \frac{nv}{2\times 2L} = \frac{1}{2}\frac{nv}{2L} = \frac{1}{2} f_n$$

الرنين

- تهتز ذرات أي مادة بتردد معين وهذا ما يعرف بالتردد الطبيعي للمادة.
- يكون لدى نظام الوتر المشدود أو الأعمدة الهوائية القدرة على الاهتزاز وفق نمط توافق طبيعي واحد أو أكثر.
- إذا تم التأثير بقوة دورية خارجية ذات تردد معين في الأنظمة المهتزة فإن سعة الاهتزاز تزداد لتصل إلى قيمتها العظمى.

سؤال **وضح ما المقصود بالرنين؟**

تأثير قوة خارجية دورية ذات تردد معين في نظام مهتز يؤدي إلى زيادة سعة اهتزازها فتصبح قمة عظمى عندما يتساوى تردد القوة الخارجية مع التردد الطبيعي للنظام.

أو بشكل عام اهتزاز جسم بتأثير جسم آخر له التردد نفسه.

☑ **التردد في نظام (كتلة-نابض) يُعطى بالعلاقة الآتية:**

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

☑ **التردد في نظام (البندول البسيط) يُعطى بالعلاقة الآتية:**

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$$

مدرسة الفيزياء

سؤال **متى يحدث الرنين في نظام الوتر المهتز أو عمود الهواء المهتز؟**

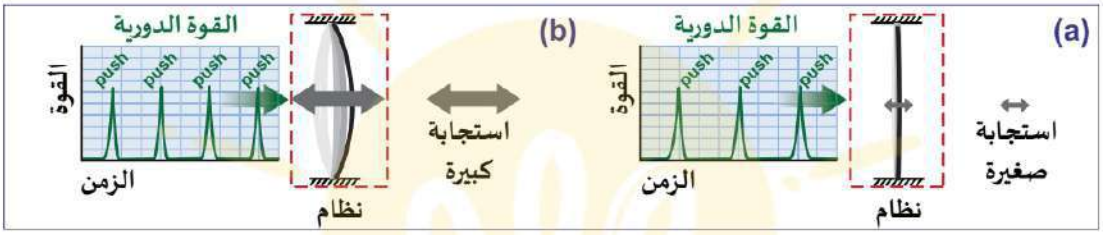
لنظام الوتر المهتز أو عمود الهواء المهتز أكثر من تردد طبيعي ولكل تردد نمط مختلف من الموجات الموقوفة وعندما يتساوى تردد القوة المؤثرة مع واحد من هذه الترددات الطبيعية تُصبح سعة الاهتزاز قيمة عظمى وتحدث حالة رنين..

سؤال **ما شروط حدوث الرنين للنظام المهتز؟**

1. تأثير قوة خارجية دورية ذات تردد معين في النظام المهتز.
2. أن يتساوى تردد القوة الخارجية مع التردد الطبيعي للنظام.

تحتوي الأنظمة جميعها في الطبيعة على قوى معيقة مل قوة الاحتكاك وتكمن أهمية شغل القوة الخارجية المبذول ضد قوة الاحتكاك بالتغلب على قوة الاحتكاك (القوى غير المحافظة) وتزويد النظام المهتز بالطاقة اللازمة لاستمرار حركته الاهتزازية حتى تتحقق شروط الرنين.

يبين الشكل (a) عدم وجود رنين بسبب عدم تطابق تردد القوة مع التردد الطبيعي للنظام ويبين الشكل (b) حدوث رنين بسبب تطابق تردد القوة مع التردد الطبيعي للنظام.



سؤال **يمكن أن يُسبب الرنين آثارًا مرغوبة وآثارًا غير مرغوبة. أعطِ مثالاً على ذلك.**

من الآثار المرغوبة في الآلات الموسيقية يقوم الرنين بتضخيم الصوت الذي تصدره الآلات الموسيقية مثل البوق والناي وفي الآلات الموسيقية الوترية مثل القيثارة يصنع لها تجويف مناسب للحصول على الرنين.

على الجانب الآخر يمكن أن يُسبب الرنين آثارًا غير مرغوبة تأثير الرنين على المباني والجسور.

سؤال **وضح كيف تؤثر ظاهرة الرنين بالمباني والجسور ؟**

الرياح القوية قد تسبب اهتزازات تؤدي إلى كوارث إذا كان تردد الرياح يتطابق مع التردد الطبيعي للمبنى أو الجسر مما يسبب اهتزازها كما حدث مع جسر تاكوما في الولايات المتحدة سنة **1940** والذي التوى وانهار بسبب رياح سرعتها لا تتجاوز الـ **65** كم/ساعة.

أتحقَّقُ: ماذا سيحدث لوتر مشدود فيه موجات موقوفة، عندما تؤثر فيه قوة دورية خارجية تختلف في ترددها عن الترددات الطبيعة جميعها للوتر؟

ستعمل هذه القوة الخارجية عمل القوة المعيقة وتستنفد طاقة الموجات وبالتالي تقل سعة الاهتزاز أولًا بأول وتختفي الموجات..

حل أسئلة مراجعة الدرس الثاني من الوحدة الخامسة

سؤال 1 وضح المقصود بالموجات الموقوفة ثم أذكر شروط تكونها في وتر مشدود، وبين أهمية وجود قوة خارجية دورية تؤثر في هذا الوتر تتفق مع الوتر في ترددها.

- الموجات الموقوفة: هي أنماط اهتزازية ثابتة الأشكال تنتج عن تراكب موجتين متساويتين في التردد والطول الموجي والسعة، تنتقلان في اتجاهين متعاكسين في الوسط نفسه.
- شرط حدوث الموجات الموقوفة هو أن يكون التراكب بين موجتين متساويتين في التردد والسعة والطول الموجي وتنتقلان باتجاهين متعاكسين في الوسط نفسه.
- تكمن أهمية وجود قوى خارجية لتعويض الطاقة المفقودة بسبب القوى المعيقة للاهتزاز مثل الاحتكاك.

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

- في الأعمدة الهوائية المفتوحة تكون سعة الاهتزاز عظمى عند الطرفين بينما في الأعمدة الهوائية المغلقة تكون سعة الاهتزاز عظمى عند البداية وصفرًا عند النهاية المغلقة.
- في الأعمدة الهوائية المفتوحة تتكون جميع التوافقات ($n = 1,2,3,4, \ldots$) بينما في الأعمدة الهوائية المغلقة تتكون التوافقات الفردية فقط ($n = 1,3,5, \ldots$).

سؤال 3 ما أهمية تغيير طول الوتر عند العزف على آلة موسيقية وترية مثل العود؟ وما أهمية وجود تجويف هوائي بحجم مناسب لهذه الآلة كما في الشكل؟

- يؤدي تغيير الوتر إلى تغيير الترددات التوافقية وبالتالي الحصول على نغمات بدرجات مختلفة.
- التجويف الهوائي يساعد على حدوث رنين عند التردد الطبيعي للوتر مما يضخم الصوت.

سؤال 4 ما الإجراء الذي يتبعه المهندسون عند تصميم المباني المرتفعة والجسور وغيرها للحد من تزايد الاهتزازات ووصولها إلى سعة اهتزاز كبيرة تُشكل خطرًا على المبنى أو الجسر.

حتى لا يتساوى التردد الطبيعي للمباني والجسور مع التردد الطبيعي للقوى الخارجية المؤثرة في المباني والجسور فتحدث رنينًا يؤدي لهدم البناء أو الجسر.

سؤال 5 يهتز وتر مشدود محدثًا موجات موقوفة فيه مشكلة (3) عقد وبطنين. عبر عن الطول الموجي والتردد بدلالة كل من طول الوتر وسرعة الموجة.

$$n = 2$$

$$\lambda_n = \frac{2L}{n} \Rightarrow \lambda_2 = \frac{2\times L}{2} = L$$

$$f_n = \frac{nv}{2L} \Rightarrow f_2 = \frac{2\times v}{2\times L} = \frac{v}{L}$$

سؤال 6 إذا كان تردد التوافق الثاني الذي يمكن توليده في وتر قيثارة هو (392 Hz). فأحسب الترددين الأول والثالث اللذين يمكن توليدهما في الوتر نفسه مع ثبات بقية العوامل الأخرى.

$$f_n = nf_1 \Rightarrow f_2 = 2 \times f_1 = 392\ Hz \Rightarrow f_1 = 192\ Hz$$

$$f_n = nf_1 \Rightarrow f_3 = 3 \times f_1 = 3 \times 192 = 588\ Hz$$

سؤال 7 يبين 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.

$$\lambda_n = \frac{4L}{n} \Rightarrow \lambda_3 = \frac{4\times 0.6}{3} = 0.8\ m$$

ب - تردد الموجات الموقوفة.

$$f_n = \frac{nv}{4L} \Rightarrow f_3 = \frac{3\times 340}{4\times 0.6} = 425\ Hz$$

مدرسة الفيزياء