انتشار موجة ميكانيكية متقدمة

مؤشرات الكفاءة

- يعرّف الموجة المتقدمة..
- يوظّف العلاقة: $\lambda = VT$.

تصميم الدرس

1- مفهوما الدور و طول الموجة:

2- الموجة المتقدمة الجيبية :

3- تركيب الأمواج الجيبية: التداخل:

أسئلة التصحيح الذاتي :

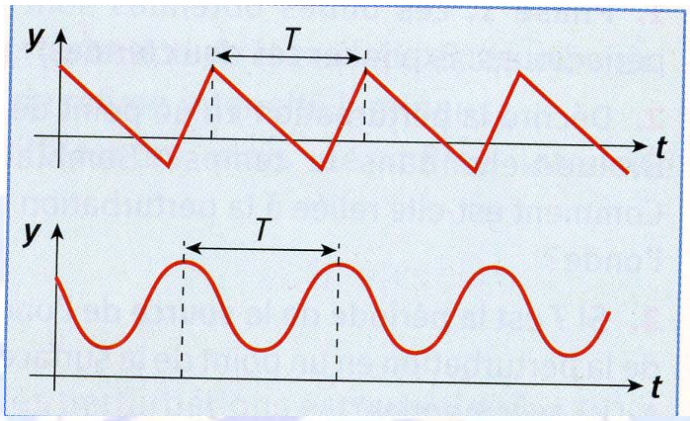
أجوبة التصحيح الذاتي :

1- مفهوما الدور و طول الموجة:

1-1- الظواهر الدورية:

نقول عن ظاهرة أنها دورية إذا كان المقدار الفيزيائي Y الذي يصفها يأخذ نفس القيمة بنفس الجهـة و نفس المنحى في مجالات زمنية متساوية.

نقول عندهاإن المقدار Y يتغير دوريا بدلالة الزمن.



1-2- مشاهدة الظواهر الدورية:

إن عين الإنسان تستطع أن تلاحظ الظواهر الدورية مادام تواترها أصغر من تواتر الانطباع الشبكي للعين (la persistance rétinienne) و التي هي في المتوسط 10 Hz .

إذا كان التواتر أكبر من 10 Hz فلا تستطع العين أن تتابع الحركة الدورية.

لذلك نستعمل جهاز الوماض الكهربائي (Stroboscope) و هو جهاز ضوئي يصدر إضاءات متقطعة (brefs) بصفة دورية.

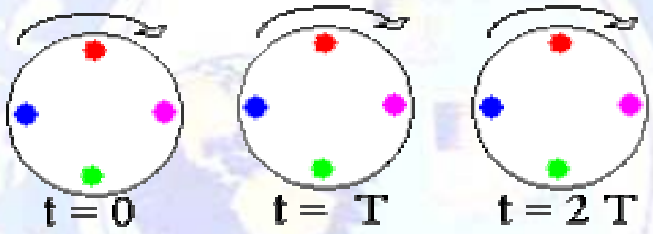
نعتبر حركة دورية دورها T (تواترها $f = \frac{1}{T}$ مضاءة بوماض كهربائي دوره T_s) تواتره $f_s = \frac{1}{T_s}$.

لا نلاحظ الظاهرة إلا إذا كان $T_s = T$ و تظهر الحركة ساكنة.

إذا كان دور الوماض الكهربائي يمثل عدد مضاعف لدور الظاهرة أي $T_s = k.T$ (أو $f = k.f_s$) حيث k عدد صحيح موجب، فإنّ العين تلاحظ الظاهرة وكأن $T_s = T$.

مثال :

يدور قرص بصفة منتظمة: يظهر القرص و كأنّه ساكن لأنه يقوم



بدور كامل أو أكثر بين إضاءتين و يجد نفسه في نفس الموضع.

1-3- الموجة الميكانيكية المتقدمة الدورية:

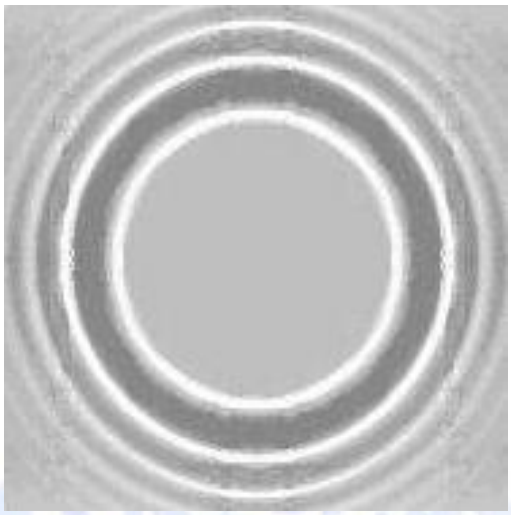
أ- تعريف:

نقول عن موجة إنها متقدمة دورية إذا كانت متقدمة (أنظر الوحدة السابقة) وإذا أحدث المنبع اضطرابا دوريا في وسط الانتشار.

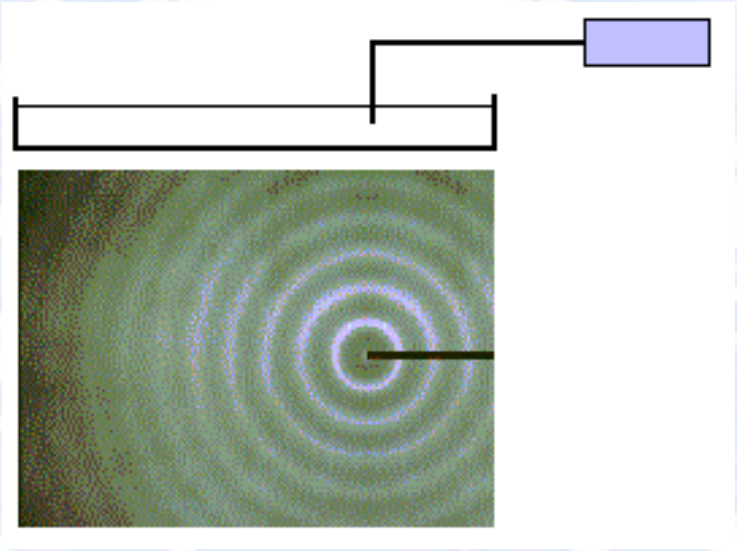
ب- مثال عن الأمواج المتقدمة الدورية:

موجة متقدمة دورية على سطح الماء :

عند ترك قطرة من الماء تسقط في نقطة O من سطح سائل ساكن، فإنه يؤدي إلى تـشكل تجعيـدة دائرية تنتشر في جميع الاتجاهات على سطح السائل.



أما إذا ضربنا بصفة دورية سطح الماء بشوكة رنانة، فإنه تتشكل أمواج متقدمة دورية عرضية، حيث أنّ كل نقطة من سطح الماء تهتز وفق الشاقول بنفس الدور الزمني T لحركة الشوكة الرنانة.



نشاط 1: الأمواج على سطح الماء

نعتبر هزازا مزودا بإبرة يضرب سطح الماء الموجود في حوض الأمواج.

لاحظ الظاهرة باستعمال الوماض بتواتر معلوم.

1- ماذا يحدث عندما يكون تواتر الوماض:

أ- مساويا لتواتر الهزاز.

ب- أصغر قليلا من تواتر الوماض.

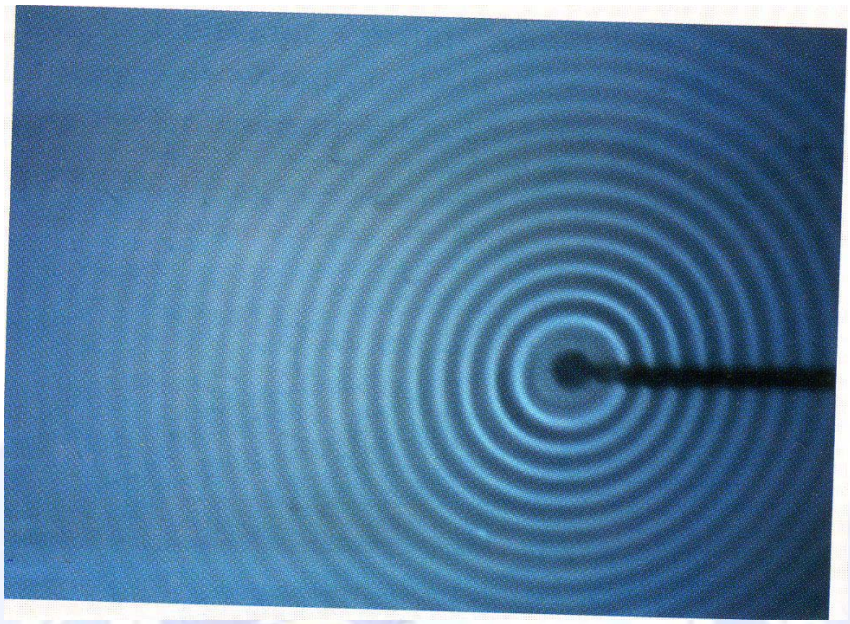
2- ما ذا تستنتج ؟

التحليل:

1- الحادث:

نلاحظ انتشار تجاعيد دائرية على سطح الماء.

أ- عندما يكون تواتر إضاءات الوماض مساويا لتواتر الهزّاز، فإنّنا نشاهد السكون الظاهري للتجاعيد.



ب- عنما يكون تواتر الوماض أصغر قليلا من تواتر الهـزّاز، نـشاهد حركـة متباطئـة (ralenti) للهزّاز و للتجاعيد.

نتيجة:

- إنّ الموجة الميكانيكية الدائرية و العرضية التي تنتشر على سطح الماء هي دورية.
- التشوهات التي تحدث في نقطة من سطح الانتشارتتم بنفس دور الهزّاز.
- تسمى هذه الموجة المنتشرة من المنبع نحو كل السائل **موجة متقدمة**.

نشاط 2: الأمواج الصوتية:

إنّ الميكروفون يحول الاهتزازت الصوتية إلى توتر كهربائي متغير.

نحقق التجربة التالية:

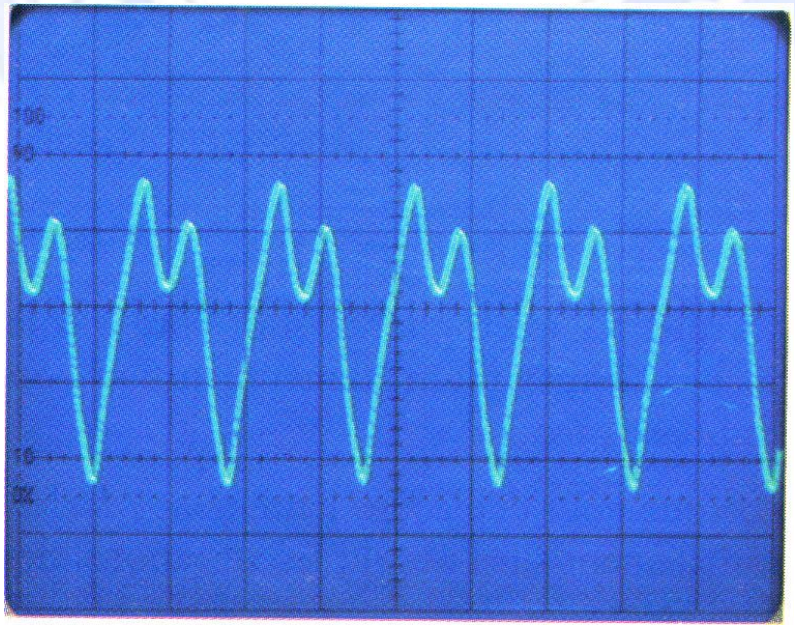
نظهر بواسطة ميكروفون موصول براسم اهتزاز مهبطي الصوت الصادر عن آلة موسيقية ثـمّ عـن رنانة.

1- هل الأمواج دورية ؟

2- قارن بين المنحنيين المشاهدين.

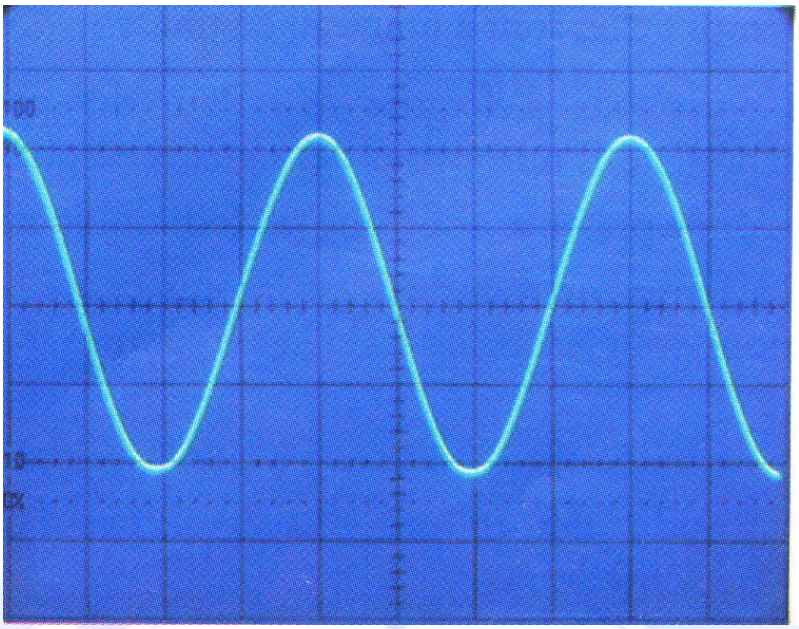
التحليل :

1- بالنسبة للآلة الموسيقية، نحصل على المنحنى التالي:



من خلال التجربة، نلاحظ أنّه مهما كانت وضعية الميكروفون، نشاهد على شاشة راسم الاهتزاز المهبطي منحنى دوري دوره T.

في حالة الرنانة، فإنّ المنحنى المشاهد هو جيبي.



استنتاج :

إنّ الصوت الصادر عن الآلة الموسيقية أو الرنانة ينتشر على شكل موجة دورية متقدمة.

1-4- طول الموجة و الدور:

نعتبر موجة تنتشر في وسط.

إن دراسة الموجة يمكن أن تتم بطريقتين:

- دراسة الاضطراب خلال الزمن في نقطة ثابتة M من الوسط .
- دراسة الاضطراب عند لحظة في كل نقاط الوسط.

أ- الدورية الزمنية:

نعتبر منبعا S لأمواج. إن نقطة M من الوسط تعيد حركة S بتأخر زمني

$\tau = \frac{d}{V}$ حيث $d = SM$ و V = سرعة الموجة.

إذا كان الاضطراب الناتج عن S دوري دوره T، فإنّ الاضطراب في M يكون كذلك دوريا وله نفس الدور T.

نتيجة:

- إن دور موجة ميكانيكية متقدمة دورية هو قياس للدورية الزمنية لها.
- إن الدور T لموجة ميكانيكية متقدمة دورية هو المدة التي تفصل لحظتين متتاليتين أي أقصر مدة حيث تعود النقطة M من وسط الانتشار إلى نفس الحالة من جديد.
- التواتر f لظاهرة دورية هو مقلوب الدور، يقدر بالهرتز (Hz) حيث :

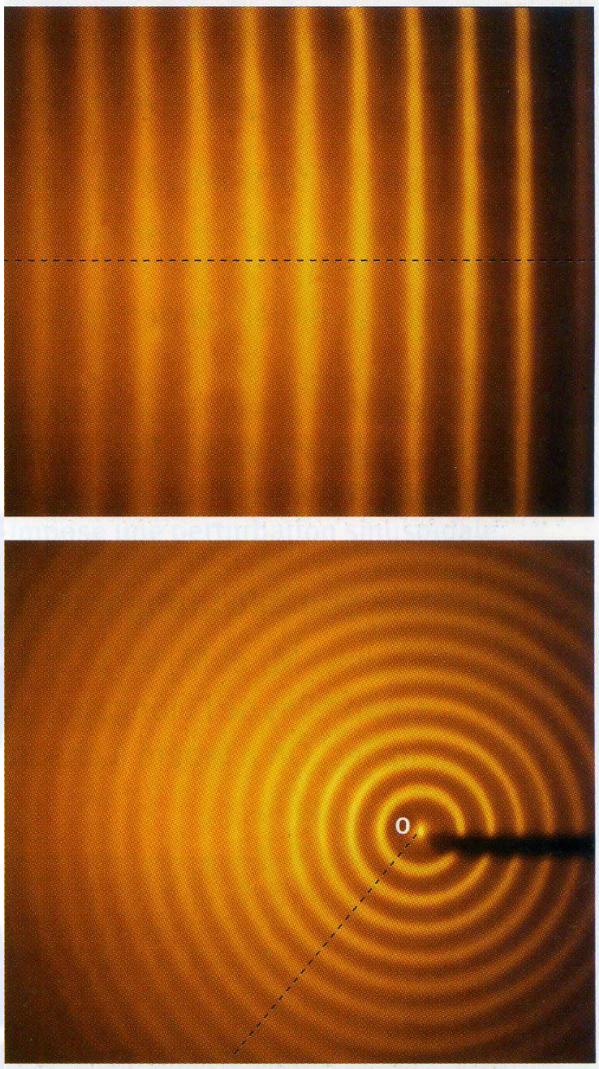
$$f = \frac{1}{T}$$

ب- الدورية المكانية:

بالإضافة إلى الدور الزمني، فإنّ الأمواج الميكانيكية المتقدمة الدورية تملك دورا مكانيا.

نعتبر موجة ميكانيكية متقدمة دورية تنتشر في وسط.

إن ملاحظة الوسط في لحظة t بواسطة التصوير، يبين وجود الدورية المكانية .



يمثل الشكل صورا في لحظة t على سطح حوض الأمواج.

نتيجة:

إذا كانت اضطرابات المنبع دورية، فإنّ وسط الانتشار يمثل دورية مكانية في لحظة t.

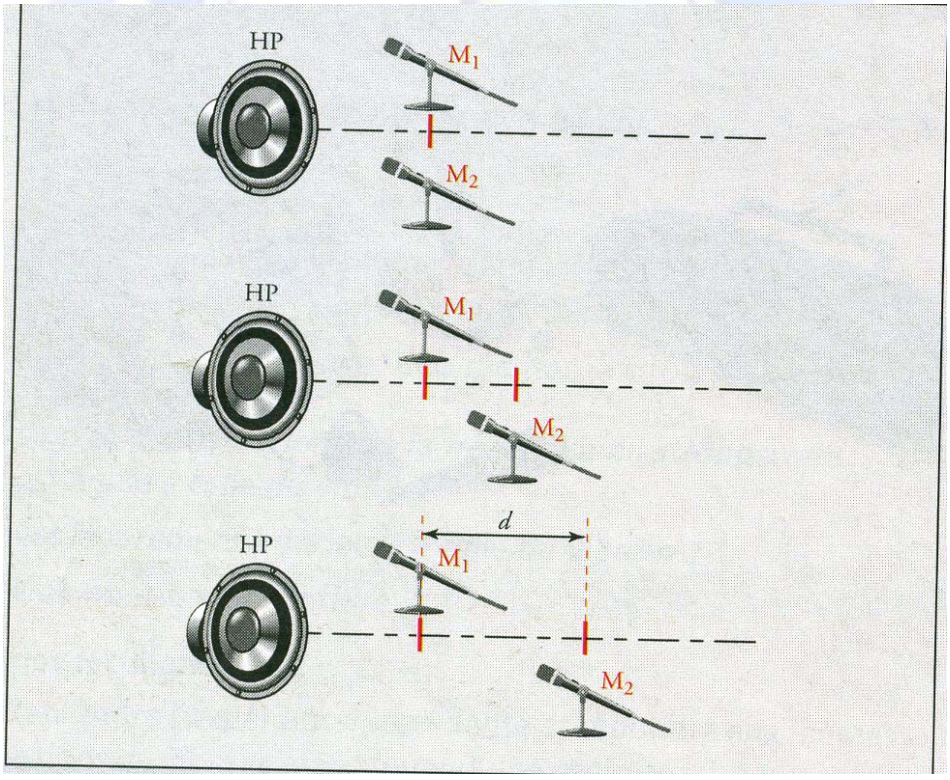
يدعى الدور المكاني (المسافي) بطول الموجة، يرمز له ب λ ويقدر بالمتر (m)

حيث : $\lambda = V\,T$ أي $\lambda = \dfrac{V}{f}$

نشاط 3 :

نستعمل تجهيز النشاط 2 حيث نستعمل ميكوفونا آخر موصول إلى المدخل الثاني لراسم الاهتزاز المهبطي.

نستعمل كمنبع صوتي مكبر الصوت الموصول إلى مولد GBF .



نضع الميكروفونين جنبا إلى جنب.

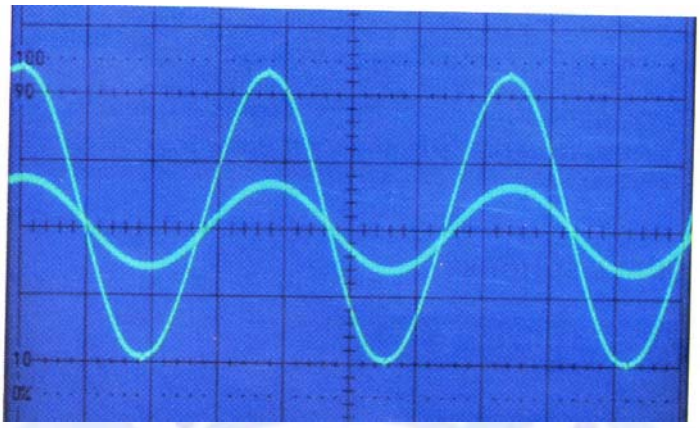
نثبت الميكوفون M_1 و نبعد ببطء الميكروفون M_2 عن مكبر الصوت وانطلاقا من M_1 على مسطرة مدرجة موضوعة على حسب المنحى (مكبر الصوت – M_1).

1- ماذا يحدث عندما يكون الميكروفونان جنبا إلى جنب ؟

2- ماذا يحدث عندما نبعد الميكروفونين ؟

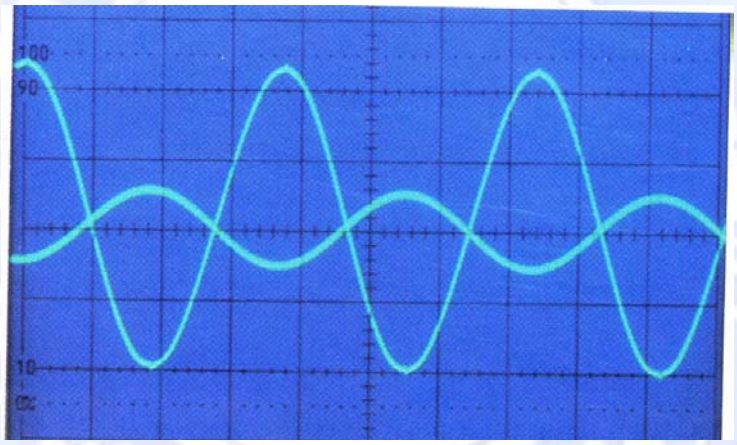
التحليل :

عندما يكون الميكروفونان جنبا إلى جنب، فإنّ الجيبيتين تبلغان قمّتهما في نفس اللحظة.



نقول بأنهما على توافق في الطور.

عندما نبعد M_2، تكون الجيبيتان من أجل وضع معين لـ M_2 على تعاكس في الطور.



و من أجل وضعية أخرى لـ M_2 ، فإنّ الاهتزازت الملتقطة في نفس اللحظات من طرف M_1 و M_2 تصبح أعظميتين و دنيويتين في نفس الزمن، فهي من جديد على توافق.

و بإبعاد M_2 أكثر، تصبحان على تعاكس من جديد.

نتيجة:

للموجة دورية مكانية.

2- الموجة المتقدمة الجيبية :

2-1- تعريف :

نقول عن ظاهرة دورية أنها جيبية إذا كان المقدار الفيزيائي y الذي يصفها هو دالة جيبية في الزمن:

$$Y(t) = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}.t + \varphi\right) = A\sin(2\pi f.t + \varphi)$$

و بما أن الدالة الجيبية هي دالة دورية، فان:

$$y(t) = y(t+ kT)$$

حيث k عدد صحيح.

A >0 : سعة الحركة و تمثل الانتقال الأعظمي انطلاقا من الموضع الوسطي.

و $-A \leq Y \leq +A$ أي ($Y = \pm A$).

$\left(\frac{2\pi}{T}.t + \varphi\right)$: الطور عند اللحظة t.

φ :الطور عند اللحظة t = 0 (يسمى الطور الابتدائي).

2-2 – الدور و طول الموجة:

أ- الدورية الزمنية :

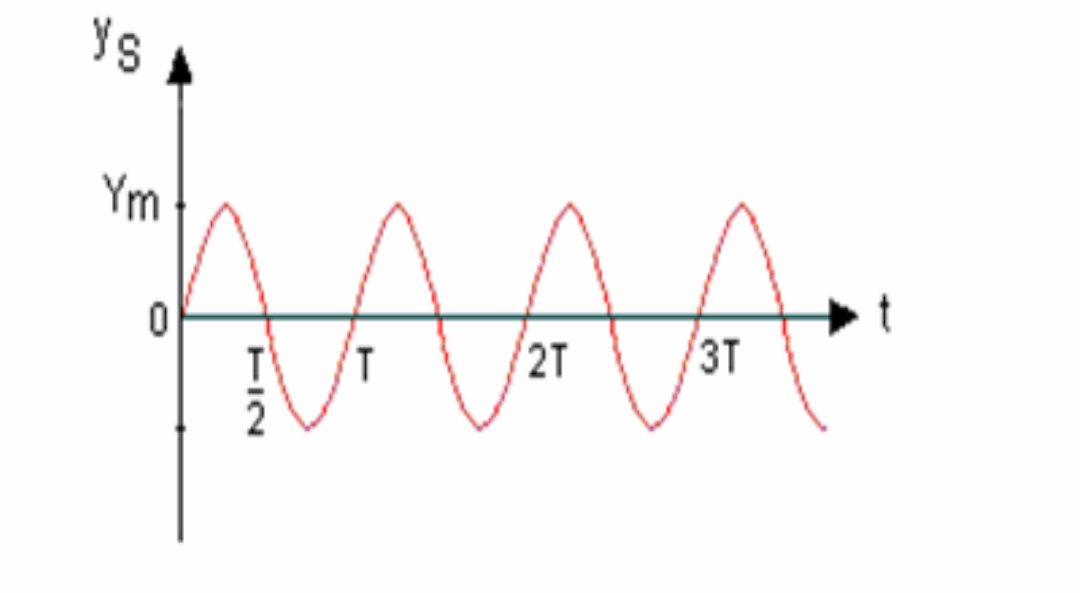
إن المقدار الذي يصف الاضطراب عند المنبع S هو: $Y_S(t) = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}.t\right)$

بأخذ $\varphi = 0$

إنّ الاضطراب في نقطة M من الوسط هو نفسه الملاحظ عند S بتأخر $\tau = \frac{SM}{V}$ ، فهو إذن كذلك جيبي دوره T.

ب- منحنى الأزمنة للمنبع S:

إنّ التمثيل البياني الموافق للمعادلة: $Y_S(t) = A\sin\left(\frac{2\pi}{T}.t\right)$ هو منحنى الأزمنة للمنبع S.



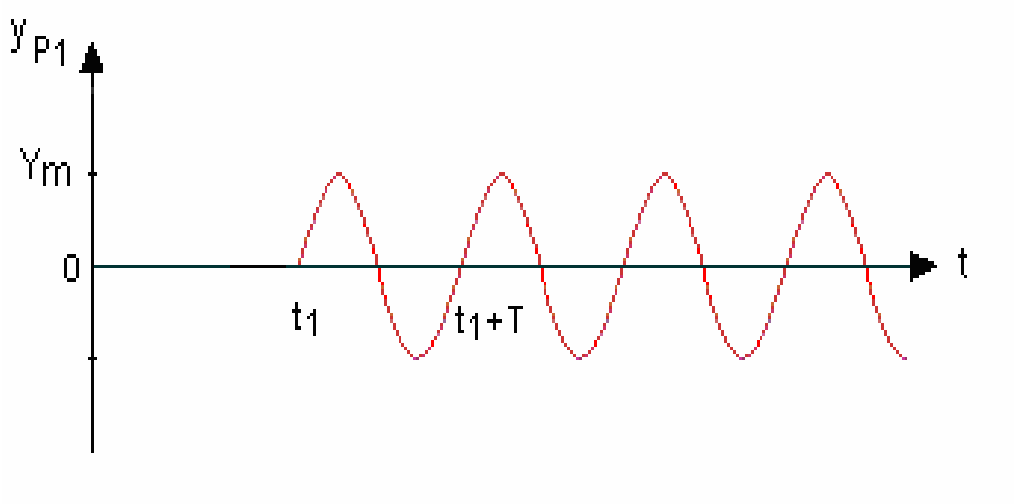
و يظهر جيدا على المنحنى الدور الزمني T.

جـ - منحنى الأزمنة لنقطة P_1 من الحبل :

حتى تصل جبهة الموجة إلى النقطة P_1 ، فإنها تستغرق الزمن $t_1 = \frac{OP_1}{V}$

حيث V = سرعة انتشار الموجة على الحبل.

إذن فالنقطة P_1 تعيد نفس الحركة الجيبية للمنبع بتأخر $t_1 = \frac{OP_1}{V}$



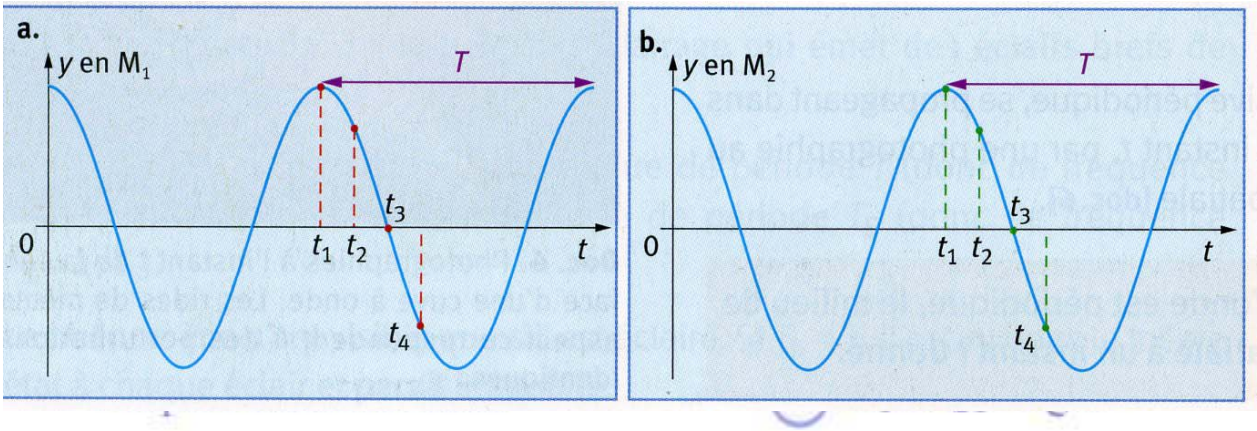
نتيجة:

- في كل نقطة من الوسط، فإنّ الاضطراب هو جيبي دوره T و تواتره $f = \frac{1}{T}$
- إنّ دور و تواتر الموجة يفرضان من طرف المنبع و هما لا يتعلقان بالوسط.

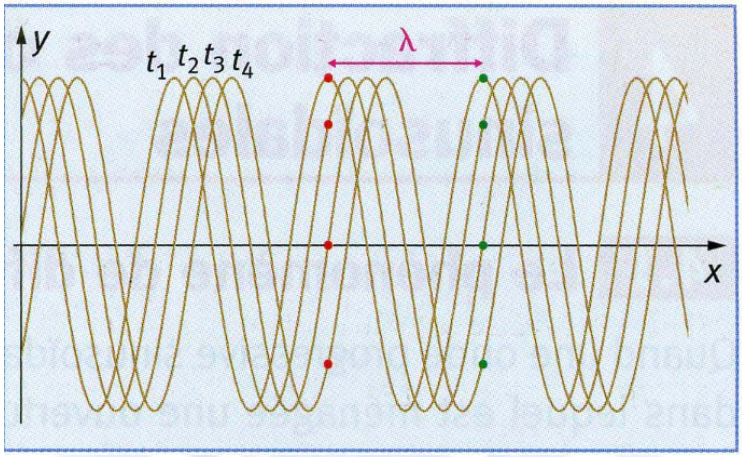
د- الدورية المكانية: طول الموجة:

نعتبر نقطتين M_1 وM_2 من حبل، فاصلتهما على التوالي x_1 وx_2 .

إن التغيرات الزمنية للمطال y للنقطتين يكون جيبيا.



يبين الشكل التالي شكل الحبل في اللحظات t_1 ,t_2 ,t_3 ; t_4 حيث مثلنا النقاط M_1 وM_2.



هـ - شكل للحبل (المنحنى المكاني) في لحظة t :

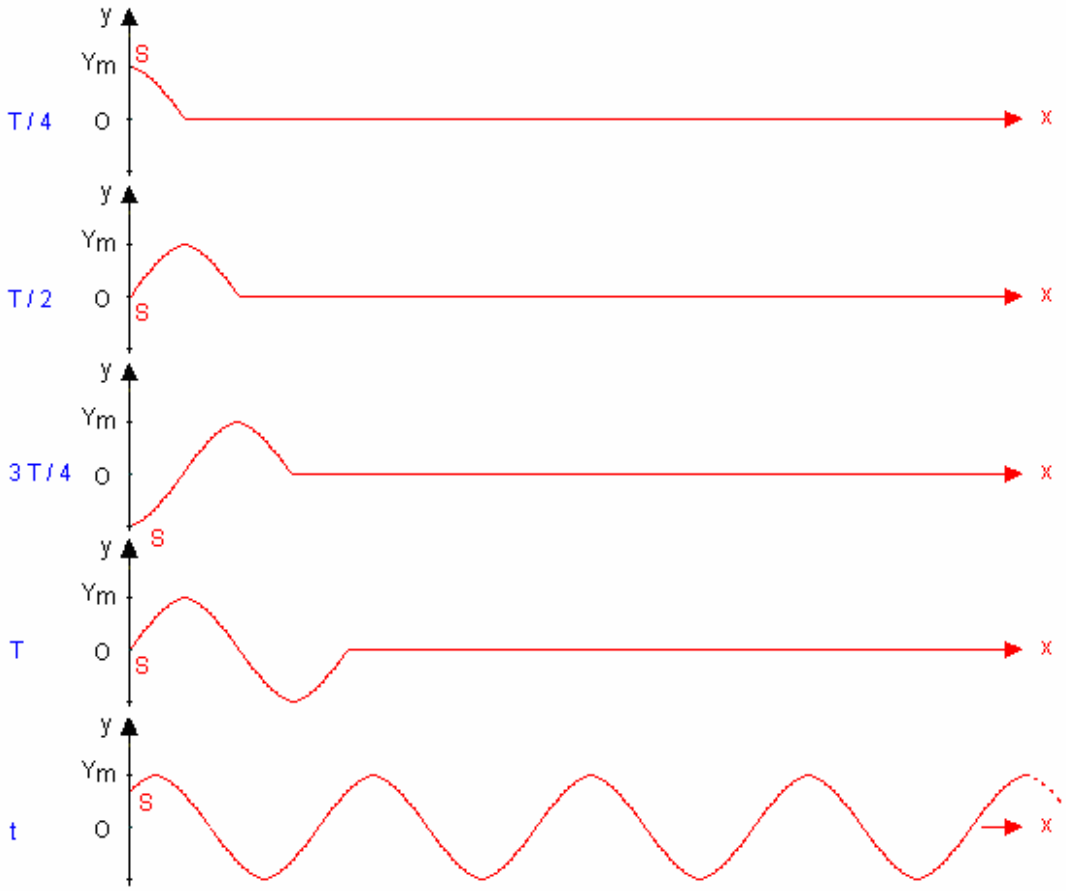
نقوم بأخذ بعض الصور للحبل في لحظات مختلفة (أنظر الشكل الموالي).

نلاحظ في هذا المنحنى (عند اللحظة t) الدورية المكانية للموجة المنتشرة على الحبل.

يسمى هذا الدور المكاني **طول الموجة**.

من الصور المأخوذة عند اللحظات T , $\frac{T}{2}$, $\frac{T}{4}$ ، نلاحظ أنّ طول الموجةλ تساوي المسافة المقطوعة من طرف الموجة بسرعة V خلال دورT.

$$\lambda = V.T$$



و بما أنّ $f = \frac{1}{T}$ ، فإنّ: $\lambda = \frac{V}{f}$

نتيجة :

- تتميزالموجة المتقدمة الجيبية التي دورها الزمني T بدورية مكانية في لحظة t ، يكون الاضطراب دالة جيبية بدلالة الموضع.
- إن الدورية المكانية لاضطراب هو طول الموجة λ ، حيث :

$$\lambda = V.T$$

λ تقدر بـ (m) ، T تقدر بـ (m/s)، V تقدر بـ (s)

بما أن السرعة V تتعلق بخصائص وسط الانتشار، فان طول الموجة λ تتعلق بالدور الذي يفرضه المنبع و بخصائص الوسط.

و- خصائص طول الموجة :

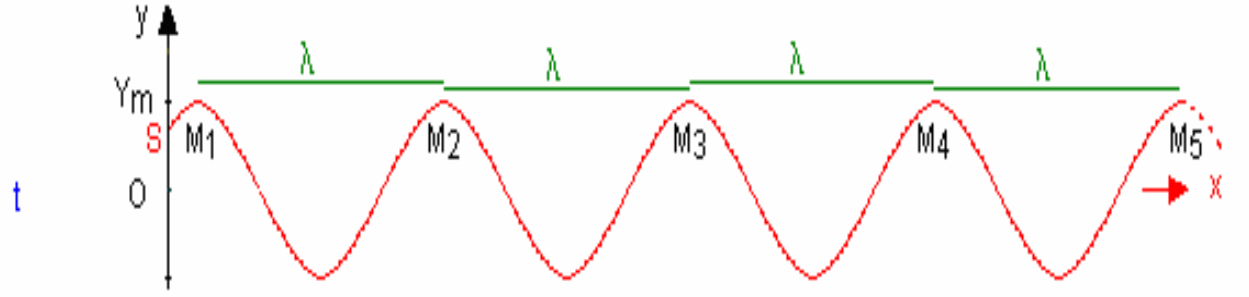
ليكن المنحنى التالي:

إنّ جبهة الموجة المنطلقة من النقطة O عند اللحظة 0 تقطع المسافة λ عند الزمن T.

نتيجة:

طول الموجة λ يساوي المسافة المقطوعة من طرف الموجة خلال دور. $\lambda = V.T$

ليكن المنحنى التالي:



إنّ النقاط المتتالية المتباعدة عن بعضها بالمسافةλ تمر بمطالها الأعظمي في نفس الوقت.
و كذلك يكون لها في كل لحظة نفس المطال . نقول بأنها على توافق.

نتيجة:

طول الموجة λ هو أصغر مسافة تفصل بين نقطتين من وسط الانتشار تهتزان على توافق في الطور.

ملاحظة :

إنّ نقطتين تبعدان عن بعضهما بالمسافة $\frac{\lambda}{2}$ (نصف طول الموجة) لهما دائما مطالان متعاكسان في الإشارة. نقول إنّ النقطتين تهتزان على تعاكس في الطور.

التحليل البعدي:

لدينا $\lambda = V.T$

$$[\lambda] = [V.T] = [V].[T] = \frac{L}{T}.T$$

$$[\lambda] = L$$

طول الموجة له بعد الطول.

3- تركيب الأمواج الجيبية: التداخل:

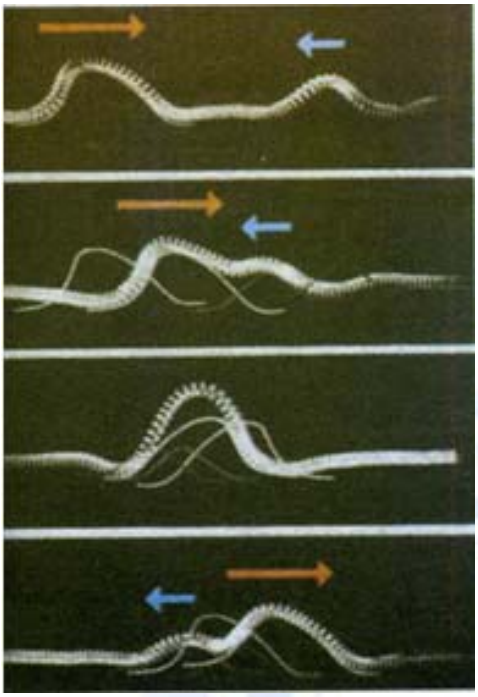
عندما تصدر الاهتزازات من منبعين و تنتشران في نفس الوسط ، فإنهما تؤثران في آن واحد على أية نقطة من وسط الانتشار.

نقول عن هذه الأمواج بأنها تتداخل، أي تتراكب عند هذه النقطة.

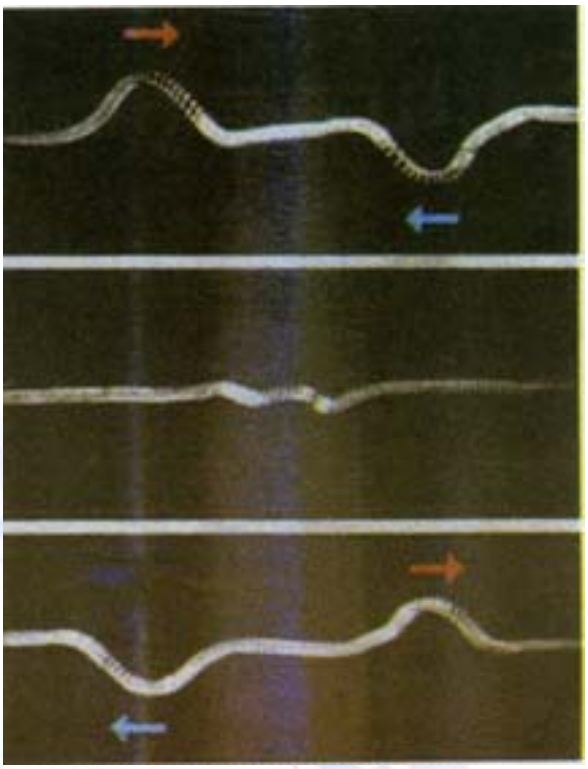
ينتج عن هذا التداخل أنّ مطال حركة كل نقطة من الوسط يصبح مساويا مجموع مطالي الاهتزازاين الواردين إلى نفس النقطة.

لإيجاد هذه المحصلة، نستعمل التمثيل الشعاعي (إنشاء فرينل).

إنّ الاضطراب الكلي الذي من أجله تلتقي فيه الموجتان هو مجموع الاضطرابين الناتجين عن كل موجة لوحدها.

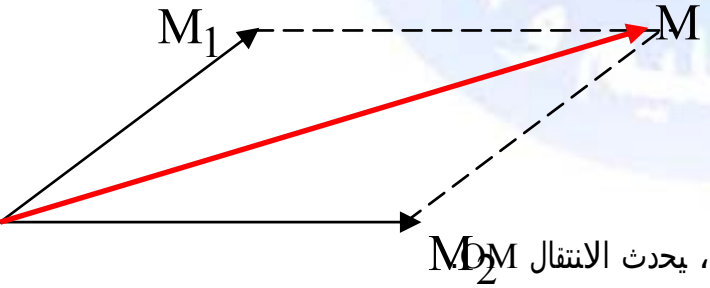


تراكب اهتزازين عرضيين بنفس الاتجاه
ينتشران وفق اتجاهين متعاكسين



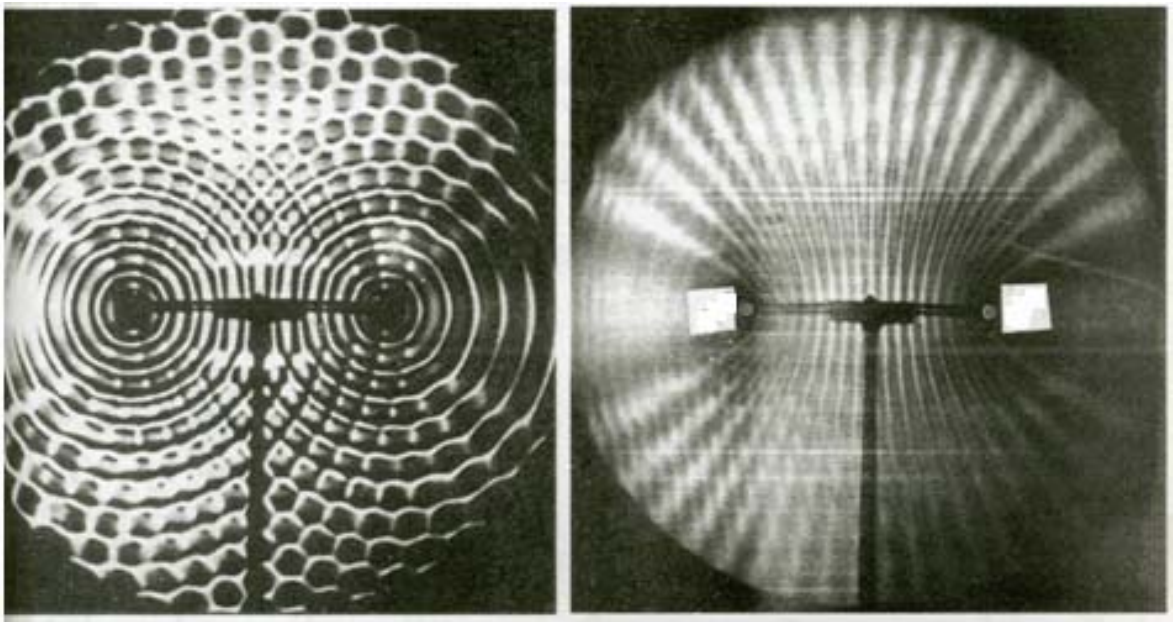
تراكب إضطرابين عرضيين مختلفي
الإشارة ينتشران وفق اتجاهين متعاكسين

نلاحظ في الشكلين السابقين أنّ الإضطرابين يتداخلان ثم يفترقان بحيث يأخذ كل منهما شكله الابتدائي (باعتبار التخامد مهملا) و يستمران في انتقالهما على طول الحبل محتفظين بخواصهما.



نعتبر نقطة M من الوسط تخضع لتأثير اضطرابين. نفرض أن أحد الاضطرابين يؤثر لوحده علىM، فيحدث في لحظة t انتقالا OM1 ،و كذا بالنسبة للإضطراب الآخر يحدث انتقالا OM_2. عندما يؤثر الإضطرابان معا على M ، يحدث الانتقال OM

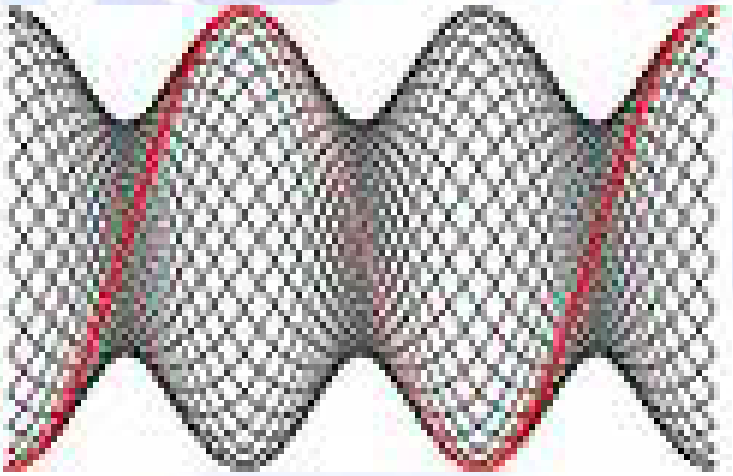
صور لبعض التداخلات :



مشاهدة ظاهرة التداخل بالإضاءة المستمرة

مشاهدة ظاهرة التداخل بالإضاءة المتقطعة

التداخل على سطح سائل



التداخل على طول الحبل (الأمواج المستقرة)

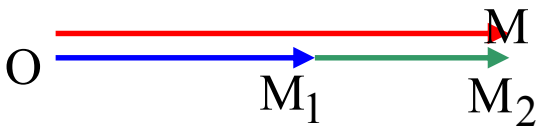
نلاحظ أنّه يمكن لبعض النقاط الخاصة من الوسط أن تقوم بنوعين من الاهتزاز:

نقاط الاهتزاز الأعظمي :

إذا كان للموجتين نفس السعة و نفس التواتر، فإنّ الاهتزازات تصل إلى النقطة في نفـس الجهـة، حيث أنّ الاضطراب الوارد من الموجة الأولى يرفعها بمقدار (A+) أو (A-) ويرفع الاضطراب الثاني كذلك بمقدار (A+) أو (A-)، و هكذا يكون الاهتزاز المحصل بـ (2 A+) أو (2 A-).

و نقول في هذه الحالة بأنّ التداخل **بناء**.

و نقول إنّ الموجتين متوافقتان (على توافق في الطور).



النقاط الساكنة :

يصل إلى نقطة ما من وسط الانتشار اهتزازان متعاكسان في الجهة أي أحدهما (+A) أو (-A) و الآخر (-A) أو(+A) و تكون السعة المحصلة معدومة

(+A – A = 0) أي أن النقطة لاتهتز

ويكون التداخل **هداما** و نقول عندها إن الموجتين على تعاكس في الطور.

أسئلة التصحيح الذاتي :

تمرين 1 :

لكل سؤال يمكن أن يوجد عدة أجوبة أو لا يوجد.

1- تتميز الموجة المتقدمة الدورية بمقدارين:

أ- دورها و تواترها.

ب- طول الموجة إذا كانت الموجة جيبية و دورها.

جـ- تواترها و سرعتها.

2- إن العلاقة بين السرعة V و طول الموجة λ و التواترF لموجة جيبية هي:

أ- $V = \lambda f$

ب- $\lambda = Vf$

جـ- $f = V\lambda$.

3- إن طول الموجة هي المسافة المقطوعة من طرف موجة متقدمة جيبية خلال:

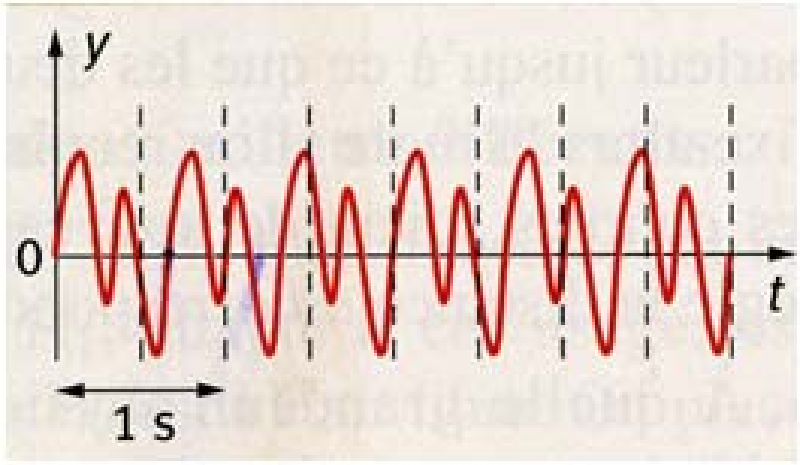
أ- نفس الدور،

ب- دور،

جـ- عدد طبيعي من الأدوار.

تمرين 2 :

يمثل الشكل التالي التغيرات الزمنية لاضطرابY في نقطة من وسط تنتشر فيه موجة متقدمة دورية.



1- ما هو تواتر المنبع ؟

2- أ- هل نستطيع تعريف طول الموجة ؟

ب- إذا كان الجواب بنعم، فما هو المقدار الناقص ؟

تمرين 3 :

لموجة متقدمة جيبية دوريتان.

1- ما هو المقدار الذي يميز الدورية الزمنية ؟ و الدورية المكانية ؟

2- ما هو المقدار من بين المقدارين الذي يكون مرتبطا بمميزات المنبع ؟ و الذي يكون مرتبطا بمميزات وسط الانتشار ؟

تمرين 4 :

في حوض الأمواج يصدر هزّاز أمواجا متقدمة دورية دائرية. نضيئ الحوض بواسطة وماض كهربائي و ذلك بتغيير تواتره من أكبر قيمة إلى قيمة منخفضة.

إنّ أكبر قيمة لتواتر الوماض و التي من أجلها تظهر الظاهرة و كأنها ساكنة هي $f_e = 10\ Hz$.

نقيس المسافة بين أول تجعيدة و التجعيدة السادسة، فنجد 10cm.

1- ما هو دور الموجة ؟

2- أحسب طول الموجة. استنتج سرعة الموجة.

تمرين 5 :

يصدر هزاز موجة دورية جيبية عرضية تواترها $f = 200\ Hz$ و التي تنتشر على طول حبل بسرعة $V = 40\ m/s$.

نعتبر عدم وجود انعكاس للموجة، و نشاهد الظاهرة بواسطة الوماض الكهربائي.

1- أ- أحسب الدور المكاني للموجة.

ب- ما هي تواترات الإضاءات التي تسمح بالسكون الظاهري للحبل.

جـ- مثل الشكل الذي نشاهده مع تحديد المقادير المميزة.

2- إنّ تواتر الوماض هو 198 Hz.

أ- أحسب المسافة المقطوعة من طرف الموجة بين إضاءتين متتاليتين.

ب- ما هي المسافة الظاهرية التي يرى بها الملاحظ تقدم الموجة بين الإضاءتين المتتاليتين.

جـ- استنتج السرعة الظاهرية للموجة.

3- صف ما تشاهده إذا كان تواتر الإضاءات هو 202 Hz.

أجوبة التصحيح الذاتي :

تمرين 1 :

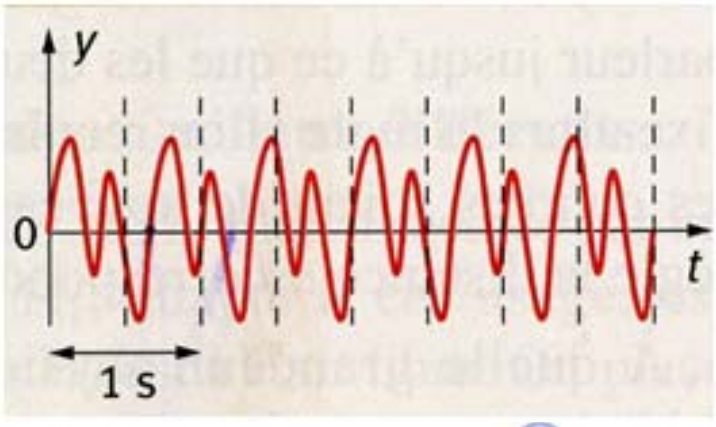
1- ب و جـ

2- أ

3- ب

تمرين 2:

1- التواتر:



من الرسم نجد $T = 0{,}67\ s$

لدينا: $f = \frac{1}{T}$

$$f = \frac{1}{0,67} = 1,5 \text{ Hz}$$

$$f = 1,5 \text{ Hz}$$

2- لا نستطيع تعريف طول الموجة انطلاقا من المنحنى. يجب أن يكون المنحنى هو $y = f(x)$ أو لدينا السرعة.

تمرين 3 :

1- المقدار الذي يميز الدورية الزمنية هو الدور T و الدورية المكانية هو طول الموجة λ.

2- إنّ الدور T هو المرتبط بمميزات المنبع، أما طول الموجة λ فيكون مرتبطا بمميزات المنبع و وسط الانتشار.

تمرين 4 :

1- الدور:

حتى نشاهد الأمواج ساكنة، يجب أن يكون $f = f_e$ أي:

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

$$T = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ s}$$

$$T = 0,1 \text{ s}$$

2- حساب طول الموجة:

لدينا $d = 5\lambda$ أي $\lambda = \frac{d}{5}$ ، نجد:

$$\lambda = \frac{0,1}{5} = 0,02 \text{ m}$$

$$\lambda = 2 \text{ cm}$$

$$\lambda = 2 \text{ cm}$$

استنتاج السرعة:

لدينا: $\lambda = V.T$ أي $V = \frac{\lambda}{T}$

$$V = \frac{0,02}{0,1} = 0,2 \text{ m/s}$$

$$V = 0,2 \text{ m / s}$$

$$V = 0,2 \text{ m / s}$$

تمرين 5 :

1- أ- الدور المكاني:

$$\lambda = V.T = \frac{V}{f}$$

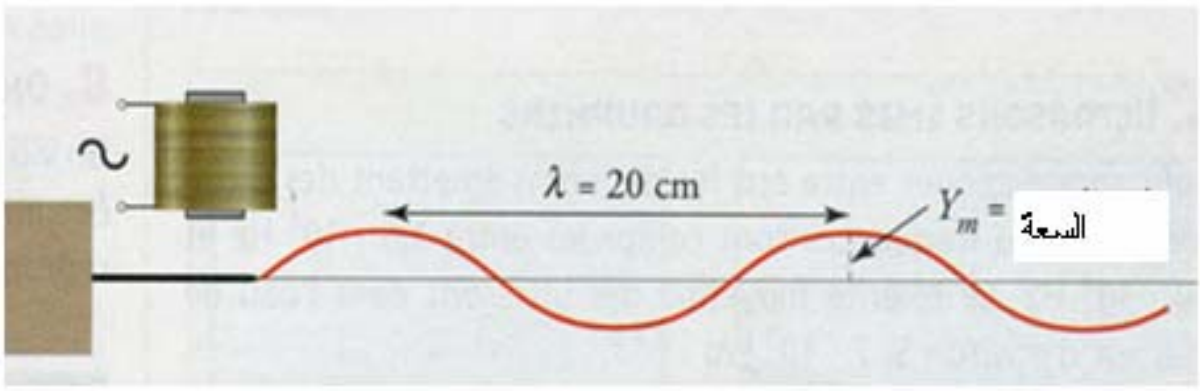
$$\lambda = \frac{40}{200} = 0,2 \text{ m}$$

$$\lambda = 20 \text{ cm}$$

ب- نعلم أنّه بين إضاءتين متتاليتين، فإنّ الموجة تقطع المسافات λ ، 2λ ، 3λ ، ...، إذن

فالتواترات هي f ، $\frac{f}{2}$ ، $\frac{f}{3}$ .. أي 200 Hz ، 100 Hz ، 67 Hz ، ...

جـ- الشكل :



2- أ- المسافة :

$$d = \frac{V}{f}$$

$$d = \frac{40}{198} = 0,202 \text{ m}$$

$$d = 20,20 \text{ cm}$$

$$d = 20,20 \text{ cm}$$

ب- المسافة الظاهرية :

$$d = d_1 - d_2$$

$$d = 20,20 - 20 = 0,2 \text{ cm}$$

$$d = 0,2 \text{ cm}$$

جـ- السرعة الظاهرية:

$$V_{ap} = \frac{d}{T_e} = d \cdot f_e$$

$$V_{ap} = 0,2 \times 200 = 40 \text{ cm/s}$$

$$V_{ap} = 40 \text{ cm/s}$$

$$V_{ap} = 40 \text{ cm/s}$$

3- الوصف :

عندما يكون تواتر الإضاءات أكبر بقليل من تواتر الموجة، فإنّنا نشاهد موجة متأخرة تنتشر بتباطؤ (ralenti) في الجهة المعاكسة للجهة السابقة.