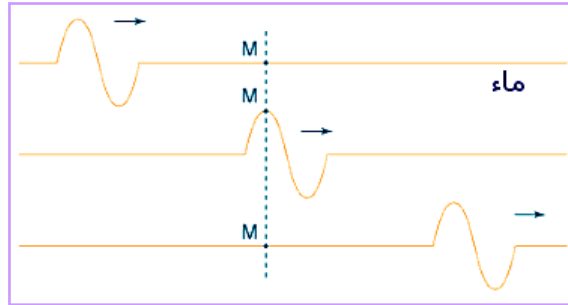


## I. الموجة الميكانيكية المتوالية

**تعريف** الموجة الميكانيكية هي ظاهرة انتشار اضطراب أو تشوه أو اهتزاز في وسط مادي دون انتقال للمادة. و تعتبر متوالية إذا كانت **تبتعد** عن منبعها بلا نهاية في وسط غير محدود أو أبعاده كبيرة.

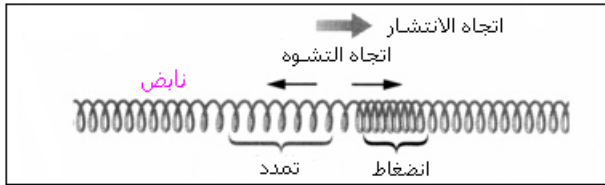
" دون انتقال للمادة " لا تعني " دون حركة": عند مرور الموجة الميكانيكية كل نقطة من وسط الانتشار تنزاح عن موضع توازنها لتعود إليه بعد مرورها.

▪ **مثال:** انتشار تشوه على سطح الماء ناتج عن رمي حصى في بركة مائية:



**وسع** موجة ميكانيكية هو القيمة القصوى للتشوه الذي تحدثه هذه الموجة. الموضع الذي تنبعث منه الموجة الميكانيكية يسمى **المنبع**. تنتشر الموجة من المنبع **تدرجياً**: فهي متوالية.

## • الموجة المستعرضة و الموجة الطولية



موجة طولية : للتشوه و الانتشار نفس الاتجاه.



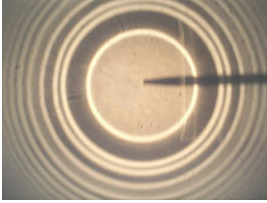
موجة مستعرضة: اتجاهها التشوه و الانتشار متعامدان.

في وسط صلب تنتشر الموجات المستعرضة أو الطولية لكن في وسط مائع (سائل أم غاز) لا تنتشر سوى الموجات الطولية. غير أنه يمكن لموجة مستعرضة أن تنتشر على **سطح** سائل.

## • خصائص الموجات الميكانيكية المتوالية

**خاصية 1** لا تنقل الموجة الميكانيكية المادة لكنها تنقل طاقة ميكانيكية.

**خاصية 2** تنتشر الموجة الميكانيكية في جميع الاتجاهات المتاحة لها.



• أمثلة:

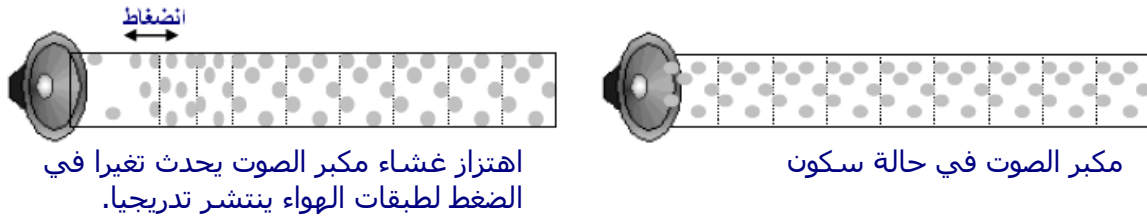
- الموجة التي تنتشر على طول حبل أو نابض موجة أحادية البعد.
- الموجة التي تنتشر على سطح الماء موجة ثنائية البعد (الصورة جانبه).
- الموجة الصوتية موجة ثلاثية البعد.

**خاصية 3** عند تلاقي موجتين وسعاهما ضعيفان لا يحدث بينهما أي تأثير بيني.



• الموجات الصوتية

الصوت عبارة عن موجة ميكانيكية **طولية** ناتجة عن انتشار انضغاط و تمدد (تغير في الضغط). لا تنتشر في فراغ بل انتشارها يتطلب وسطا ماديا (هواء، ماء...)



اهتزاز غشاء مكبر الصوت يحدث تغيرا في الضغط لطبقات الهواء ينتشر تدريجيا.

مكبر الصوت في حالة سكون

• سرعة انتشار موجة ميكانيكية

في وسط مادي تنتشر موجة ميكانيكية بسرعة **ثابتة** تسمى سرعة الانتشار

تعريف: 
$$v = \frac{d}{\Delta t} \quad (\text{m.s}^{-1})$$

d المسافة التي تقطعها الموجة خلال المدة الزمنية  $\Delta t$ .

**خاصية 1** تتعلق سرعة الانتشار بطبيعة وسط الانتشار و حالته الفيزيائية.

ترتفع سرعة الانتشار مع صلابة وسط الانتشار و تنخفض مع قصره. كما يمكن أن تتعلق بدرجة الحرارة.

• أمثلة: - سرعة انتشار موجة على طول حبل تتعلق بتوتره F و بكتلته الطولية  $\mu = \frac{m}{L}$  حسب

العلاقة التالية: 
$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

- ترتفع سرعة انتشار الصوت في الهواء مع ارتفاع درجة الحرارة:

$330 \text{ m.s}^{-1}$  عند  $0^\circ\text{C}$  و  $344 \text{ m.s}^{-1}$  عند  $20^\circ\text{C}$

**خاصية 2** لا تتعلق سرعة الانتشار بشكل الموجة ولا بوسعها ما دام هذا الأخير ضعيفا.

### • الموجة الميكانيكية أحادية البعد

تنتشر الموجة في اتجاه واحد نعتبره محورا للأفاصيل  $x$  لنقط وسط الانتشار و أصله  $O$  يطابق المنبع الذي نعتبره كنقطة. نميز حركة نقطة  $M$  من وسط الانتشار بالنسبة لموضع توازنها  $M_0$  بالمقدار  $y = M_0M$  الذي يسمى استطالة.

#### ▪ حركة نقطة من وسط الانتشار بدلالة الزمن

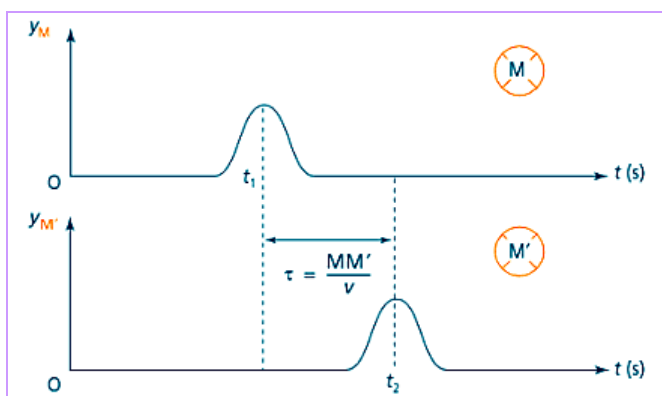
كل نقطة  $M$  من وسط الانتشار، أفصولها  $x = OM$ ، تصلها الموجة، تكرر اهتزازات المنبع  $O$  بتأخر

$$\tau = \frac{x}{v} \quad (s) \quad \text{زمني:}$$

و كذلك التأخر الزمني لنقطة  $M'$  بالنسبة لنقطة  $M$  هو:  $\tau = \frac{MM'}{v}$

استطالة  $M'$  في لحظة  $t_2$  تساوي استطالة  $M$  في اللحظة  $t_1 = t_2 - \tau$ .

إذن يستنتج المنحنى  $y_{M'}(t)$  من المنحنى  $y_M(t)$  بإزاحة تساوي  $\frac{MM'}{v}$ :

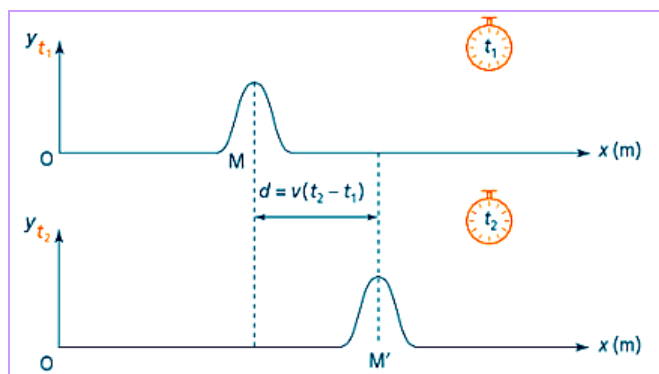


#### ▪ مظهر وسط الانتشار في لحظة

المنحنى  $y(x)$  يمثل مظهر الوسط في لحظة  $t$ .

بين لحظتين  $t_1$  و  $t_2$  تقطع الموجة المسافة:  $d = v(t_2 - t_1)$

إذن يستنتج المنحنى  $y_{t_2}(x)$  من المنحنى  $y_{t_1}(x)$  بإزاحة تساوي  $v(t_2 - t_1)$ :



## II. الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية

**تعريف** تعتبر الموجة الميكانيكية المتوالية **دورية** إذا كانت الاهتزازات الصادرة عن منبع تتكرر بشكل دوري، وتكون جيبية إذا كان المقدار الفيزيائي المميز للاهتزازات (استطالة، ضغط...) دالة زمنية جيبية.

تتميز الموجة الميكانيكية المتوالية الدورية بدورها  $T$ (s) وترددتها  $N = \frac{1}{T}$  (Hz).

### • الدورية الزمانية و الدورية المكانية

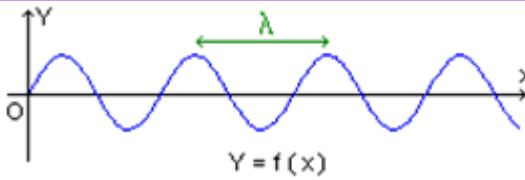
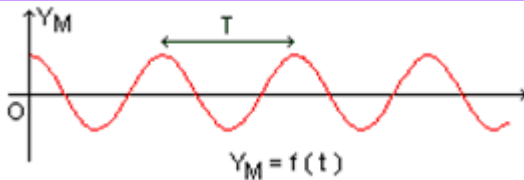
لموجة جيبية دوريتان:

#### ▪ دورية زمانية:

كل نقطة  $M$  من وسط الانتشار تعود لنفس الحالة الاهتزازية أي تكرر نفس الحركة بعد مدد زمنية متتالية و متساوية تساوي **الدور الزمني  $T$** .

#### ▪ دورية مكانية:

في لحظة ما  $t$ ، نقط وسط الانتشار التي تفصل بينها مسافات متقايسة في اتجاه الانتشار تساوي **الدور المكاني  $\lambda$** ، لها نفس الحالة الاهتزازية.

الدورية المكانية	الدورية الزمانية
 <p>يمثل المنحنى إستطالات جميع نقط وسط الانتشار في لحظة ما <math>t</math> أي يمثل مظهر الوسط في اللحظة <math>t</math>.</p>	 <p>يمثل المنحنى تغيرات استطالة نقطة ما <math>M</math> من وسط الانتشار بدلالة الزمن.</p>

المسافة  $\lambda$  تسمى **طول الموجة**.

### • طول الموجة

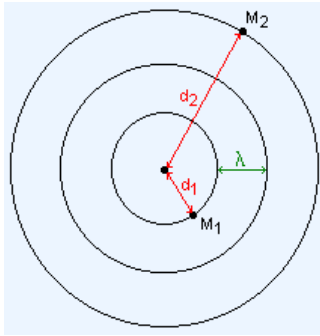
**تعريف** طول الموجة يساوي المسافة التي تقطعها الموجة خلال كل دور زمني  $T$ ،

$$\lambda = vT = \frac{v}{N} \quad (m)$$

و تعبيرها: حيث  $v$  سرعة انتشار الموجة.

يمكن أن نقول أيضا أن طول الموجة يساوي **أصغر** مسافة في اتجاه الانتشار تفصل نقطتين من وسط الانتشار لهما نفس الحالة الاهتزازية (نقول أنهما على توافق في الطور).  
 التردد و الدور مميزتان لموجة: لا يتعلقان بوسط الانتشار، لكن طول الموجة ليس مميزة لها إذ يتعلق بالوسط .

## • مقارنة اهتزازات نقطتين من وسط الانتشار



النقطتان تهتزان على توافق في الطور:  
في كل لحظة  $y_{M_2} = y_{M_1}$

$$|d_2 - d_1| = k\lambda$$

$$k \in \mathbb{N}$$

النقطتان تهتزان على تعاكس في الطور:  
في كل لحظة  $y_{M_2} = -y_{M_1}$

$$|d_2 - d_1| = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$$

## • معاينة ظاهرة اهتزازية بالوماض

- الوماض جهاز يرسل ومضات سريعة و دورية و دورها  $T_s$  قابل للضبط. يمكن الوماض من معاينة ظواهر دورية سريعة يستحيل تتبعها بالعين المجردة. كما يستعمل لقياس تردد أو سرعة دوران.
- يمكن الوماض من قياس الدور  $T$  لظاهرة دورية : هذا الأخير يساوي أصغر قيمة لدور الومضات التي تمكن من مشاهدة توقف ظاهري:



صورة لوماض

توقف ظاهري لنقط وسط الانتشار

$$T_s = kT$$

حركة ظاهرية بطيئة في المنحى الحقيقي ترددها:  $N_a = N - N_s$

$$T_s \geq T$$

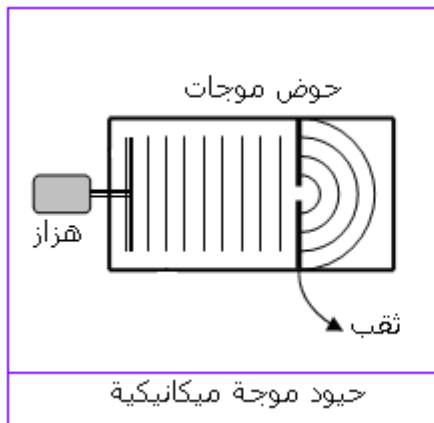
حركة ظاهرية بطيئة في المنحى المعاكس ترددها:  $N_a = N_s - N$

$$T_s \leq T$$

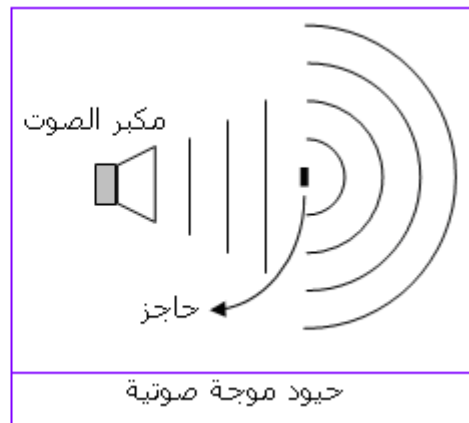
## III. حيود موجة ميكانيكية

## • ظاهرة الحيود

تعتبر ظاهرة الحيود خاصة للموجات، و تحدث عندما تصادف موجة ثقباً أو حاجزاً أبعاده صغيرة.



حيود موجة ميكانيكية

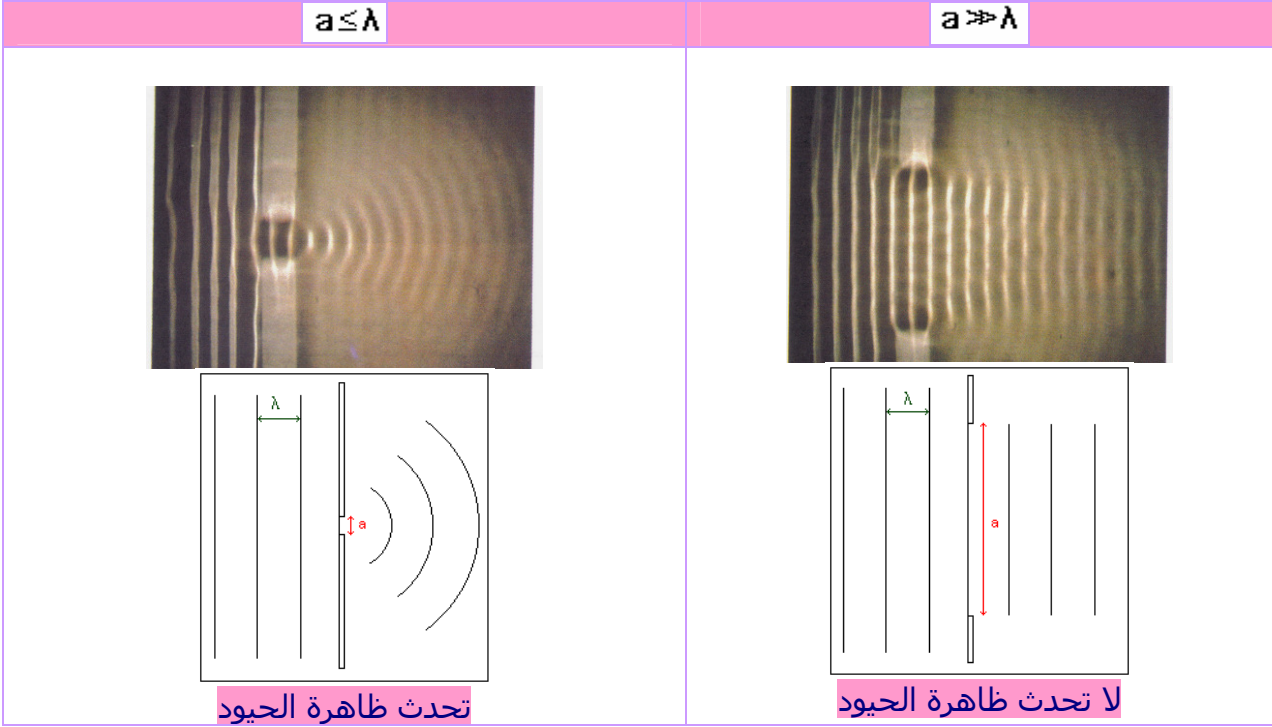
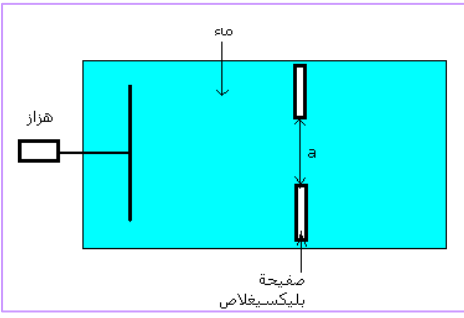


حيود موجة صوتية

يتصرف الثقب أو الحاجز كمنبع للموجات.

• شرط الحيود

نحدث موجة مستقيمة على سطح الماء و نغير  $a$  عرض الفتحة التي بين الصفيحتين بإبعادهما أو تقريبهما. فنشاهد الحالتين التاليتين(الصورتان أسفله).



للموجتين الواردة و المحيدة نفس المميزات: سرعة الانتشار و التردد و طول الموجة.

IV. تبدد موجة ميكانيكية

يعتبر وسط الانتشار مبددا لموجة متوالية جيئية إذا كانت سرعة انتشارها في هذا الوسط تتعلق بترددتها.

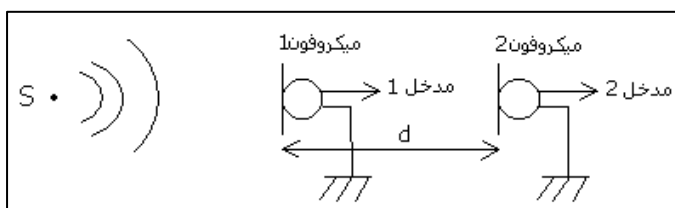
تعريف

• أمثلة: سطح الماء وسط مبدد للموجات الميكانيكية.  
الهواء وسط غير مبدد للموجات الصوتية.

## تمارين تطبيقية

## تمرين 1 قياس سرعة انتشار موجة صوتية في الهواء

يحدث منبع صوتي نقطي S إشارة صوتية موجزة. بواسطة راسم تذبذب أو حاسوب مزود ببرنم ملائم، تعالين الإشارتان الكهربائيتان الناتجتان عن ميكروفونين يقعان على استقامة واحدة من المنبع S. بالنسبة للمسافة  $d = 1 \text{ m}$  و عند درجة الحرارة  $25^\circ\text{C}$  نحصل على التسجيل التالي:



1- قس التأخر الزمني للميكروفون الثاني بالنسبة للأول.

2- استنتج سرعة انتشار الصوت في الهواء في ظروف التجربة .

3- نظريا يعبر عن سرعة انتشار موجة صوتية في

الهواء بالعلاقة التالية  $v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}}$  حيث:

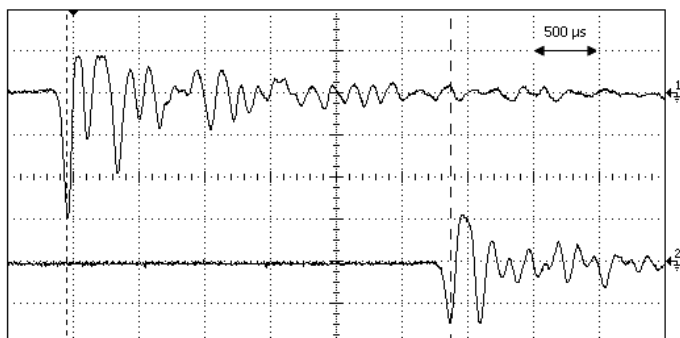
$\gamma$  معامل قيمته  $\gamma = 1,4$  و R ثابتة الغازات

الكاملة و قيمتها  $R = 8,31 \text{ (S.I)}$  و T

درجة الحرارة المطلقة للهواء و M و كتلته

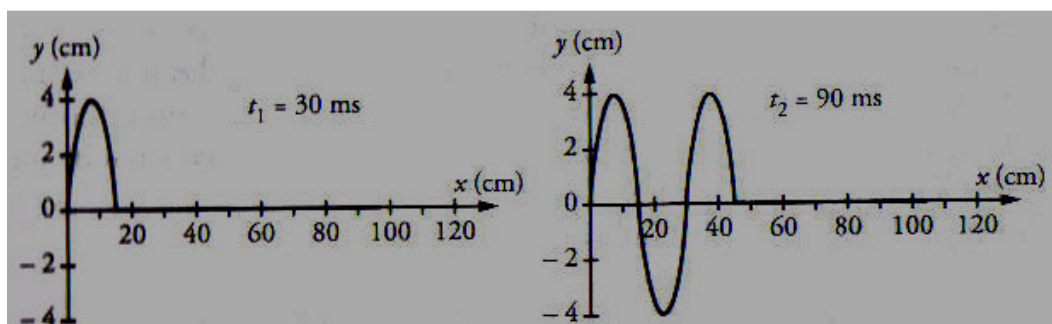
المولية و قيمتها  $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ .

أحسب القيمة النظرية ثم قارنها مع القيمة التجريبية.



## تمرين 2 انتشار موجة ميكانيكية على طول حبل

نربط أحد طرفي حبل بهزاز يصدر موجة جيئية ابتداء من لحظة تاريخها  $t=0$ . المبيانان التاليان يمثلان مظهر الحبل في لحظتين.



1) حدد طول الموجة.

2) حدد الدور الزمني.

3) استنتج سرعة انتشار الموجة.

## تمرين 3 انتشار موجة ميكانيكية على سطح الماء

يحدث هزاز في نقطة S من سطح الماء موجة متوالية جيئية، ترددها  $N = 200 \text{ Hz}$  و سرعة انتشارها  $v = 12 \text{ m.s}^{-1}$ . نعتبر نقطتين  $M_1$  و  $M_2$  من سطح الماء تقعان على التوالي على المسافة:  $d_1 = SM_1 = 9 \text{ cm}$ ،  $d_2 = SM_2 = 18 \text{ cm}$ .

1- هل الموجة المنتشرة على سطح الماء طولية أم مستعرضة؟

2- أحسب طول الموجة.

3- قارن حركة كل من  $M_1$  و  $M_2$  مع حركة المنبع S.

4- في لحظة تاريخها t توجد النقطة  $M_1$  على مسافة 3 mm تحت موضع سكونها. ما موضع النقطة  $M_2$  بالنسبة لموضع سكونها عند نفس اللحظة؟