

## انتقال الموجات

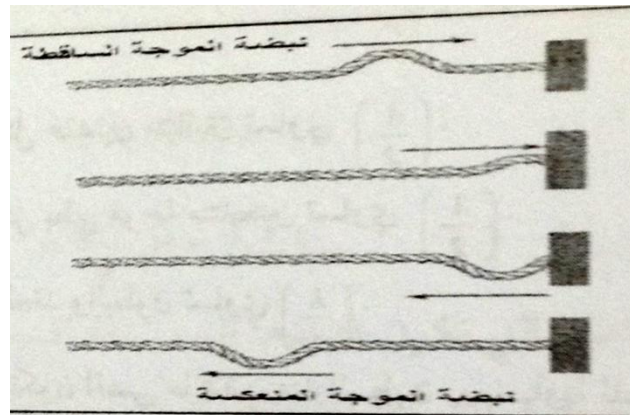
عندما تؤثر بقوة خارجية لحظية على جسيمات فان الجسيمات تبدأ بالتحرك في حركة تذبذبية حول مواضع توازنها ثم تنتقل منها هذه الحركة الى ما يليها من الجسيمات وهكذا ، فلو امسكنا بطرف خيط من نهايته كما في الشكل فمن الممكن ارسال اضطراب ليتحرك على طول الخيط ويبدأ الاضطراب او النبضة الاحادية بحركة فجائية لليد الى الالى ثم الى الاسفل وهذه النبضة تحمل الطاقة وتنقلها معها بطول الخيط.

## الانعكاس والنفاذية

ظاهرة الانعكاس تحدث لان الموجة عبارة عن طاقة متحركة فعندما تتقدم موجة في وسط ما ثم تصطدم بوسط ثانٍ مختلف فان جزء من الموجة الاصلية ينعكس مرتدا الى الوسط الاول وجزء ينفذ الى الوسط الثاني .وسندرس انعكاس الموجة المستعرضة في حبل عندما تتحرك النبضة على الحبل الى اليمين وفق الحالات التالية :

## 1- عند سريان نبضة في حبل عند طرف ثابت .

نفترض موجة مستعرضة منتقلة على خيط او حبل مشدود عند طرفه اليمين كما موضح بالشكل ، تنتقل الموجة لليمين وعندما تصل الى الحاجز فانها تؤثر عليه بقوة معينة للاعلى وبما ان الحاجز ثابت في مكانه فانه لن يتحرك وسوف يؤثر على الخيط بقوة مساوية بالمقدار ومعاكسة بالاتجاه مما يسبب انعكاس الموجة بسعة الموجة الاصلية ولكن مختلفة بالاتجاه ( $\phi=180$ ) تبعا لقانون نيوتن الثالث . (الموجة تنقلب بالانعكاس عند الطرف الثابت).كما في الشكل (3-5) .

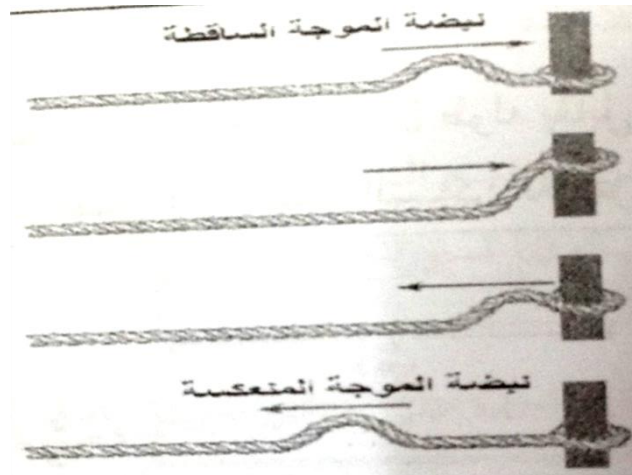


شكل (3-5) نبضة موجة ساقطة ومنعكسة على طرف ثابت

## ٢- عند وصول النبضة إلى طرف خيط مشدود حر الحركة .

يوضح الشكل (3-6) موجة مستعرضة منتقلة على خيط طرفه اليمين حر ، فعندما تنتقل الموجة فانها ستتحرك الى اعلى واسفل عند الطرف الحر وتنعكس الموجة وتكون سعتها مساوية لسعة الموجة الساقطة مقداراً واتجاهاً وليس هناك فرق بالطور بين الموجة الساقطة والمنعكسة . (تنعكس الموجة بدون انقلاب عند الطرف الحر).

في الحالتين الأولى والثانية لا يحصل نفاذ لان هناك حاجز وبالتالي لم ينفذ .



شكل (3-6) نبضة موجية ساقطة ومنعكسة عند طرف حر

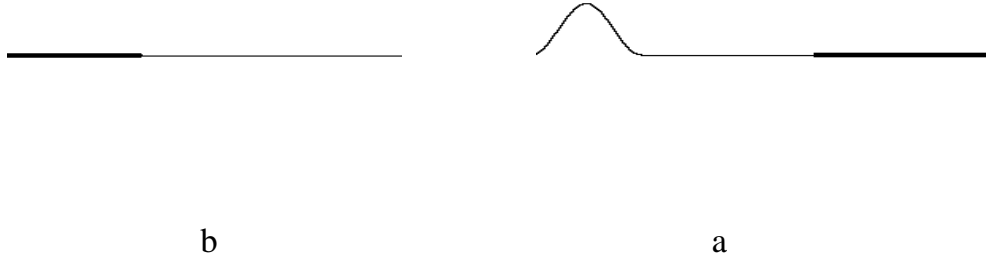
## ١- حالة ربط حبل خفيف بآخر ثقيل

a- عند سريان النبضة سوف ينعكس ويكون مقلوب وجزء ينفذ من خلال الحبل الثقيل بدون

انقلاب سعة النبضة المنعكسة والنافذة اقل من سعة النبضة الساقطة له .

b- عندما تنتقل نبضة على خيط كثيف (ثقل) وترتطم بالحد الفاصل بين خط كثيف وآخر خفيف

كما في الشكل :



مرة أخرى جزء ينعكس وجزء ينفذ وفي هذه الحالة الأخيرة لا تنقلب النبضة المنعكسة تنفذ وتنعكس ولكن بنفس اتجاه النبضة الساقطة بدون انقلاب .  
ملاحظة:

الانعكاس والنفوذ للنبضة على حبل مختلف الكثافة يعتمد على الكثافة النسبية بين الحبلين . وإذا كان الخيطان متماثلين لا يكون هناك انفصال عند الحدود الفاصلة ولا يحدث انعكاس للنبضة .  
أي باختصار :

\* عندما تنتقل النبضة موجية من الوسط A إلى الوسط B (إذا كان الوسط B أكثر كثافة من الوسط A) تنقلب الموجة عند الانعكاس .  
\* عندما تسير النبضة الموجية من الوسط A إلى الوسط B (عندما يكون الوسط A أكثر كثافة من الوسط B) لا تنقلب النبضة عند الانعكاس .

### الموجات الواقفة

إذا ثبتنا حبلًا طويلاً من طرف ثم حركناه بإرسال نبضات منتظمة، فإننا نلاحظ أن هذه النبضات المتلاحقة سوف تنعكس من نقطة تثبيت الحبل وتلتقي مع النبضات الواردة وتتداخل معها وينقسم الحبل إلى مناطق ساكنة تسمى عقد (Nodes) ومناطق متحركة تسمى بطون (Antinodes). وتكون سعة الإهتزاز أكبر ما يمكن في البطون وأقل ما يمكن في العقد .

الموجات الناتجة بهذه الصورة تسمى الموجات الواقفة أو الموقوفة، وقد لوحظ أن تردد الموجة المنعكسة يساوي تردد الموجة الساقطة ولكن إتجاهها عكس إتجاه الموجة الساقطة، أي أن الموجة الواقفة تتكون عندما تلتقي حركتان موجيتان لهما تردد واحد وفي إتجاهين متعاكسين .

فعندما تسير موجتان متشابهتان في نفس الوسط وفي عكس الاتجاه فانه يمكننا حساب المحصلة من خلال مبدأ التراكب باعتبار دالتين موجيتين لموجتين مستعرضة لهما نفس السعة والتردد والطول الموجي ويسيران باتجاهين متعاكسين في نفس الوسط .

$$y = y_1 + y_2$$

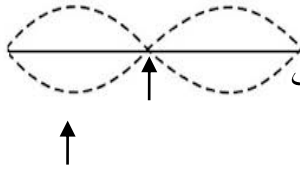
$$y_1 = A \sin(kx - \omega t), \quad y_2 = A \sin(kx + \omega t)$$

بالجمع نحصل على

$$y = 2A \sin kx \cos \omega t$$

وهذه تسمى بالموجة الواقفة التي سعتها  $2A \sin kx$  أي إن الجسيم الذي له أقصى إزاحة ممكنة من موضع التوازن يكون له سعة  $2A$  (أي أن أعظم سعة في البطن تكون قيمة السعة ضعف سعة الموجة الساقطة لقيمة الاهتزاز) ويسمى المكان في الوسط الذي تحدث فيه الإزاحة القصوى ببطن الموجة. ومن الواضح إن الطاقة لا تنتقل بالموجات الواقفة لوجود العقد التي تتعدم فيها السعة والحركة ولهذا تبقى الطاقة واقفة (ساكنة).

**الموجات الواقفة :** هي الموجة الناتجة من تداخل موجتين لهما نفس السعة والتردد لكنهما تسيران باتجاهين متعاكسين.



**البطن :** الموضع الذي تكون فيه سعة الاهتزاز قيمة عظمى

**العقدة :** الموضع الذي تتعدم فيه سعة الاهتزاز

$$\text{عدد العقد} = \text{عدد البطن} + 1$$

#### عقدة بطن

البعد بين أي عقدتين متتاليتين في الوتر يكون ثابتاً ويساوي نصف الطول الموجي  $(\lambda/2)$  كذلك البعد بين أي بطنين متتاليتين يساوي نصف الطول الموجي.

**الموجة الموقوفة الواحدة**  $\Rightarrow$  تتكون من قطاعين ، القطاع : عقدتين وبطن

**سرعة الموجة الموقوفة ( المنتشرة في وتر ) :**

$$F_T \propto V^2 \quad \text{قوة شد الوتر تتناسب طردياً مع مربع سرعة الموجة } V$$

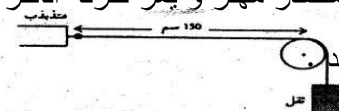
$$\mu \propto 1/V^2 \quad \mu \text{ هي كتلة وحدة الأطوال من الوتر وتتناسب عكسياً مع مربع السرعة}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

#### تجربة ميلد

**الغرض منها :** ① دراسة الأمواج الموقوفة. ② تعيين سرعة وتردد موجة يصدرها وتر.

**الأدوات :** وتر طوله  $L$  وكتلة وحدة الأطوال منه  $\mu$  متصل طرفه بمصدر مهتز ويمر طرفه الآخر فوق بكره ملساء وينتهي بكفة توضع بها ائقال مناسبة لتغيير قوة الشد.



عندما يهتز المصدر يتولد قطار من الأمواج ينعكس بمجرد وصوله للبكرة . فتتداخل الموجات الساقطة والمنعكسة مكونة موجات موقوفة تتكون من عقد وبطنون فيتحول الوتر إلى عدد (n) من القطاعات ويصبح الطول الموجي

$$\lambda = \sqrt{\frac{2L}{n}}$$

إذا كان تردد المصدر  $\nu$  يمكن تعيين السرعة من العلاقة

$$\nu = \lambda f$$

في تجربة ميلد عند زيادة قوة الشد فان تردد الموجة يظل ثابت لثبوت تردد المصدر .


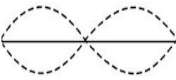
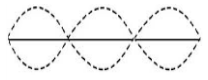
$$f = \frac{\nu}{\lambda}$$

التردد يتعين من العلاقة

بالتعويض عن الطول الموجي والسرعة

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

القانون العام لاهتزاز الالوتار

التردد $f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$	الطول الموجي $\lambda = \frac{2l}{n}$	عدد القطاعات وشكلها	رتبة النغمة
$f_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$	$\lambda = 2l$ الطول الموجي = ضعف طول الوتر	$n = 1$ قطاع واحد 	١- النغمة الأساسية " التوافقية الأولى"
$f_2 = \frac{2}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$	$\lambda = l$ الطول الموجي = طول الوتر	$n = 2$ قطاعين 	٢- النغمة التوافقية الثانية
$f_3 = \frac{3}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{m}}$	$\lambda = \frac{2}{3}l$ الطول الموجي = ثلثي طول الوتر	$n = 3$ ٣ قطاعات 	٣- النغمة التوافقية الثالثة

الأنماط : تحدث في الوتر إذا جذب الوتر وترك حراً فإنه يطلق نغمات مختلفة في نفس الوقت

وهي تتغير بتغير طول الجزء المهتز من الوتر وقوة الشد و سمك الوتر ونوع مادة الوتر .

مثال// احسب تردد النغمة الأساسية لوتر طوله (1m) وكتلته (2gm) عندما يكون تحت قوة شد تعادل ثقل كتلته (400kg) .

طول السلك  $L = 1m$

كتلة السلك  $m = 2gm = 0.002kg$

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{0.002}{1} = 0.002 \frac{kg}{m}$$

$$T = 9.8 * 400 = 3920 \text{ N}$$

$$n=1$$

التردد الأساسي

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}, \quad f = \frac{1}{2*1} \sqrt{\frac{3920}{0.002}}$$

$$f = 700 \text{ Hz}$$

مثال// يتذبذب وتر مشدود بتردد قدره 30Hz عندما يصدر النغمة الأساسية الأولى فإذا كان طول الوتر 60cm وكتلة وحدة الأطوال منه هي 0.5g/cm . ١- احسب سرعة انتقال الموجة المستعرضة في الوتر . ٢- احسب قوة الشد في الوتر

١- إن التردد الأساسي للوتر يحدث عندما يهتز الوتر كقطعة واحدة حيث تتكون بطنا واحدة عند منتصفه بينما عند نهايتيه المثبتين عقدتين وفي هذه الحالة يكون طول الوتر مساويا لنصف طول الموجة أي إن

$$\frac{\lambda}{2} = 60 \therefore \lambda = 120cm = 1.2m$$

وحيث إن سرعة الموجة  $v$  هي حاصل ضرب التردد  $f$  في الطول الموجي  $\lambda$  أي إن

$$v = f \lambda$$

$$v = 30 * 1.2 = 36m/sec$$

لحساب قوة الشد  $T$

$$v = \sqrt{\frac{T}{\mu}} \therefore V^2 = \frac{T}{\mu} \rightarrow \mu V^2 = T$$

$$T = 0.05 * (36)^2 = 64.8 \text{ N}$$

**مثال //** سلك مرن طوله 0.99m وكتلته 1 gm مشدود بقوة تعادل T نيوتن إذا كان السلك يهتز بثلاث بطون وبتردد قدره 500 Hz ، احسب قوة الشد.

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

عندما يهتز السلك بثلاث بطون تفصلها عقد فانه يهتز بثلاث قطع تفصلها نقاط ثابتة .  $n=3$   
 $\mu = \frac{m}{L} = \frac{0.001}{0.99}$

$$500 = \frac{3}{2 \cdot 0.99} \sqrt{\frac{T}{\frac{0.001}{0.99}}} \quad \therefore T = 110N$$