الأمـــــواج المســـــــــتقرة

مـــــراجـــــعة

الموجة : هي مؤثر ينتشر في وسط مرن فيسبب تغيراً مؤقتاً لبعض الخواص الفيزيائية في وسط.

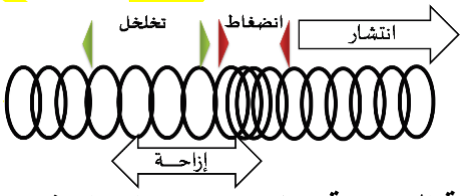
الخواص الفيزيائية التي قد تتغير بتأثير موجة : الارتفاع ، الطاقة الكامنة ، الطاقة الحركية ، الحقل الكهربائي ، الحقل المغناطيسي ، ضغط الخ .. وذلك بحسب طبيعة الموجة

نميز عند انتشار موجة:

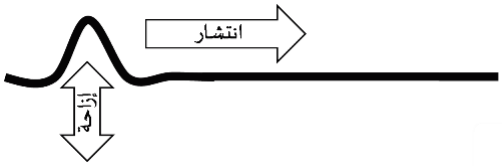
- **منحى الإزاحة:** منحى تغير خصائص الوسط بسببها .
- **منحى الانتشار :** منحى انتقال هذا التغير في الوسط .

وبناءاً على ذلك نميز نوعين عامين للأمواج :

- **الموجة الطولية :** يكون منحى الإزاحة منطبق على منحى الانتشار أو موازي له . **مثل** انتشار التخلخل والانضغاط على طول نابض يُضرب وفق محوره .



- **الموجة العرضية :** يكون منحى الإزاحة عمودي على منحى الانتشار .**مثل** انتشار اضطراب على طول حبل



الموجة الجيبية : تكون الموجة **جيبية إن كان اهتزاز المنبع** جيبياً **وفق المعادلة :**

$$y_m = Y_{max} \cos \omega t$$

y_m **مطال المنبع عند اللحظة** t

Y_{max} **المطال الأعظمي للمنبع (سعة المنبع)**

ω **النبض** $\left(rad.s^{-1}\right)$

الدور والتواتر :

- **الدور** T :هو زمن ارسال موجة واحدة واحدته s .
- **التواتر** f:عدد الموجات المرسلة واحدة الزمن و يقاس بالهرتز Hz .

علاقات الدور و التواتر و النبض :

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad \& \quad f = \frac{1}{T}$$

طول الموجة : هو المسافة التي تقطعها الموجة خلال دور واحد. ونرمز للطول الموجي بالرمز λ ويقاس بالمتر m . ونجد علاقته من علاقة المسافة التي تقطعها الموجة

$$x = v.t \Rightarrow \lambda = v.T = \frac{v}{f}$$

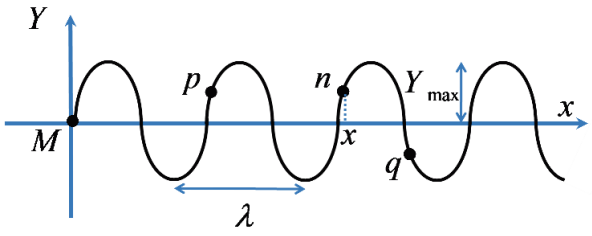
معادلة الانتشار :

بفرض معادلة اهتزاز منبع m تعطى بالعلاقة :

$$y_m = Y_{max} \cos \omega t$$

فإن معادلة اهتزاز نقطة n من وسط الانتشار تبعد عن المنبع مسافة x تعطى بالعلاقة :

$$y_n = Y_{max} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$



التوافـــــــق و التعـــــــاكس:

بفرض نقطتين من وسط انتشار موجة متقدمة نقول أنهما تهتزان على:

توافق : إن كانت مطاليهما اللحظيان متساويان "قيمة واشـــارة" دومـــاً و يتحركـــان باتجـــاه واحـــد.

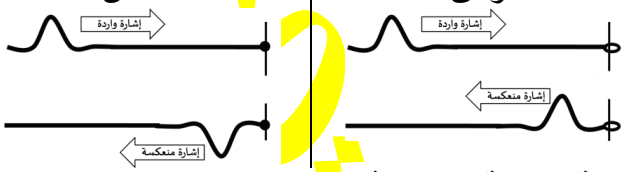
تعاكس : إن كان مطاليهما اللحظيان متعاكسان " متساويان بالقيمـــة ومتعاكســـان بالاشـــارة " ويتحركـــان باتجـــاهين متعاكسين .

في الشكل السابق الممثل لموجة لاحظ أن النقاط :

n,p تهتزان على توافق ، و n,q تهتزان على تعاكس

الانعكاس: هو ارتداد الموجة أو الموجة عند نهاية وسط الانتشار أو عند ملاقاة حاجز عاكس في طريقها **باهمال ضياع الطاقة** فإن للموجة الواردة والمنعكسة نفس السعة و التواتر و جهتي انتشار متعاكستين و يوجد فرق بالطور بحسب النهاية :

- **عند نهاية طليقة** فرق الطور $\varphi' = 0$ توافق



- **عند نهاية مقيدة** فرق الطور $\varphi' = \pi$ تعاكس

معادلة الموجة المنعكسة :

بفرض الموجة الواردة بالاتجاه الموجب : فإن مطالها :

$$y_{n1} = Y_{max} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

مطال الموجة المنعكسة بالاتجاه السالب مع حصول فرق طور φ' معادلته :

$$y_{n2} = Y_{max} \cos\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi'\right)$$

التداخل " التراكب " :

هو اكتساب نقاط من وسط ما مطال محصل لمطالي موجتين من نفس الطبيعة عند انتشارهما في نفس الوسط .

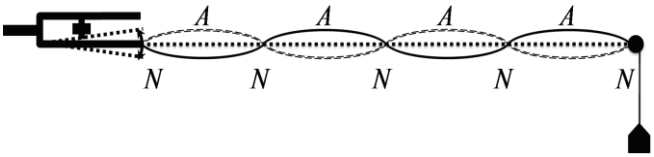
حالة خاصة : إن كانت الموجتين المتلاقيتين لهما نفس **السعة والتواتر** نصادف لدينا في وسط نوعين مميزين من النقاط:

- **نقاط السكون "عقد N":** اهتزازها معدوم نتيجة تلاقي الموجتين على تعاكس دائم في تلك النقاط
- **نقاط الاهتزاز الأعظمي "بطون A ":** سعتها مثلي سعة الموجة بسبب تلاقي الموجتين على توافق دائم .

الأمواج المستقرة العرضية

سؤال : وتر أفقي مناسب نثبت احد الطرفين بشعبة رنانة و الآخر يشد على محز بكرة باستخدام ثقل مناسب اجب:

- **ما سبب نشوء الأمواج المستقرة ؟**
- **ما المقصود بالعقد و البطون وسبب تشكلها ؟**
- **ما هو المغزل مع تبيين الحالة الاهتزازية لنقاط المغازل المتجاورة ؟**
- **لم سميت الأمواج المستقرة بهذا الاسم ؟**



- عندما تعمل الرنانة تتشكل أمواج عرضية جيبية متقدمة تنتشر على طول الوتر، وعندما تصل إلى نهايته تنعكس، فتتداخل موجة جيبية واردة مع موجة منعكسة جيبية على النهاية المقيّدة تعاكسها بجهة الانتشار لها التواتر نفسه والسعة نفسها . فتتشكل بذلك أمواج عرضية مستقرة
- **البطون A:** هي نقاط تهتز بسعة عظمى لأنه عندها تتلاقى الأمواج على توافق دائم .
- **العقد N:** هي نقاط ذات سعة اهتزاز معدومة لأنه عندها تتلاقى الأمواج على تعاكس دائم.
- **المغزل :** جزء من الوتر محصول بين عقدتين متتاليتين ، تهتز نقاط المغزل الواحد على توافق فيما بينها ، وعلى تعاكس مع نقاط المغزل المجاور.
- **سميت الأمواج مستقرة** لأنها تبدو في حالة مراوحة في المكان وتتخذ شكلاً ثابتا .

تعريف الموجة المستقرة : هي نمط اهتزاز مستقر يحوي عقد بينها بطون تنشأ نتيجة التداخل بين موجتين متساويتين بالسعة واالتواتر و تنتشران بجهتين متعاكستين

العلاقة بين الموجة الواردة و المنعكسة:

تملك الموجة الواردة و المنعكسة: **نفس السرعة و التواتر و السعة** باهمال ضياع الطاقة و جهتي انتشار متعاكستين و بينهما فرق طور يختلف حسب النهاية:

- **النهاية طليقة :** الموجة الواردة والمنعكسة على توافق و بينهما فرق طور معدوم $\varphi' = 0$ لذلك تكون بطن اهتزاز في الأمواج المستقرة
- **النهاية المقيدة:** الموجة الواردة والمنعكسة تكونان على تعاكس و بينهما فرق طور $\varphi' = \pi rad$ ، لذلك تشكل عقدة اهتزاز في الأمواج المستقرة .

الدراسة النظرية للأمواج المستقرة العرضية :

سؤال : تنتشر أمواج عرضية متقدمة بالاتجاه الموجب اكتب معادلة المطال الناتج عن الموجة الواردة والمنعكسة ثم أوجد علاقة المطال الكلي الناتج . كيف تصبح هذه المعادلة عندما تكون النهاية مقيدة ؟

مطال الموجة الواردة بالاتجاه الموجب :

$$y_{n1} = Y_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

ومطال الموجة المنعكسة :

$$y_{n2} = Y_{\max} \cos\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi'\right)$$

المطال الكلي :

$$y_{n(t)} = y_{n1} + y_{n2} =$$

$$Y_{\max}\left[\cos\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) + \cos\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda} + \varphi'\right)\right]$$

$$y_{n(t)} = 2Y_{\max} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} + \frac{\varphi'}{2}\right).\cos\left(\omega t + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

عند **النهاية المقيدة** الموجة الواردة والمنعكس تكونان على تعاكس و بينهما فرق طور $\varphi' = \pi rad$

$$y_{n(t)} = 2Y_{\max} \cos\left(\frac{2\pi x}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right).\cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\boxed{y_{n(t)} = 2Y_{\max} \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right).\sin(\omega t)}$$

استنتاج مواضع البطون والعقد :

من معادلة اهتزاز نقطة في جملة أمواج مستقرة عرضية على نهاية مقيدة $y_{n(t)} = 2Y_{\max}\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right).\sin(\omega t)$

اكتب علاقة السعة لتلك النقطة و استنتج مواضع العقد والبطون .

$$y_{n(t)} = 2Y_{\max}\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right).\sin(\omega t)$$

$$y_{n(t)} = Y_{\max/n}.\sin(\omega t)$$

حيث سعة اهتزاز النقطة n:

$$Y_{\max/n} = 2Y_{\max}\left|\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)\right|$$

مواضع العقد :

$$Y_{\max/n} = 0 \Rightarrow \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) = 0$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \pi n \ : n = 0,1,2... \Rightarrow \boxed{x = n\frac{\lambda}{2}}$$

بالتالي بعد العقد عن النهاية المقيدة عدد صحيح من نصف طول الموجة .. أي أبعاد العقد : $0, \frac{\lambda}{2}, 2\frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}$.....

أبعاد البطون :

$$Y_{\max/n} = 2Y_{\max} \Rightarrow \left|\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)\right| = 1$$

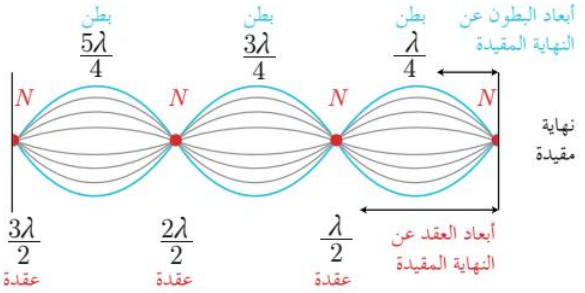
$$\frac{2\pi x}{\lambda} = \frac{\pi}{2}(2n+1) \ : n = 0,1,2...$$

$$\boxed{x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}}$$

بعد البطون عن النهاية المقيدة هو عدد فردي من ربع طول الموجة .. أي أبعاد البطون : $\frac{\lambda}{4}, 3\frac{\lambda}{4}, 5\frac{\lambda}{4}$.....

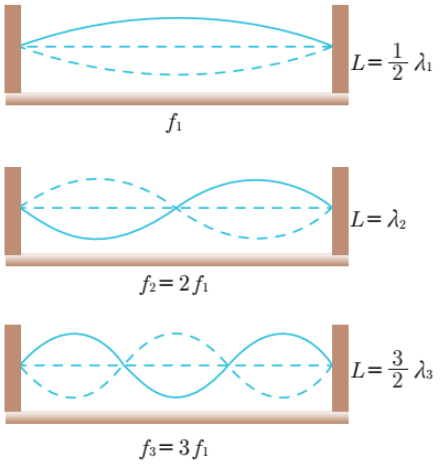
نتائج :

- البعد بين عقدتين متتاليتين = البعد بين بطنين متتاليين= طول مغزل = نصف طول موجة $= \frac{\lambda}{2}$
- البعد بين بطن وعقدة متتاليين = ربع طول موجة $= \frac{\lambda}{4}$



الاهتزازات الحرة في وتر مشدود

في تجربة لدينا وتر مشدود بقوة مناسبة



- حين ننقره من منتصفه يهتز الوتر اهتزاز حر بتواتر f_1 نسميه التواتر الأساسي للوتر و يشكل مغزل واحد و الصوت الصادر يسمى الصوت الأساسي .
- حين ننقر الوتر من نقطة تبعد عن أحد نهايتيه مسافة تساوي ربع طول الوتر و نثبت نقطة تبعد نصف الطول يهتز الوتر بشكل حر مكونا مغزلين وبتواتر $f_2 = 2f_1$ و نسمي الصوت مدروج ثاني
- حين ننقر الوتر من نقطة تبعد عن أحد نهايتيه مسافة تساوي سدس طول الوتر و نثبت نقطة تبعد ثلث الطول يهتز الوتر بشكل حر مكونا ثلاثة مغازل وبتواتر $f_3 = 3f_1$ نسمي الصوت مدروج ثالث
- حين **ننقر** وتر طوله L من نقطة تبعد عن أحد نهايتيه مسافة تساوي $\frac{L}{2n}$ و **نثبت** نقطة تبعد $\frac{L}{n}$ يهتز الوتر بشكل حر مكونا n مغزل وبتواتر $f_n = nf_1$ نسمي الصوت الصادر **صوت ذو مدروج** n ..
- يمكن توليد **الاهتزازات الحرة** في وتر بواسطة النقر(عود) أو الضرب(بيانو) أو تحريك قوس ملتصق بالوتر (كمان) .
- **النتيجة الوتر يمكن أن يهتز بعدة تواترات خاصة تعطى بالعلاقة** $f_n = nf_1$ **عند النقر عند مكان مناسب بأداة مناسبة**

تجربة ملـــد : الاهتزاز القسري في وتر

رنانة كهربائية تهتَز بسعة Y_{max} و تواترها f قابل للتغيير . نصل أحد شعبتيها بوتر مشدود بقوة مناسبة تجعل تواتره الخاص الأساسي $f_1 = (10Hz)$ مثلاً بين كيف يتغير شكل اهتزاز الوتر بتغيير تواتر الرنانة ، وماذا تستنتج ؟

$f < f_1\ (10Hz)$ تتشكل اهتزازات قسرية في الوتر بسعة صغيرة من رتبة سعة الرنانة Y_{max}

$f = f_1 = (10Hz)$ يهتز الوتر بالتجاوب مشكلاً مغزلاً واحداً بسعة كبيرة $Y >> Y_{max}$

$f_1\ (10Hz) < f < 2f_1\ (20Hz)$ تتشكل اهتزازات قسرية في الوتر بسعة صغيرة من رتبة سعة الرنانة Y_{max} و يتكون مغزلين غير واضحين .

$f = 2f_1\ (20Hz)$ يهتز الوتر بالتجاوب مشكلاً مغزلين واضحين و بسعة كبيرة $Y >> Y_{max}$.

النتيجة :

حين يكون تواتر الرنانة مضاعف صحيح من تواتر الوتر الأساسي أي $f = nf_1$ يهتز الوتر بالتجاوب مكوناً n مغزل واضح و بسعة كبيرة مقارنة بسعة الرنانة ..

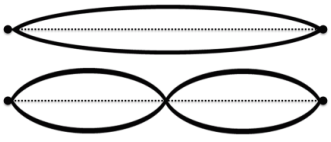
أما عندما لا يتحقق هذا أي $f \neq nf_1$ يكون الوتر مهتز بشكل قسري بسعة صغيرة من رتبة سعة الرنانة .

يؤلف الوتر جملة مجاوبة متعددة التواترات هي مضاعفات صحيح للتواتر الخاص الأساسي... $f_1, 2f_1, 3f_1$

ملاحظة : يمكن توليد الاهتزاز القسري بواسط تيار متناوب يمر في الوتر و نحيط القسم المتوسط بمغناطيس نضوي فيتأثر الوتر بقوة كهرطيسية تسبب اهتزازه بتواتر التيار .

علاقات التواتر في تجارب ملد

سؤال : في تجربة ملد عند الانعكاس على نهاية مقيدة استنتج علاقة كل من التواتر بطول الوتر ، و التواتر الأساسي لوتر مشدود و وعلاقة المدروجين التاليين ؟



يتشكل عند طرفي الوتر عقدتين فيكون طول الوتر عدد صحيح من نصف طول الموجة

$$L = n\frac{\lambda}{2} \quad ;n = 1,2,3...$$

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

$$L = n\frac{v}{2f} \Rightarrow \boxed{f = n\frac{v}{2L}}$$

وهذه علاقة التواتر العام للمدروج n

التواتر الأساسي $n = 1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$

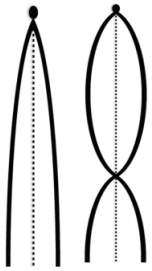
تواتر المدروج الثاني $n = 2; f_2 = 2\frac{v}{2L} = 2f_1$

تواتر المدروج الثالث $n = 3; f_3 = 3\frac{v}{2L} = 3f_1$

علاقة تواتر الاهتزازالعام بالأساسي $f = nf_1$.

أي سلسلة التواترات المجاوبة $f_1, 2f_1, 3f_1 \ldots$

سؤال : في تجربة ملد عند الانعكاس على نهاية طليقة استنتج علاقة التواتر بطول الوتر و التواتر الأساسي لوتر متدلي ، واكتب علاقات المدروجين التاليين.



تتشكل عند طرف الوتر المرتبط بالرنانة عقدة وبطن عند النهاية الطليقة لذلك طول الوتر عدد فردي من ربع طول الموجة

$$L = (2n-1)\frac{\lambda}{4} \quad ;n = 1,2,3...$$

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

$$L = L = (2n-1)\frac{v}{4f} \Rightarrow \boxed{f = (2n-1)\frac{v}{4L}}$$

علاقة التواتر العام للمدروج $(2n-1)$

التواتر الأساسي $2n-1 = 1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{4L}$

تواتر المدروج الثالث $2n-1 = 3; f_3 = 3\frac{v}{4L} = 3f_1$

تواتر المدروج الخامس $2n-1 = 5; f_5 = 5\frac{v}{4L} = 5f_1$

علاقة التواتر العام بالأساسي $f = (2n-1)f_1$.

أي سلسلة التواترات المجاوبة $f_1, 3f_1, 5f_1 \ldots$

سرعة انتشار الموجة العرضية في وتر مشدود :

طريقة قياس سرعة الانتشار :

نقوم بتشكيل أمواج مستقرة عرضية في الوتر باستخدام رنانة ذات تواتر معلوم f .

نقيس طول الموجة بقيس طول المغزل حيث :

طول الموجة λ = طول المغزل × 2

فتحسب سرعة الانتشار من العلاقة $\boxed{v = \lambda . f}$

العوامل المؤثرة بسرعة انتشار الاهتزاز العرضي في وتر

إن سرعة الانتشار لموجة عرضية في وتر مشدود :

- تتناسب طرداً مع الجذر التربيعي لشدة قوة الشد F_T .
- تتناسب عكساً مع الجذر التربيعي للكتلة الخطية μ

علاقة سرعة انتشار الموجة العرضية

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

حيث الكتلة الخطية : هي نسبة كتلة الوتر إلى طوله :

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{\rho V}{L} = \frac{\rho s L}{L} = \rho s = \rho \pi r^2$$

L طول الوتر ، s مساحة مقطعه ، ρ كتلته الحجمية و V حجمه ، m كتلة الوتر ، r نصف قطر الوتر .

سؤال : استنتج علاقة تواتر الموجة في وتر مشدود بدلالة قوة الشد و كتلة الوتر .

$$L = k\frac{\lambda}{2} \quad ;k = 1,2,3...$$

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

$$L = k\frac{v}{2f} \Rightarrow f = k\frac{v}{2L}$$

$$\boxed{f = \frac{k}{2L}\sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \frac{k}{2L}\sqrt{\frac{F_T L}{m}}}$$

سؤال : حين نقسم وتر إلى نصفين هل تتغير كتلته الخطية ؟ و لماذا ؟

لا .. لأنه حين نقسم الوتر نصفين نقسم الطول و الكتلة على 2 و تبقى الكتلة الخطية كما هي :

$$\mu' = \frac{m'}{L'} = \frac{\frac{m}{2}}{\frac{L}{2}} = \frac{m}{L} = \mu$$

الأمواج المستقرة الكهرطيسية :

مم تتألف الموجة الكهرطيسية ؟

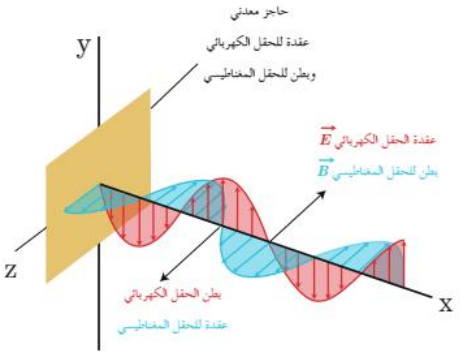
هي عبارة عن حقلين متغيرين متعامدين هما الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ و الحقل الكهربائي $\vec{E}$ ينتشران في الأوساط العازلة .

كيف تتولد الأمواج الكهرطيسية المستوية ؟

بواسطة هوائي مرسل للأمواج الكهرطيسية موضوع في محرق سطح عاكس على شكل قطع مكافئ دوراني

اشرح كيف يمكن توليد الأمواج المستقرة الكهرطيسية ؟

نولّد أمواج كهرطيسية من هوائي مرسل لتلاقي حاجزاً ناقلاً مستوياً عمودياً على منحى الانتشار، يبعد عن الهوائي المرسل بعداً مناسباً، فتنعكس عنه وتتداخل الأمواج الكهرطيسية الواردة مع الأمواج المنعكسة لتؤلّف أمواج كهرطيسيةً مستقرة .



اشرح كيف نكشف الحقل الكهربائي والحقل المغناطيسي في جملة أمواج كهرطيسية ؟ وكيف تحدد العقد والبطون ؟

- نكشف عن **الحقل الكهربائي** $\vec{E}$ بهوائي مستقبل طوله على الأقل $\frac{\lambda}{2}$ نضعه موازياً للهوائيُ المرسل.
- نكشف عن **الحقل المغناطيسي** $\vec{B}$ بحلقة نحاسية عمودية على يه فيولّد فيها توتّراً نتيجةَ تغيّر التدفّق المغناطيسي الذي يجتازها.
- **تحديد العقد والبطون** : يدل الكاشف على قيمة عظمى في البطون و صغرى في العقد .

ننقل كل من كاشفي الحقلين الكهربائي ، و المغناطيسي بين الهوائيُ المرسل والحاجز في جملة أمواج مستقرة كهرطيسية ماذا تلاحظ ؟

- توالي مستويات عقد يدل الكاشف فيها على قيمة صغرى و مستويات بطون يدل فيها على قيمة عظمى.
- مستويات عقد الحقل الكهربائي هي مستويات بطون للحقل المغناطيسي وبالعكس.
- الحاجز الناقل عقدة للحقل الكهربائي وبطن للحقل المغناطيسي .

الأمواج المستقرة الطولية

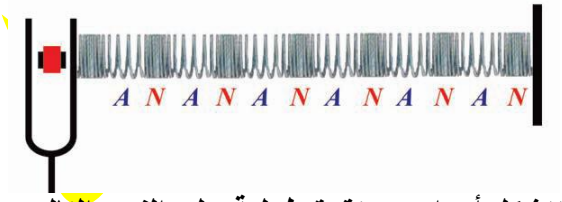
الأمواج المستقرة الطولية على طول نابض :

سؤال : نأخذ نابضاً مرناً مناسباً، ونثبّته من أحد طرفيه بنقطة ثابتة، ونثبّت طرفه الآخر بشعبة هزازة جيبية مغذاة تهتز بشكل مواز له ، ونجعله أفقياً بشده بشكل مناسب و نشغل الرنانة ماذا تلاحظ ؟ و فسر نشوء الأمواج المستقرة الطولية.

نرى على طول النابض :

حلقات ساكنة حيث سعة الاهتزاز معدومة تسمى عقد اهتزاز Nحيث تصلها الموجة الواردة والموجة المنعكسة على تعاكس دائم

حلقات تهتز بسعات متفاوتة تسمى بطون الاهتزاز A حيث تصلها الموجتان الواردة والمنعكسة على توافق دائم .



حيث تتشكل أمواج مستقرة طولية على النحو التالي :

تنتشر الأمواج الطولية الواردة من المنبع وفق استقامة النابض فتصل إلى النهاية الثابتة وتنعكس عنها، فتتداخل الأمواج المنعكسة مع الأمواج الواردة لتتشكل أمواج مستقرة طولية ..

سؤال : عند تشكل أمواج مستقرة طولية في نابض فسر نشوء عقد الاهتزاز و لماذا تعد بطون ضغط ؟

تتشكل عقد الاهتزاز لأنه تصل الموجة الواردة والموجة المنعكسة على تعاكس دائم.

تعد عقد الاهتزاز بطون ضغط : لأنها تبقى في مكانها و تتحرك الحلقات المجاورة على الجانبين في جهتين متعاكستين دوماً وبذلك نلاحظ تضاغطاً يليه تخلخل فتكون بطن ضغط.

سؤال : عند تشكل أمواج مستقرة طولية في نابض فسر نشوء بطون الاهتزاز و لماذا تعد عقد ضغط ؟

تتشكل بطون الاهتزاز لأنه تصلها الموجتان الواردة والمنعكسة على توافق دائم.

تعد بطون الاهتزاز عقد ضغط : لأن بطن الاهتزاز والحلقات المجاورة له تترافق دوماً في الاهتزاز إلى إحدى الجهتين فلا نلاحظ عندها تضاغط أو تخلخل بين حلقات النابض أي يبقى الضغط ثابتاً فتكون عقدة ضغط

الأمواج المستقرة الصوتية في الأعمدة الهوائية

العمود الهوائي المغلق :

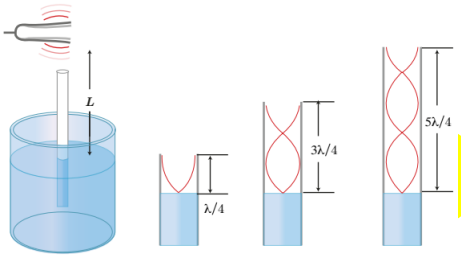
هو أنبوب أسطواني يكون أحد الطرفين مفتوح والآخر مغلق مملوء بجزيئات الهواء الساكن و يمكن التحكم بطوله بواسطة ادخال الأنبوب باضافة الماء .

حين نضرب رنانة ذات تواتر معلوم و محدد أمام فوهة أنبوب هوائي مغلق و نزيد الطول تدريجياً نلاحظ سماع صوت مضخم نتيجة اهتزاز هواء الأنبوب بالتجاوب مع الرنانة و تشكل بطن اهتزاز عند الفوهة (نهاية طليقة) و عقدة عند الطرف الآخر (النهاية المقيدة)

نلاحظ تكرار عملية سماع الصوت من أجل قيم محددة لطول الأنبوب المغلق و هي (عدد فردي من ربع طول الموجة) $L=(2n-1)\frac{\lambda}{4}:n=1,2,3...$

عند أدنى طول للرنين (الصوت الشديد ، التجاوب) يكون طول الأنبوب المغلق $L_1=\frac{\lambda}{4}$ ويتشكل في الجانب المغلق عقدة والمفتوح بطن اهتزاز .

بصورة عامة صول الأنبوب المغلق



العمود الهوائي المفتوح

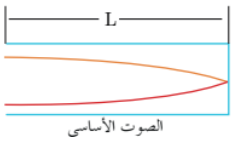
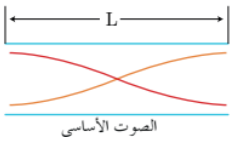
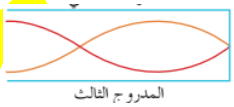
هو أنبوب أسطواني يكون الطرفين مفتوحين و مملوء بجزيئات الهواء الساكن و يمكن التحكم بطوله بواسطة ادخال أنبوب مشابه آخر قطره أصغر من قطر ه ،بحيث يمكن تحريكه بشكل مناسب (أنبوبة تلسكوبية)

عند ضرب الرنانة قرب أحد فوهتي أنبوب هوائي مفتوح و نغير الطول تدريجياً نلاحظ سماع صوت مضخم نتيجة اهتزاز هواء الأنبوب بالتجاوب مع الرنانة و تشكل بطن اهتزاز عند كل من الفوهتين (نهاية طليقة)

نلاحظ تكرار عملية سماع الصوت من أجل قيم محددة لطول الأنبوب المفتوح و هي $L=n\frac{\lambda}{2}:n=1,2,3...$

عند أدنى طول للرنين (الصوت الشديد ، التجاوب) يكون طول الأنبوب المفتوح $L_1=\frac{\lambda}{2}$ ويتشكل في المفتوحين بطنين وفي المنتصف عقدة اهتزاز

أشكال البطون و العقد في الأعمدة المغلقة والمفتوحة

طول العمود المغلق مدروج فردي	حالة الرنين	طول العمود المفتوح مدروج صحيح
 $L_1=\frac{\lambda}{4}$	الرنين الأول أول صوت شديد	 $L_1=\frac{\lambda}{2}$
 $L_3=3\frac{\lambda}{4}$	الرنين الثاني	$L_2=2\frac{\lambda}{2}$
$L_5=5\frac{\lambda}{4}$	الرنين الثالث	$L_3=3\frac{\lambda}{2}$

- البعد بين مستويي الرنين (الصوت الشديد)المتتاليين هو $\Delta L=\frac{\lambda}{2}$
- **فسر تضخيم الصوت في الأعمدة الهوائية :**

بسبب الانعكاسات المتكررة فيها و التي تكون أمواج مستقرة ذات نغمة صوتية واضحة و تزداد وضوحاً بنقصان المقطع

- تتكون الموجة المستقرة في حالة تجاوب عندما يكون تواتر الرنانة كتواتر الصوت في الأنبوب
- **فسر يمكن الحصول على عمود هوائي قصير عندما يكون التواتر كبير**

لأنه طول العمود يتناسب طرداً مع طول الموجة و طول الموجة ينقص بازدياد التواتر $\lambda=\frac{v}{f}$

من تطبيقات الأعمدة الهوائية

فسر يكون الصوت عالياً في الحالات :

-نفق عبور السيارات و القطارات . (عمود هوائي مفتوح)
-حين ننفخ أمام فوهة أنبوب صغير المقطع(عمود مفتوح)
-المجرى السمعي للأذن . (عمود هوائي مغلق)
-حين نتكلم في علبة معدنية فارغة . (عمود هوائي مغلق)
-حين ننفخ قرب فوهة قارورة زجاجية. (عمود ه مغلق)

لأنه يتكون لدينا أنبوب هوائي ..(نوعه مفتوح أو مغلق).. يهتز فيه الهواء بالتجاوب مع منبع صوتي مكوناً أمواج مستقرة نتيجة الانعكاسات المتكررة فيه فيكون الصوت مضخماً

الأمواج المستقرة الصوتية في المزامير

المزمار : أنبوب أسطواني أو موشوري، مقطعه ثابت وصغير بالنسبة إلى طوله، جدرانُه خشبيّة أو معدنيّة ثخينة لكي لا تشارك في الاهتزاز، يحتوي غاز (الهواء غالباً) يهتز بالتجاوب مع **المنبع الصوتي** للمزمار .

تصنف المنابع الصوتية إلى نوعين:

1. **المنبع ذو الفم:** وهو نهاية غرفة صغيرة مفتوحة يدفع فيها الهواء وينساق ليخرج من شق ضيّق، ويتشكل عند الفم بطن اهتزاز(عقدة ضغط)
2. **المنبع ذو اللسان:** يتألف من صفيحة مرنة تدعى اللسان قابلة للاهتزاز مثبتة من أحد طرفيها تقطع جريان الهواء، لها تواتر المنبع، ويتشكل عند اللسان عقدة اهتزاز(بطن ضغط)

أما الطرف الآخر للمزمار يسمى نهاية و قد تكون مفتوحة أو مغلقة

سؤال : فسر نشوء الأمواج المستقرة الطولية في مزمار ، وماذا يتشكل عند النهاية المغلقة ، وماذا يتشكل عند النهاية المفتوحة مع التعليل ؟

عندما تهتز طبقة الهواء المجاورة للمنبع ينتشر هذا الاهتزاز طولياً في هواء المزمار كله لينعكس على النهاية. تتداخل الأمواج الواردة مع الأمواج المنعكسة داخل الأنبوب لتؤلف جملة أمواج مستقرة طولية.
ويتكون عند النهاية المغلقة عقدة للاهتزاز (بطن ضغط) عند النهاية المفتوحة يتكون بطن للاهتزاز (عقدة ضغط)

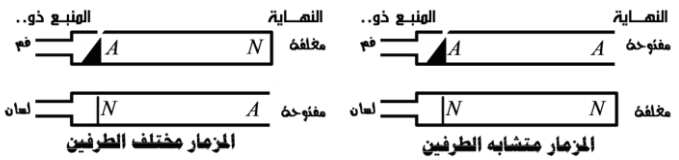
و تفسير الانعكاس وتشكل بطن اهتزاز عند النهاية المفتوحة :

بأن الانضغاط الوارد إلى طبقة الهواء الأخيرة يزيحها إلى الهواء الخارجي، فتسبّب انضغاطاً فيه ، وتخلخلاً وراءها يسبب تهافت هواء المزمار ليملأ الفراغ، وينتج عن ذلك تخلخل ينتشر من نهاية المزمار إلى بدايته، وهو منعكس الانضغاط الوارد .

وتصنف المزامير في نوعين

1-مزمار متشابه الطرفين
في طرفيه إما بطنين (مزمار ذوفم ونهاية مفتوحة) أو عقدتين (مزمارذو لسان ونهاية مغلقة)

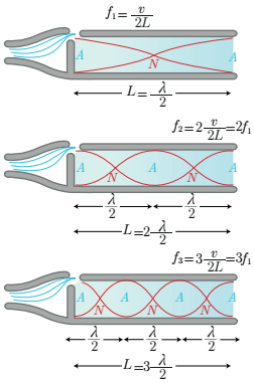
2-مزمار مختلف الطرفين
في طرف يتكون عقدة و الآخر بطن (مزمار ذو فم ونهاية مغلقة ، أو ذو لسان ونهاية مفتوحة)



قوانين المزامير

المزمار متشابه الطرفين :

سؤال : كيف نحصل على مزمار متشابه الطرفين من الناحية الاهتزازية وماذا يتشكل عند كل طرف ؟ ، استنتج علاقة تواتر الصوت البسيط الصادر عن هذا المزمار و التواتر الأساسي و المدروجين التاليين



منبع ذو فم يتشكل فيه بطن اهتزاز ونهايته مفتوحة يتشكل فيها بطن اهتزاز.
منبع ذو لسان يتشكل فيه عقدة اهتزاز ونهايته مغلقة يتشكل فيها عقدة اهتزاز.

$$L = n\frac{\lambda}{2} \quad :n = 1,2,3...$$

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

$$L = n\frac{v}{2f} \Rightarrow \boxed{f = n\frac{v}{2L}}$$

وهذه علاقة التواتر العام للمدروج n

التواتر الأساسي $n = 1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$

تواتر المدروج الثاني $n = 2; f_2 = 2\frac{v}{2L} = 2f_1$

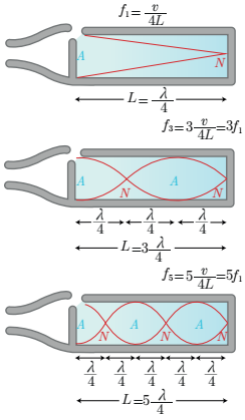
تواتر المدروج الثالث $n = 3; f_3 = 3\frac{v}{2L} = 3f_1$

علاقة تواتر الاهتزاز العام بالأساسي $f = nf_1$.

أي سلسلة التواترات المجاوبة $f_1, 3f_1, 5f_1 \ldots$

المزمار مختلف الطرفين :

سؤال : كيف نحصل على مزمار مختلف الطرفين من الناحية الاهتزازية و ماذا يتشكل عند كل طرف ؟ ، استنتج علاقة تواتر الصوت البسيط الصادر عن هذا المزمار. و التواتر الأساسي و المدروجين التاليين



منبع ذو فم يتشكل فيه بطن اهتزاز ونهايته مغلقة يتشكل فيها عقدة اهتزاز.
منبع ذو لسان يتشكل فيه عقدة اهتزاز ونهايته مفتوحة يتشكل فيها بطن اهتزاز.

$$L = (2n-1)\frac{\lambda}{4} \quad :n = 1,2,3...$$

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

$$L = L = (2n-1)\frac{v}{4f} \Rightarrow \boxed{f = (2n-1)\frac{v}{4L}}$$

علاقة التواتر العام للمدروج $(2n-1)$

التواتر الأساسي $2n-1 = 1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{4L}$

تواتر المدروج الثالث $2n-1 = 3; f_3 = 3\frac{v}{4L} = 3f_1$

تواتر المدروج الخامس $2n-1 = 5; f_5 = 5\frac{v}{4L} = 5f_1$

علاقة التواتر العام بالأساسي $f = (2n-1)f_1$.

أي سلسلة التواترات المجاوبة $f_1, 3f_1, 5f_1 \ldots$

سؤال : كيف يمكن لمزمار أن يصدر مدروجاته المختلفة ؟

نزيد قوة نفخ الهواء فيه تدريجياً بالحالة العامة و كما يمكن إصدار مدروجات المزمار ذي اللسان بتغيير طول اللسان.

يتناسب التواتر الأساسي للمزمار(في النوعين) طرداً مع سرعة انتشار الصوت التي تتغير بتغير الغاز أو درجة حرارته .

العوامل المؤثرة بسرعة الصوت في غاز :

- تتناسب سرعة الصوت طرداً مع الجذر التربيعي لدرجة الحرارة المطلقة . (من أجل غاز معين)

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{T_2}{T_1}}$$

التحويل من الدرجة المئوية (سلزيوس $t(^\circ C)$) إلى درجة الحرارة المطلقة (كلفن $T(K)$) أو العكس :

$$T(K) \underset{+273}{\overset{-273}{\rightleftarrows}} t(^\circ C) : T(K) = t(^\circ C) + 273$$

- تتناسب سرعة الصوت عكساً مع الجذر التربيعي لكثافة الغاز D أو الكتلة المولية M . (من أجل غازات مختلفة في نفس الشروط)

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$$

حيث ان كثافة الغاز ترتبط بالكتلة المولية بالعلاقة :

$$D = \frac{M}{29}$$

الكتل المولية للغازات الواردة في المنهاج الهواء 29 ، الأوكسجين 32 ، الهيدروجين 2 .