الباب الثالث عشر

الموجات فوق الصوتية

Ultrasonic Waves

١٣ - ١ الحصول على الموجات فوق الصوتية :

الموجات فوق الصوتية هى موجات ذات تردد يعلو عن المدى المسموع . ولها أهمية كبيرة فى العلم وتطبيقاته . فالموجات فوق الصوتية ذات التردد ٦٨٠٠٠ سيكل / ثانية يكون طول موجتها حوالى $\frac{1}{2}$ سم ، وهى لذلك يمكن استخدامها كشعاع موجة للكشف على الغواصات داخل المياه أو أماكن تجمع الجليد عن طريق الانعكاسات .

ولا تستخدم مكبرات الصوت لأحداث هذه الموجات لأن غشاء المكبر لا يمكن أن يتذبذب بهذه الترددات المرتفعة ولأن ملف المكبر لا يمكن أن يتحمل تياراً كهربائيا ذا تردد مرتفع جدا مثل هذا . ولذا فان الموجات فوق الصوتية لا يمكن احداثها إلا باحدى طريقتين تعتمد أولها على الانفعالات المغنطيسية (magnetostriction) وتعتمد الثانية على ظاهرة الكهرو - بيزو (Piezo – electric)

١٣ - ٢ مذبذب الانفعالات المغنطيسيه (magnetostriction oscillator)

إذا تمغنطت أنبوبة أو قضيب من مادة لها خواص الحديد المغنط (Ferromagnetic) فانه يحدث تغيرا فى طول الأنبوبة أو القضيب . تسمى هذه الظاهرة الانفعالات المغنطيسية ، وقد اكتشفها جول (Joule)

سنة ١٨٤٧ . وهذا التغير طفيف جدا فهو جزء من مليون .

وإذا وضع قضيب من الصلب أو النيكل فى ملف يمر فيه تيار متغير ذا تردد مرتفع ، فإن موجة طولية تنشأ فى القضيب . وإذا تساوى هذا التردد مع التردد الطبيعى الطولى للقضيب فإن الرنين يحدث وتخرج الموجات من طرف القضيب .

فمثلا إذا كان طول القضيب ٥سم ومعامل يونج لمادته ٢ × ١٠^١٢ داين/سم^٢ وكثافة مادته ٩ جم/سم^٣ ، فإن سرعة الموجات الطولية فى القضيب :

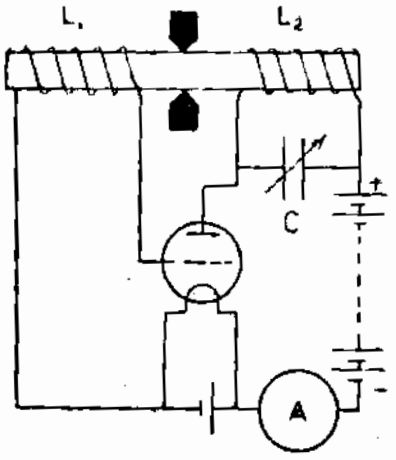
$$= \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{2\times10^{12}}{9}} = 4.71 \times 10^5 \text{ cm/sec.}$$

∴ طول الموجة الطولية باعتبار أن القضيب مثبت من منتصفه :

$$= 10 \text{ cm}$$

∴ التردد المنبعث :

$$= 4.71 \times 10^4 \text{ c/sec}$$

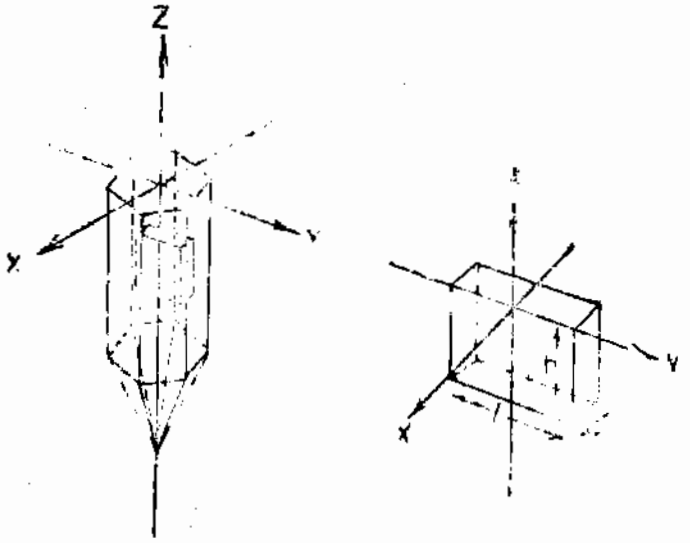


شكل (٩٠)

يوضح شكل (٩٠) قضيبا من الصلب أو النيكل مثبت من منتصفه بينما يلف حول طرفيه ملفين يتصل الأول منها بمصعد صمام كهربى ويتصل الملف الآخر بشبكة هذا الصمام . يضبط التردد الطبيعى للدائرة بواسطة المكثف المتغير (C) فاذا تساوى هذا التردد مع التردد الطبيعى للذبذبة الطولية للقضيب فانه يتذبذب باستمرار . أى تغير فى تيار المصعد يحدث تغيرا فى شدة مغنطة القضيب ويتبع ذلك تغيرا فى طوله . هذا التغير فى الطول يحدث تغيرا فى عدد خطوط القوى المغنطيسية المقطوعة فى الملف (L_1) ويحدث تبعا لذلك قوة دافعة كهربائية فيه . هذه القوى الدافعة الكهربائية يكبرها الصمام ويرسلها ثانية إلى المصعد وهكذا تستمر هذه العملية ويستمر تذبذب القضيب .

١٣ — ٣ مذبذب الكهرو ـ بيزو

ينشأ على سطوح بعض البلورات شحنات كهربيه إذا تعرضت هذه البلورات



شكل (٩١)

للضغط أو الشد ، فشكل (٩١) يوضح لوحا مقطوعا من بللورة الكوارتز ، فاذا كان (l) هو طول هذا اللوح فى إتجاه محور (Y) وعرضه (b) فى إتجاه محور (Z) وسمكه (d) فى إتجاه محور (X) فانه يمكن دراسة أثر الضغط أو الشد على هذه الشريحة كما يلى :

(١) الضغط فى إتجاه المحور (X) يحدث شحنات على الوجهين (bl) العموديين على إتجاه محور (X) .

(٢) الشد فى الاتجاه (Y) يحدث شحنات على الوجهين (d) بنفس الكيفية كما فى (١) .

(٣) الشد فى الاتجاه (X) والضغط فى الاتجاه (Y) يحدثان شحنات تخالف الحالتين (١ ، ٢) .

(٤) الضغط أو الشد فى الاتجاه (Z) لايحدث شحنات مطلقا .

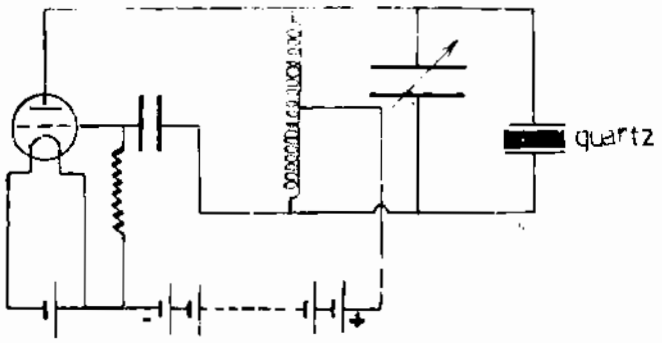
هذه الظواهر قابلة للانعكاس أى أنه إذا أثرنا على الشريحة بمجال كهربى مناسب فانه يحدث تغيرا فى أبعاد الشريحة نتيجة للانكماش أو التمدد كما يلى :

(١) إذا أثر مجال كهربى فى الاتجاه (X) فان البللورة تتمدد فى الاتجاه (X) وتنكمش فى الاتجاه (Y) .

(٢) إذا انعكس إتجاه المجال فان التمدد يكون فى الاتجاه (Y) والانكماش يكون فى الاتجاه (X) .

إذا وضعت شريحة من الكوارتز بين لوحى مكثف متصل بمصدر تيار متغير فان البللورة تتذبذب بنفس تردد المصدر . وسعة هذه الذبذبة تكون أكبر ما يمكن عند الرنين أى عندما يتساوى تردد التيار مع التردد الطبيعى للبللورة الذى يتوقف على أبعادها .

ويوضح شكل (٩٢) بللورة الكوارتز موضوعة بين لوحى مكثف متصل على التوازى معه مكثف متغير وملف يمكن ضبط إهتزازه بحيث يصبح تردده



شكل (٩٢)

مساويا للتردد الطبيعى للبللورة ، وذلك عن طريق المكثف المتغير . فاذا وضع لوح الكوارتز بحيث يكون الوجهين (bl) موازيين للوحى المكثف فان الموجات الصوتية تخرج من هذين الوجهين وتسمى الذبذبة فى هذه الحالة بذبذبة السمك .

أما إذا وضعت الشريحة البللورية بحيث يصبح الوجهين العموديين على المحور (Y) موازيين للوحى المكثف فان الموجات الصوتية تخرج من هذين الوجهين وتسمى الذبذبة فى هذه الحالة بذبذبة الطول .

يمكن أن يصل تردد الذبذبات إلى حوالى ٥ × ١٠^٨ سيكل / ثانية أى أن طول الموجة يصل إلى ٦ × ١٠^-٥ سم فى الهواء . وهذا يساوى تقريبا طول موجة ضوء الصوديوم .

تمارين عامة

(١) إذا كانت معادلة إنتقال الموجات المستعرضة فى حبل هى :

$$y = 10 \sin \pi (0.01 x - 2.00 t)$$

حيث (y ، x) بالسنتيمترات ، (t) بالثوانى أحسب .

(أ) السعة ، التردد ، السرعة وطول الموجة .

(ب) النهاية العظمى للسرعة المستعرضة لجسيم من جسيمات الحبل .

الجواب : (أ) ١٠ سم ، ١ سيكل / ثانية ، ٢٠٠ سم / ثانية ، ٢٠٠ سم

(ب) ٦٢٫٨ سم / ثانية .

(٢) أكتب معادلة حركة موجية تنتقل فى الإتجاه السالب من المحور (x) ولها سعة قدرها ٠٫١ متر وتردد قدره ٥٥٠ ذبذبة / ثانية وسرعة قدرها ٣٣٠ متر / ثانية .

(٣) موجة ترددها ٥٠٠ سيكل / ثانية وسرعتها ٣٥٠ متر / ثانية .

(أ) أحسب البعد بين نقطتين لهما فرق طور قدره ٦٠°

(ب) ما هو فرق الطور لإزاحتين عند نقطة معينة فى فترات تبعد عن بعضها بمقدار $١٠^{-٣}$ ثانيه ؟

(الجواب ١٧٫٥ متر ، ١٨٠°)

(٤) تحدث موجة طولية مستمرة فى حلزون من مصدر متردد متصل بأحد طرفيه ، فاذا كان تردد المصدر ٢٥ ذبذبة / ثانية والبعد بين تخلخلين

متتالين هو ٢٤ سم ، أحسب سرعة الموجة .

(٥) أثبت أن ميل لوتر المتذبذب عند نقطة تبعد (x) يساوى النسبة بين سرعة الجسيم وسرعة الموجة عند هذه النقطة

(٦) أحسب السعة المحصلة عند تركيب موجتين لها نفس التردد وتتحركان فى نفس الإتجاه باختلاف فى الطور قدره $(\frac{\pi}{2})$ علما بأن سعة الموجة الأولى ٣ سم والثانية ٤ سم .

(الجواب : ٥ سم)

(٧) تتذبذب شوكة رنانة فوق فوهة أنبوبة مملوءة جزئيا بالماء ، فاذا كان الطول الكلى للأنبوبة هو ١ متر وتردد الشوكة هو ٦٦٠ ذبذبة / ثانية ، أحسب إرتفاعات الماء فى الأنبوبة التى تحدث رنينا مع الشوكة .

(الجواب : $\frac{1 + 2n}{8}$, $n = 1, 2, 3$)

(٨) أحسب سرعة الجسم فى شكل (٣٩) إذا علم أن سرعة السوت فى الوسط هى ٣٨٠ متر / ثانية .

(٩) حبل كتلته ٥٠ جم للمتر مشدود بثقل قدره ٢٥ كيلو جرام بين نقطتين تبعدان عن بعضها مسافة قدرها ٣٠ متر ، فاذا شد الحبل جانبا عند أحد طرفيه فما هو زمن انتقال الإضطراب لكى يصل إلى الطرف الآخر ؟

(الجواب : ٠٫٤٣ ثانية)

(١٠) سلك من الصلب قطره ١ مم وطوله ١ متر علق رأسيا من طرفه

الأعلى وعلق من طرفه الآخر ثقل ١٠ كيلو جـــرام ، أحسب التردد الأساسى للموجة المستعرضة إذا علم أن كثافة الصلب ٧٫٨ جم / سم٣ .

(الجواب : ٦٣٫٣)

(١١) أنبوبة أرغنية طولها ٢ متر ، إحسب تردد النغمة الأساسيه والنغمة الفوقية الأولى إذا كانت (أ) الأنبوبة مفتوحة (ب) الأنبوبة مغلقة . أهمل خطأ الأطراف وأعتبر أن سرعة الصوت فى الهواء هى ٣٤٠٠٠ سم / ثانية .

(الجواب : ٨٥ ، ١٧٠ ، ٤٢٫٥ ، ١٢٧٫٥)

(١٢) فى انبوبة رنت ، أستخدم قضيب من النحاس الأصفر طوله ١٢٠سم والتردد الأساسى للموجة الطولية منه هى ١٤٦٠ . فإذا كان الغاز المستخدم هو ثانى أكسيد الكربون فى ٢٠°م والمسافة بين عقدتين هى ٩ سم ، أحسب سرعة الصوت فى النحاس وفى ثانى أكسيد الكربون .

(الجواب : ٣٥٠٤٠٠ سم/ثانية ، ٢٥٣٧٠ سم/ثانية)

(١٣) أحسب تردد النغمة التى يسمعها مستمع يمر أمامه قاطرة بسرعة ٦٠ ميل فى الساعة وتصدر صفيرا تردده ٥١٢ سيكل / ثانية . إذا علم أن سرعة الصوت فى الهواء ١١٠٠ قدم/ثانية

(الجواب : ٥٥٦٫٥ سيكل/ثانية

(١٤) إذا كان تردد نغمة يصدرها باراشوت هى ٩٢٠٠ سيكل / ثانية . وترددها عند مستمع على سطح الأرض هو ١٠٠٠٠ سيكل / ثانية ، أحسب سرعة هبوط الباراشوت إذا علم أن سرعة الصوت فى الهواء ١١٠٠ قدم/ثانية .

(الجواب : ٨٨ قدم/ثانية)

(١٥) يستمع شخص لمصدرين صوتيين متساويين فى التردد فى آن واحد . فاذا كان أحد المصدرين ساكنا والآخر يقترب من الأول بسرعة قدرها ١٠ قدم/ ثانية ، فان ضربات ترددها ٢ سيكل / ثانية يستقبلها المستمع . احسب تردد كل مصدر إذا علم أن سرعة الصوت ١١٠٠ قدم / ثانية .

(الجواب : ٨ ٢ سيكل/ثانية)

(١٦) ا ، ب مستمعان ، (ح) مصدر صوتى يتحرك فى الخط الواصل بينهما . فاذا تحرك (ح) نحو (ب) فان تردد النغمة التى يسمعها (أ) هى ٢٤٠ سيكل ثانية والتى يسمعها (ب) هى ٢٧٠ سيكل / ثانية . أحسب التردد الحقيقى ، سرعة المصدر .

(الجواب : ٢ر٢٥٤ سيكل / ثانية ، ٧١ر٦٤ قدم / ثانيه)

(١٧) مكبران للصوت موضوعين على محور (x) ويبعدان عن نقطة الأصل بالمسافات ١٠٠ ، ١٠١ متر على الترتيب . وموجهين نحو نقطة الأصل ، ما هى النقط التى على محور (Y) التى تظهر فيها النهايات العظمى والصغرى لشدة الصوت، إذا كان المكبرين يصدران الصوت فى نفس الطور وبتردد قدره ١٥٠٠ سيكل/ ثانية وماذا يحدث لو كان المكبران يصدران الصوت فى طور معكوس ؟

الجواب : النهايات العظمى عند :

$$y = 0 , \pm 75 , \pm 113 \text{ metre}$$

والنهايات الصغرى عند :

$$y = \pm 49 , \pm 102 \text{ metre}$$

(١٨) أنبوبة أرغوانية مفتوحة طولها (l) وأخرى مفتوحة أيضا طولها ($l+x$) فاذا كانت (x) صغيرة وأصدرت الأنبوبتان نغمتين فى وقت واحد

أثبت أن عدد الضربات فى الثانية يساوى تقريبا $\frac{Cx}{2l^2}$

حيث (c) هى سرعة الصوت فى الهواء .

(١٩) أحسب تردد الذبذبة الطولية لقضيب من الصلب طوله ٢٥ سم وكثافته ٨ جم / سم^3 ومعامل يونج لمادته ٢ × ١٠^{١٢} داين/سم^2 إذا ثبت من أحد طرفيه وترك الطرف الآخر حراً .

(الجواب : ٥٠٠٠ سيكل / ثانية) .

(٢٠) إذا كان الشد فى وتر الصونومتر مساويا لثقل ١٠٠ جم وإذا كان طول الوتر ١٠٠ سم وبتذبذب فى النغمة الأساسية بسعة قدرها ١ر٠ مم ، أحسب الطاقة الناتجة من الذبذبة .

(الجواب : ٢٤٢ر٠ أرج)

(٢١) أحسب النسبة بين التردد الأساسى للذبذبات المستعرضة والطولية فى سلك من الصلب قطره ١ مم ومشدود بقوة قدرها ثقل ١٠ كيلو جرام علما بأن معامل يونج لمادة السلك ٢ × ١٠^{١٢} داين / سم^2 .

(الجواب :)

(٢٢) سلك طوله ٥٠٠ سم مشدود من طرفيه ، فاذا كان التردد الأساسى للذبذبات المستعرضة هو ٥٠ سيكل / ثانية . فما هو البعد عن منتصف السلك الذى يوضع عنده قنطرة بحيث يمكن سماع ٤ ضربات فى الثانية عندما يتذبذب جزئى السلك ذبذبات مستعرضة ؟

(الجواب : ٥٠ سم)

(٢٣) إذا كان تردد شوكة رنانة هو ٥١٢ ذبذبة / ثانية وطول الموجة

الصادرة منها فى الهواء عند ١١ °م هو ٥ر٦٦ سم وكثافة الهواء فى معدل الضغط ودرجة الحرارة ٢٩٣ر١ جم/لتر أحسب النسبة بين الحرارتين النوعيتين للهواء

(الجواب : ٣٩ر١)

(٢٤) يتذبذب لوح من الكوارتز فى دائرة مهتزة وينشأ عن ذلك موجات طولية موقوفة فى اللوح حيث تتكون البطون على وجهى اللوح . فاذا كان تردد الذبذبة الأساسية هو :

$$f_1 = \frac{2\,87 \times 10^5}{S} \text{ cycle/sec.}$$

حيث (S) هو سمك اللوح بالسنتيمتر . أحسب :

(أ) معامل يونج لمادة الكوارتز .

(ب) سمك لوح من الكوارتز يعطى ذبذبة أساسية قدرها ١٢٠٠ كيلو سيكل / ثانية . علما بأن كثافة الكوارتز ٢ر٦٦ جم / سم٣ .

(٢٥) يتحرك مكبس داخل أنبوبة طويلة مفتوحة ومملوءة بالهواء تحت ضغط ١ جوى ودرجة حرارة ٧٧°م . فاذا تذبذبت شوكة رنانة قرب الطرف المفتوح بذبذبة قدرها ٥٠٠ سيكل / ثانية ، فان الرنين يحدث عندما يكون المكبس على أبعاد ١٨ ، ٥ر٥٥ ، ٠ر٩٣ سم من الطرف المفتوح. أحسب سرعة الصوت فى الهواء فى ٧٧°م .