وزارة التعليم العالي
MINISTRY OF HIGHER EDUCATION

الجمهورية العربية السورية

الفصل الخامس عشر
الحركات الاهتزازية والموجية

Vibrations & Waves

جامعة الشام الخاصة
Al-Sham Private University

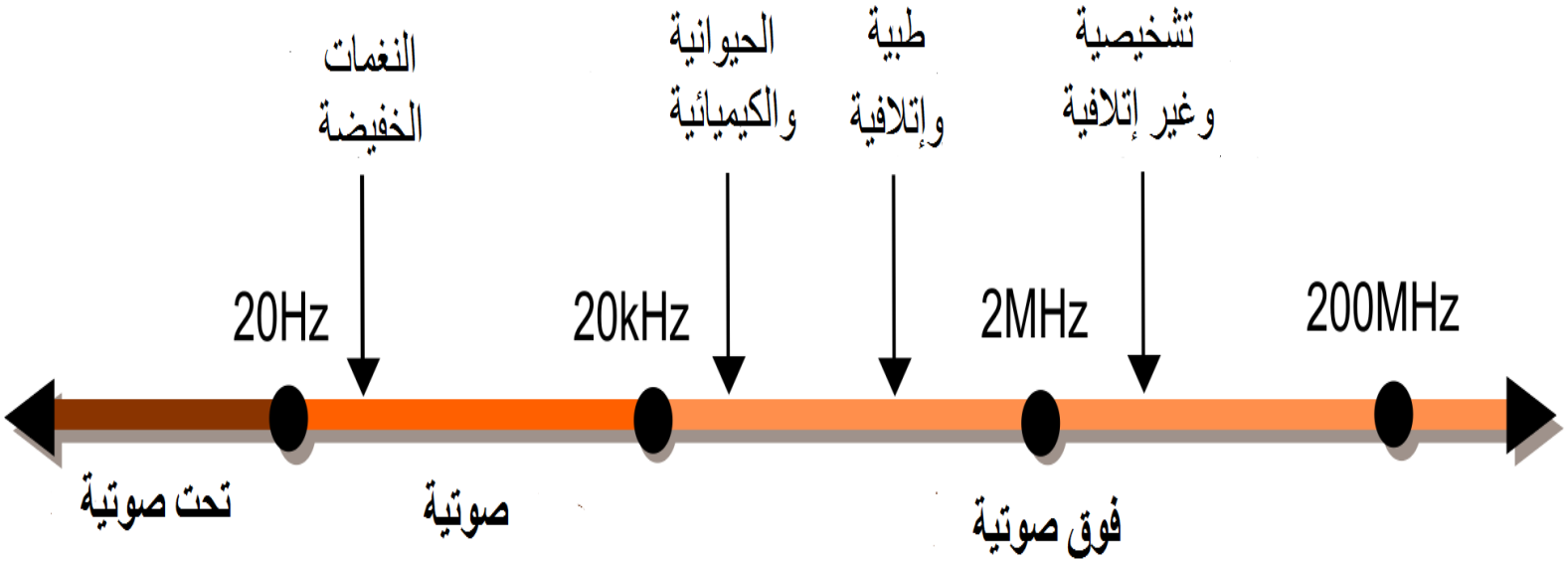
جامعة الشام الخاصة
ASPU
2011

أهداف الفصل

- التعرف على الحركة الاهتزازية وخصائصها
- التعرف على الحركة الموجية وخصائصها
  – العوامل التي تتحكم بسرعة كل من الأمواج الطولانية والعرضانية
- العلاقة بين طاقة الموجة الصوتية والإزاحة التي تحدثها في النسج
- العلاقة بين الضغط الصوتي والإزاحة التي يحدثها في النسج
- تخامد شدة الموجة الصوتية في النسج
- استخدامات الأمواج الصوتية وحدود الأمان فيها
- الخصائص العامة للأمواج الصوتية

مجالات طيف الأمواج الصوتية

- أهم المجالات : (1) مجال الأمواج الصوتية المسموعة
- (2) مجال الأمواج تحت الصوتية
- (3) مجال الأمواج فوق الصوتية

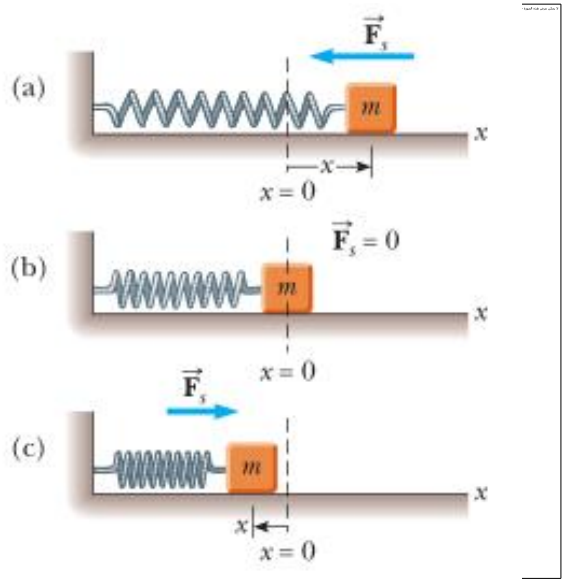


المجالات المختلفة لأغراض مختلفة.

أهمية الأمواج فوق الصوتية

- رصد حركة الجنين وأداء صمامات العضلة القلبية.
- تستخدم في تفتيت الحصى.
- تحديد سرعة تدفق الدم بالاعتماد على انزياح دوبلر الذي يطرأ على الأمواج فوق الصوتية المنعكسة عن خلايا الدم الحمراء
- مع ابتكار عدسات صوتية أصبحت تقوم بدور جراحي .
- يمكن للأمواج فوق الصوتية الموسومة بنبضة ميكانيكية قصيّة أن تزوِّد الطبيب بإصبع جسية افتراضية لتشخيص الكتل والأورام في النسج.

أولاً: الحركات الاهتزازية
معادلة الحركة الاهتزازية وحلها



كتلة مرتبطة بنابض، عندما تنزاح الكتلة إلى اليمين تكون القوة التي يطبقها النابض عليها إلى اليسار، وعندما تكون الكتلة في وضع التوازن تكون القوة المطبقة عليها مساوية الصفر، وعندما تنزاح إلى اليسار تكون القوة المطبقة عليها نحو اليمين.

- $F_s = -kx$ وتساوي $F = ma = -kx$
- التسارع $a = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x$
- حيث $\omega^2 = \frac{k}{m}$ و $k = m\omega^2$
- نكتب علاقة الحركة بالشكل:
- $m\frac{d^2x}{dt^2} = -kx$ أو $\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0$
- أو $\frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0$
- وهي معادلة حلها من الشكل:
- $x = A\cos(\omega t + \phi)$ حيث $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$

السرعة والتسارع في الحركة الجيبية

- دور الحركة الاهتزازية $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
- وتواترها $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$
- وسرعتها $u = v = \frac{dx}{dt} = -\omega A\sin(\omega t + \phi)$
- حيث يمثل ωA سعة سرعة الحركة الاهتزازية $u_M = \omega A$
- وتسارعها

$$a = \frac{du}{dt} = \frac{dv}{dt} = -\omega^2 A\cos(\omega t + \phi) = -\omega^2 x$$

القوة والطاقة في الحركة الجيبية

- الطاقة الحركية للحركة الاهتزازية

$$K = \tfrac{1}{2} m v^2 = \tfrac{1}{2} m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \phi)$$

أو

$$K = \tfrac{1}{2} m\omega^2 A^2 \left[1 - \cos^2(\omega t + \phi)\right]$$

- يمكن كتابتها بالشكل

$$K = \tfrac{1}{2} m\omega^2 (A^2 - x^2)$$

- أو

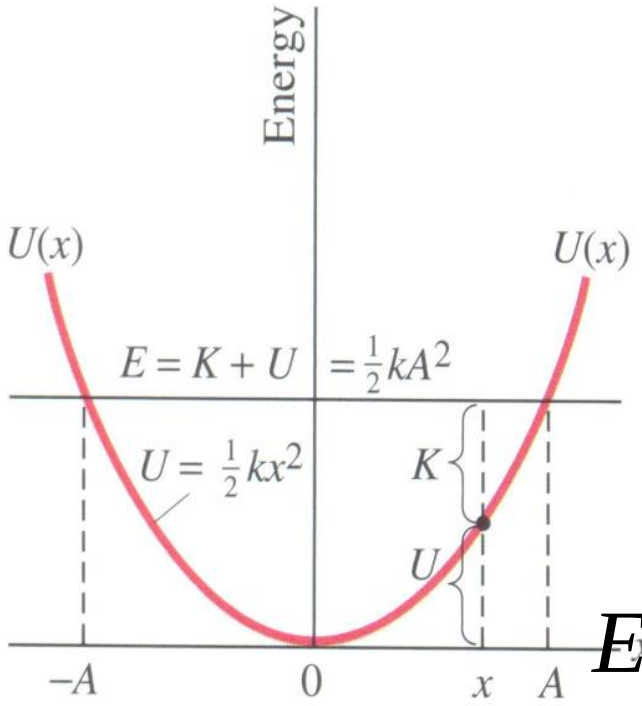
$$K = \tfrac{1}{2} k (A^2 - x^2)$$

- وهي عظمى عند $(x = 0)$ وصغرى عند $(x = \pm A)$

طاقة الهزاز

- الطاقة الكامنة $U(x) = -\int F dx$
- بالتكامل $U(x) = \frac{1}{2}kx^2$
- أو $U(x) = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$
- الطاقة الكلية:

$$E_x = K + U = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2 = \frac{1}{2}kA^2$$



علاقات الطاقة في الحركة الجيبية.
الطاقة الكامنة U. الطاقة الحركية K
، والطاقة الكلية E=U+K.

المناقشة:

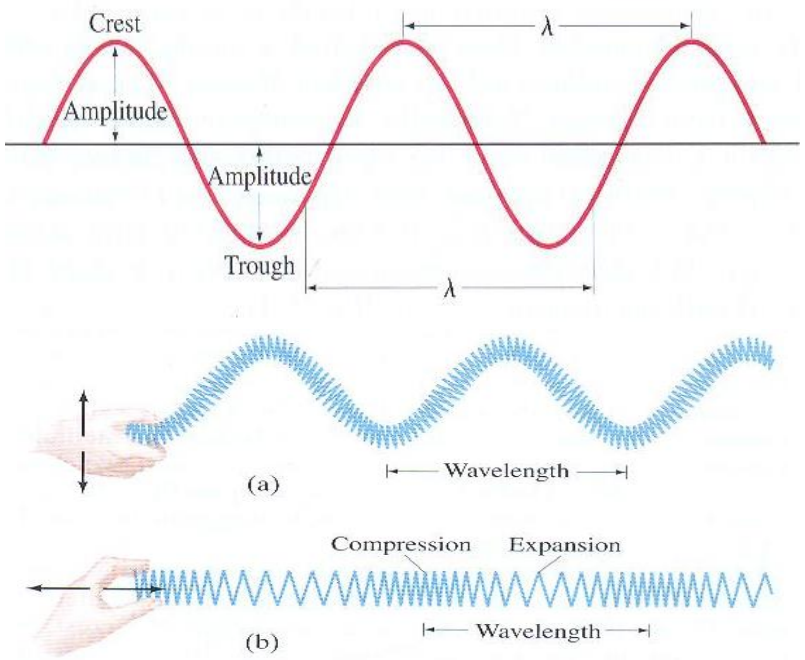
ثانياً: الحركات الموجية، وأهميتها

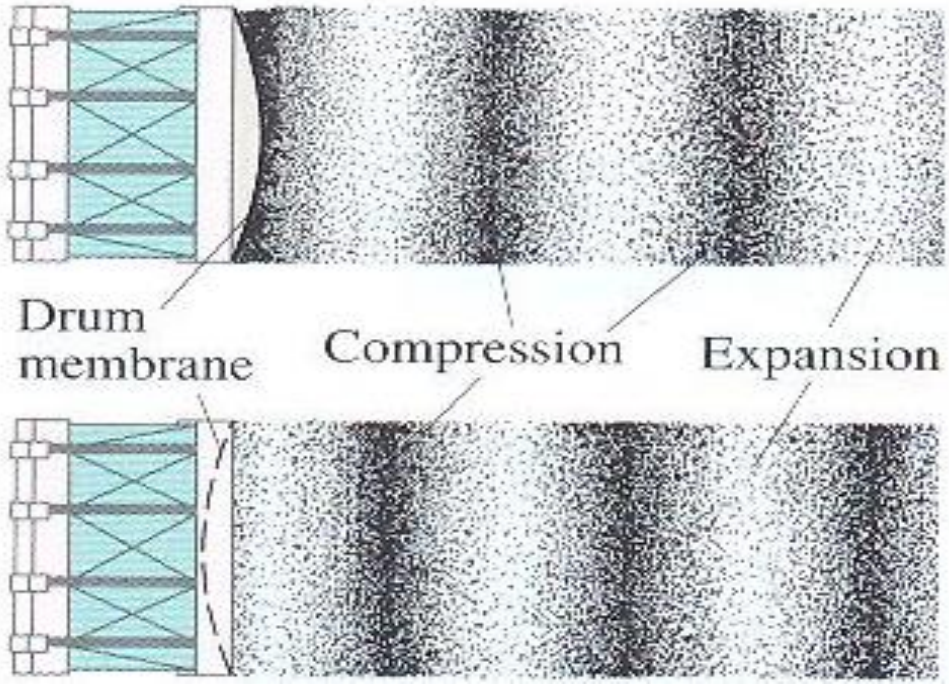
- نميز بين نوعين مهمين من الأمواج الميكانيكية :
- 1) الأمواج الطولانية أو الأمواج الضغطية أو الأمواج الانضغاطية pressure waves compression waves التي تنتمي لها الأمواج الصوتية المستخدمة في الإيكوغرافي (تصوير الصدى Echography)،
- 2) والأمواج العرضانية أو أمواج القص shear waves التي لا تنتشر في الموائع، وتستخدم في جس النسج وتشخيص الأورام فيها.

خصائص الحركة الموجية الميكانيكية

أنواع الأمواج: العرضانية والطولانية

خصائص موجة مستمرة أحادية التواتر تنتشر وفق المحور x

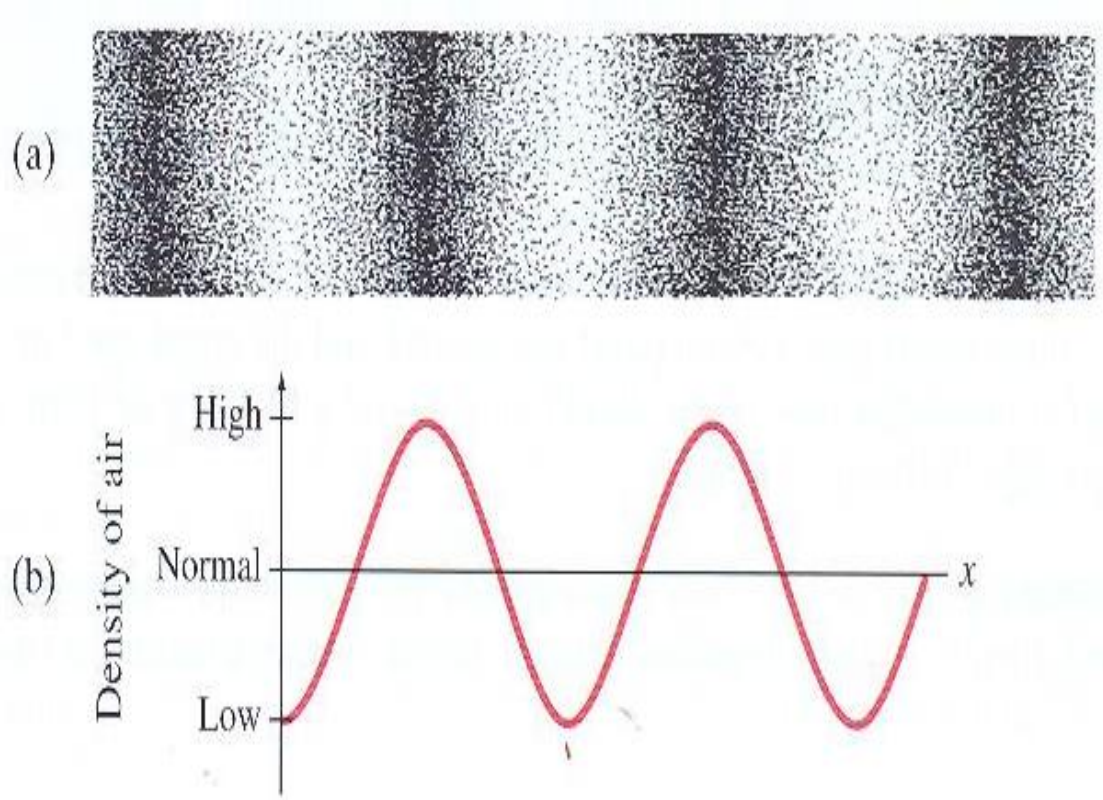




(a) موجة عرضانية، (b) موجة طولانية

توليد موجة صوتية، وهي موجة طولانية، تظهر الموجة الطولانية على الشكل في لحظتين زمنيتين يفصل بينهما نصف الدور T/2

سرعة انتشار الأمواج



(a)موجة طولانية و(b) تمثيلها البياني في لحظة معينة.

$$v = \lambda f$$

سرعة الأمواج الطولانية والعرضانية في النسج

سرعة الأمواج العرضانية في وتر

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

يتعلق كل من سرعة الأمواج الطولانية والعرضانية في النسج بعامل مرونة وعامل عطالة

$$v = \sqrt{\frac{elastic\ force\ factor}{inertia\ factor}}$$

موجة طولانية تنتشر في قضيب أو جسم صلب

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

Yعامل يانغ

موجة طولانية كالموجة الصوتية (موجة ضغطية) تنتشر في مائع (سائل أو غاز)

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

Bعامل المرونة الحجمي

موجة قصّية، وهي موجة عرضانية، في وسط صلب

$$v_s = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

Sعامل القص

سرعة الأمواج الطولانية والعرضانية في النسج

موجة طولانية كالموجة الصوتية (موجة ضغطية) تنتشر في مائع (سائل أو غاز)

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

حيث B عامل المرونة الحجمي bulk modulus. ويمكن كتابة العلاقة بالشكل:

$$\frac{B}{v} = \rho v \quad \text{أو} \quad B = \rho v^2$$

حيث ρv تمثل ممانعة الوسط الصوتية Z، وتكتب بالشكل:

$$Z = \rho v$$

يردُّ سبب التسمية هذا إلى التشابه بين التيار الكهربائي والسرعة من جهة والكمون الكهربائي والقوة من جهة ثانية.

سرعة الأمواج الطولانية والعرضانية في النسج

موجة قصّية، وهي موجة عرضانية، في وسط صلب

$$v_s = \sqrt{\frac{S}{\rho}}$$

حيث Sعامل القص shear modulus ويعبر عن قساوة النسيج.
ولتغير هذا العامل تبعاً للحالة المرضية للنسيج فيمكن الاعتماد عليه في تشخيص الأورام التي تغدو أقل مرونة من النسج السليمة، وذلك بوسم الأمواج فوق الصوتية بموجة قص في تصوير الصدى (الإيكوغرافي).

مثال: تحديد موقع الصدى يقدر تواتر الأمواج التي يصدرها حيوان البحر بنحو 100kHz. (a)ما طول الموجة التي يصدرها؟ (b)إذا وقع حاجز على بعد 100m من الحيوان، فما اللحظة التي يكشف فيها الحيوان عن صدى الموجة التي يصدرها؟

علماً أن معامل المرونة الحجمي لماء البحر وكتلته الحجمية $2.0\times10^{9}\,N/m^{2}$ $1.025\times10^{3}\,kg/m^{3}$

$$v=\sqrt{\frac{B}{\rho}}=\sqrt{\frac{2.0\times10^{9}\,N/m^{2}}{1.025\times10^{3}\,kg/m^{3}}}=1.4\times10^{3}\,m/s$$

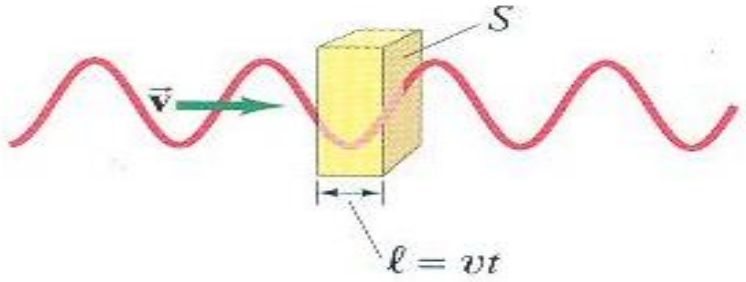
$$\lambda=\frac{v}{f}=\frac{(1.4\times10^{3}\,m/s)}{(1.0\times10^{5}\,Hz)}=14mm$$

$$t=\frac{\text{distance}}{\text{speed}}=\frac{2(100m)}{1.4\times10^{3}\,m/s}=0.14s$$

طاقة الأمواج

في حالة موجة جيبية تواترها f تتحرك الجسيمات حركة توافقية بسيطة (الحركة الاهتزازية) لدى عبور موجة معينة، بطاقة تساوي $E = \frac{1}{2}kA^2$، حيث A الإزاحة العظمى أو سعة حركتها، إما بشكل عرضاني وإمَّا طولاني. باستخدام علاقة تواتر الحركة الاهتزازية أن نكتب $k = 4\pi^2 mf^2$، حيث m كتلة جسيم (أو حجم صغير) من الوسط. ومِنْ ثَمَّ نحصل بدلالة التواتر والسعة على:

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = 2\pi^2 mf^2 A^2$$



$$\Rightarrow E = 2\pi^2 \rho S v t f^2 A^2$$

شريحة من الوسط كتلتها $m = \rho V$ حجمها V كتلتها الحجمية ρ، و $\ell = vt$ المسافة التي تنتقلها خلال الفاصل الزمني t

المعدل الوسطي للطاقة

$$\overline{P} = \frac{E}{t} = 2\pi^2 \rho S v f^2 A^2$$

طاقة الأمواج

$$\overline{P} = \frac{E}{t} = 2\pi^2 \rho S v f^2 A^2$$

الطاقة التي تحملها الموجة أو معدل الطاقة يتناسب طردياً مع مربع السعة ومع مربع التواتر

$$I = \frac{\overline{P}}{S} = 2\pi^2 \rho v f^2 A^2$$

تعرف شدة موجة intensity / بأنها الاستطاعة المتوسطة التي تحملها الموجة في واحدة المساحة عمودياً على منحى تدفق الطاقة:

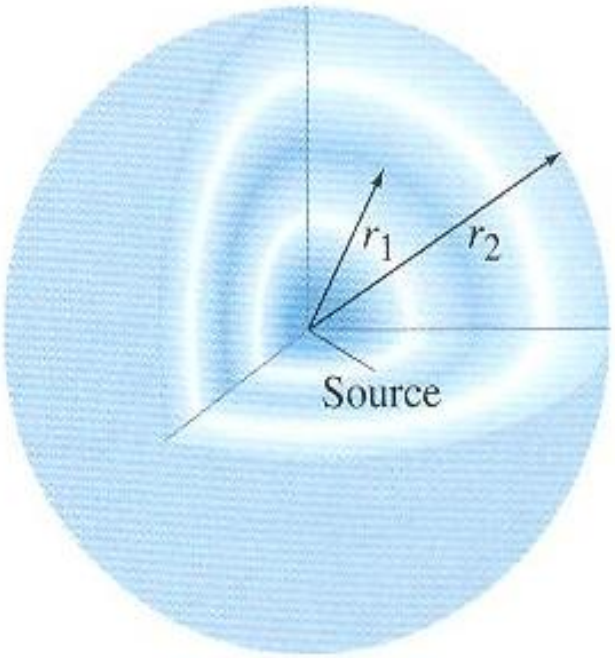
طاقة الأمواج

$$\overline{P} = \frac{E}{t} = 2\pi^2 \rho S v f^2 A^2$$

شدة الموجة في حالة المنبع النقطي

تتناسب شدة الموجة في نقطة معينة عكساً مع مربع البعد

$$I = \frac{\overline{P}}{S} = \frac{\overline{P}}{4\pi r^2}$$



الموجة التي تنطلق من منبع نقطي كروية الشكل. تظهر على الشكل ذروتان مختلفتان (أو انضغاطان)، نصفا قطريهما r1 و r2.

وفي حال نقطتين تبعدان r1 و r2 عن المنبع:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\overline{P}/4\pi r_2^2}{\overline{P}/4\pi r_1^2} = \frac{r_1^2}{r_2^2}$$

عندما يتضاعف البعد $(r_2 / r_1 = 2) \Leftarrow I_2 / I_1 = \left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$

تتناقص السعة أيضاً عكساً مع البعد $A_2 / A_1 = r_1 / r_2$

مثال: شدة الهزة الأرضية

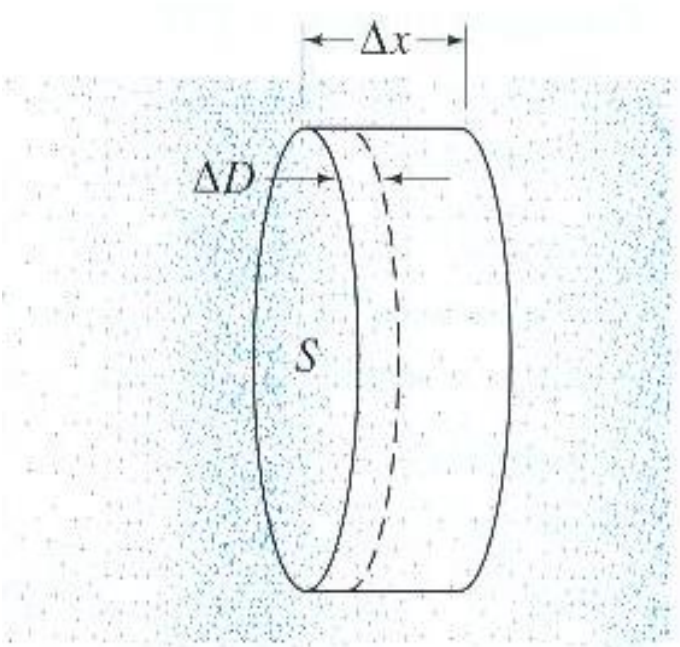
تبلغ شدة موجة هزة أرضية تنتشر في الأرض $I = 1.0 \times 10^6 W/m^2$ عندما يكشف عنها على بعد $100km$ من المنبع، فما شدة تلك الموجة لدى الكشف عنها على بعد $400km$ من المنبع؟ نفترض بأن الموجة كروية، ومِنْ ثَمَّ تنخفض شدتها مع مربع البعد عن المنبع.

الحل. عند $400km$ يكون البعد أكبر بأربع مرات منه عند $100km$ ومِنْ ثَمَّ تكون الشدة $\left(\frac{1}{4}\right)^2 = \frac{1}{16}$ من قيمتها عند البعد $100km$ ، أو:

$$(1.0 \times 10^6 W/m^2)/16 = 6.3 \times 10^4 W/m^2$$

$$I_2 = I_1 r_1^2 / r_2^2 = (1.0 \times 10^6 W/m^2)(100km)^2/(400km)^2$$

موجة الضغط



موجة طولانية في مائع تتجه نحو اليمين. شريحة رقيقة من مائع في أسطوانة رقيقة مساحتها S، وثخانتها Δx، يتغير حجمها نتيجة لتغير الضغط لدى عبور الموجة.

يمكن التعبير عن الضغط الصوتي P_M الذي ينقل الموجة من أحد سطحي شريحة الوسط إلى السطح الآخر بحاصل ضرب الممانعة الصوتية Z بالسرعة الاهتزازية u_M للجزيئات

$$p_M = Z\,u_M$$

حيث $Z = \rho(kg/m^3)v(m/s)$

الممانعة الصوتية للوسط و $u_M = 2\pi f A$

سعة سرعة اهتزاز جزيئات الوسط وبالتالي فإن سعة الضغط الصوتي تساوي حاصل ضرب ممانعة الوسط الصوتية بسعة سرعة اهتزاز جزيئات الوسط

أو $p_M = 2\pi\rho v A f$

$$p_M = Z\,u_M$$

أي إن الضغط الصوتي p_M في مائع (كالهواء) يساوي حاصل ضرب سرعة شرائح المائع u_M. بالممانعة الصوتية للمائع Z مقدرة بالوحدة

$$kgm^{-2}s^{-1}$$

ويعود سبب التسمية ممانعة لأنها تذكرنا بعلاقة سريان تيار كهربائي في مقاومة كهربائية، أو ممانعة في الحالة العامة Z، يطبق فرق كمون كهربائي بين طرفيها $V_M = Z\,I_M$

فكما يؤدي فرق الكمون بين نقطتين إلى سريان التيار الكهربائي بينهما فإن فارق الضغط بين نقطتين، وهو الضغط الصوتي، يؤدي إلى انتشار موجة صوتية بينهما.

أهمية الممانعة الصوتية والضغط الصوتي

للممانعة الصوتية أهمية كبيرة في الإيكوغرافي الذي يعتمد على تسجيل الأصداء الواردة من السطوح الفاصلة بين نسيجين مختلفين بالممانعة الصوتية، حيث يكون معامل الانعكاس أكبر بقدر ما يكون الفارق بين الممانعتين أكبر

النسيج	الكتلة النوعية $kg\,m^{-3}\times10^{-3}$	الممانعة المميزة $kg\,m^{-2}s^{-1}\times10^{-6}$
الهواء	1.29	0.0004
الدم	1.06	1.62
الهيكل العظمي	1.38-1.81	3.75-7.38
الدماغ	1.03	1.55-1.65
الشحوم	0.92	1.35
الكليتان	1.04	1.62
الكبد	1.06	1.64-1.68
الرئتان	0.40	0.62
العضلات	1.07	1.65-1.74
الطحال	1.06	1.65-1.67
الماء	1.00	1.52

يجب عدم تجاوز الضغط الصوتي قيمة معينة حتى لا يحدث تمزق في النسيج من خلال زيادة الإزاحة :

$$A = p_M / \rho v 2\pi f$$
$$= p_M / \rho v \omega$$
$$= p_M / Z\omega$$

شدة الموجة الصوتية

تعرّف شدة الموجة الصوتية بأنها الطاقة التي تحملها الموجة في وحدة الزمن في وحدة المساحة العمودية على جهة تدفق الطاقة.

توجد علاقات لشدة الموجة الصوتية تربطها بكل من ضغط الموجة الصوتية والسرعة الاهتزازية لجزيئات الوسط وممانعته تشبه كثيراً علاقات الاستطاعة الكهربائية التي تربطها بالكمون الكهربائي (الذي يقابل الضغط الصوتي في حالتنا) والتيار الكهربائي الذي يقابل سرعة جزيئات الوسط ، والمقاومة الكهربائية R التي تقابل الممانعة الصوتية.

في الجدول مقارنة بين نوعي المقادير

الجدول15.2. مقادير الخصائص الصوتية وما يقابلها من الخصائص الكهربائية

تسمية المقدار الكهربائي	الواحدة	المقابل الكهربائي	الواحدة	الرمز الصوتي	تسمية المقدار الصوتي
الكمون الكهربائي	Volt	V_M	$N\ m^{-2}$	p_M	الضغط الصوتي
التيار الكهربائي	Amp	I_M	$m\ s^{-1}$	u_M	سرعة جزيئات المادة
المقاومة الكهربائية	Ohm	$R = V_M / I_M$	$kg\ m^{-2} s^{-1}$	$Z = p_M / u_M$	الممانعة الصوتية
الاستطاعة الكهربائية	watt	$P(Power)$	$Watt/m^2$	$I\ (Intensity)$	شدة الموجة الصوتية
شكل1 للاستطاعة		$\frac{1}{2}\frac{V_M^2}{R}$		$\frac{1}{2}\frac{p_M^2}{Z}$	شكل1 لشدة الموجة
شكل2 للاستطاعة		$\frac{1}{2} R I_M^2$		$\frac{1}{2} Z u_M^2$	شكل2 لشدة الموجة
شكل3 للاستطاعة		$\frac{1}{2} I_M V_M$		$\frac{1}{2} u_M p_M$	شكل3 لشدة الموجة

مجال الاستماع والمستوى الصوتي والوحدات اللغارتمية

تكشف الأذن أصواتاً تمتد شداتها على 12مرتبة من $10^{-12} W/m^2$ إلى $1 W/m^2$ (حتى أعلى منها ولو أنها تكون مؤلمة).

ويرجّح أنه بسبب عرض هذا المجال لا نشعر بأن علوّ الصوت يتناسب طردياً مع الشدة، أي إن العلاقة بينهما ليست خطية، ولذلك يتم اللجوء عادة إلى أخذ لغارتم الشدة.

لتوليد صوت يبدو أنه أعلى مرتين يتطلب موجة صوتية شدتها أعلى بعشرة أضعاف الشدة.

يسري هذا الأمر عند أي مستوى للصوت في حالة التواترات القريبة من منتصف المجال السمعي.

مجال الاستماع والمستوى الصوتي والوحدات اللغارتمية

نظراً للعلاقة بين الشعور الشخصي بعلوّ الصوت والكمية المقيسة فيزيائياً "الشدة" تتحدد مستويات الشدة Sound level عادة على سلم لغارتمي، وتقدّر بالبل Bell أو بالديسيبل dB، التي تساوي عُشْر البل أي dB=1/10 Bell.

يعرف المستوى الصوتي لأي صوت بدلالة شدته *I* على النحو:

$$\beta\,(dB) = 10\log\frac{I}{I_0}$$

حيث $I_0 = 1.0\times10^{-12} W/m^2$ ، المستوى الصوتي لصوت شدته

$1.0\times10^{-10} W/m^2$

$$\beta = 10\log\frac{1.0\times10^{-10} W/m^2}{1.0\times10^{-12} W/m^2} = 10\log 100 = 20 dB$$

مثال: استجابة مكبر الصوت

مصدر الصوت	مستوى الصوت dB	شدة الصوت $watt/m^2$
طائرة نفاثة على ارتفاع 30m	140	100
عتبة الألم	120	1
حفلة رقص صاخبة	120	1
صافرة الشرطة على بعد 30m	100	1.0×10^{-2}
حركة مرور للشاحنات	90	1.0×10^{-3}
حركة مرور في شارع مزدحم	80	1.0×10^{-4}
مطعم مفعم بالضجيج	70	1.0×10^{-5}
حديث على بعد 50cm	65	3.0×10^{-6}
راديو هادئ	40	1.0×10^{-8}
الهمس	30	1.0×10^{-9}
حفيف الأوراق	10	1.0×10^{-11}
عتبة الاستماع	0	1.0×10^{-12}

الجدول 15.3. شدة الأصوات المختلفة

$$\beta_2-\beta_1=10\log\frac{I_2}{I_0}-10\log\frac{I_1}{I_0}$$

$$3\text{dB}=10\left(\log\frac{I_2}{I_0}-\log\frac{I_1}{I_0}\right)\quad=10\log\frac{I_2}{I_1}$$

$$\log a-\log b=\log a/b$$

$$\frac{I_2}{I_1}=10^{0.30}=2.0\qquad\log\frac{I_2}{I_1}=0.30$$

ومن ثم فإن 3dB تقابل ضعف الشدة أو نصفها حسب الإشارة المناسبة.

علاقة شدة الموجة الصوتية بسعتها

$$I = \frac{\overline{P}}{S} = 2\pi^2 \rho v f^2 A^2$$

تتناسب شدة موجة صوتية
مع مربع سعة الموجة

مثال: إيضاح صغر سعة الإزاحة. (a) أوجد إزاحة جزيئات الهواء في حالة صوت تواتره 1000Hz عند عتبة الاستماع.

$$A = \frac{1}{\pi f}\sqrt{\frac{I}{2\rho v}}$$

$$= \frac{1}{(3.14)(1.0\times10^3 s^{-1}}\sqrt{\frac{1.0\times10^{-12} W/m^2}{(2)(1.29 kg/m^3)(343 m/s)}} = 1.1\times10^{-11} m$$

علاقةضغط الموجة الصوتية بسعتها

مثال: (b) أوجد تغير الضغط الأعظمي في مثل هذه الموجة الصوتية.

$$p_M = 2\pi\rho v A f$$

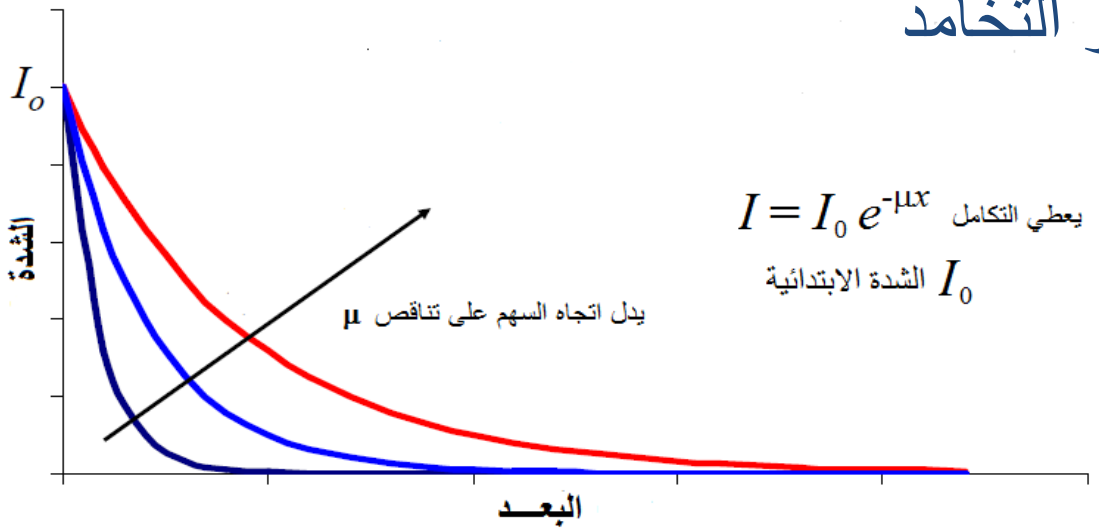
$$= 2\pi(1.29 kg/m^3)(343 m/s)(1.1\times10^{-11} m)(1.0\times10^3)$$

$$= 3.1\times10^{-5} Pa = 3.1\times10^{-10} atm$$

تخامد شدة الموجة الصوتية في النسج (المنبع مستو)

إذا كانت الشدة الابتدائية للحزمة I_0، قبل دخولها النسيج يكون مقدار التخامد

$$\Delta I = -\mu I \Delta x$$



بإجراء التكامل على مسار الحزمة نحصل على العلاقة التي تربط بين الشدة في كل نقطة من المسار والشدة الابتدائية بدلالة البعد نحصل

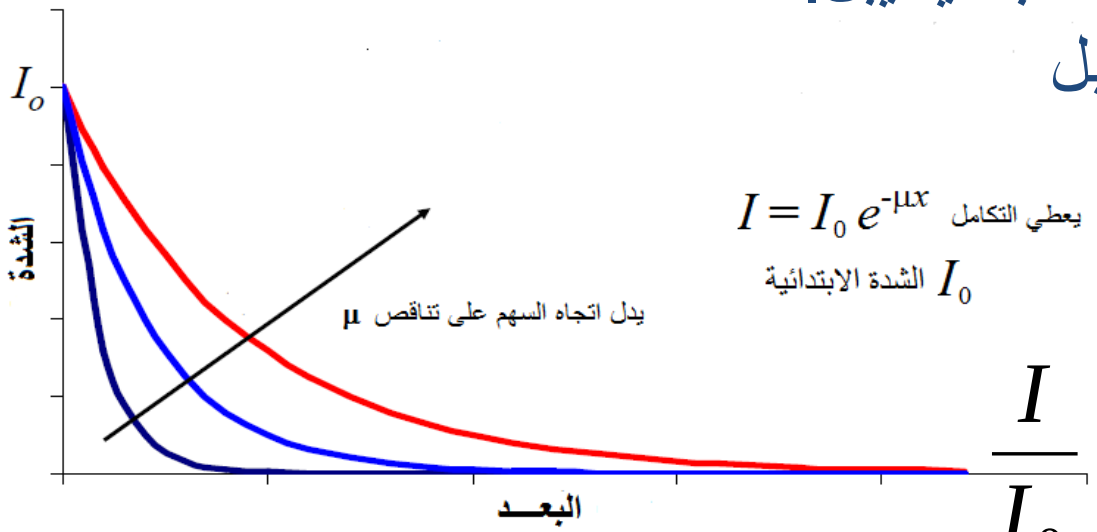
$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

يضم الشكل ثلاث منحنيات في حالة ثلاث قيم لمعاملات التخامد

تخامد شدة الموجة الصوتية في النسج (المستوي)

يتم التعبير عن التخامد عادة بالديسيبل.

يعرّف التغير بوحدات الديسيبل



$I = I_0 e^{-\mu x}$ يعطي التكامل

الشدة الابتدائية I_0

$$\beta(dB) = 10\log_{10}\frac{I}{I_0}$$

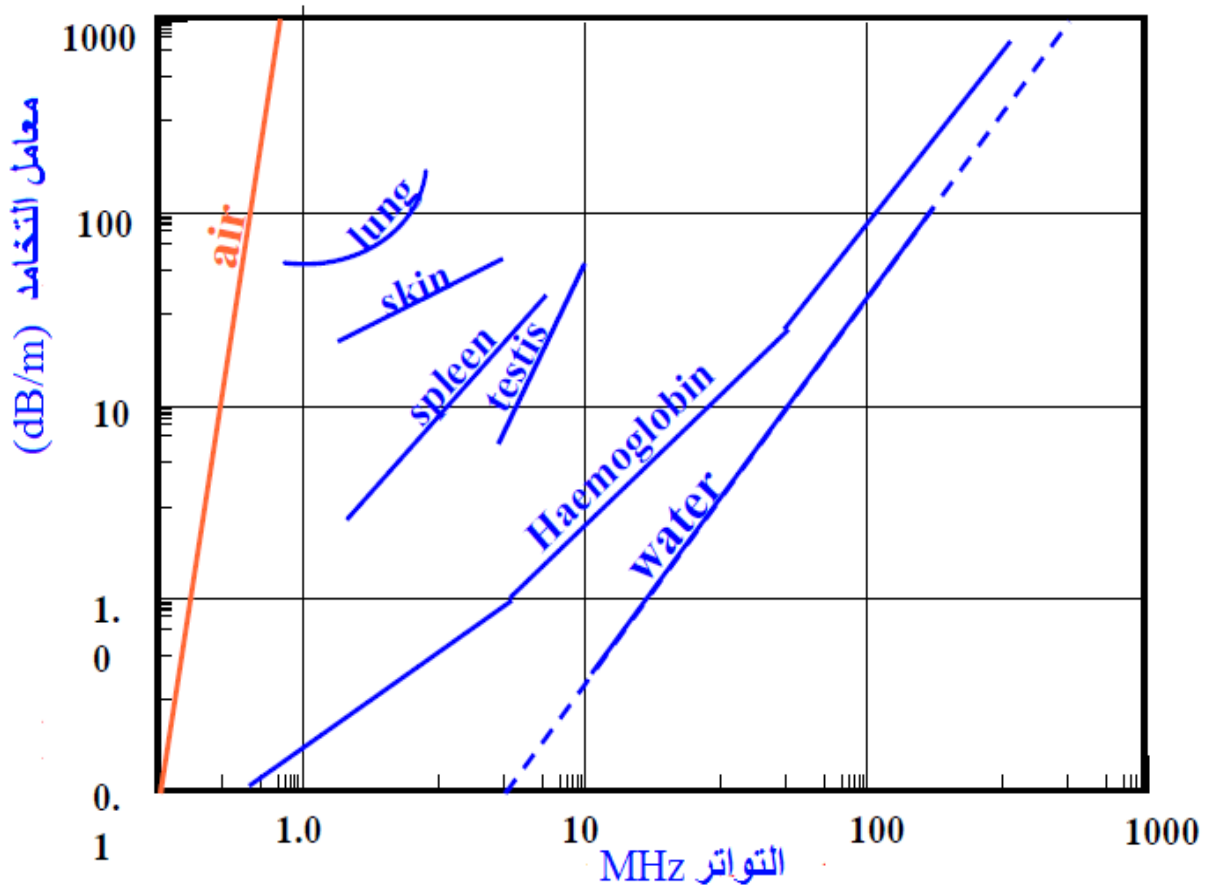
التخامد في النسج $\frac{I}{I_0} = e^{-\mu x}$

بالتعويض في علاقة التخامد العشري نحصل: $\log_{10}\frac{I}{I_0} = -\mu x * \log_{10} e$

وبالتالي $10\log_{10}\frac{I}{I_0} = -\mu x * 10 * \log_{10} e = -\mu x * 4.343$

$$\alpha = 4.343\mu(\mathrm{m}^{-1})$$

منحنيات التخامد بدلالة التواتر في عدة نسج

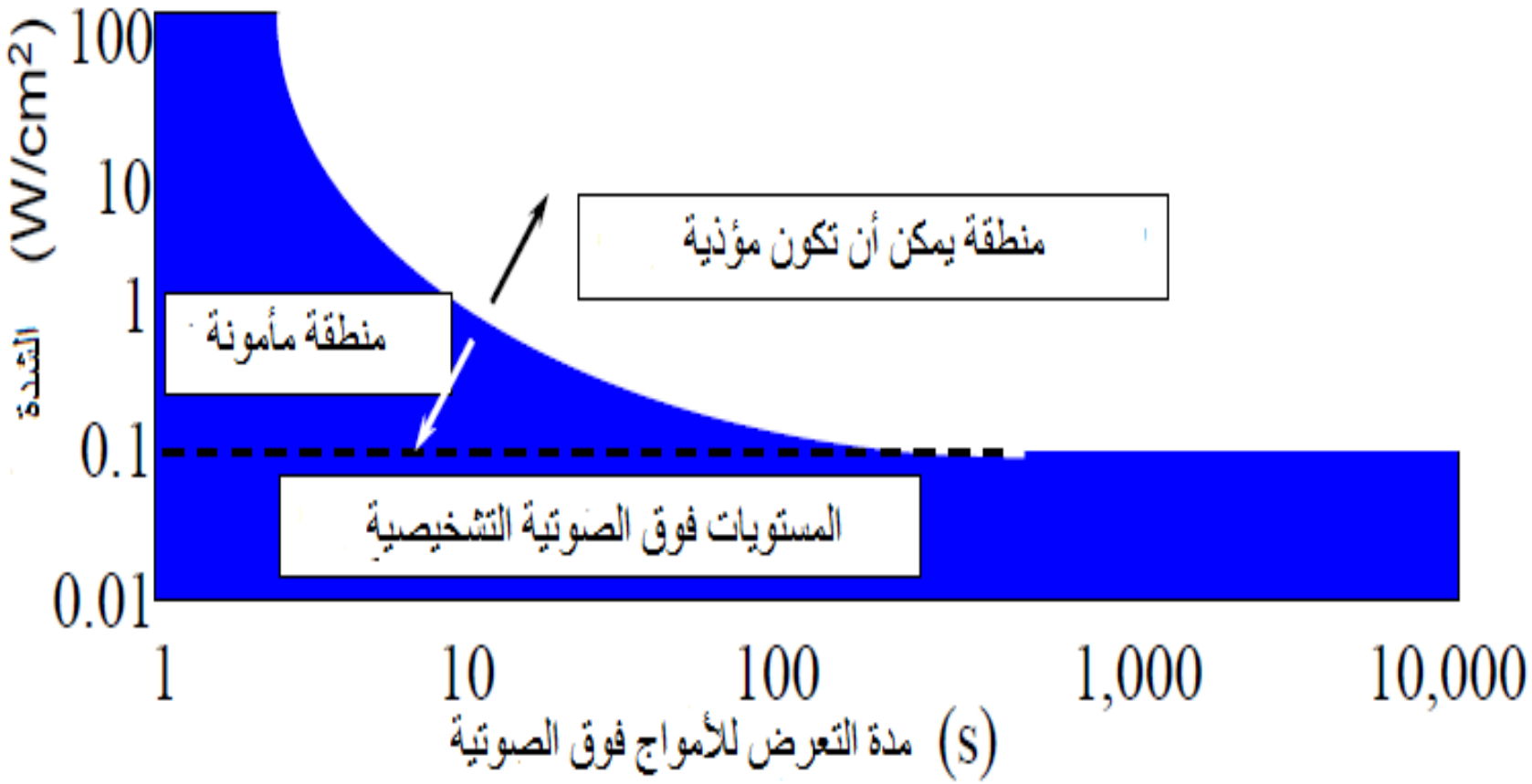


ملاحظة تزايد معاملات التخامد بدلالة التواتر

استخدامات الأمواج فوق الصوتية

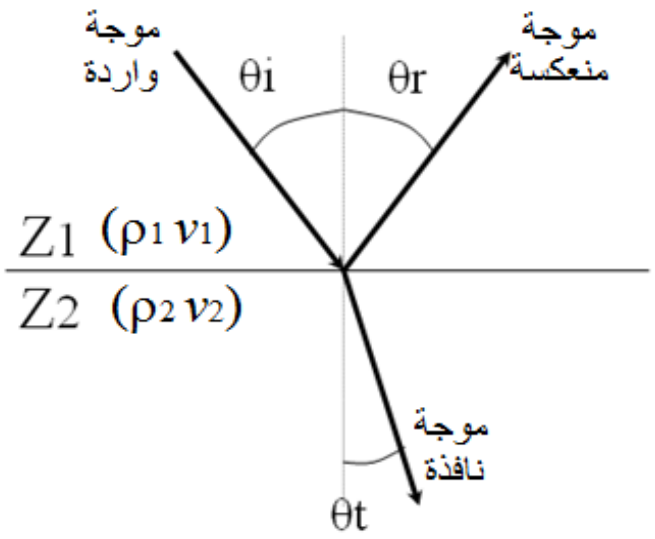
- تصوير المرأة الحامل والعضلة القلبية
- تفتيت الحصى
- يمكن تشكيل طلقات فوق صوتية تستخدم في الجراحة.
- تقوم بمفعولات حرارية في المعالجة الفيزيائية.
- ولهذا وضعت ضوابط لاستخدام هذه التقنية.

حدود الأمان في الأمواج فوق الصوتية



الخصائص العامة للأمواج الصوتية

الانعكاس والانكسار



انعكاس الموجة الصوتية وانكسارها.
الممانعة الصوتية لوسط الورود أعلى من الممانعة الصوتية لوسط الانكسار

$$v_1 = Z_1/\rho_1 \neq v_2 = Z_2/\rho_2$$

قانون الانكسار

$$\frac{\sin\beta_i}{v_1} = \frac{\sin\beta_t}{v_2}$$

عامل انعكاس السعة

$$r = \frac{A_r}{A_i} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

عامل نفوذ السعة

$$\tau = \frac{A_t}{A_i} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

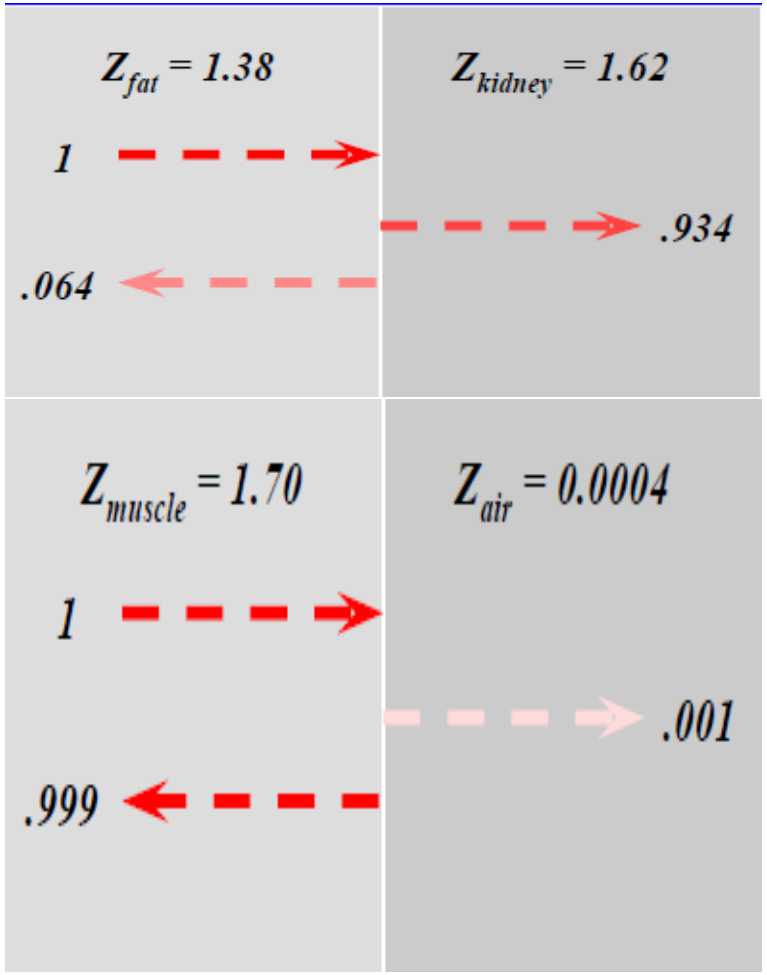
عامل انعكاس الطاقة

$$R = \frac{I_r}{I_i} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}\right)^2$$

عامل نفوذ الطاقة

$$T = \frac{I_t}{I_i} = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

تطبيق عاملي انعكاس ونفوذ الشدة



عاملي انعكاس الشدة ونفوذ الشدة لدى انتقال الموجة الصوتية من نسيج شحمي إلى نسيج الكلية (في الأعلى) ولدى انتقال الموجة الصوتية من نسيج عضلي إلى الهواء (في الأسفل)، حيث يحدث انعكاس تام. وهي ظاهرة يمكن أن تحدث في تصوير الصدى.

يمكن بناء عدسات صوتية لتجميع الأمواج الصوتية (كما سنرى في تصوير الصدى)، ويعتبر شبيه الزجاج (البليكسيغلاس) المادة الرئيسية المستخدمة لهذا الغرض.

سرعة الأمواج الصوتية في اوساط مختلفة

الجدول 15.4

الوسط	السرعة	الوسط	السرعة
الهواء	343(20°C)	الجليد	4000
الهواء	331(0°C)	الماء	14930(25°C)
الهليوم	1005	ماء البحر	1533 (25°C)
الفولاذ	5790	الدم	1570 (37°C)
زجاج البيركس	5640	العضلات	1580(37°C)
البليكسيغلاس	2700	العظم	4000 (37°C)