البحث 9

الأمواج الميكانيكية (الصوت والأمواج الفوق صوتية)
The mechanical waves
(the sound and the ultrasound waves)

9. 1. مدخل Introduction:

الصوت هو عبارة عن أمواج ميكانيكية اهتزازية طولية تنتشر في جميع الأوساط المادية المتجانسة والمتماثلة المناحي (عدا الخلاء) وفق خطوط مستقيمة بسرعة يرمز لها بالرمز c مميزة للوسط المادي بحيث تزداد هذه السرعة بقدر ما يكون الوسط المادي أكثر صلابةً. تجدر الإشارة إلى أنه خلال انتشار الموجة الصوتية تهتز الجسيمات في الوسط محدثةً تغيرات في الكثافة والضغط على امتداد انتشارها، بحيث تنتج هذه التغيرات سلسلة من مناطق الضغط المرتفع والمنخفض تسمى التضاغطات والتخلخلات على الترتيب، فإذا اهتز مصدر الأمواج جيبياً فإن تغيرات الضغط ستكون أيضاً جيبية.

تستطيع الأذن البشرية تحسس أمواج ذات تواترات معينة تقع بين 16Hz ← 20 KHz وتدعى هذه الأمواج بالأمواج الصوتية، وتسمى تواتراتها بالتواترات المسموعة. وتسمى الأمواج التي تمتلك تواترات أعلى من 20 KH بالأمواج «فوق الصوتية» وتسمى تلك التي تمتلك تواترات أقل من 16Hz بالأمواج «تحت الصوتية». يختلف مجال السمع لدى الإنسان من شخص لآخر إما بسبب تقدم العمر من جهة، وإما بسبب التعرض للأصوات الشديدة العالية من جهة أخرى.

يترافق انتشار موجة الصوت مع نقل في الطاقة من نقطة إلى أخرى من الوسط المادي، وذلك من خلال اهتزاز جسيمات الوسط حول موضع توازنها. يعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة التالية:

$$y(x,t) = A \times \sin(\omega \times t - k \times x) \qquad (1)$$

حيث y تمثل مقدار الإزاحة وتكون موازية لاتجاه انتشار الموجة كونها موجة طولية، A تمثل المطال (السعة) الأعظمي لاهتزاز جسيمات الوسط حول موضع توازنها وتقدر بالـ m و ω تمثل نبض الموجة حيث $\omega = 2\pi \times f$ وتقدر بالـ $rad \times s^{-1}$ و x تمثل فاصلة جسيمات الوسط بالنسبة لمستوى توازنها

وتقدر بالـ m و f تمثل تواتر الموجة حيث $f = \frac{1}{T}$ وتقدر بالـ s^{-1} أو بالـ Hz و T يمثل الدور

ويقدر بالـ s و k يمثل ثابت مرونة الوسط (ويدعى أيضاً بالعدد الموجي حيث $k=\frac{2\pi}{\lambda}$) ويقدر بالـ $rad\times m^{-1}$ و λ يمثل الطول الموجي، ويعبر عن المسافة المقطوعة في وسطٍ مادي خلال دور واحد ويقدر بالـ m. يرتبط طول الموجة λ بكل من تواتر الإصدار f والوسط المادي الذي تجتازه الموجة الصوتية بالعلاقة التالية: $\lambda=c\times T=\frac{c}{f}$

حيث c تمثل سرعة الصوت في الوسط المادي المعتبر وتقدر بالـ $m\times s^{-1}$

تجدر الإشارة إلى أن تواتر الصوت لا يتغير من وسط لآخر، والذي يتغير هو الطول الموجي نظراً لارتباطه بسرعة الصوت في الوسط الذي ينتشر فيه الصوت.

9. 2. سرعة الصوت The velocity of sound:

بناءً على التجارب التي قام بها العالم نيوتن تمكن من وضع علاقة رياضية عامة استطاع من خلالها حساب سرعة الصوت في أي وسط مادي وفق الصيغة التالية: $c=\sqrt{\frac{Y}{\rho}}$

حيث Y يمثل معامل مرونة الوسط المادي، و ρ تمثل كثافة الوسط المادي. ومن المعروف بأن الأوساط المادية التي من الممكن أن يجتازها الصوت هي ثلاثة: الغازات، السوائل، والأجسام الصلبة.

أ. الغازات The gases:

تتغير سرعة الصوت في الغازات نتيجة لعدة عوامل من بينها: نوع الغاز، درجة حرارته، وكذلك درجة رطوبته وذلك وفق العلاقة التالية: $c=\sqrt{\frac{\gamma\times P}{\rho}}$

حيث γ ثابت يعبر عن معدل الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت بالنسبة إلى الحرارة النوعية تحت حجم ثابت وتقدر قيمته بحوالي 1.67 في حال كان الغاز أحادي الذرة مثل غاز الهليوم والأرغون والنيون، و 1.4 في حال كان الغاز ثنائي الذرة مثل غاز الآزوت والأوكسجين والهيدروجين، وهو مستقل عن درجة الحرارة، و P يمثل ضغط الغاز. وفي حالة الغازات المثالية تؤول العلاقة إلى الشكل التالي:

$$c=\sqrt{\frac{\gamma\times R\times T}{M}}$$

حيث M الكتلة الجزيئية للغاز و T درجة الحرارة المطلقة للغاز و R ثابت الغازات العام.

وبناءً عليه نستنتج بأن سرعة الصوت في الغاز المثالي يتناسب طرداً مع الجذر التربيعي لدرجة الحرارة المطلقة للغاز، ويتناقص عكساً مع الجذر التربيعي للكثافة للغاز، وتزداد طرداً بازدياد درجة رطوبة الغاز فعلى سبيل المثال تنقص كثافة الهواء بازدياد درجة رطوبته.

ب. الأجسام الصلبة The solids:

تعطى سرعة الصوت بالعلاقة التالية: $c = \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$

حيث Y تمثل معامل يونغ للجسم الصلب ويقدر حسب الجملة الدولية بالـ $Pa \equiv N \times m^{-2}$ و ρ تمثل كثافة الجسم الصلب وتقدر حسب الجملة حسب الجملة الدولية بالـ $Kg \times m^{-3}$

9. 3. السرعة الاهتزازية أو السرعة اللحظية:

The vibrational velocity (or the instant velocity):

السرعة الاهتزازية أو السرعة اللحظية لجسيمات الوسط تختلف عن مفهوم سرعة الصوت، وهي بالتعريف عبارة عن مشتق تابع الحركة الجيبية بالنسبة للزمن، يرمز لها بالرمز v ويعبر عنها رياضياً بالصيغة الرياضية التالية:

$$v = \frac{dy}{dt} = A \times \omega \times \cos(\omega \times t - k \times x) \qquad (2)$$

9. 4. الضغط الصوتي The acoustic pressure:

الضغط الصوتي بالتعريف هو عبارة عن اضطراب موضعي للضغط المحدث نتيجة مرور الصوت، يرمز له بالرمز P كما يمكن التعبير عن الضغط الصوتي أيضاً بأنه عبارة عن الفرق في الضغط في أي نقطة من نقاط الوسط المهتز والضغط الجوي. يزداد الضغط الصوتي طرداً مع الكتلة الحجمية (الكثافة) للوسط المادي ρ وكذلك مع كل من سرعة الصوت c وسرعة الاهتزاز لجسيمات الوسط v ويعبر عن ذلك رياضياً بالصيغة التالية:

$$P = v \times \rho \times c \qquad (3)$$

ومن الممكن التعبير عن الضغط الصوتي كتابع جيبي بالعلاقة التالية:

$$P(x,t) = \rho \times c \times A \times \omega \times \cos(\omega \times t - k \times x) \qquad (4)$$

يمثل الحد $A \times \cos(\omega \times t - k \times x)$ مقدار الإزاحة عند اللحظة t والفاصلة x

باعتماد على العلاقة (4) نلاحظ بأن الضغط يبلغ قيمته العظمى P_{max} عندما يكون:

$$\cos(\omega \times t - k \times x) = 1$$

وبالتالي يمكن التعبير عن الضغط الأعظمي بالصيغة الرياضية التالية:

$$P_{max} = \rho \times c \times A \times \omega \qquad (5)$$

يقدر الضغط الصوتي بالجملة الدولية بالـ Pa

9. 5. الشدة الصوتية (شدة الصوت) The intensity of sound (loudness):

الشدة الصوتية (شدة الصوت) عند نقطةٍ ما بالتعريف هي عبارة عن مقدار الطاقة الصوتية المنقولة E في واحدة الزمن عبر واحدة المساحة S المحيطة بتلك النقطة وهي عمودية على اتجاه انتشار الموجة يرمز لها بالرمز I ويعبر عن ذلك رياضياً بالعلاقة التالية:

$$I = \frac{E}{S \times t} = \frac{P}{S} \qquad (6)$$

حيث: $P=\frac{E}{t}$ يمثل الاستطاعة الصوتية وتقدر حسب الجملة الدولية بالـ watt
تقدر E حسب الجملة الدولية بالـ J وتقدر S بحسب الجملة الدولية بالـ m^2
وتمثل t الفترة الزمنية اللازمة لعبور هذه الطاقة بشكلٍ عمودي على المساحة وتقدر بالـ s.
وتقدر I حسب الجملة الدولية بالـ $J\times m^{-2}\times s^{-1}\equiv watt\times m^{-2}$

كما يمكن التعبير عن الشدة الصوتية بالصيغة التالية: $I=P(x,t)\times v(x,t)$

بالتعويض نجد أن: $I=A^2\times\omega^2\times\rho\times c\times\cos^2(\omega\times t-k\times x)$

وعلى اعتبار أن القيمة الوسطية للتابع الجيبي $\cos^2(\omega\times t-k\times x)$ هي $\frac{1}{2}$ يمكننا عندئذٍ أن نعرف الشدة الصوتية الوسطية بالعلاقة التالية:

$$I=\frac{A^2\times\omega^2\times\rho\times c}{2} \qquad (8)$$

9. 6. سوية الشدة الصوتية (الدسيبل) The loudness level (the decibel):

تستطيع أذن الإنسان أن تستجيب بشكلٍ مريح إلى شدات صوتية تقع بين شدة صغرى نسميها عتبة السمع وشدة عظمى نسميها عتبة الإحساس بالانزعاج (الألم). ويوجد خارج هذا المجال الواسع أصوات كثيرة في محيطنا الطبيعي تكون غير مسموعة لنا أو لا يمكننا تحملها. تبلغ عتبة السمع $10^{-12}\ watt\times m^{-2}$ وعتبة الانزعاج (الألم) $1\ watt\times m^{-2}$ وذلك عند التواتر 1000 Hz وتتغير هاتين العتبتين بتغير التواتر. وتعد هذه القيم قيماً مرجعية في علم الصوتيات وبشكلٍ خاص عتبة السمع. وقد دلت الملاحظات العملية أن التغير في حساسية الأذن للأصوات المسموعة يعتمد على النسبة بين شدة هذه الأصوات وليس على الفرق بينها، وقد تم التعبير عن هذا التغير بما يسمى سوية الشدة الصوتية ويرمز لها بالرمز β. تستخدم سوية (رتبة) شدة الصوت بكثير من الأحيان بدلاً من شدة الصوت المطلقة وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\beta(d\beta)=10\times\ell og\frac{I}{I_o}$$

حيث $d\beta$ هي اختصار للدسيبل و I_o تمثل الشدة المرجعية (المعيارية) ومحددة بالقيمة $I_o=10^{-12}\ watt\times m^{-2}$ وذلك عند التواتر 1000Hz
وعليه فإن الصوت الذي مستوى شدته تساوي صفراً هو أدنى صوت من حيث الشدة يمكن للأذن البشرية سماعه.

9. 7. المعاوقة الصوتية The acoustic impedance:

المعاوقة الصوتية Z في نقطة من الوسط بالتعريف هي عبارة عن نسبة الضغط الصوتي P إلى السرعة الاهتزازية v للموجة الصوتية في تلك النقطة. كما يمكن التعبير عنها أيضاً بحاصل ضرب الكتلة الحجمية بسرعة الموجة الصوتية في الوسط وذلك وفق العلاقة التالية: $Z=\frac{P}{v}=\rho\times c$

تقدر المعاوقة الصوتية بالجملة الدولية بالـ $Kg\times m^{-2}\times s^{-1}$ أو rayl
تتميز المعاوقة الصوتية من وجهة النظر الفيزيائية بأنها تعبر عن طبيعة الوسط وهي تقابل المقاومة الظاهرية لانتشار الموجة فوق الصوتية.

9. 8. النوعية الفيزيولوجية للأصوات The physiological quality for sounds:

تتحدد النوعية الفيزيولوجية للأصوات بثلاث معايير أساسية هي: حدة (أو درجة) الصوت، جهورية الصوت، وطابع الصوت.

9. 8. 1. حدة (أو درجة) الصوت Pitch of the sound:

يتم بموجبها الحكم على الصوت فيما إذا كان غليظاً (خفيضاً) أو حاد. ترتبط حدة الصوت مباشرةً بتواتر الصوت، فبقدر ما يكون التواتر كبيراً بقدر ما يبدو الصوت حاداً (مرتفع) وبقدر ما يكون التواتر منخفضاً يبدو الصوت غليظاً (منخفض أو خفيض). يلعب الضغط الصوتي أيضاً دوراً في تعديل حدة الصوت حيث نجد أنه:
عند تواتر منخفض واستطاعة صوتية كبيرة يبدو الصوت أكثر غلظةً.
عند تواتر مرتفع واستطاعة صوتية كبيرة يبدو الصوت أكثر حدةً.

9. 8. 2. جهورية الصوت Loudness of the sound:

يقال بأن الصوت قوي أو ضعيف. وبالتالي فالجهورية ليست تعبير عن الشدة الفيزيائية للصوت وإنما تعبر عن الشدة الفيزيولوجية للإحساس الملاحظ. ترتبط الجهورية بشكلٍ أساسي بالاستطاعة الصوتية السطحية للصوت وبشكلٍ ثانوي بتواتر الصوت. وبذلك فكلما كانت شدة الصوت أعلى كلما كان تحسس الأذن به أقل وبالعكس. لذلك لا يوجد أي تناسب مباشر حتى من أجل تواتر موحد للاهتزاز بين جهورية الصوت وشدته.

9. 8. 3. طابع الصوت Timbre of the sound:

يسمح بالتمييز بين صوتين يملكان نفس الدرجة (الحدة) ونفس الجهورية، وذلك من خلال ما يلي: عند اهتزاز مصدر الصوت بتواتر (تردد) أساسي معلوم، فإنه بالإضافة إلى هذا التواتر سيصدر تواترات أخرى مصاحبة لها تسمى بالتوافقات وهي عبارة عن مضاعفات للتواتر الأساسي، فإذا اعتبرنا أن تواتر وتر آلة العود يساوي f فإنه عند اهتزازه، وبسبب الطريقة التي اهتز بها، سيصدر بالإضافة إلى تواتره الأساسي f توافقات مصاحبة بتواترات تأخذ القيم (2f، 3f ، ....)، وتسمى f بالنغمة الأساسية، والنغمة 2f التوافقية الأولى، والنغمة 3f التوافقية الثانية، وهكذا دواليك. ونتيجةً لذلك ستتشكل موجة جديدة مؤلفة من النغمة الأساسية والتوافقات الأخرى التي تختلف عن بعضها البعض في عددها وتواتراتها وأطوارها وسعاتها من آلةٍ إلى أخرى، وبالتالي سوف نحصل على شكل للموجة المركبة خاصة بهذه الآلة، يختلف عن أشكال أمواج باقي الآلات المساوية لها بالتواتر الأساسي. وهذا ما يعطي كل آلة سمة خاصة تدعى بطابع الصوت.

9. 9. توليد الأمواج فوق الصوتية Production of the ultrasound waves:

تستطيع التيارات المتناوبة توليد أمواج فوق صوتية وذلك بواسطة ظاهرتين: الأولى تدعى بالمغنطة والثانية تدعى بالكهرانضغاطية. تُستخدم الظاهرة الأولى فقط بتوليد أمواج فوق صوتية، في حين أن الكهرانضغاطية تترجم مبدأ الباعث والمستقبل في آنٍ معاً لبعض البلورات (الكوارتز مثلاً)، وتستخدم هذه الأخيرة في مجال الإيكوغرافي.

اكتشفت ظاهرة الكهرانضغاطية من قبل العالمين بيير وجاك كوري عام 1880. والفعل الكهرانضغاطي بالتعريف يعني تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية وبالعكس.
يمكن أن نُميّز بين نوعين من الأفعال الكهرانضغاطية هي: الفعل المباشر والفعل العكسي.

9. 9. 1. الفعل المباشر The direct effect:

يقود تطبيق ضغط ميكانيكي زائد على شريحة من الكوارتز مثلاً إلى ظهور شحنات كهربائية وبالتالي إلى ظهور فرق في الكمون الكهربائي.

9. 9. 2. الفعل العكسي The reverse effect:

يقود تهيّج شريحة من الكوارتز مثلاً بواسطة تيار كهربائي ذات تواتر (تردد) عالي إلى اهتزاز ميكانيكي للشريحة مولدةً بذلك موجة فوق صوتية.

ملاحظة Remark:

تهدف تقنيات الإيكوغرافي إلى استقبال الأمواج المنعكسة من قبل البلورة التي تلعب دور الباعث والمستقبل في آنٍ معاً على مختلف السطوح الفاصلة للأنسجة. والسطح الفاصل بالتعريف هو عبارة عن السطح الذي يفصل بين وسطين ذات مقاومة صوتية مختلفة.

9. 10. انعكاس وانكسار الأمواج الصوتية والأمواج وفوق الصوتية:

Reflection and refraction of the sound waves and ultrasound waves:

تتشابه الأمواج الصوتية وفوق الصوتية مع الأمواج الضوئية وتُطبق عليها نفس القوانين المستخدمة في الضوء الهندسي. لنفرض لدينا موجة فوق صوتية تسقط على حد فاصل حيث من الممكن ملاحظة ما يلي: قسم من هذه الموجة سوف ينعكس على الحد الفاصل بحيث يكون الانعكاس كبيراً بقدر ما يكون فرق المعاوقة بين الوسطين كبيراً. وبذلك يعتبر الحد الفاصل سائل – غاز أو نسيج – غاز غير قابل للاختراق من قبل الأمواج فوق الصوتية. لهذا تعتبر الاستكشافات الرئوية والمعوية مستحيلة بسبب عدم قدرة الأمواج فوق الصوتية من عبورها. والقسم الآخر من الموجة تنقل إلى الوسط الثاني عن طريق الانكسار مع وجود تخامد بحيث يكون هذا التخامد كبير بمقدار ما نبتعد عن الحد الفاصل أي أن:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{c_1}{c_2}$$

حيث c_1 و c_2 تمثلان سرعة الأمواج فوق الصوتية في الوسطين المعتبرين.

على فرض أن الأمواج موضوعة تحت زاوية ورود ناظمية (وهذا ما يحدث بالواقع)، وعلى فرض أن Z_1 و Z_2 هما المعوقتان الصوتيتان للوسطين المعتبرين، في هذه الحالة يمكن أن نعرف:

معامل الانعكاس الذي يرمز له بالرمز α_r بالعلاقة التالية:

$$\alpha_r = \frac{I_r}{I} = \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

وكذلك معامل النقل الذي يرمز له بالرمز α_t بالعلاقة التالية:

$$\alpha_t = \frac{I_t}{I} = \frac{4 \times Z_1 \times Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

حيث: $\alpha_r + \alpha_t = 1$

ملاحظة Remark:

في جميع مناقشاتنا السابقة اعتبرنا أن الشدة ثابتة أثناء الانتشار ولكن هذا غير صحيح بالواقع وذلك لاعتبار أن الأمواج فوق الصوتية وكذلك الصوتية تتخامد أثناء انتشارها وهذا عائد إلى ما يلي:

إن الطاقة الإجمالية الموزعة على الموجة لا تتبدل أبداً عندما يزداد سطح الموجة، وهذا يقود إلى أن الطاقة بواحدة المساحة للموجة تتغير تبعاً لقانون التربيع العكسي أي أن: $I \times x^2 = \text{constante}$

حيث I تمثل شدة الموجة في النقطة الموجودة على مسافة x من المُصدر.

يعبر عن تخامد الأمواج فوق الصوتية وكذلك الصوتية بالعلاقة التالية: $I = I_o \times e^{-\mu \times x}$

حيث I_o تمثل شدة الموجة عند المُصدر و μ تمثل معامل الامتصاص.

9. 11. الأمواج فوق الصوتية وتطبيقاتها The ultrasounds waves and their application:

تستخدم الأمواج فوق الصوتية في مجالات متعددة هي:

أ – في مجال البحث العلمي:

في قياس سرعة الصوت في السوائل والغازات.

في دراسة التركيب الكيميائي للمواد، وعامل امتصاصها، وحرارتها النوعية، وقابليتها للانضغاط.

ب – في مجال الصناعة:

في الكشف عن المعادن ومستوى السوائل في الخزانات (كسائل الهليوم).

في تنظيف الملابس الحريرية، وتنظيف وتعقيم الأواني التي يصعب تنظيفها بالطرق العادية.

في إزالة الضباب عن المطارات، وطرد الماء من الورق أثناء التصنيع.

ج – في المجال الطبي:

في التدليك وتهدئة آلام المفاصل والأمراض التنفسية.

في تحديد أماكن الأورام الخبيثة.

في الجراحة العصبية لتشخيص الأورام والخراجات في الدماغ.

في أمراض القلب للكشف والاستقصاء عن حركة جدران القلب وحتى عن حركة الصمامات (الصمام الجداري) واختلاف فتحاتها وتشوهاتها الخلقية. كما أمكن استخدام منبع خاص لهذه الأمواج على شكل مسبار للقيام بمسح فوق صوتي من داخل القلب.

في تشخيص الأمراض النسائية كأمراض المبيضين وأمراض الرحم (أورام أو أكياس مائية على سبيل المثال)، لمعرفة تعدد الحمل داخل الرحم، ولمعرفة وضعية الجنين وحجمه داخل الرحم، وكذلك لمعرفة التشوهات الخلقية فيه.

في تشخيص النزيف والأورام في الغدة الدرقية. وفي تشخيص أمراض الأنف والحنجرة وأمراض الكبد.

في العلاج لتفتيت الحصى في الكلية أو في المرارة أو في المثانة.

في الجراحة اللادموية.
في تحطيم الكائنات الدقيقة الضارة، وتدمير خلايا الدم، ووقف نشاط بعض الخلايا.
تشخيص النخر في الأسنان تجنباً لاستخدام الأشعة السينية والتي قد تكون مؤذية.
ونشير أخيراً إلى أن استخدام الأمواج فوق الصوتية يعتبر آمناً.

د – في مجال الزراعة:
في إبعاد الحشرات الضارة والطيور عن المزارع.
في الكشف عن أسراب السمك في البحار والمحيطات.

9. 12. مفتت الحصى Lithotripter:

يتكون مفتت الحصى من الأقسام التالية:
أ – منبع للطاقة.
ب – نظام يسمح بتبئير (محرقة) الأمواج ويستخدم لأجل ذلك عاكس نصف اهليلجي.
ج – وسط يسمح بنقل الأمواج إلى داخل جسم المريض.
د – نظام لتحديد موقع الحصاة، ويستخدم لأجل ذلك إما أجهزة تنظير شعاعية، وإما أجهزة تنظير تستخدم الأمواج فوق الصوتية وإما بالصور الشعاعية.
لقد عزز مفتت الحصى من شروط المعالجة الجراحية للحصى الكلوية إلى حدٍ كبير، فهو يسمح بتفتيتها بدءً من خارج الجسم وهو يعتمد إما على الأمواج فوق الصوتية وإما على أمواج الصدم (تتولد أمواج الصدم إما بالإنفراغ الكهربائي أو باستخدام ليزر ذات استطاعة عالية). تنقل هذه الأمواج عبر الماء وتُركز على الحصاة بعد تحديد موقعها وعندما تصطدم تلك الأمواج بالحصاة تنشطر هذه الأخيرة نتيجةً للطاقة المتحررة، وبتكرار هذه العملية عدة مرات تتفتت الحصاة إلى أجزاء صغيرة تتراوح أبعادها بين 2 إلى 3 مليمتر وتطرح بعد ذلك عن طريق التبول.
في الجيل الأول لأجهزة تفتيت الحصى كان انتشار أمواج الصدم يتم في حوض كبير يُغطس فيه المريض. أما أجهزة الجيل الثاني تعتمد أن يتم التماس بين الأمواج والمريض إما باستخدام كيس غشائي ممتلئ بالماء أو عن طريق حوض صغير يغمُر فيه المريض أسفل ظهره عند الناحية القطنية.
يسمح مفتت الحصى بمعالجة تحصيات الجهاز البولي والقناة الصفراوية، كما يوجد دراسات وأبحاث تختص بتأثير أمواج الصدم في الخلايا السرطانية حيث أجريت تجارب بهذا الخصوص على زراعات خلايا ميلانية (سرطان الجلد) لدى الإنسان، وكذلك خلايا سرطانية لدى الفئران. ونجم عن ذلك انخفاض قدرة الخلايا السرطانية على الحياة وقل معدل المستعمرة المتشكلة بدءً من هذه الزراعات بالنسبة لزراعات الشاهد.

9. 13. أثر (مفعول) دوبلر The Doppler effect:

أثر دوبلر بالتعريف هو عبارة عن التغير الظاهري في تواتر الموجة وفي طولها الموجي وذلك بسبب حركة المُصدر الصوتي أو المراقب (المستمع) أو حركة الاثنين معاً. ولتوضيح ذلك نتبع ما يلي:

ليكن لدينا مستمع (مراقب) يتحرك بسرعة v_L بالنسبة إلى مُصدر صوتي ثابت يبعث موجات صوتية بتواتر f_s وبسرعة صوت مقدارها v وبطول موجي $\lambda = \frac{v}{f_s}$ في هذه الحالة نلاحظ بأن التواتر الظاهري f_L الذي يتحسسه (يتلقاه) المستمع ينتشر بسرعة نسبية $v' = v \pm v_L$ يعطى بالعلاقة التالية:

$$f_L = \left(1 \pm \frac{v_L}{v}\right) \times f_s$$

تدل الإشارة الموجبة على أن المستمع (المراقب) يتحرك مقترباً من المُصدر الصوتي، في حين تدل الإشارة السالبة على أن المستمع (المراقب) يتحرك مبتعداً عن المُصدر الصوتي.

وكحالة عامة لنتصور المُصدر الصوتي يتحرك بسرعة v_s وسرعة صوت مقدارها v تحددها مواصفات الوسط (الهواء مثلاً) ولا تتغير تبعاً لسرعة المُصدر أو اتجاهه. وبالتالي فإن التواتر الظاهري الذي يتلقاه المستمع المتحرك بسرعة v_L بالنسبة إلى المُصدر الصوتي المتحرك يعطى بالعلاقة التالية:

$$f_L = \left(\frac{v \pm v_L}{v \mp v_s}\right) \times f_s$$

في حال كان المصدر والسامع يتحركان مقتربين من بعضهما في هذه الحالة تؤخذ الإشارة الموجبة في البسط والسالبة في المقام. أما في حال كانا يتحركان مبتعدين عن بعضهما البعض في هذه الحالة تؤخذ الإشارة السالبة في البسط والموجبة في المقام. وفي حال كان السامع يتحرك باتجاه المصدر الذي يتحرك بدوره مبتعداً عن السامع في هذه الحالة تؤخذ الإشارة الموجبة في البسط والموجبة أيضاً في المقام. وفي حال كان المصدر يتحرك باتجاه السامع الذي يتحرك بدوره مبتعداً عن المصدر في هذه الحالة تؤخذ الإشارة السالبة في البسط والسالبة أيضاً في المقام.

يستخدم أثر دوبلر في المجال الطبي من أجل تحديد سرعة الكريات الحمراء في الأوعية الدموية، وذلك كما يلي: على فرض أن سرعة الكريات الحمر هي V يمكن عند إذن كتابة صيغة دوبلر بالشكل التالي:

$$f_L = \left(\frac{v \pm V}{v \mp V}\right) \times f_s$$

وعلى فرض أيضاً أن $V < v$ في هذه الحالة يعطى التغير في التواتر Δf بحسب العلاقة التالية:

$$\Delta f = (f_L - f_s) \approx \pm \frac{2V \times f_s}{v}$$

وبالتالي فإن:

$$V = \pm \frac{v \times \Delta f}{2 f_s}$$

يستفاد من تحديد سرعة الكريات الحمر بأنها تنبئنا عن حالة الوعاء من حيث تصلبه أو سماكة جدرانه.

9. 14. أمواج الصدم The shock waves:

كما تعرفنا سابقاً أنه إذا تحرك مصدر الصوت في اتجاه ما فإن تواتر الأمواج الصوتية في أي نقطة أمامه سوف يزداد طبقاً للعلاقة:

$$f_L = \left(\frac{v}{v - v_s}\right) \times f_s$$

تتولد أمواج الصدم عندما يتحرك جسم في وسطٍ ما بسرعة تفوق سرعة الصوت في ذلك الوسط. تظهر هذه الأمواج على شكل نبضة قصيرة من رتبة النانو ثانية. أي أنه إذا اقتربت سرعة المصدر من سرعة الصوت في الهواء فإن قيمة التواتر الظاهري يقترب من اللانهاية. وهذا يعني أن عدداً كبيراً من الأمواج قد تجمع في مدى قصير، وهذا يحدث عندما تتحرك الطائرات السريعة في الهواء بسرعة قريبة من سرعة الصوت، فإن الموجات الصوتية ذات الطاقة الكبيرة نسبياً الناتجة عنها تتجمع مكونةً ما يسمى بالموجة الصدمية. وهي عبارة عن عدد كبير من الموجات تتجمع في زمن قصير مسببةً تركيزاً للطاقة الصوتية يمكن أن تسبب تدميراً شديداً عند اصطدامها بشيءٍ ما، ويعتمد ذلك على شدة الأمواج المكونة لها. وإذا ما اصطدم سطح الموجة الصدمية بالأرض يحدثُ ما يعرف بدوي اختراق حاجز الصوت.
تتخامد أمواج الصدم بسرعة عندما تنتشر في الماء أو في نسيج الجسم.

إضافات مدرس المقرر