الدرس الأول: مفهوم الصوت Concept of Sound

هو مفهوم يطلق على الادراك السمعي للاهتزازات vibration كما يطلق فيزيائياً على الاهتزازات ذاتها. معظم مفاهيم علم السمعيات تقوم على الربط بين هذين المفهومين الفيزيائي والإدراكي. مثلاً تخطيط السمع audiometry يربط بين بدء الإحساس وتواتر شدة الصوت كذلك المعينات السمعية hearing aids تعمل على مبدأ تمييز الكلام اعتماداً على الخصائص الفيزيائية للإشارة الكلامية مقارنة بخلفية الضجيج back ground noise. بشكل عام عندما نتحدث عن الصوت فإننا ضمناً نعبر عن مفهوم الاهتزاز على تواترات محددة مسموعة في الأذن البشرية والتي تتراوح بين 20 و 20.000 هرتز ولكن المجال الواقعي المسموع لهذه التواترات غير محدد بشكل دقيق.

يعتمد الحد الأعلى للمجال التواتري المسموع على الشخص نفسه و هو يتناقص بشدة مع التقدم في السن. عادة لا يمكن سماع النغمات tones التي تفوق الحد الأعلى لاستماع الأذن البشرية في حين يمكن أحياناً سماع نغمات ذات تواترات أخفض قيلاً من الحد الأدنى للتوترات المسموعة . عندما ينخفض التواتر أقل من 15 هرتز يفقد الصوت طبيعته النغميه tonal وتسمى الأصوات تحت هذا الحد بـ: تحت الصوتية infra sound ، تستخدم هذه الأمواج تحت الصوتية في بعض المواضع كالرمي الحربي وتفيد في تحديد مواقع العدو. أما الأصوات التي يفوق تواترها الـ 10000 هرتز وتلك التي تفوق حد استماع الأذن البشرية تسمى ما فوق الصوتية ultrasound ولها تطبيقات عددية طبيعية وصناعية.

عندما يهتز جسم ما فإنه يسبب اضطراب في ذرات الهواء حيث يتجمع هذا الاضطراب على شكل موجه صوتية. يسمى الجسم المهتز المصدر (source)، والمكان الذي تتواجد فيه الموجه الصوتية يسمى حقل الصوت sound field. تنتقل الموجة الصوتية في الهواء في السطح المماس للمصدر بشكل موازي لجهة اهتزاز المصدر حيث أنه عندما تطبق قوة الاهتزاز على سطح الهواء المواجه للمصدر فإنه الموجة الصوتية تنتقل بفعل عوامل الانضغاط والتخلخل في ذرات الهواء والتي تتأثر بكتلة هذه الذرات الذاتية inertia و أيضاً بمرونتها للانضغاط والتخلخل elasticity. يتأخر حدوث الانضغاط والتخلخل في ذرات الهواء بشكل يتناسب مع بعدها عن مصدر الاهتزاز.

يترافق حدوث الانضغاط و التخلخل مع ازدياد وانخفاض في الضغط نسبياً لذلك الموجود في عينات الصوت والذي يسمى الضغط السكوني static pressure ويكون عادةً مساوياً للضغط الجوي الطبيعي . في حين يسمى الضغط المتموج بضغط الصوت sound pressure والذي يعتبر من أهم تطبيقات الصوت .إنه يمثل المدخل الفيزيائي الذي يشكل أساس السمع عند الإنسان وعند كل الحيوانات التي تمتلك حاسة السمع وهو خاصية الصوت التي تم كشفها من خلال الميكروفونات microphones (معظمها إن لم يكن جميعها) هو خاصية الصوت التي تولده حيث أن تبدل الضغط يحمل نفس تواتر الصوت. ويعطي تبدلها مع الزمن شكل موجة الضغط الخاصة بالصوت pressure wave form of sound والتي تعبر عن علاقة ضغط الموجه الصوتية نسبة للضغط الجوي على شكل تابع جيبي في ذرى وقعر متتالية يمكن رسمها باستخدام راسم الاهتزاز oscilloscope.

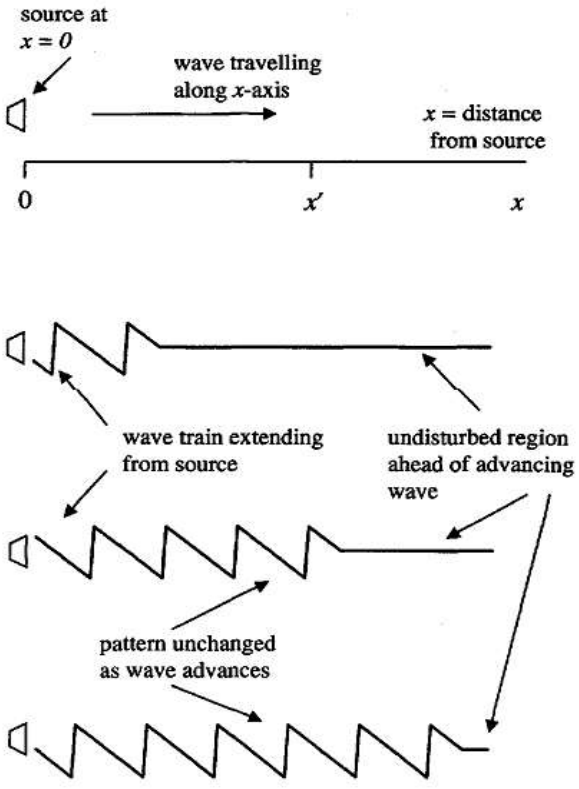
جزيئات الصوت Sound Particles

للتعرف أكثر على طبيعة الصوت سنركز أكثر على وصف الاهتزازات في الهواء والناجمة عن الصوت. قد يكون ذلك معضلاً قيلاً بسب ان الهواء غير مرئي و أن هذه الحركة تختلف من مكان للآخر. في الحقيقة في دراسة الصوت نحن لا نهتم بحركة الهواء ككل و إنما بهذه الاهتزازات الموصفة التي تسب الموجة الصوتية. يمكن حل هذه المعضلة من خلال تصور أن الهواء يتألف من جزيئات particles تهتز استجابة لانتقال الصوت. وهنا يختلف مصطلح الجزيئات particlesعن مفهوم الجزئي molecule. حيث أن الجزيء في الصوتيات هو قطعة صغيرة جداً من الهواء تستجيب للاهتزاز بفعل الصوت ،لا يعتبر جزيء الهواء جزيئاً مادياً موجود واقعاً و لكنه مفهوم ذهني يفيد في فهم ماهية انتقال الصوت. لا يمكن تحديد شكل وحجم هذه الجزيئات و إنما المتطلب الوحيد هو أن يكون حجمها صغيراً جداً نسبة لطول موجة الصوت wavelength. لا تتحرك هذه الجزيئات بشكل عشوائي مع الطاقة الحرارية كما باقي الجزيئات الفيزيائية، إنما تبقى حركتها محددة كلياً باهتزازات الصوت. إذا تخيلنا نقطة معينة من الحقل الصوتي يمكن تصور حركة هذه الجزيئات مع الزمن نسبة لنقطة أو موضع ثابت . يمكن توصيف حركة هذه الجزيئات بالمصطلحات التالية: السرعة velocity . التسارع acceleration وهكذا . وهناك مصطلحات أخرى كإزاحة الجزيئات particle dis placement ، سرعة الجزيئات particle velocity، تسارع الجزيئات particles acceleration.

الأمواج الصوتية sound waves

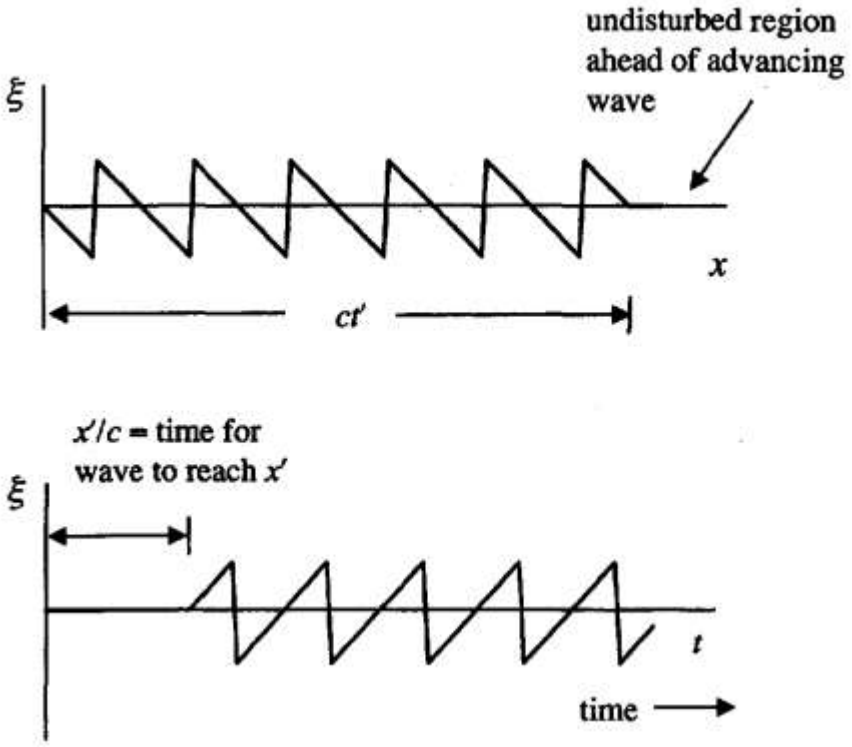
الموجه الصوتية هي تركيب رياضي ذهني يصف إزاحة جزيئات الصوت بالنسبة للزمن والمكان ضمن حقل الصوت. تختلف الموجه الصوتية عن غيرها من الأمواج كموجة سطح الماء والتي تكون مرئية عادةً في نقاط عدة أحدها: أنه في لحظة تكون الإزاحة العمودية للموجه عبارة عن تتالي من الذرى rise و القعر fall نسبة للسطح غير المضطرب و الثانية يتمثل بالحركة المبتعدة عن المصدر ككل وذلك بسرعة ثابتة. حيث أنه قد يتحرك جسم طاف يعلى سطح الماء للأعلى و الأسفل مع الأمواج دون أن يبتعد في حين أن الجزيئات الصوتية تستجيب للاهتزازات بأحد شكلين الأول متحرك وتسمى الأمواج المتقدمة progressive waves و الآخر يبقى ثابتاً مكانه ويسمى بالأمواج الواقفة standing waves. يمكن تعريف حركة الموجه من خلال دراسة تبدل الإزاحة نسبة للموضع والزمن ، هذا النموذج يسمى بالنموذج الزمني temporal والمكاني spatial. حيث تكون سرعة الموجه الصوتية عادة مستقلة عن تواترها.

مثال: في الشكل المرفق يمكن تصوير بدء حركة الموجه الصوتية من المنبع و باتجاه ثابت عبر المحورX نلاحظ عند فواصل زمنية متتالية تقدم الموجه الصوتية بعيداً عن المنبع دون حدوث تغيير في شكل و نموذج الموجه .wave pattern.



الشكل 1: تمثيل تقدم الموجة الصوتية خلال الزمن

في الشكل 2 نلاحظ تمثيل حركة الموجة الصوتية بطريقتين، في المخطط الأعلى نلاحظ ترسيم الموجة الصوتية نسبة للمسافة أي بتم تمثيل تقدم الموجة الصوتية من خلال تبدل بعد حركة الموجة عن المصدر. وفي المخطط الأسفل يتم الترسيم نسبة للزمن وفيه يتم تمثيل نموذج حركة الموجة على محور الزمن.



الشكل 2: تمثيل الموجة الصوتية زمانيا ومكانيا.

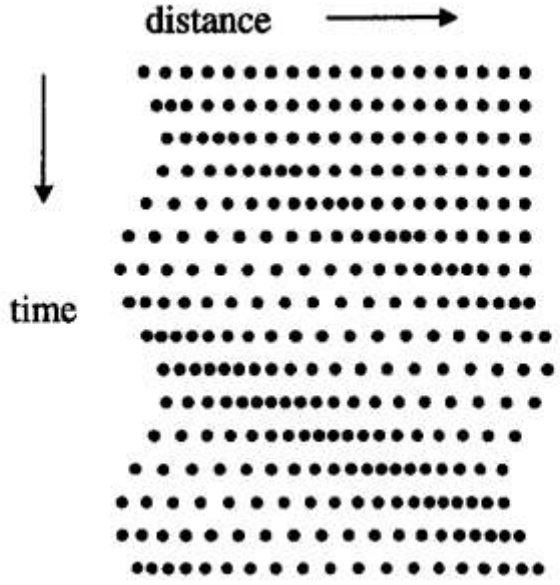
من الشكل نستنتج مقادير هامة للتعبير عن حركة الموجة الصوتية وهي اختلا المسافة او المسافة المقطوعة Δx وأيضا فرق الزمن Δt أو المسافة التي قطعتها الموجة الصوتية وبناء عليه يمكن تعريف سرعة الموجة الصوتية وفق العلاقة المعروفة: السرعة = المسافة المقطوعة/ الزمن

$$V = \Delta x / \Delta t$$

تسمى هذه الإزاحة المنتقلة على محور X بالموجة الطولانية Longitudinal wave والتي تعتبر الموجة الصوتية أهم مثال عليها. في حين تسمى الإزاحة على المحور العمودي Y بالأمواج العرضية Transverse Wave وتعتبر الأمواج المتشكلة على سطح الماء احد أمثلتها.

الموجة الصوتية الطولانية: وفيها يتم تحريك الجزيئات الصوتية باتجاه واحد بعيدا عن المصدر كالموجة الصوتية في الأوساط الغازية والسائلة. وهنا تتمثل مرونة الوسط Elasticity بقابلية جزيئات الهواء على الانضغاط والتخلخل.

الموجة الصوتية العرضية: يمكن حدوثها في الأوساط الصلبة، حيث أن مولد الاهتزاز يسبب شدا أو ضغطا في جزيئات الوسط الصلب (Shear) دون تغير في الحجم ينجم عنه انتشار للموجة الصوتية بشكل عرضي عبر الوسط. يعتبر معامل الضغط الحاصل Shear factor مقابلا لمرونة الوسط الغازي وهو بالنسبة للهواء يعتبر معادلا للصفر وهذا هو سبب عدم تشكل الامواج العرضية في الهواء.

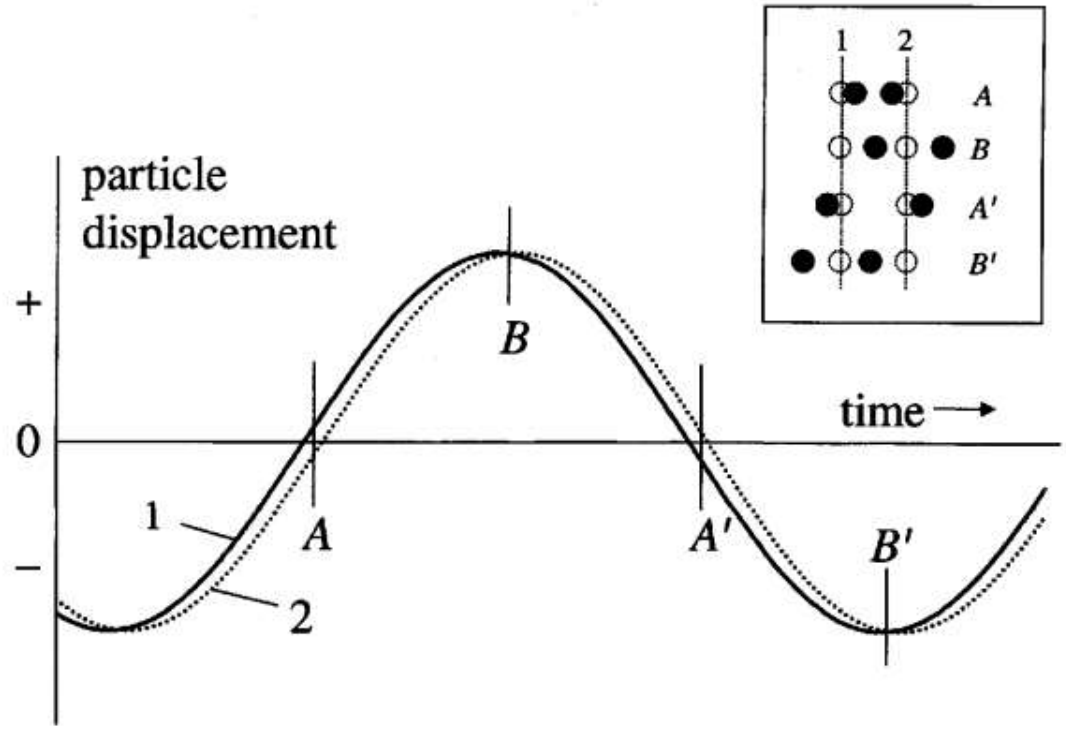


الشكل 3: تمثيل حركة جزيئات الصوت في الموجة الطولانية عبر الزمن

للمساعدة في تصور انتقال الأمواج الطولانية للصوت تم تمثيل حركة نغمة صافية Pure-tone وهي عبارة عن تابع جيبي. في الشكل 3 تم تمثيل حركة جزيئات الصوت حيث يظهر تبدل الموضع بعيدا عن المصدر من اليسار إلى اليمين وتبدل الزمن ممن الأعلى إلى الأسفل. كل سطر من النقاط يعبر عن تموضع الجزيئات في لحظة معينة. السطر الأعلى يظهر حالة السكون ثم تتالى وضعيات الانضغاط والتخلخل مسبة الانزياح من اليسار إلى اليمين وذلك عبر الزمن أي عند الانتقال من الأعلى إلى الأسفل (كما هو موضح في الخطوط الأدنى). هذا التبدل يعبر عن الحركة الطولانية للموجة الصوتية بعيدا عن المصدر عبر الزمن. بالتالي كل جزيء ينتظر دوره في الحركة ليتحرك ثم ينقل الحركة إلى الجزء المجاور لينطلق في حركته وهكذا دواليك. وتكون النتيجة تشكل مناطق تتقارب فيا الجزيئات نسبة لوضع الراحة وتسمى مناطق الانضغاط Compression وتليها أو تسبقها مناطق تتباعد فيها الجزيئات نسبة لوضع الراحة وتسمى مناطق التخلخل أو الانبساط Expansion- Rarefaction ويتم تحديد سرعة حرجة الجزيئات نسبة لمواضع الانضغاط والتخلخل أو الراحة.

لمزيد من التوضيح يمكن تشبيه حركة الجزيء الصوتي الواحد بحركة النابض الذي يكون ساكنا في أعظم إزاحة له (أقصى تمطيط) ويتحرك بجهة معاكسة لجهة تمطيطه بسرعة متزايدة تبلغ ذروتها عند مروره بوضع الراحة خاصته. بالمقابل تكون الجزيئات الصوتية في أعظم تغير في المسافة بينها (انضغاط أو تخلخل) عندما تكون السرعة عظمى في حين تكون السرعة معدومة عندما تكون المسافات بينها مساوية لوضع الراحة.

في الشكل 4 رمزنا تابعين جيبيين لجزيئين صوتيين متحركين 1 و2 وهما متطابقان في نموذج الحركة ومختلفان عن بعضهما بفاصل زمني قصير جدا حيث أن تابع حركة الجزيء 2 متأخر قليلا عن لتابع 1. يمثل هذا التابعان اهتزاز جزيئين صوتيين في أحد السطور بالشكل السابق.



الشكل 4: تمثيل إزاحة جزيئين صوتيين متجاورين في موجة طولانية

عند النقاط A و À عندما تكون الجزيئات قريبة من وضع توازنها نجد أن المنحنيين يكونان في أعظم تباعد عمودي لهما.أي أن الفرق في الإزاحة أعظمي. في النقطة A تكون إزاحة التابع 1 باتجاه تجمع الموجه (لليمين) في حين إزاحة التابع 2 تكون بالجهة المعاكسة. و بالتالي فإن الجزيئان يكونان متقاربان من بعضهما عند هذه النقطة من الدورة و هذا يمثل انضغاط أعظمي ويمثل وجود ضغط أعظمي للصوت بينما يحدث العكس عند النقطة À حيث يمثل الانبساط الأعظمي.

بالمقابل عند النقطة B`,Bحيث يصل الجزيئات إلى أعلى إزاحة لهما بعيداً عن وضع الراحة يكون للجزيئات نفس نسب التباعد فيما بينهما كما هو في وضع الراحة فهما لا يمثلان لا انضغاط ولا انبساط و بالتالي يكون الضغط في هذه اللحظة معدوماً. وبالتالي يكون الضغط في هذه اللحظة معدوماً. وبالتالي نلاحظ أنه عند النقاط À,A تكون السرعة عظمى وعند النقاط B`,B تكون السرعة مساوية للصفر .

ملاحظة : في الأمواج الجيبية البسيطة غير المركبة يكون ضغط الموجه الصوتية وسرعة الجزيء متساويان في الطور phase أي أن أعظم سرعة تتوافق مع أعظم تبدل في الضغط. حيث أن الضغط موجباً عندما تتوافق جهة حركة الجزيء مع جهة الموجة كما في النقطة A و يكون سالباً عندما يتعاكسان في الجهة كما في À.