جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية
قسم السمعيات

Acoustics & Psychoacoustics

مقدمة في علم الصوت

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology

March 2023

مفهوم الصوت Concept of Sound

- الصوت 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 وشدة 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 ويختلف حسب العمر وسلامة الجهاز السمعي.

مفهوم الصوت Concept of Sound

- 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 قليلاً 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 ultrasoundولها تطبيقات عديدة طبيّة وصناعية.

مفهوم الصوت Concept of Sound

- 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.

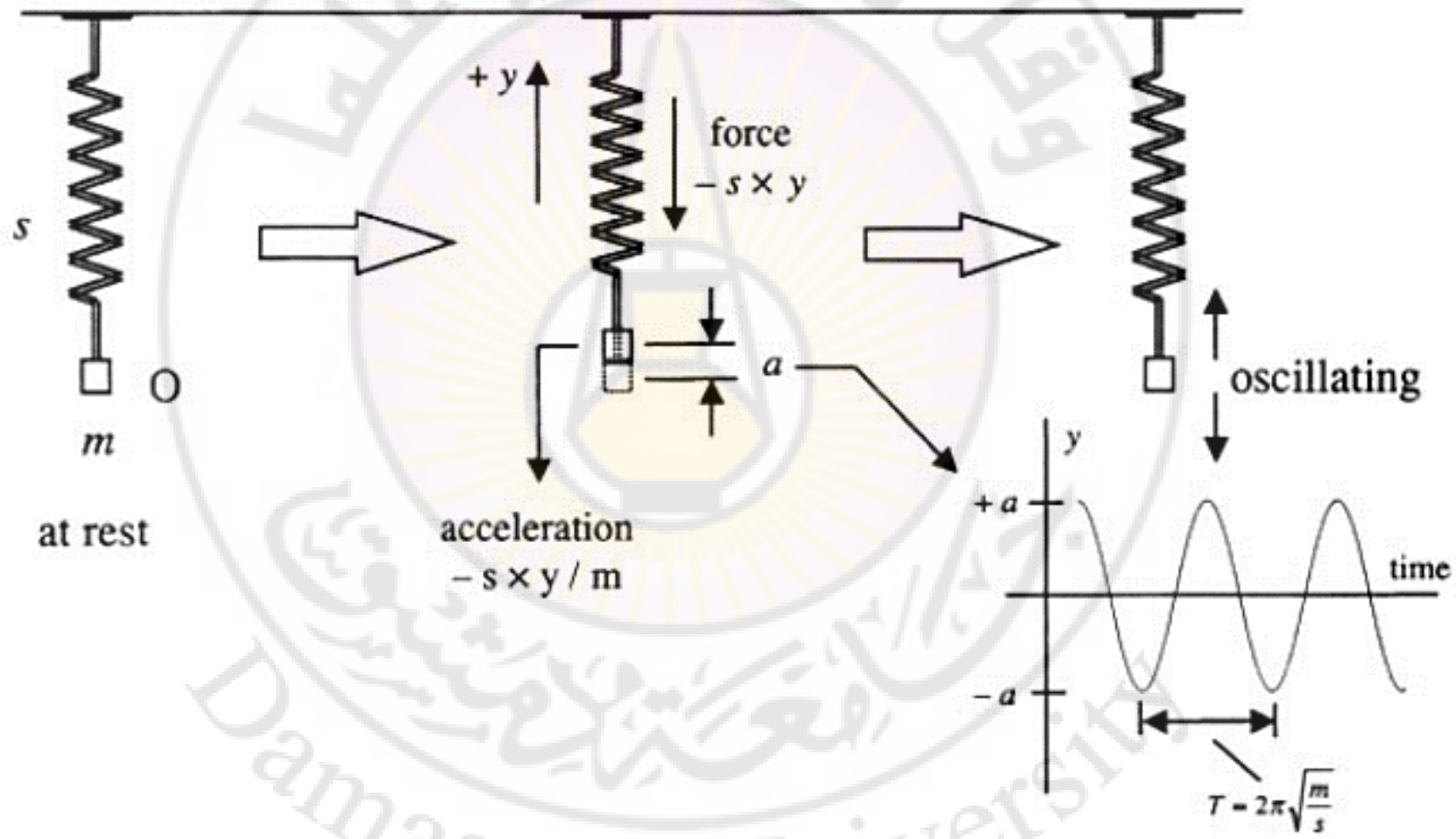
مفهوم الصوت Concept of Sound

- 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.

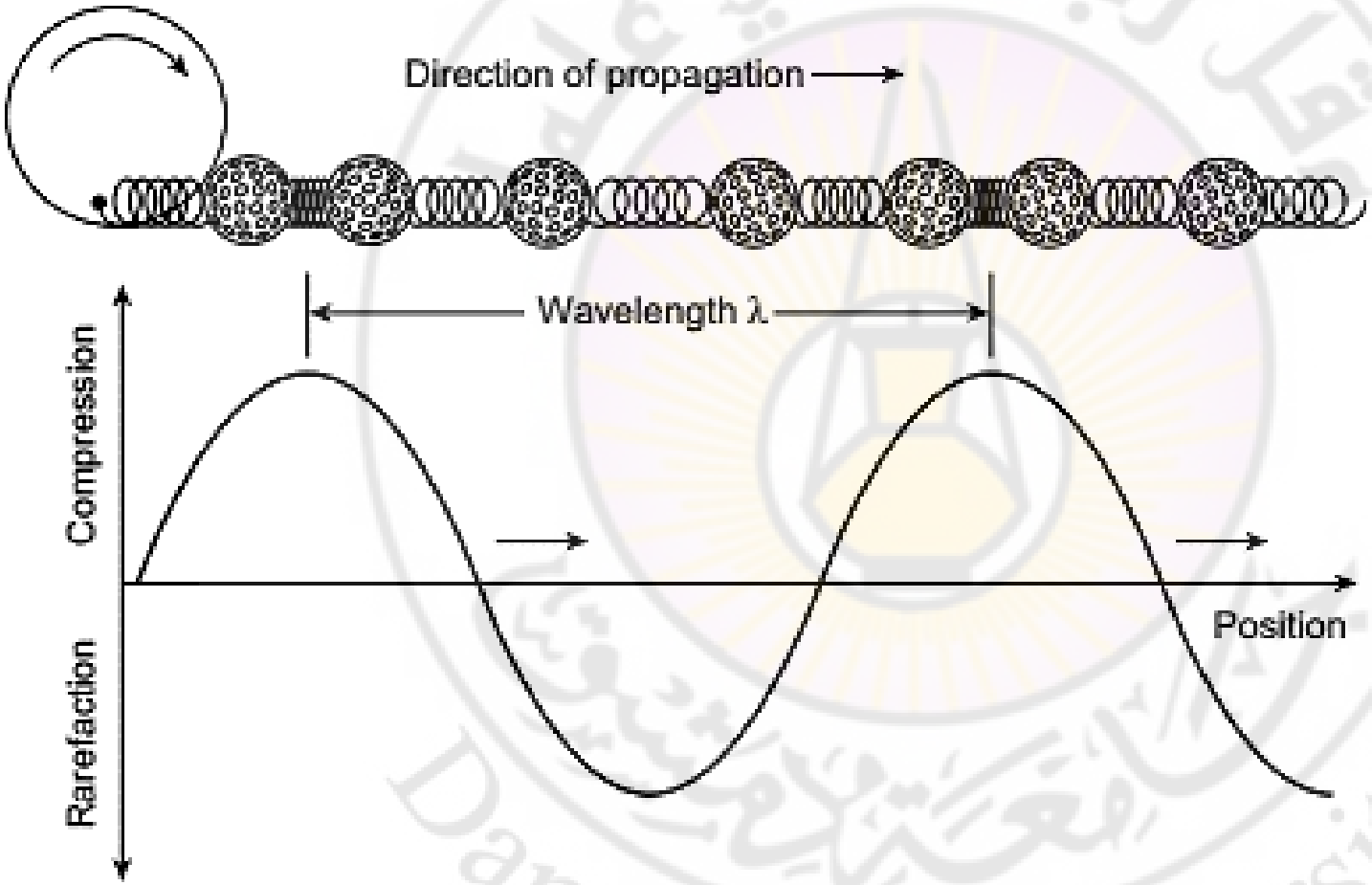
- في حين يسمى الضغط المتموج بضغط الصوت sound pressure والذي يعتبر من أهم تطبيقات الصوت .

- 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.

- ضغط الصوت 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.

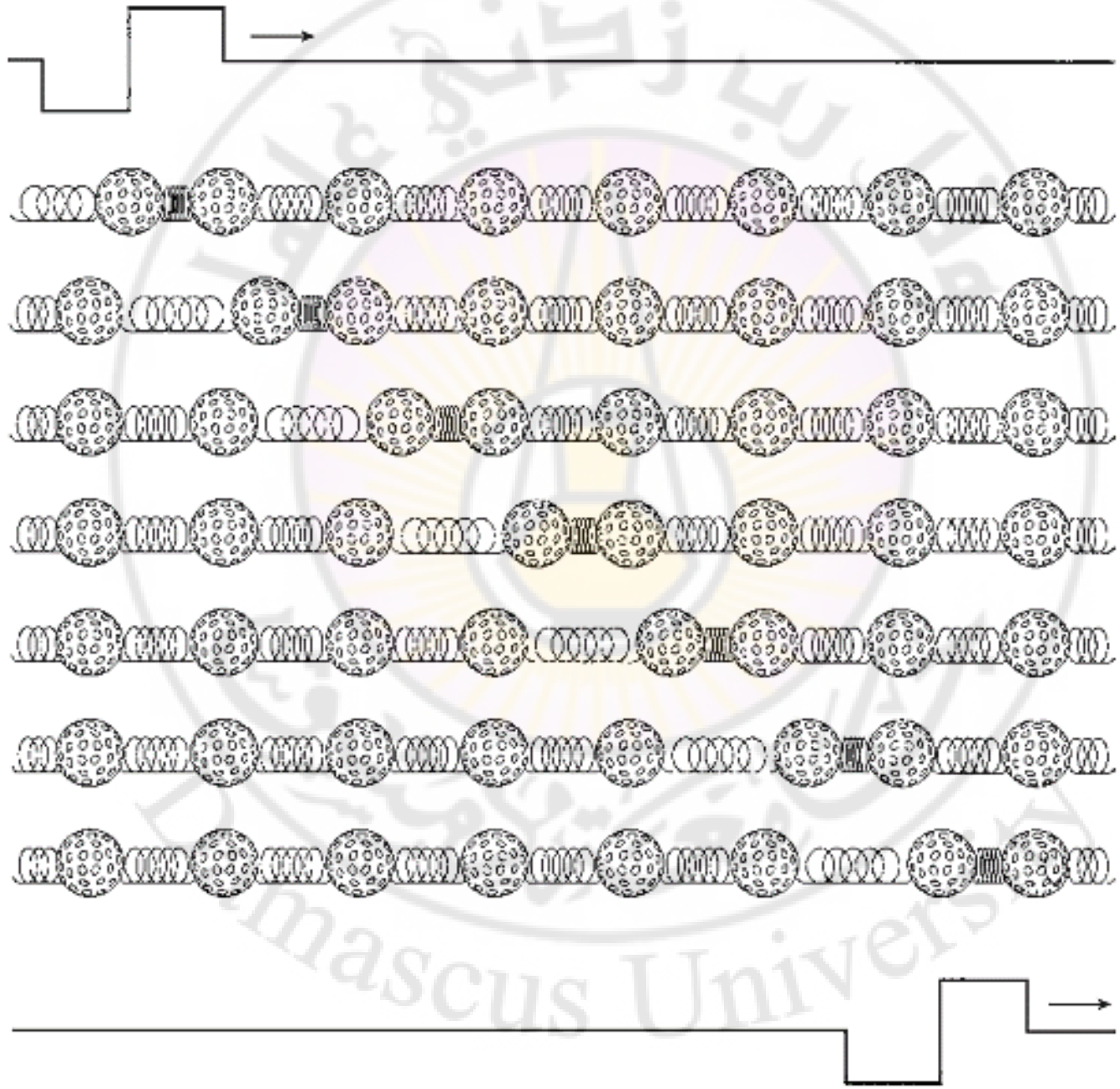


Damascus University



The Wavelength of Propagating Sine Wave

Damascus University



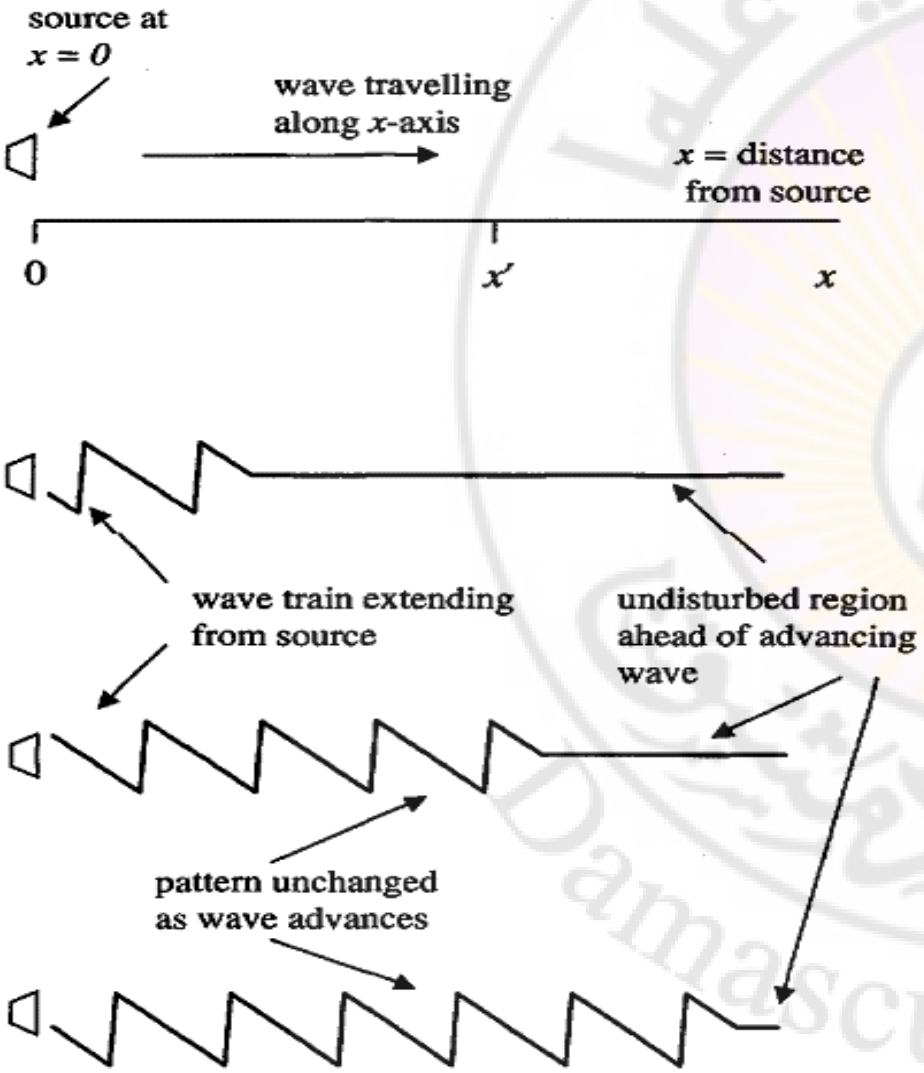
جزيئات الصوت Sound Particles

- للتعرف أكثر على طبيعة الصوت يجب وصف الاهتزازات في الهواء والناجمة عن الصوت. قد يكون ذلك معضلاً قليلاً بسبب ان الهواء غير مرئي و أن هذه الحركة تختلف من مكان للآخر.
- في دراسة الصوت نحن لا نهتم بحركة الهواء ككل و إنما بالاهتزازات الموصوفة التي تسب الموجة الصوتية.
- يمكن حل هذه المعضلة من خلال تصور أن الهواء يتألف من جزيئات particles تهتز استجابة لانتقال الصوت.
- هنا يختلف مصطلح الجزيئات particles عن مفهوم الجزيء molecule. حيث أن جزيء الصوت هو قطعة صغيرة جداً من الهواء تستجيب للاهتزاز،لايعتبر جزيء الهواء جزيئاً مادياً موجود واقعاً ولكنه مفهوم ذهني يفيد في فهم ماهية انتقال الصوت.
- لا يمكن تحديد شكل وحجم هذه الجزيئات، إنما المتطلب الوحيد هو أن يكون حجمها صغيراً جداً نسبة لطول موجة الصوت.
- 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: السرعةvelocity، 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 على 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.

الأمواج الصوتية sound waves

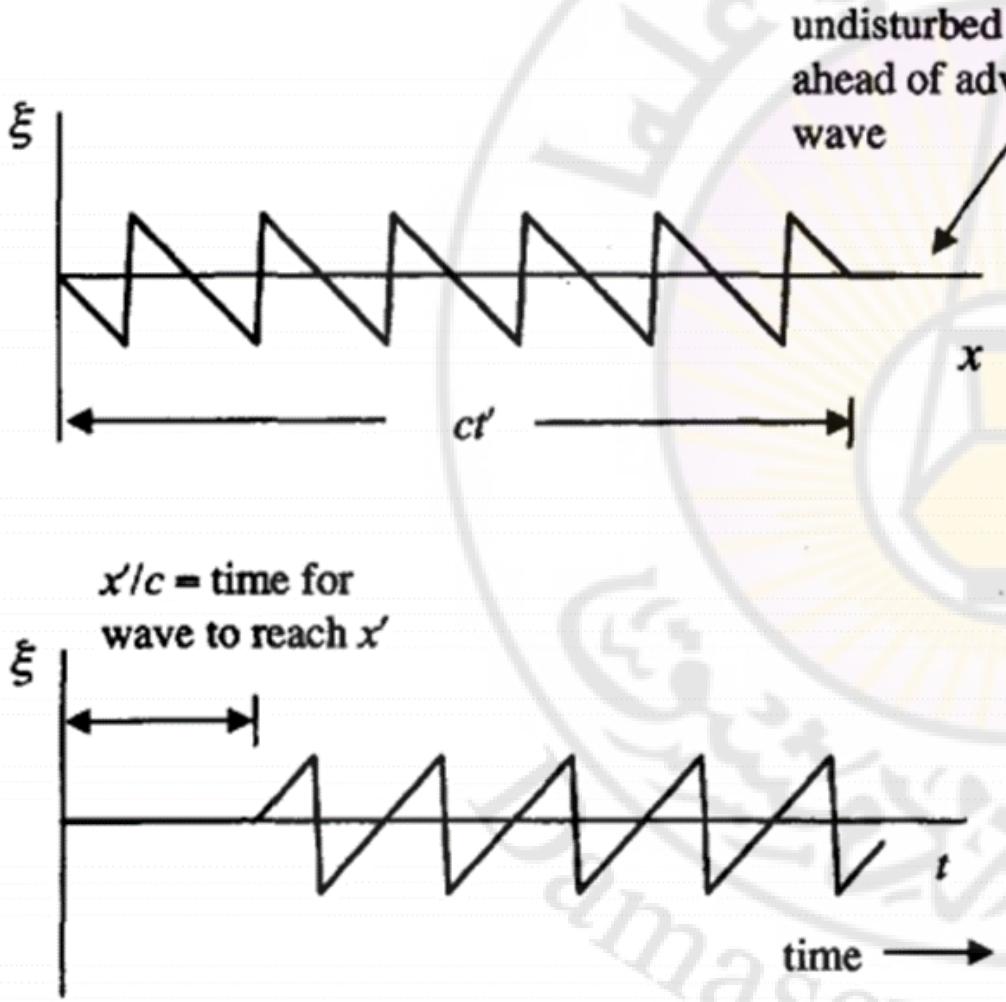


مثال: في الشكل المرفق يمكن تصوير بدء حركة الموجه الصوتية من المنبع و باتجاه ثابت عبر المحورX نلاحظ عند فواصل زمنية متتالية تقدم الموجه الصوتية بعيداً عن المنبع دون حدوث تغيير في شكل و نموذج الموجه .wave pattern.

تمثيل تقدم الموجة الصوتية خلال الزمن

Damascus University

الأمواج الصوتية sound waves



تمثيل الموجة الصوتية زمانيا ومكانيا.

- في الشكل المرافق 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.

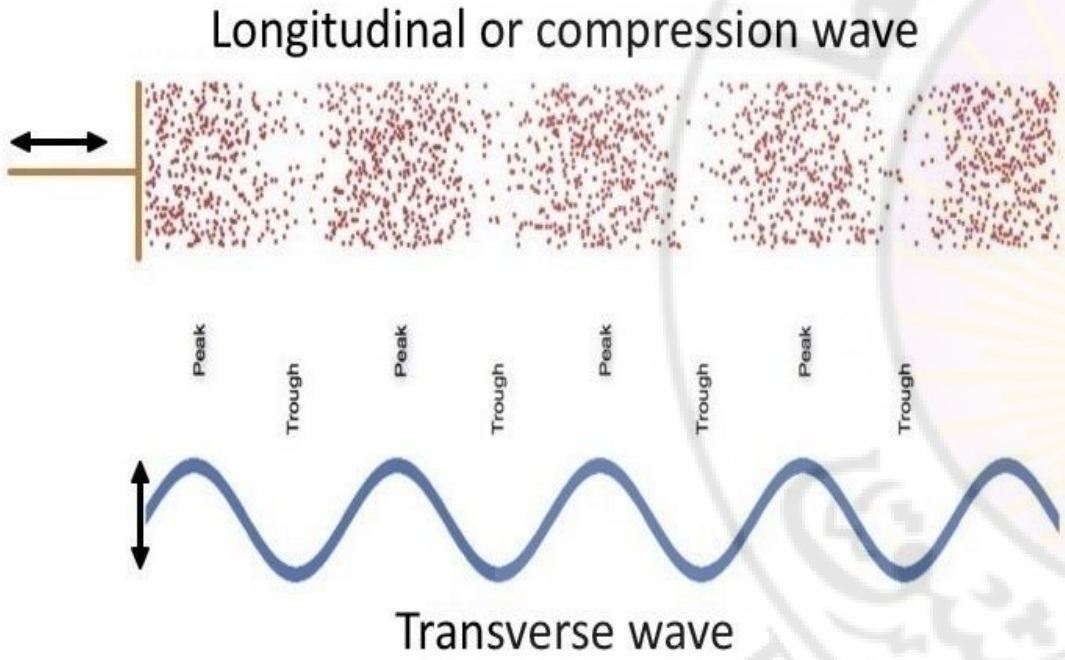
الأمواج الصوتية sound waves

- من الشكلين السابقين نستنتج مقادير هامة للتعبير عن حركة الموجة الصوتية وهي اختلال المسافة أو المسافة المقطوعة Δ_χوأيضا فرق الزمن Δt أو المسافة التي قطعتها الموجة الصوتية وبناء عليه يمكن تعريف سرعة الموجة الصوتية وفق العلاقة المعروفة: السرعة = المسافة المقطوعة/ الزمن

$$\mathcal{V} = \Delta^{\chi}/\Delta t$$

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.

أنواع الأمواج الصوتية

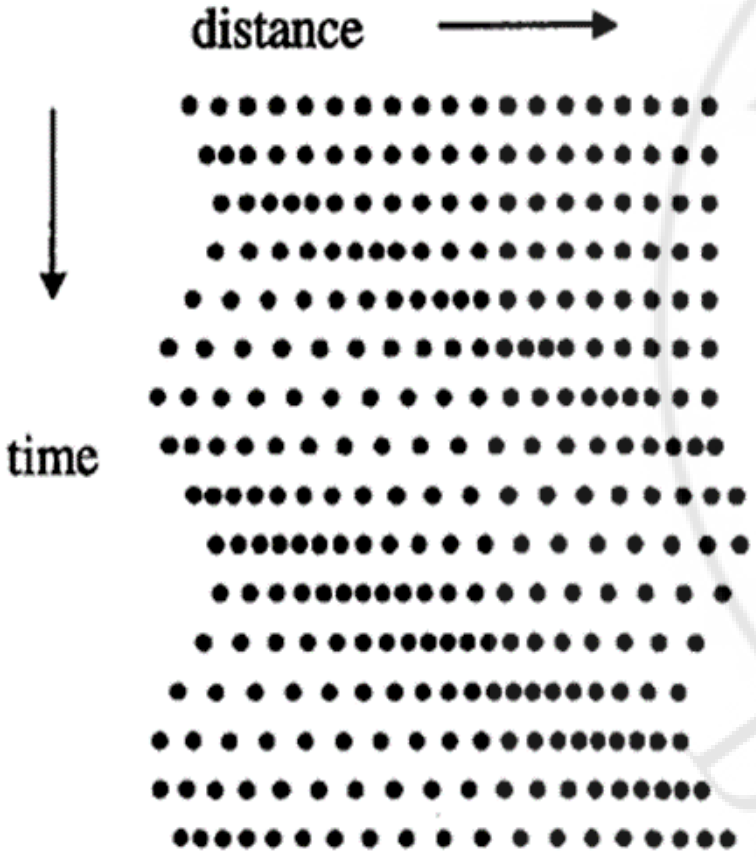


- **الموجة الصوتية الطولانية**: وفيها يتم تحريك الجزيئات الصوتية باتجاه واحد بعيدا عن المصدر كالموجة الصوتية في الأوساط الغازية والسائلة. وهنا تتمثل مرونة الوسط Elasticity بقابلية جزيئات الهواء على الانضغاط والتخلخل.

- **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.

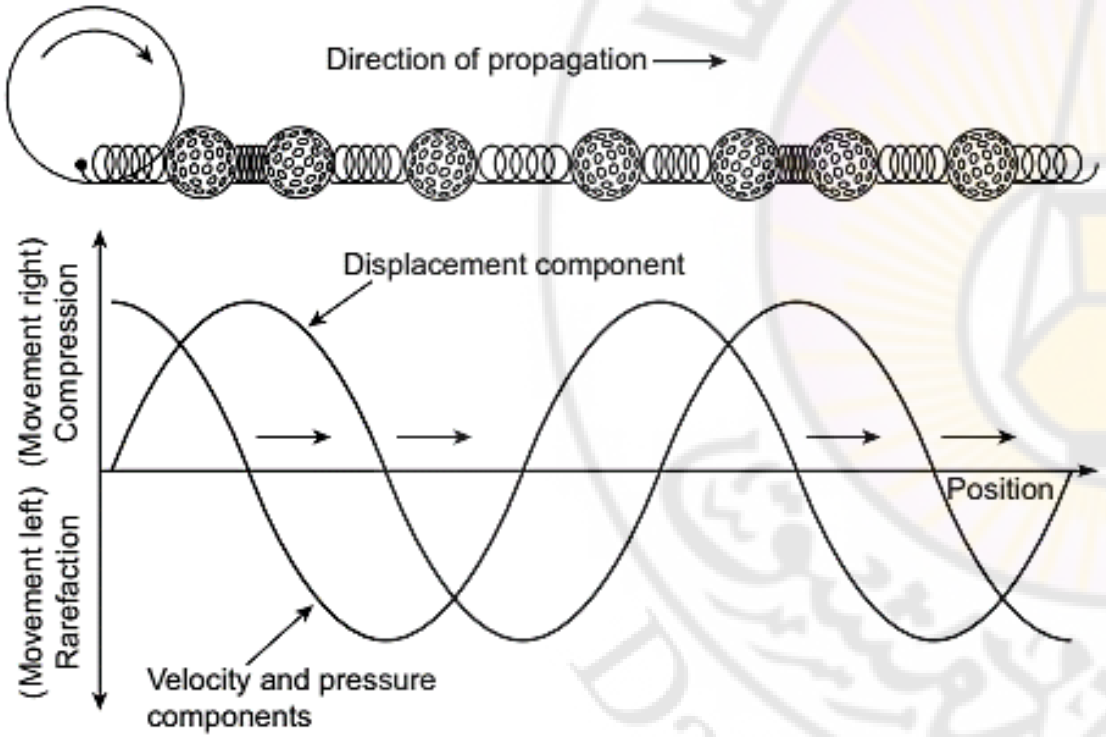
Damascus University

الموجة الصوتية الطولانية



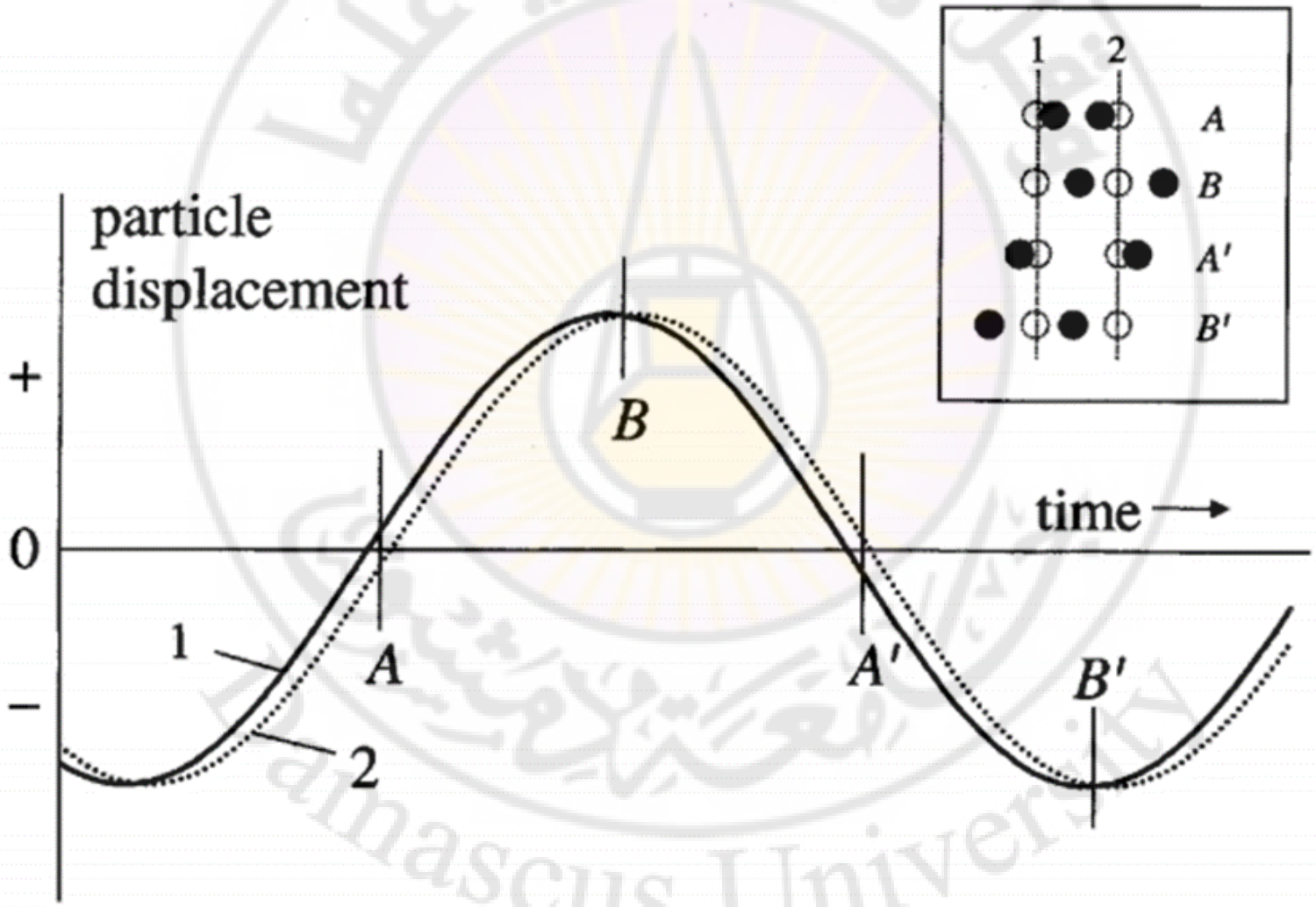
- للمساعدة في تصور انتقال الأمواج الطولانية للصوت تم تمثيل حركة نغمة صافية Pure-tone وهي عبارة عن تابع جيبي.
- في الشكل المجاور تم تمثيل حركة جزيئات الصوت حيث يظهر تبدل الموضع بعيدا عن المصدر من اليسار إلى اليمين وتبدل الزمن ممن الأعلى إلى الأسفل. كل سطر من النقاط يعبر عن تموضع الجزيئات في لحظة معينة.
- 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.

الموجة الصوتية الطولانية



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.

مجالات حركة الجزيئات الصوتية



أي سؤال؟

الدرس الثاني: خصائص الموجة الصوتية: التواتر، السرعة، الضغط، وشدة الصوت

أولا: التواتر، السرعة، وطول الموجة Frequency, Velocity, and Wavelength

فيزيائيا تعتبر هذه المفاهيم شائعة والعلاقة بينها واضحة. أما في السمعيات فإننا نتعاطى مع مفهوم السرعة من وجهة نظر جديدة حيث لايمكن فصل مفهوم سرعة الصوت عن تواتر الموجة المتقدمة. من هذا المنطلق تم تقديم مفهوم الطور Phase وأيضا سرعة الطور Phase Velocity . بما أننا نتصور الموجة الصوتية على شكل تابع جيبي وبالتالي تكون الإشارات الصوتية المركبة عبارة عن مجموعة من التوابع الجيبية المتراكبة. من هنا يمكننا تعريف مفهوم مقدمة الموجبة الصوتية Wavefront على أنه الحد الفاصل بين الهواء المهتز والهواء غير المهتز وبالتالي لو افترضنا النقطة A على مسير موجة صوتية معينة فإن طور الموجة في هذه النقطة هو نفس الطور للنقطة المجاورة في اللحظة التالية ولنقطة أخرى أمامها بعد فاصلة من الزمن الأمر الذي يشير إلى تقدم الموجة باتجاه معين. وبالتالي يمكن تعريف سرعة الطور Phase Velocity بأنها السرعة التي يتحرك بها مقدم الموجة والتي تتعلق بعامل مرونة الهواء وكثافته والتي تصاغ وفق العلاقة التالية:

السرعة c = الجذر التربيعي لحاصل قسمة معامل المرونة k على الكثافة النوعية P^o

$$C= \sqrt{k/P^o}$$

طول الموجة الصوتية في موجة جيبية متقدمة هو المسافة بين مقدمي موجتين يهتزان بشكل متعاكس في الطور بحيث يكملان دورة كاملة Complete cycle أو حسب التعريف الشائع هو المسافة بين ذروتين متتاليتين أو قعرين متتاليين في الموجة الواحدة. من التعريف تتوضح العلاقة بين السرعة والتواتر وطول الموجة فلو فرضنا موجة جيبية متقدمة بتواتر f فهذا يعني إتمام f دورة كاملة خلال ١ ثانية وفي كل دورة كاملة تتقدم الموجة مسافة تساوي طول الموجة:

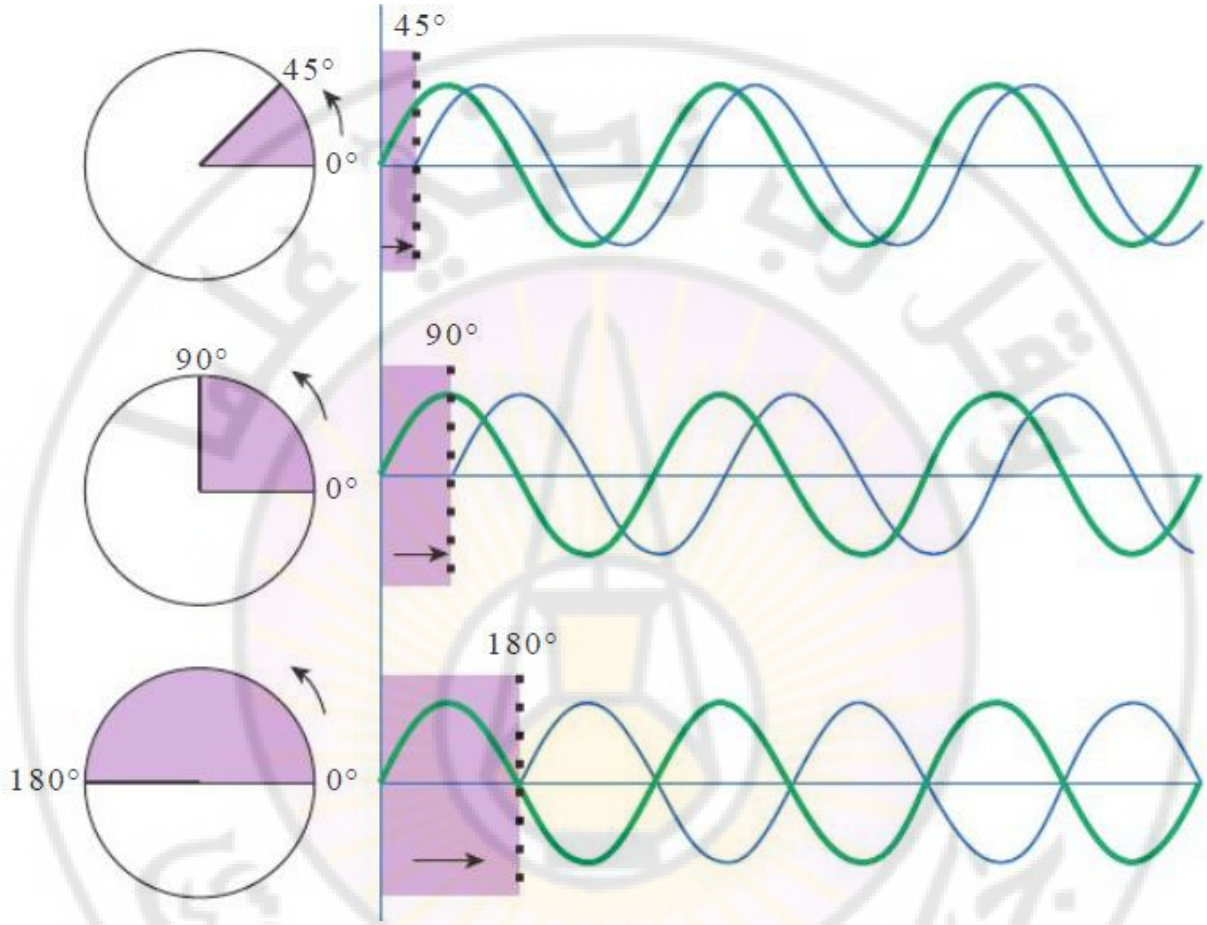
$$velocity = frequency * wavelength$$

$$C= f\lambda$$

وبما أن التواتر يمكن تعويضه بمقلوب الزمن 1/T تصبح العلاقة بالشكل التالي:

$$C= \lambda/T$$

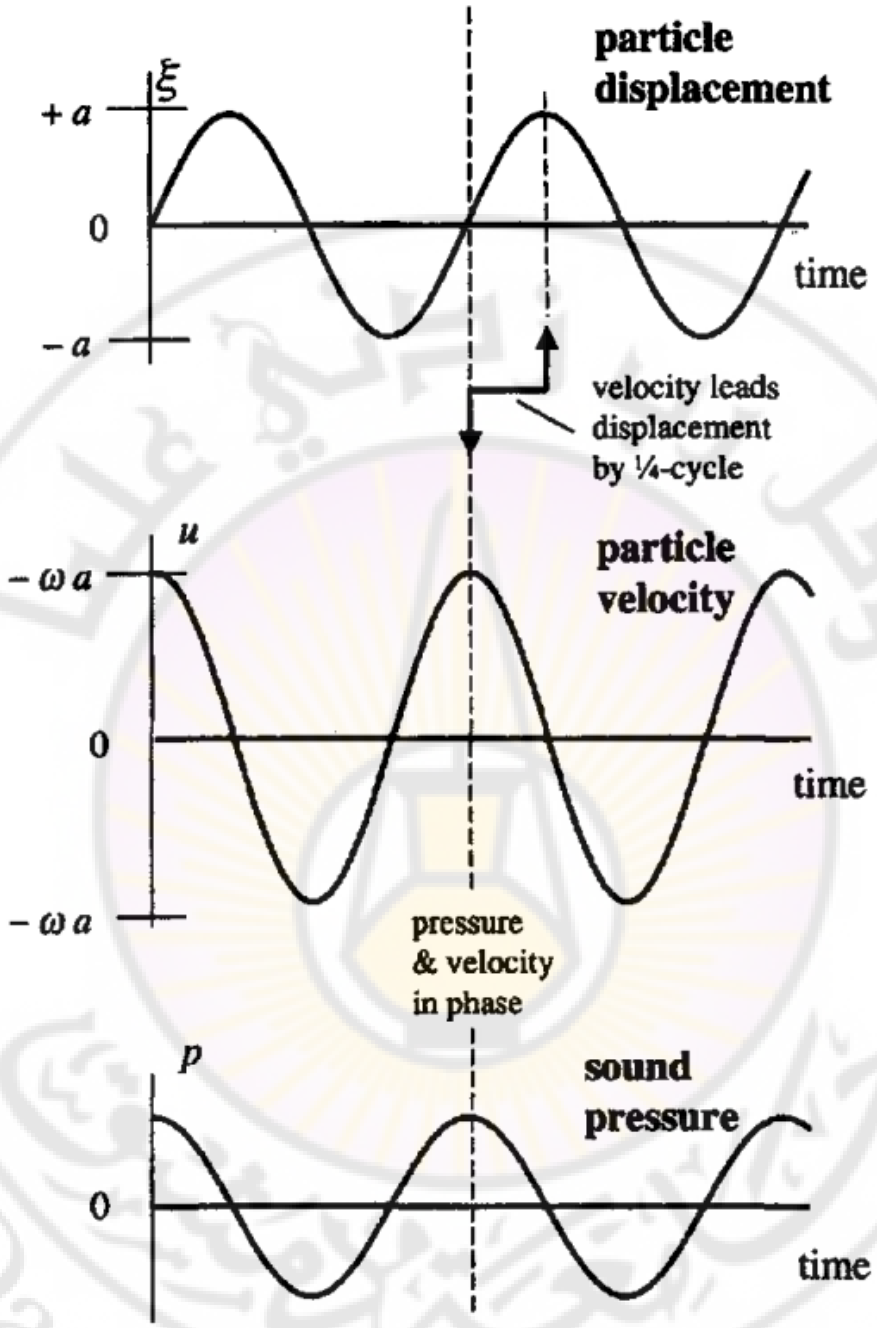
كما يمكن تعريف التواتر الزاوي angular frequency بأنه تغيير الطور مع الزمن وله علاقته الرياضية الخاصة وفيه يمكن تمثيل تبدل السرعة بتبدل الطور على طول مسير الموجة الصوتية، ويمكن مقارنة أي موجتين صوتيتين أو موضعين مختلفين على طول موجة صوتية واحدة باختلاف الطور بينهما.



الشكل ٢,١: فرق الطور بين الأمواج الصوتية المتقدمة ومفهوم سرعة الطور.

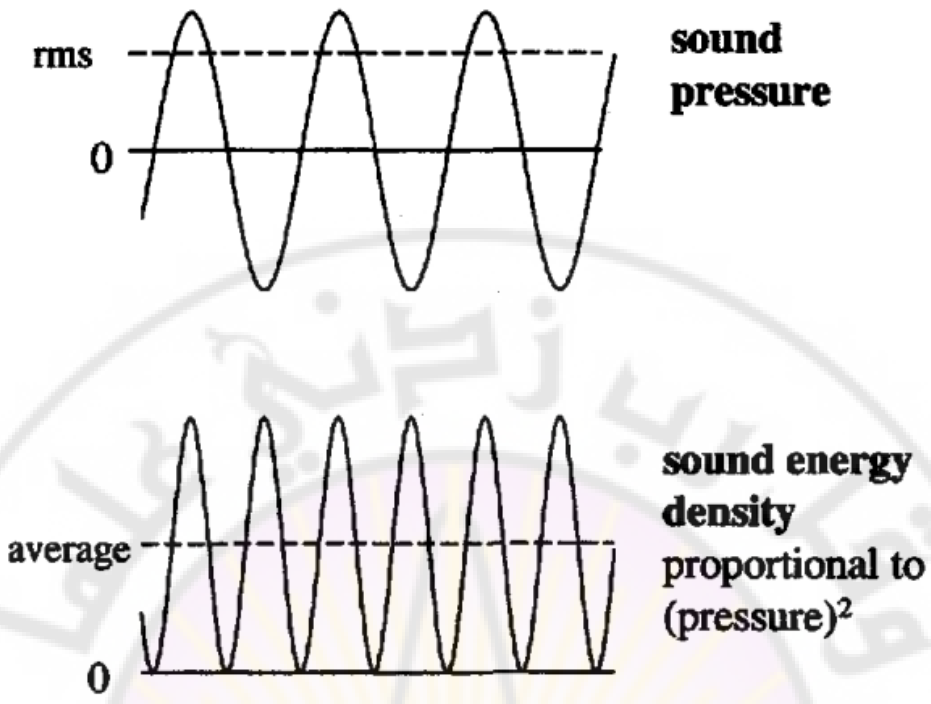
ثانيا: ضغط الصوت، سرعة الجزيئات، والطاقة Sound pressure, Particles velocity, and Energy

تعرف سرعة الجزيئات الصوتية عند نقطة معينة بأنها معدل تبدل انزياح هذه الجزيئات عبر الزمن. ويرتبط ضغط الموجة الصوتية بشكل متناسب مع سرعة الجزيئات حيث أن انضغاط وتخلخل جزيئات الهواء خلال دورة الاهتزاز يسبب اختزان طاقة كامنة مؤقتة متاحة للانتقال على طول مسير الموجة الصوتية حتى يعود الضغط إلى قيمة الصفر.



الشكل٢,٢: شكل يوضح تمثيل إزاحة الجزيئات،سرعتها، وضغط الصوت في موجة جيبية بسيطة.

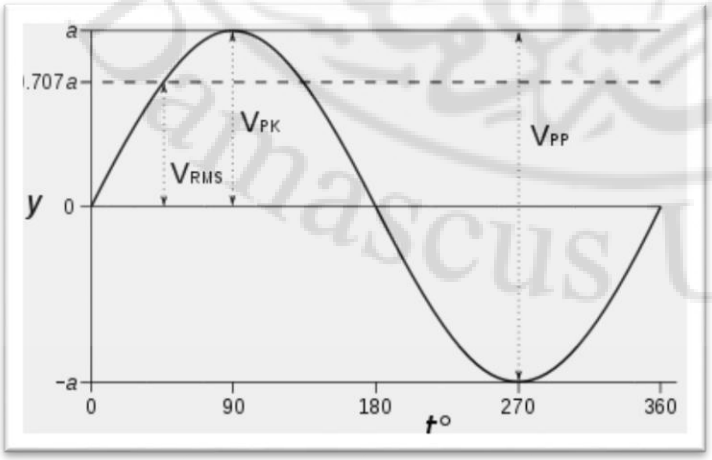
من الشكل يتبين لنا أن قيمة الضغط في الموجة الصوتية هي قيمة متموجة (متغيرة) وتحمل قيما سالبة وأخرى موجبة ولأننا في علم الصوتيات نتجنب إعطاء القيم المجردة الدقيقة للمتغيرات ونستعيض عنها بتحديد مجال للقيم أو المعدل average وبالتالي بدلا من تعيين قيمة ضغط الموجة الصوتية عند كل نقطة نستعيض عنه بمعدل ضغط الموجة الصوتية وهو يعادل مقدار RMS سعة الموجة الصوتية الممثلة في التابع الجيبي.

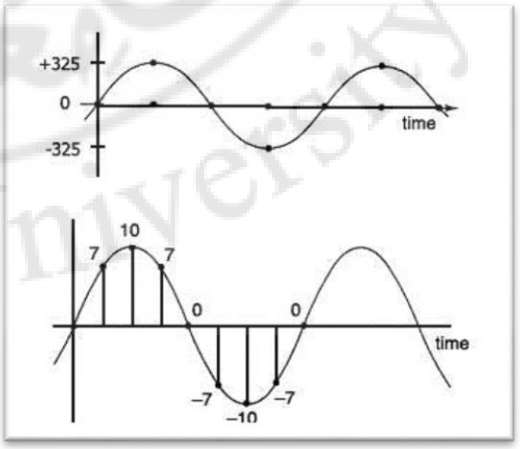


الشكل٢,٣: معدل ضغط وطاقة الموجة الصوتية في واحدة الحجم

يعتبر معدل طاقة الموجة الصوتية أحد المقادير الهامة في الصوتيات والذي يعبر عنه على جهاز قياس مستوى الصوت Sound Level Meter (SLM) برقم معين بالديسبل يرتبط بضغط الموجة الصوتية وسرعة الجزيئات. وبالتالي فإن قيمة ضغط الموجة الصوتية التي يعطيها الجهاز هي مقدار الطاقة الصوتية المطبقة في المتر المكعب بغض النظر عن تواتر هذه الموجة الصوتية.

مفهوم RMS:





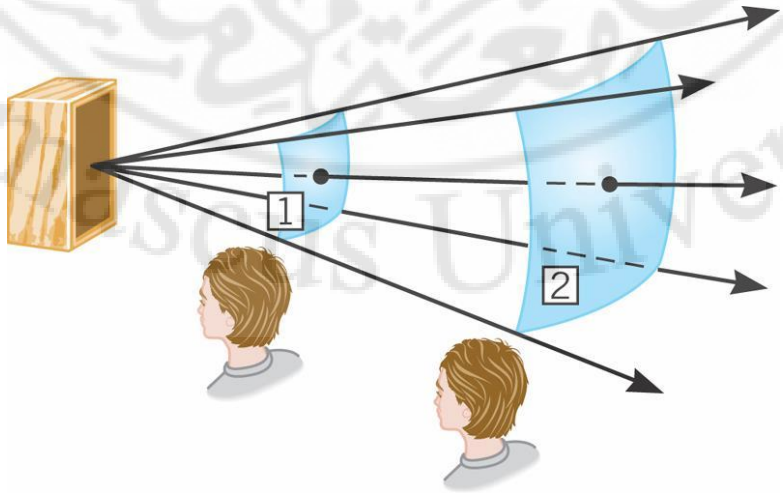
جريان الطاقة الصوتية Sound Energy Flux وهو مصطلح يشير إلى معدل جريان الطاقة الصوتية باتجاه معين في الثانية الواحدة خلال سطح معين. وبالتالي يمكن تعريف شدة الموجة الصوتية Sound Intensity بأنها جريان الطاقة الصوتية على واحد السطح. عادة مانهتم بشدة الصوت في نفس اتجاه تقدم الموجة الصوتية والذي يتمثل بطاقة حركية تنتقل بشكل مستمر في الحقل الحر Free Field وعندما تصطدم بسطح ما فإن جزءاً منها يمتص ويتعرض لتحول في الطاقة (طاقة حرارية عادة) وجزء آخر ينعكس. وبالتالي فإن جريان الطاقة هو كمية الطاقة المنقولة في الوسط خلال واحدة الزمن. إن مفهوم المعاوقة النوعية للوسط Characteristic Impedance يوضح العلاقة بين قوى الاحتكاك وكثافة الجزيئات وتأثيرها على انتشار الموجة الصوتية. فلو قمنا بمقارنة الطاقة الكهربائية بالطاقة الصوتية وربطنا مفهوم الطاقة الصوتية وسرعة الجزيئات بالفولتاج والجريان فإن المقاومة النوعية للوسط تقابل المقاومة الكهربائية (الأوم).

ثالثا: شدة الصوت Sound Intensity

إن الأمواج الصوتية المنتقلة، مثل كل الأمواج المنتقلة الأخرى تقوم بنقل الطاقة من منطقة من الفراغ إلى آخرى. فالطريقة المفيدة في وصف هذه الطاقة المحمولة بواسطة الموجة الصوتية هي باستخدام مفهوم الشدة والتي نرمز لها بـ I ،والتي تساوي المعدل الوسطي الزمني لانتقال الطاقة في واحدة المساحة عبر السطح وبشكل عمودي على جهة الانتشار. أو تعرف بأنها الاستطاعة التي تجتاز السطح بشكل عمودي مقسومة على واحدة المساحة لذلك السطح:

$$I = P / A$$

حيث P هي الاستطاعة وواحدتها واط (Watt) و A هي واحدة السطح بالمتر المربع m^2



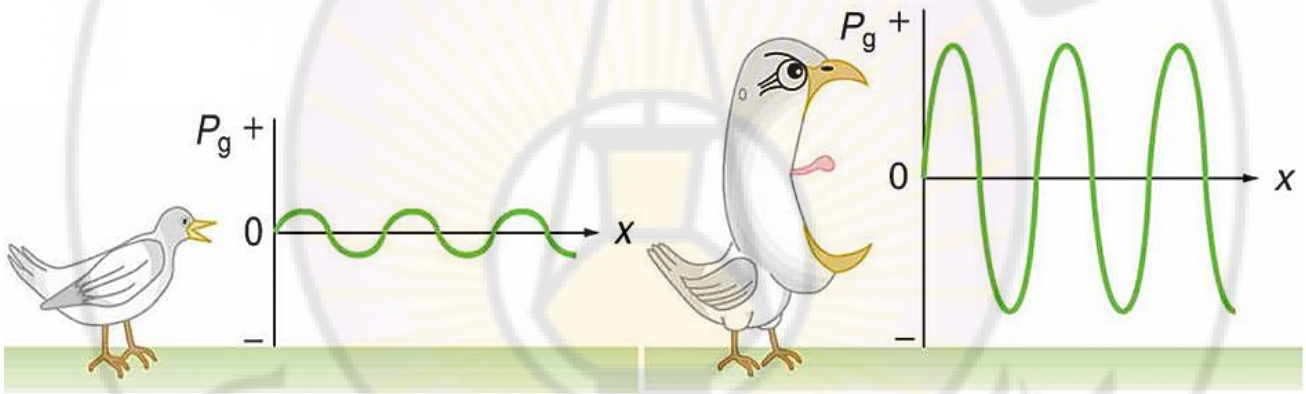
الشكل ٢,٤: يوضح علاقة الشدة بواحدة السطح حيث تتناقص شدة الصوت كلما ازدادت مساحة السطح المطبق عليه.

من العلاقة المذكورة يتبين لنا دور الوسط الذي ينتشر فيه الصوت والسطح الذي يواجهه بتحديد شدة الصوت. وبالتالي لابد من استعراض الأوساط المختلفة لانتشار الصوت أو ما يسمى حقل انتشار الصوت.

توضح العلاقة بين شدة الصوت وضغطه بالشكل التالي:

$$\text{Intensity} = \text{Pressure} \times \text{Particle Velocity}$$
$$= \frac{\text{Force}}{\text{Area}} \times \frac{\text{Distance}}{\text{Time}} = \frac{\text{Energy}}{\text{Area} \times \text{Time}} = \frac{\text{Power}}{\text{Area}}$$

وبالتالي تتناسب شدة الصوت طردا مع ضغط الموجة الصوتية وعكسا مع مساحة السطح. أما بالتمثيل للتابع الجيبي فتمثل الشدة بالسعة على المحور y وبالتالي تزداد سعة مخطط التابع الجيبي بازدياد شدة الصوت كما في الشكل:



الشكل٢,٥: تمثيل فروقات الضغط أو الشدة للموجه الصوتية الناتجة من منبعين مختلفين.

مقياس الديسبل The Decibel Scale :

بما أن أذن الإنسان حساسة لمجال واسع من الشدات، فإنه يستخدم عادةً مقياس الشدة اللوغارتمية logarithmic intensity scale، حيث يعرف مستوى شدة sound intensity level بالمعادلة الآتية:

$$IL = 10log\frac{I}{I^{\circ}}$$

حيث IL هو مستوى الشدة بواحدة الديسيبل و I تمثل شدة الموجة الصوتية أما I° فهي الشدة المرجعية وتمثل عتبة السمع عند الإنسان الطبيعي البالغ على تواتر ١٠٠٠ هرتز وتقدر بحدود $10^{-12}\ W/m^2$، ويتم الحصول على

مستوى ضغط الصوت بواحدة الديسيبل dB SPL عن طريق استبدال كل قيم الشدة بقيم الضغط التربيعية المقابلة، فتصبح العلاقة كالتالي:

$$SPL = 10\log\frac{p^2}{p^{\circ 2}}$$

وتكتب أيضا بالشكل التالي:

$$SPL = 20log\frac{p}{p^{\circ}}$$

حيث أن p هي ضغط الموجة الصوتية وp^{o} هي قيمة الضغط المرجعي وتعادل ٢٠ ميكروباسكال. أما قيمة SPL فتمثل مستوى ضغط الموجة الصوتية وهو مفهوم فيزيائي يرادفه في علم الصوتيات السريرية مقدار الديسبل HL والذي يبحث في مواضع أخرى.

في الجدول التالي عرض لمجموعة مختلفة من مصادر الصوت أو الضجيج وشدة الصوت التي تولدها مقاسة بالوحدات الفيزيائية w/m^2 وأيضا بواحدة الديسبل SPL، ومايعادلها على مستوى الاحساس أو الإدراك السمعي.

Approximate sound levels and intensities within human hearing range

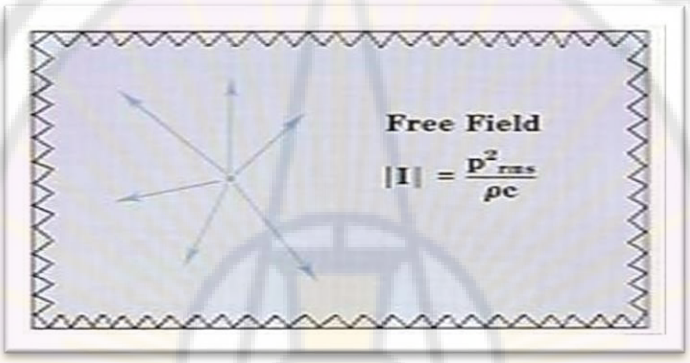
Source of sound	Intensity level (dB)	Intensity ($W\ m^{-2}$)	Perception
jet plane at 30 m	140	100	extreme pain
threshold of pain	125	3	pain
pneumatic drill	110	10^{-1}	very loud
siren at 30 m	100	10^{-2}	
loud car horn	90	10^{-3}	loud
door slamming	80	10^{-4}	
busy street traffic	70	10^{-5}	noisy
normal conversation	60	10^{-6}	moderate
quiet radio	40	10^{-8}	quiet
quiet room	20	10^{-10}	very quiet
rustle of leaves	10	10^{-11}	
threshold of hearing	0	10^{-12}	

الجدول ٢,١: يمثل شدة الصوت ومستوى ضغط الصوت الناتج عن مصادر مختلفة للصوت وعلاقتها بالمستوى الإدراكي

رابعا: حقل الصوت Sound Field:

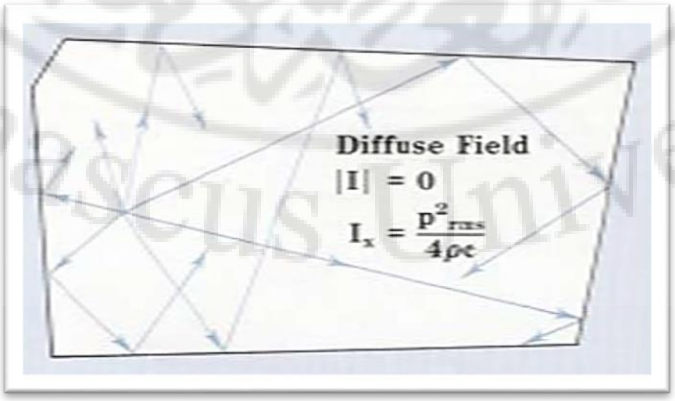
يعرف حقل الصوت بأنه المنطقة حيث يوجد صوت. وهو يحدد وفقاً للسلوك والبيئة التي ينتشر فيها الصوت وله أنواع متعددة وهي:

١. **الحقل الحر Free field:** يصف هذا المصطلح انتشار الصوت في الفضاء الحر المثالي حيث لا يوجد انعكاس للصوت. تطبق هذه الشروط عادةً في الهواء المفتوح (بعيداً عن الأرض بشكل كاف) أو في غرفة لا تشكل صدى للصوت anechoic room حيث تمتص كل الأصوات التي تصطدم بجدران الغرفة ولاينعكس منها شيء فلا يحدث تداخل ولا انعكاسات متعددة أو ما يسمى بال Reverberations.



الشكل: يبين تصميم غرفة الحقل الحر أو الساحة الحرة والتي لاتسبب أي انعكاس للصوت من الجدران.

٢. **الحقل الانتثاري Diffuse field:** في هذا الحقل ينعكس الصوت عدة مرات عندما ينتشر في جميع الاتجاهات وبسعة واحتمالية متساويتين. تطبق هذه الشروط بشكل تقريبي في الغرف ذات الصدى حيث تكون الشدة المحصلة معدومة .



الشكل: نموذج الحقل الانتثاري مع انعكاسات متكررة للصوت في جميع الاتجاهات تعادل محصلة الشدة فيها قيمة الصفر.

انتهت المحاضرة

الدرس الثالث: انتشار الصوت Propagation of Sound

أولا: سرعة الصوت:

كما ذكرنا في الفصل السابق، ينتقل الصوت أو ينتشر عبر وسط صلب أو سائل أو هواء. يتم تحديد سرعة الصوت من خلال المسافة التي تقطعها الموجة الصوتية خلال وحدة زمنية ، مثل الثانية. ينتقل الصوت بشكل أسرع في الأوساط الأكثر كثافة مثل المواد الصلبة و السوائل نسبتا للهواء. متوسط سرعة الصوت المنتقل في الهواء من النقطة A إلى النقطة B هو ١١٠٠ قدم في الثانية أو ٣٤٥ مترًا في الثانية.

هناك ثلاثة عوامل رئيسية تؤثر على سرعة الصوت في الهواء وهي: درجة الحرارة ،الرطوبة ، و الضغط الجوي. حيث تزداد سرعة الصوت مع ارتفاع درجة الحرارة و / أو زيادة الرطوبة و / أو زيادة الضغط.

ثانيا: قانون التربيع العكسي Inverse Square Law:

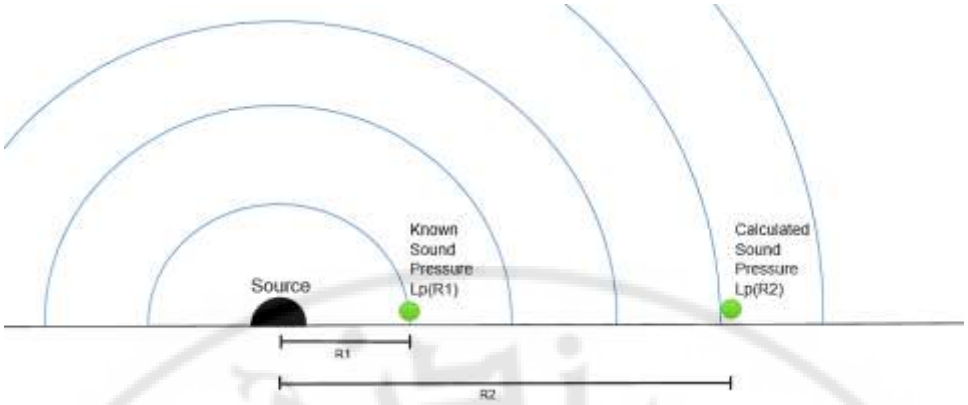
تقل شدة الصوت عندما تنتقل الموجات الصوتية بعيدًا عن المنبع. يمكن تفسير هذا الأمر بأن إزاحة جزيئات الهواء التي ينتجها المنبع المهتز تتناقص مع زيادة المسافة. ينتشر الصوت في جميع الاتجاهات بعيدا عن الجسم المهتز. في البيئة الصوتية المثلى لايوجد مايعيق انتشار الصوت فلا يتداخل ولاينعكس.

يمكن تعيين الانخفاض في شدة الصوت المرتبط بزيادة المسافة عن المنبع بدقة تامة، حيث تتناسب شدة أي صوت عكسيًا مع مربع المسافة التي قطعها الصوت. يُعرف هذا المبدأ باسم قانون التربيع العكسي. يتم وصف علاقة انخفاض شدة الصوت بالمسافة المقطوعة بالمعادلة التالية:

$$I \propto K\,(P/4\pi\, r^2)$$

في هذه المعادلة I تشير إلى شدة الصوت ، K تشير إلى ثابت يتعلق بكثافة وسط الانتشار وسرعة الصوت،P تشير إلى ضغط الموجة الصوتية عند المنبع، في حين r هي المسافة التي قطعها الصوت من المنبع إلى النقطة المراد قياس الصوت فيها. شكل ٣,١

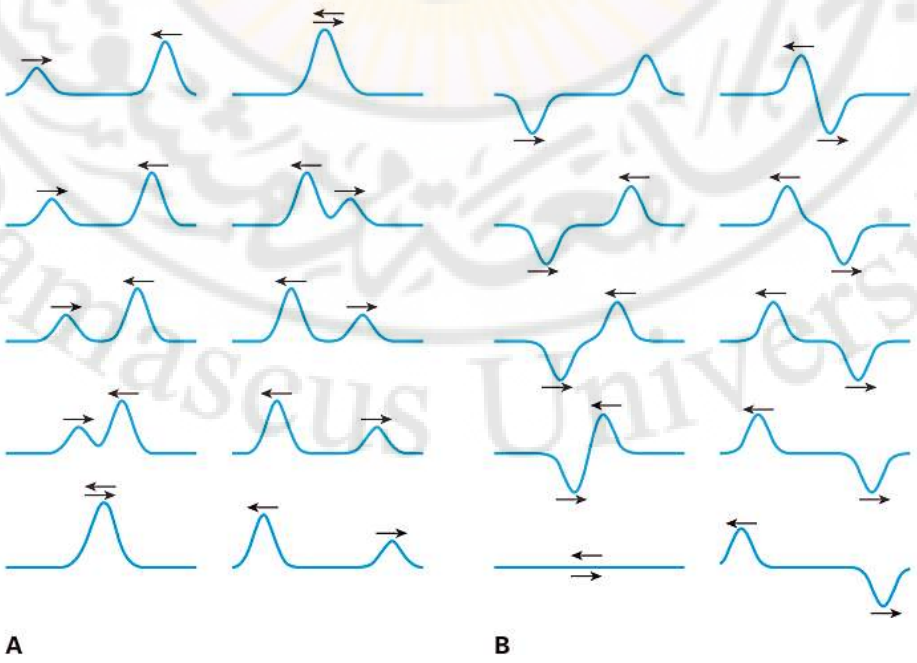
حسب قانون التربيع العكسي: تنقص قوة أو ضغط الموجة الصوتية بمقدار ٦ ديسبل كلما تضاعفت المسافة التي يعبرها الصوت. وطبقا لنفس القانون فإن نقصان المسافة بين المنبع و المستمع او نقطة قياس الصوت سيسبب ازدياد في ضغط الموجة الصوت، يظهر ذلك من موقع r في المعادلة المذكورة وانعكاس تغيراتها على قيمة شدة الصوت.



شكل ٣,١ يوضح قانون التربيع العكسي في انتشار الصوت

ثالثا: تداخل الأمواج المنتشرة Interference:

يمكن أن تتفاعل الموجات الصوتية أو تتداخل مع بعضها البعض بطرق مختلف. يوجد شكلان أساسيان لتداخل وتفاعل الأمواج الصوتية وهما التعزيز والحذف أو الإلغاء. حيث يسمى الأول بالتداخل البنَّاء constructive interference ويسمى الثاني بالتداخل الهدَّام destructive interference. يوضح الشكل ٣,٢ تفاعلًا بسيطًا بين موجتين أو أكثر. حيث تم تمثيل التداخل البناء مع الموجات المسماة A الجانب الأيسر من الشكل. تخيل أن الأمواج تسير في الاتجاه المشار إليه بواسطة الأسهم في الشكل، الذي يحدث هو أن ضغط كل موجة سيضاف إلى الموجة الأخرى وهذا مايسمى بالتعزيز او البناء وبالتالي يتشكل ضغط أكبر عندما تكون الإزاحة متوافقة بالجهة بين الموجتين. تذكر أن إزاحة الجسم المهتز وضغط الصوت الناتج يتغيران باستمرار بمرور الوقت وبالتالي نحن نهتم بالإزاحة اللحظية Instantaneous displacement وهي الإزاحة في وقت محدد. يظهر إلغاء الموجات في الجزء B الأيمن من الشكل ٣,٢ حيث يكشف التحري الدقيق للأشكال الموجية المختلفة عن موجتين أو أكثر من الضغط أو الإزاحة اللحظية متعاكستان بالاتجاه وبالتالي ستلغي إحداهما الأخرى عند حدوث التداخل أو تنقص سعة الموجة الناتجة عن التداخل نسبة لسعة كل منهما منفصلة.



الشكل ٣,٢ يظهر آليات التداخل البنَّاء A والتداخل الهدَّام B.

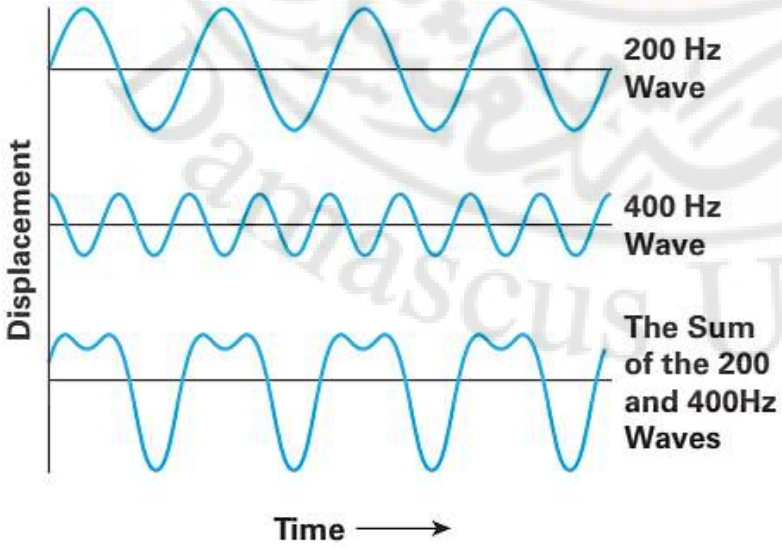
الارتداد أو الصدى Reverberation: يصدر الارتداد عندما تنعكس الموجات الصوتية على جدران الغرفة. يصل الصوت المرتد إلى آذان المستمع بعد تأخير طفيف. ينتقل بعض الصوت مباشرة من المصدر إلى آذان المستمع ، لكن الأصوات الأخرى ترتد من جدران الغرفة وتتأخر قليلاً قبل أن تصل إلى آذان المستمع. يتعارض ارتداد الأصوات في غرفة التخطيط أو في قاعة الصف بالمدرسة مع قدرة الشخص على إدراك وفهم الكلام.

الأمواج الو اقفة Standing waves: في عيادة السمعيات، تُعرف مشكلة تداخل الموجات الصوتية باسم تداخل الموجة الواقفة. تستخدم الأصوات الصادرة من مكبرات الصوت لاختبار السمع بالساحة الحرة أثناء جلوس المريض في المنتصف بين المكبرين. عند استخدام النغمة الصافية في الاختبار يصبح احتمال حدوث التداخل بالموجة الواقفة كبيرا، حيث تتداخل الموجة المقدمة مع الموجة المنعكسة عن الجدار والتي تماثلها بالتواتر وتعاكسها بالجهة ويسبب تداخلهما تشكل موجة ثابتة الذرى والقعور وتسمى بالموجة الواقفة. الأمر الذي يغير من شدة الأصوات الواصلة إلى أذن المريض وبالتالي يؤثر على دقة القياسات السمعية. ولذلك عادة ماتستخدم نغمة الWarble (نغمة متذبذبة كصوت العصفور) في اختبارات الساحة الحرة تجنبا لتشكل الأمواج الواقفة.

النبض أو الخفقان Beat: عندما يكون لدينا موجتين بسعتين متساويتين لكن بتواترين مختلفين عن بعضهما بفرق بسيط جدا. يحدث هذا، على سبيل المثال، عندما تصدر شوكتان رنانتان معاً صوتين ولكن بتواترين مختلفين قليلاً. أو عندما يكون هناك نوعين من آلات النفخ التي من المفترض أن يكون لها نفس التواتر تماما ولكن يفترقان قليلا عن بعضهما فيصبحان "خارج التناغم Out of Tone" . لنأخذ نقطة معينة في الفراغ حيث تتداخل الموجتان فتبدو الموجة الناتجة في الشكل وكأنها موجة جيبية واحدة ذات سعة متغيرة تمتد من القيمة العظمى إلى الصفر والعودة للسعة العظمى. يسبب الاختلاف في السعة اختلافا في علو الصوت يسمى النبض (الخفقان)، ويسمى التواتر الذي يتغير به ارتفاع الصوت بتواتر النبض. يكون تواتر النبض هو الفرق بين التواترين.

رابعا: الأصوات المركبة:

قمنا في الدرس السابق بدراسة خصائص أبسط الأصوات وهي النغمة الصافية أو الجيبية والتي تعتبر تابعا دوريا لأن سعتها تتغير بشكل متكرر ومتوقع من الموجب إلى السالب خلال االزمن. معظم الأصوات التي نواجهها في البيئة ليست جيبية ولا دورية. بدلاً من ذلك، فإن معظم الأصوات العالم الحقيقي تكون مركبة وتتكون من العديد من الترددات المختلفة. حيث تشمل الأصوات المركبة أعداد لاحصر لها من التواترات ضمنها وحسب درجة التعقيد والتنوع في التردد والطور والسعة والخصائص الزمنية يمكن تقسيم هذه الأصوات إلى انواع مختلفة: كالموسيقا والضجيج وحزمة الضجيج الضيق وطيف الكلام والموجات المربعية والمثلثية وغيرها.

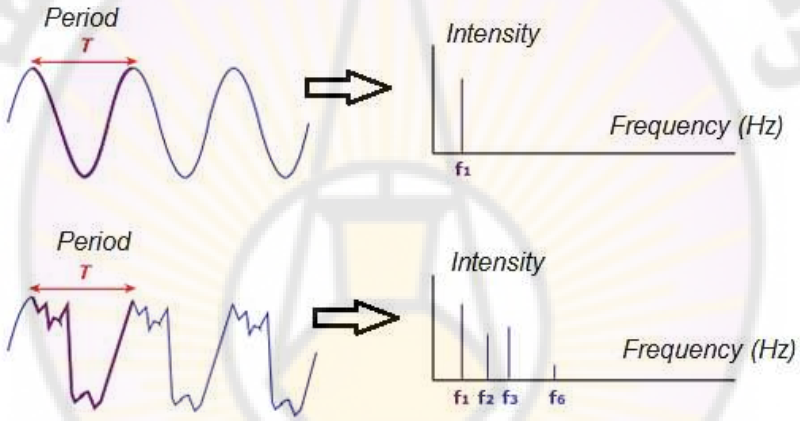


يوضح الشكل ٣,٣ كيف تنتج الأصوات المركبة عن مزيج من موجتين أو أكثر بترددات مختلفة، على وجه التحديد، يظهر المثال شكل موجة مركبة تم إنشاؤه بإضافة موجة ٢٠٠ هرتز و ٤٠٠ هرتز.

الشكل ٣,٣: تشكيل صوت مركب من مزيج نغمتين صافيتين بتواتر ٢٠٠ و ٤٠٠ هرتز.

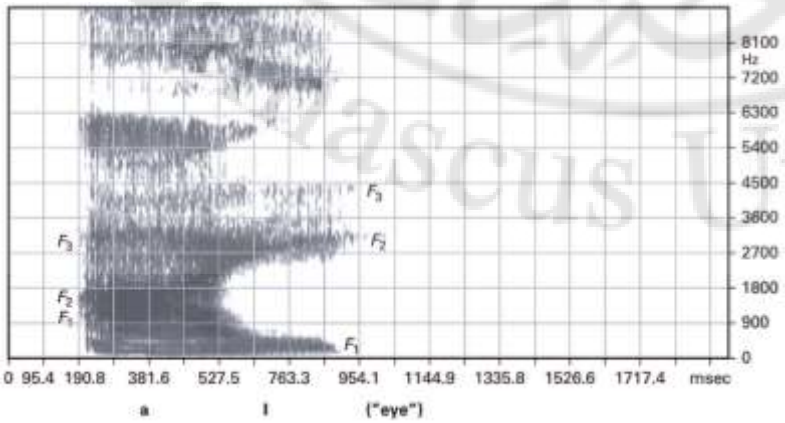
تتشكل بعض الأصوات المركبة من مئات الترددات ضمنها كطيف الموسيقا والكلام حيث يكون لكل منها خصائصه التواترية والزمنية التي تميزه عن باقي الأطياف. فكر للحظة في مئات اللغات المختلفة في العالم أو الآلاف التي لا توصف من الأغاني المكتوبة والمغناة والمعزوفات من العصور القديمة حتى الوقت الحاضر. كل منها هو مثال على تسلسل أصلي وفريد من نوعه للأصوات المعقدة التي يمكن استخدامها لنقل المعنى والعاطفة. سنراجع في مبحث آخر مجموعة متنوعة من أنواع الصوت، مع التركيز على تلك التي يستخدمها اختصاصيو السمعيات في تقييم السمع.

التمثيل في المجال الزمني والمجال الطيفي: غالبًا ما يتم عرض خصائص الأصوات البسيطة كالنغمة الصافية والأمواج الدورية ضمن مخططات ثنائية البعد. على المحور العمودي يتم تمثيل السعة (كما لاحظنا في كل المخططات في الفصل السابق) وعلى المحور الأفقي يتم تمثيل الزمن. وبالتالي هذه المخططات تفيد بالتنبؤ بتغير السعة عبر الزمن ودراسة الخصائص الزمنية للأصوات ويسمى هذا التمثيل بالمجال الزمني Time domain. يمكن أيضًا تمثيل الأصوات في المجال الطيفي Spectral domain، حيث يتم تمثيل السعة على المحور العمودي والتواترات المركبة للصوت على المحور الأفقي. يوضح الشكل ٣,٤ أمثلة عن التمثيل في المجال الزمني والطيفي.



الشكل٣,٤. أمثلة عن التمثيل في المجالين الزمني والطيفي للأصوات.

من الصعب عادة تمثيل كامل خصائص الصوت ضمن مخطط واحد، فغالبا ما يتم تمثيل اثنتين من الخصائص معا ويمكن تمثيل ثلاثة خصائص في مخططات ثلاثية الأبعاد. كمثال: يتم تمثيل الأصوات الكلامية ضمن المجال التواتري والزمني حيث يتم تمثيل الطيف التواتري على المحور العمودي والتبدل عبر الزمن على المحور الأفقي.



انظر إلى الشكل ٣,٥ والذي يظهر التمثيل الطيفي والزمني لصوت أنثوي يردد كلمة eye حيث تم تمثيل مضاعفات التواتر الأساسي للصوت والمسماة بالفورمانت Formants بالرموز F1,2,.. يستخدم اختصاصيو الكلام واللغة هذا النوع من التمثيل عادة في تشخيص اضطرابات الكلام والصوت.

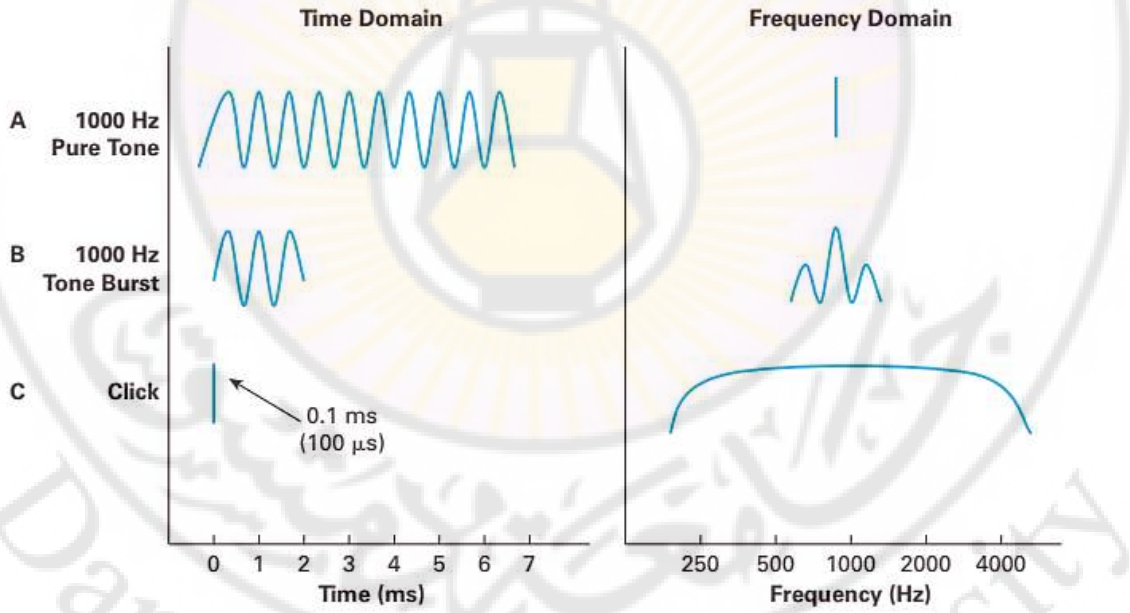
الشكل٣,٥: التمثيل الطيفي للأصوات الكلامية.

خامسا: نماذج الأصوات الهامة في علم السمعيات

الأصوات العابرة Transient Sounds:

الأصوات العابرة هي أصوات مختصرة للغاية مع فترات من المللي ثانية أو حتى جزء قصير من الألف من الثانية. يعتبر صوت الكليك (النقر) Click مثال شائع على هذه الأصوات العابرة. وهناك نوع آخر يسمى رشقة النغمات Toneburst وهي حزمة ضيقة من النغمات تتمركز حول تواتر مركزي وتستمر عدة أجزاء من واحدة الميللي ثانية (١٠-١٥ ميللي ثانية) وتتكون غالبا من أقل من ٤ أو ٥ دورات من الصوت

في الشكل ٣,٦ توضيح للعلاقة بين مدة المنبه السمعي وطيفه التواتري، حيث أنه كلما كان المنبه عابرا وذو مدة قصيرة جدا كلما كان طيفه التواتري أوسع بكثير وهذا حال منبه الكليك ذو مدة ال ١٠٠ ميكروثانية. في حين يمتد زمن التونبرست قليلا ليسمح بصفاء تواتري متمركز حول تواتر معين كتواتر ١٠٠٠ هرتز في الشكل، أما للحصول على نغمة صافية فنحن بحاجة لزمن اطول يمتد إلى عدة ثوان. يشار إلى الأصوات النغمية القصيرة جدًا باسم رشقات النغمات. تستخدم المنبهات (الأصوات) العابرة وخصوصا القصيرة جدا كالكليك في اختبارات التقييم السمعي للأطفال الصغار والرضع نظرا لكونها تعطي استجابة سمعية مهمة يمكن تسجيلها وذلك بسبب طيفها التواتري الواسع والذي ينبه مناطق واسعة من الحلزون ويعوض بذلك عن عدم أو تأخر نضج الجهاز العصبي أو صعوبة الاختبار في هذا العمر.



الشكل ٣,٦. نماذج من المنبهات السمعية وعلاقة طول المنبه مع طيفه التواتري

الضجيج Noise: عادة ما يشار إلى مصطلح الضجيج بطريقة سلبية نسبة لأي ضوضاء مزعجة أو أي طاقة صوتية غير مرغوب فيها وتسبب عدم الرضا أو عدم الراحة كصوت دراجة نارية مع عوادم مفتوحة أو صوت نباح الكلب في الليل أو الصباح الباكر. وحتى في غياب هذه الأصوات الخارجية هناك ضجيج دائم الوجود لايمكن تفاديه إلا في الغرف السمعية او غرف العزل الصوتي وهو ضجيج الخلفية أو مايسمى بضجيج المكان Background Noise وهو الضجيج الناجم عن الحركة المستمرة والحتمية لجزيئات الهواء والتي تسبب ضجيجا واسع الطيف من ٢٥٠ إلى ٨٠٠٠ هرتز ولكن بطاقة منخفضة تقدر في درجات الحرارة والضغط الجوي العاديين بحدود 10^{-16} واط / م^2 ولحسن الحظ هذا المقدار منخفض ويمكن تجاهله ولايؤثر على دقة قياس السمع حتى عند الأشخاص الذين لديهم حساسية سمعية أفضل من المتوسط.

أنواع الضوضاء في اختبارات السمع: للضجيج (noise) أهمية كبيرة في الاختبارات السمعية وفي الأبحاث العلمية السمعية وأيضا في بعض برامج التأهيل والعلاج السمعي كالعلاج بالضجيج لمرضى الطنين المزمن. يستخدم الضجيج إلى جانب النغمة الصافية في تخطيط السمع بالنغمة الصافية لزيادة دقة الاستجابة في حالات نقص السمع غير المتناظر وهو مايسمى بالتشويش Masking. كما يستخدم مرافقا للمنبه الكلامي في تخطيط السمع الكلامي لتشخيص بعض الاضطرابات وهو مايسمى بإدراك الكلام في الضجيج Speech In Noise Perception (SINP). للضجيج أنواع مختلفة حسب طيفها التواتري ولكل منها استخداماته الخاصة في علم السمعيات:

- الضجيج الأبيض White Noise هو أحد أهم أنواع الضجيج والذي يستخدم على نطاق واسع من المجالات ويتألف من صوت مركب من مجموعة كبيرة أو طيف واسع من التواترات على مساحة عدة أوكتافات وبسعة متساوية تقريبا وهو يشبه بالتعريف الفيزيائي اللون الأبيض والذي يتركب من كامل ألوان الطيف. هناك الضجيج الأحمر والزهري والأزرق ويشار بها إلى الضجيج واسع الطيف والذي لاتكون السعة فيه متساوية على جميع التواترات بل تكون الطاقة أكبر في التواترات الحادة نسبة للمنخفضة وتزداد ذروة الطاقة باتجاه التواترات الحادة من الأحمر للزهري فالأزرق والذي يتركز حول تواتر ٨٠٠٠ هرتز.
- حزمة الضجيج الضيقة Narrow Band Noise (NBN) وهو نوع آخر من المنبهات السمعية المستخدمة والتي تتركز طاقتها حول تواتر معين كحزمة ضيقة تواتريا مثلا من ٩٠٠ إلى ١١٠٠ هرتز.
- ضجيج طيف الكلامSpeech Spectrum Noise وهو حزمة من الضجيج يمتد طيفها على التواترات الكلامية بين ٣٠٠ و٣٠٠٠ هرتز.
- ضجيج حزمة الأوكتاف Octave Band Noise: يعرف الأوكتاف بأنه الطيف الفاصل بين تواترين ثانيهما ضعف الأولى فكل تضاعف في التواتر هو واحد اوكتاف، وبالتالي فإن ضجيج حزمة الأوكتاف هو الضجيج الذي يمتد طيفه التواتري على مساحة اوكتاف واحد مثلا بين ٢٥٠ و٥٠٠ هرتز أو بين ٢٠٠٠ و ٤٠٠٠ هرتز.

الكلام Speech:

الكلام هو صوت معقد للغاية يعرف فيزيائيا بأنه إشارة صوتية متبدلة بالتواتر والشدة عبر الزمن. تعتبر أصوات الكلام مهمة للغاية بالنسبة للإنسان لأنها تشكل أساس الاتصال الشفوي. دراسة طيف الكلام واسعة جدا وتشمل الكثير من التفاصيل والتي يتم تغطيتها في مواضع مختلفة عن هذا البحث. ولدراسة خصائص الكلام يجب دراسة كافة خصائص الصوت وتطبيقها عليه والتي لامجال لذكرها هنا. يتم التركيز في دراسة طيف الكلام على خاصيتين أساسيتين وهما التواتر الأساسي للكلام والتعزيزات (فورمانت).

التردد الأساسي Fundamental Frequency وهو أحد السمات المهمة للكلام حيث يتم تمييز صوت الإنسان بتواتره الأساسي F0 والذي يتم تحديده من خلال معدل اهتزاز الطيات الصوتية عند أي شخص ويختلف حسب العمر والجنس وكتلة وحجم الطيات الصوتية. يختلف التردد الأساسي لصوت الرجال عن النساء والأطفال. حيث يبلغ التوتر الأساسي لصوت الذكر البالغ السليم حدود ال١٣٠ هرتز وضمن مجال من ٨٥ إلى ١٨٠ هرتز في حين يصل المجال التواتري لصوت النساء بين ١٧٠ إلى ٢٥٠ هرتز والأعلى هو صوت الأطفال والذي يصل إلى حدود ٣٠٠ هرتز.

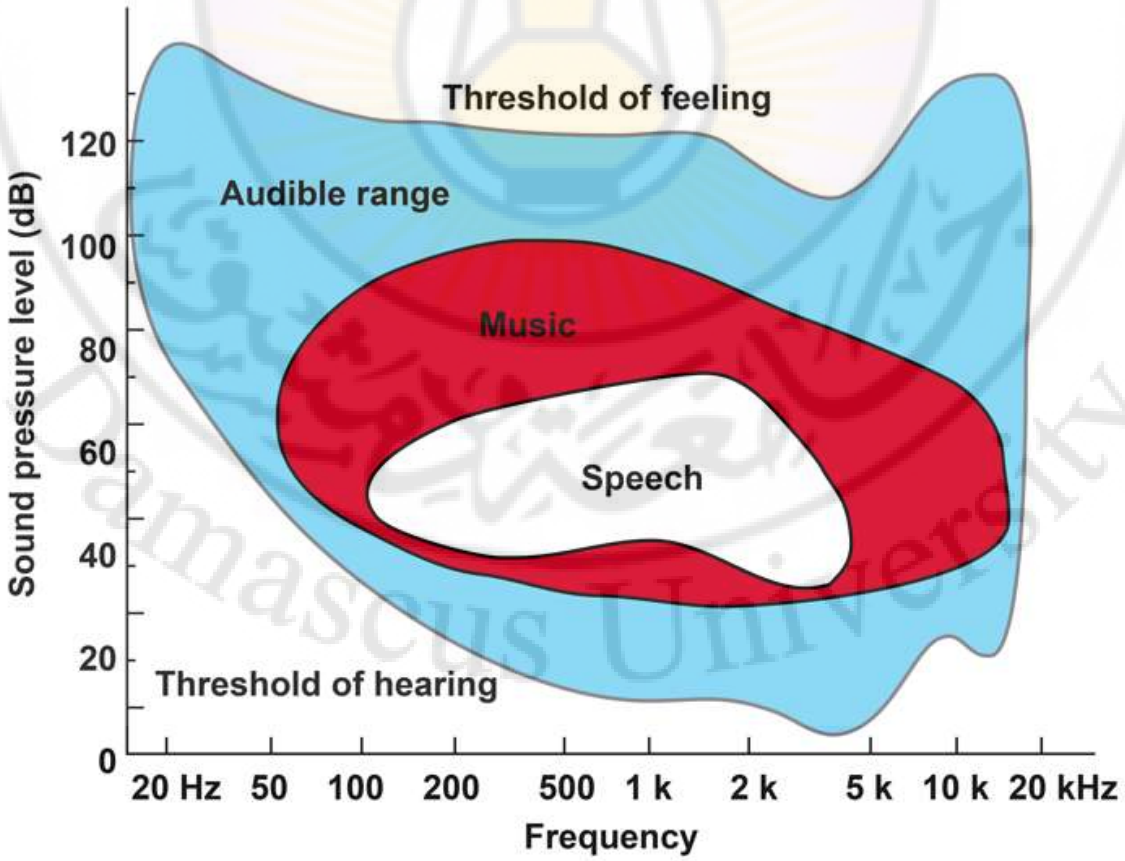
التعزيزات Formant: وهي المكمل الأساسي لصوت الإنسان إضافة للتواتر الأساسي وهي مجموعة من التعزيزات على تواترات عالية تشكل مضاعفات للتواتر الأساسي تتشكل على طول المسار الصوتي من البلعوم إلى الفم. فالتعزيزات F1,2,3,4,.. هي ذرى متتالية

في طيف الكلام (طاقة عالية) على تواترات تشكل مضاعفات للتواتر الأساسي وتتوافق مع رنين أو تجاوب السبيل السمعي وتعتبر الأساس في قدرة السبيل الصوتي على توليد الأصوات المختلفة كالصوامت Consonant والتي تتركز عند التواترات المتوسطة والحادة وأيضا الصوائت Vowels والتي تتركز في منطقة الطيف منخفض ومتوسط التواتر.

من أهم استخدامات إشارة الكلام في السمعيات هو تخطيط السمع الكلامي واختبارات المعالجة السمعية المركزية وتقييم عمل المعينات السمعية وأجهزة زرع الحلزون.

الموسيقا Music:

الموسيقى هي شكل آخر من أشكال الصوت المركب الذي يستخدم للتواصل أيضا. يتم استخدام كل خاصية من خصائص الصوت التي تمت مراجعتها في الفصل في وصف الموسيقى. تشبه المصطلحات المستخدمة في علم السمع إلى حد ما المصطلحات المستخدمة من قبل الموسيقيين والعلماء الذين يجرون أبحاثًا حول إدراك الموسيقى. يتم وصف الموسيقى من حيث التردد والطبقة Pitch، والشدة والجهارة Loudness، والخصائص الزمنية مثل مدة الأصوات وتسلسلها. ومع ذلك، غالبًا ما تختلف مصطلحات الموسيقى عن المصطلحات المستخدمة في علم السمع، على الرغم من مشاركة العديد من المفاهيم. الأشخاص الذين يعانون من ضعف السمع والذين يعانون من صعوبات في فهم الكلام قد يعبرون أيضًا عن مخاوفهم بشأن مشاكل سماع الموسيقى. من المفيد الاطلاع على المقياس الموسيقي لأهميته في تقييم ومساعدة المرضى الذين يعانون من ضعف السمع والذين يعبرون عن مشاكل في إدراك الموسيقى أو انخفاض الاستمتاع بالاستماع إلى الموسيقى. يوضح الشكل ٣,٧ كل من طيف الكلام والموسيقا وتقاطعهما على محوري التواتر والشدة.



الشكل ٣,٧. يوضح طيف الكلام والموسيقا والأصوات المسموعة في الأذن البشرية

الأصوات البيئية Environmental Sounds:

يكاد يكون من المستحيل تجنب التعرض اليومي لمجموعة متنوعة بشكل واسع من الأصوات البيئية. كما ذكرنا سابقًا، يُستخدم مصطلح الضوضاء عادةً للإشارة إلى الأصوات البيئية التي لا صلة لها بالموضوع السمعي ولا تنقل المعنى وتؤثر أحيانًا على التواصل أو جودة الحياة. من الضروري معرفة الأصوات البيئية المتنوعة وشدتها وتأثيرها على الوظيفة السمعية وحياة الإنسان. تستخدم الأصوات البيئية كأصوات الحيوانات ووسائل النقل في برامج التأهيل السمعي في مراحلها الأولى قبل بدء تعريف الطفل بالأصوات الكلامية كونها أسهل وطيفها التواتري أوسع. إن التعرض للأصوات الشديدة يسبب أذية سمعية ونقص سمع محرض بالضجيج وبعض الأصوات العالية جدا تسبب صدمة صوتية أو رض صوتي حاد كالانفجارات. في حين تشكل الحروب والمعامل ونمط الحياة الصاخب والاستماع غير الآمن للموسيقا أهم أسباب نقص السمع المحرض بالضجيج. في الجدول ٣,١ يوجد تعريف بالعديد من الأصوات البيئية وشدتها.

الجدول ٣,١. يوضح مجموعة من الأصوات البيئية وشدتها

Intensity in dB SPL	Ratio of Sound Pressure to Reference Level	SPL (dynes/cm^2)	Sounds
0	1:1	.0002	Absolute human hearing threshold for a 3000-Hz pure tone
20	10:1	.002	A whispered voice at 4 feet
40	100:1	.02	A quiet room
50	316:1		A typical office
60	1,000:1	.2	Average level of soft conversation 5 feet from the speaker
70	3,160:1		Moderately intense conversational level
80	10,000:1	2.0	Average level of shouting at a distance of about 5 feet, or the sound of heavy traffic
90	31,600:1		Elevated train, or pneumatic drill at 10 feet
100	100,000:1	20.0	Symphony orchestra, or rivet gun at 35 feet
120	1,000,000:1	200.0	Sound of a jet airplane engine, or MP3 player at high volume
140	10,000,000:1	2000.0	Loud sound causing pain

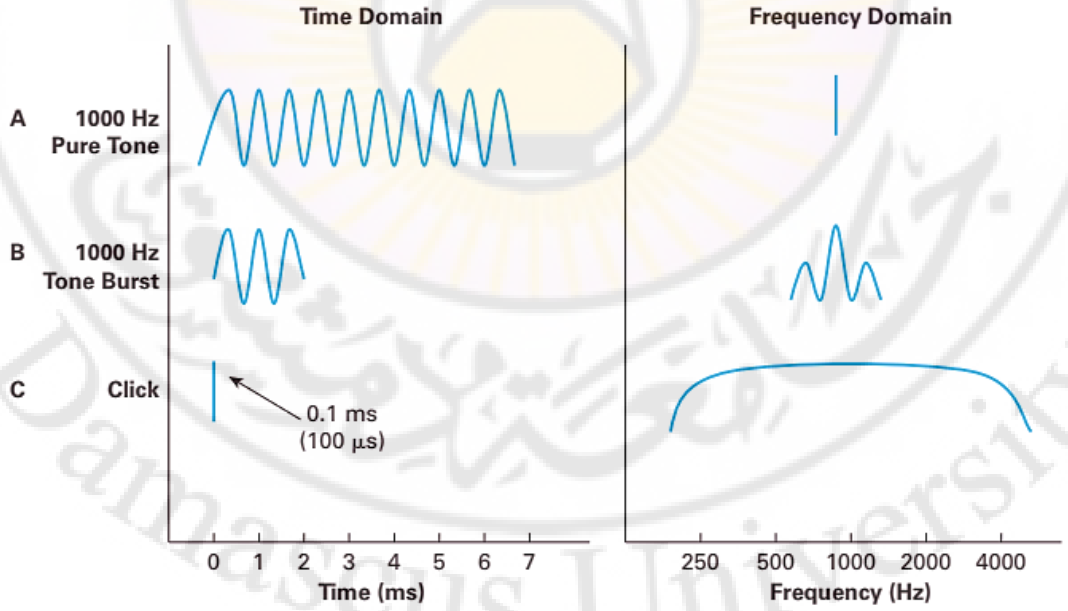
انتهت المحاضرة

الدرس الرابع: نماذج الأصوات الهامة السمعيات Audiologic Sound Samples

الأصوات العابرة Transient Sounds:

الأصوات العابرة هي أصوات مختصرة للغاية مع فترات من المللي ثانية أو حتى جزء قصير من الألف من الثانية. يعتبر صوت الكليك (النقر) Click مثال شائع على هذه الأصوات العابرة. وهناك نوع آخر يسمى رشقة النغمات Toneburst وهي حزمة ضيقة من النغمات تتمركز حول تواتر مركزي وتستمر عدة أجزاء من واحدة الميللي ثانية (١٠-١٥ ميللي ثانية) وتتكون غالبا من أقل من ٤ أو ٥ دورات من الصوت

في الشكل ٣,٦ توضيح للعلاقة بين مدة المنبه السمعي وطيفه التواتري، حيث أنه كلما كان المنبه عابرا وذو مدة قصيرة جدا كلما كان طيفه التواتري أوسع بكثير وهذا حال منبه الكليك ذو مدة ال ١٠٠ ميكروثانية. في حين يمتد زمن التونبرست قليلا ليسمح بصفاء تواتري متمركز حول تواتر معين كتواتر ١٠٠٠ هرتز في الشكل، أما للحصول على نغمة صافية فنحن بحاجة لزمن اطزل يمتد إلى عدة ثوان. نية هو ١/٢٥٠ جزء من الثانية فقط. يشار إلى الأصوات النغمية القصيرة جدًا باسم رشقات النغمات. تستخدم المنبهات (الأصوات) العابرة وخصوصا القصيرة جدا كالكليك في اختبارات التقييم السمعي للأطفال الصغار والرضع نظرا لكونها تعطي استجابة سمعية مهمة يمكن تسجيلها وذلك بسبب طيفها التواتري الواسع والذي ينبه مناطق واسعة من الحلزون ويعوض بذلك عن عدم أو تأخر نضج الجهاز العصبي أو صعوبة الاختبار في هذا العمر.



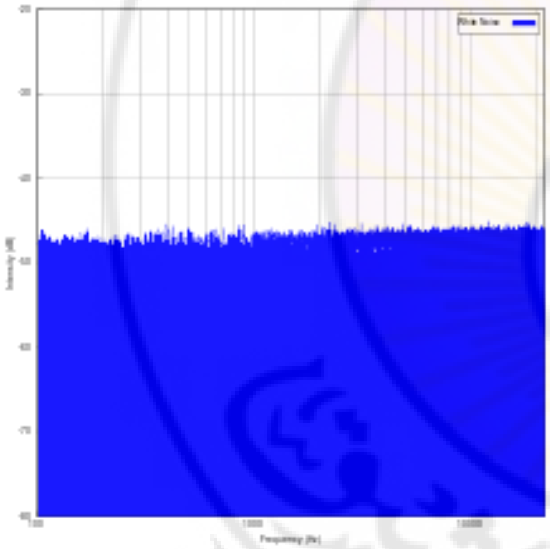
الشكل ٣,٦. نماذج من المنبهات السمعية وعلاقة طول المنبه مع طيفه التواتري

الضجيج Noise: عادة ما يشار إلى مصطلح الضجيج بطريقة سلبية نسبة لأي ضوضاء مزعجة أو أي طاقة صوتية غير مرغوب فيها وتسبب عدم الرضا أو عدم الراحة كصوت دراجة نارية مع عوادم مفتوحة أو صوت نباح الكلب في الليل أو الصباح الباكر. وحتى في غياب هذه الأصوات الخارجية هناك ضجيج دائم الوجود لايمكن تفاديه إلا في الغرف السمعية او غرف العزل الصوتي وهو ضجيج الخلفية أو مايسمى بضجيج المكان Background Noise وهو الضجيج الناجم عن الحركة المستمرة والحتمية

لجزيئات الهواء والتي تسبب ضجيجا واسع الطيف من ٢٥٠ إلى ٨٠٠٠ هرتز ولكن بطاقة منخفضة تقدر في درجات الحرارة والضغط الجوي العاديين بحدود $١٠^{-١٦}$ واط / م^{٢} ولحسن الحظ هذا المقدار منخفض ويمكن تجاهله ولايؤثر على دقة قياس السمع حتى عند الأشخاص الذين لديهم حساسية سمعية أفضل من المتوسط.

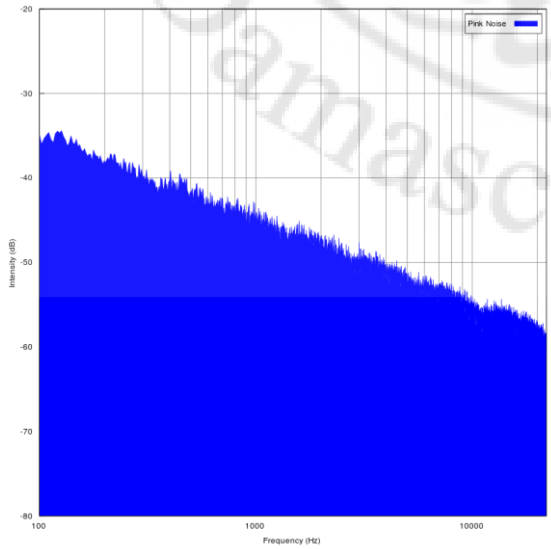
أنواع الضوضاء في اختبارات السمع: للضجيج (noise) أهمية كبيرة في الاختبارات السمعية وفي الأبحاث العلمية السمعية وأيضا في بعض برامج التأهيل والعلاج السمعي كالعلاج بالضجيج لمرضى الطنين المزمن. يستخدم الضجيج إلى جانب النغمة الصافية في تخطيط السمع بالنغمة الصافية لزيادة دقة الاستجابة في حالات نقص السمع غير المتناظر وهو مايسمى بالتشويش Masking. كما يستخدم مرافقا للمنبه الكلامي في تخطيط السمع الكلامي لتشخيص بعض الاضطرابات وهو مايسمى بإدراك الكلام في الضجيج Speech In Noise Perception (SINP). للضجيج أنواع مختلفة حسب طيفها التواتري ولكل منها استخداماته الخاصة في علم السمعيات:

- **الضجيج الأبيض** White Noise : هو أحد أهم أنواع الضجيج والذي يستخدم على نطاق واسع من المجالات ويتألف من صوت مركب من مجموعة كبيرة أو طيف واسع من التواترات على مساحة عدة أوكتافات وبسعة متساوية تقريبا وهو يشبه بالتعريف الفيزيائي اللون الأبيض والذي يتركب من كامل ألوان الطيف. أهم مايميز الضجيج الأبيض هو توزع طاقة الصوت Sound Power بشكل متساوي على كامل أجزاء الطيف فلو اقتطعنا الجزء من ٢٠ – ٤٠ هرتز وأيضا الجزء ٤٠٠ – ٤٢٠ هرتز سنجد أن لهما نفس الطاقة (السعة) لأنهما متساويان في عرض الحزمة، طبعا هذا الأمر يحدث في حال كانت عملية التوزع خطية وقد لايتوافر ذلك دائما ويكون هناك توزع غير خطي للطاقة عبر التواترات ويحدث ما يسمى بالعشوائية اللحظية أي تبدل الطاقة بشكل لحظي وعفوي غير منسق بين اجزاء الطيف وهذه الظاهرة موجودة في العديد من النظم الغير خطية وأهم أمثلتها هو الانتروبي Entropy.

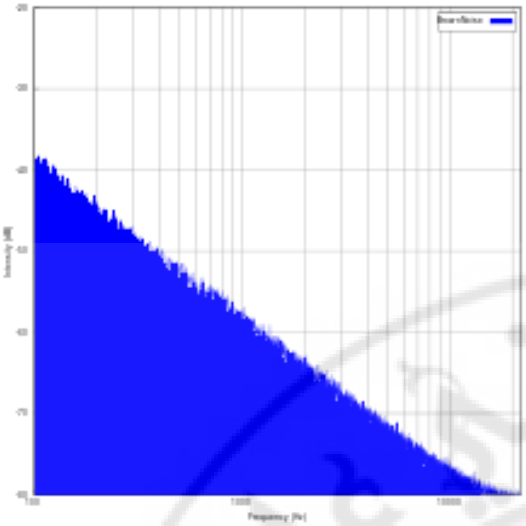


مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الأبيض

- **الضجيج الوردي** Pink Noise: يتميز طيف الضجيج الوردي بأن الطاقة تكون متوزعة بشكل متماثل في كل اوكتاف فمثلا يتم ادراك الطاقة في الاوكتاف ٢٠-٤٠ بنفس الفاصلة والمسافة لتوزع الطاقة في الاكتاف ٢٠٠٠-٤٠٠٠. أما الميزة الثانية لهذا الطيف هي تناقص الطاقة بمقدار ٣,٠١ ديسبل كلما ارتفعنا اوكتاف من التواترات المنخفضة إلى الحادة. انظر الشكل المرافق.

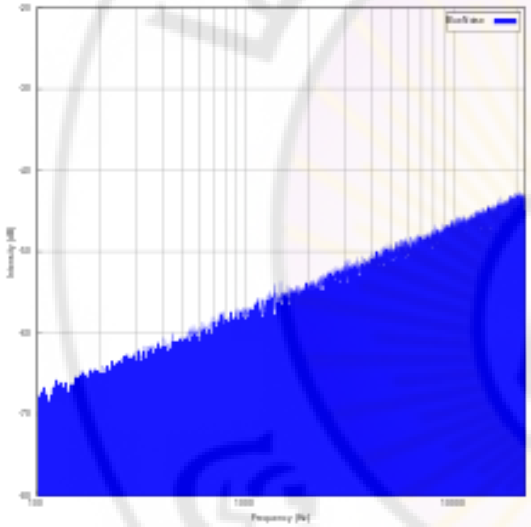


مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الوردي



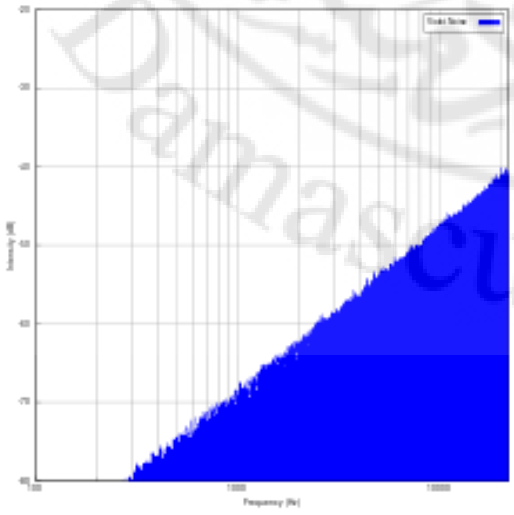
- **الضجيج البراوني (البني)** Brownian noise: لايسمى هذا الضجيج بالبني نسبة للون الطيف البني وانما بالبراوني نسبة للحركة البراونية أو العشوائية وفيه يتم تناقص الطاقة بمعدل ٦,٠٢ ديسبل / الاوكتاف ولو أردنا تصنيفه لونيا سيعطى اللون الأحمر Red Noise حيث يقع الضجيج الوردي في الوسط بينه وبين الضجيج الأبيض. انظر الشكل المرافق.

مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج البني (البراوني)



- **الضجيج الأزرق** Blue Noise: يتميز طيف الضجيج الأزرق بازدياد الطاقة بمعدل ٣,٠١ ديسبل/ الاوكتاف، أو بشكل عام يطلق على كل طيف له طاقة قليلة على التواترات المنخفضة وتزداد باتجاه التواترات المرتفعة أي كلما انتقلنا من القرار إلى الجواب ولكن هذا التعريف فضفاض قليلا لأنه لايوضح العلاقة الدقيقة لتبدل الطاقة مع التواتر. انظر الشكل.

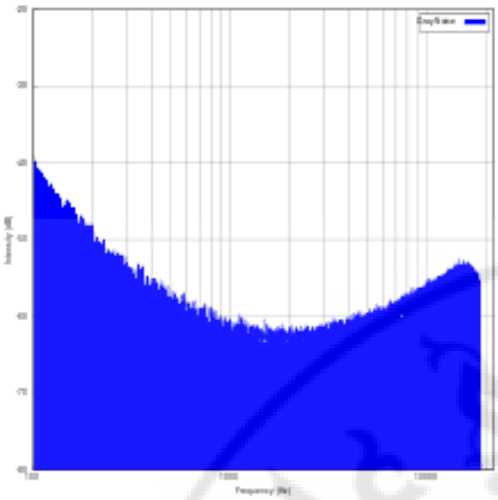
مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الأزرق



- **الضجيج البنفسجي أو الأرجواني** Purple (violet) Noise: وفيه تزداد الطاقة بمعدل ٦,٠٢ ديسبل/ اوكتاف كلما ارتفعنا باتجاه التواتر الحادة، صوتها يسبه الهسهسة Hissing وتمييزها أصعب في الأذن البشرية بسبب نقص كفاءتها على التواترات الأكثر ارتفاعا.

مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الأرجواني

- **الضجيج الرمادي** Grey Noise: وهو طيف يشبه طيف الضجيج الأبيض مع تعديل في توزع الطاقة يتماشى مع منحنيات تساوي الحدة (العلو) Equal Loudness Contours (وهي منحنيات ندرسها لاحقا تعبر عن عدم إدراك الصوت بشكل متساوي العلو على جميع التواترات) وبالتالي فإن الطيف الرمادي يتم إدراكه سمعيا متساوي العلو على جميع التواترات بعكس الضجيج الأبيض والذي يكون متساوي الطاقة على جميع التواترات وبالتالي لايتم إدراكه بشكل متساوي.



مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الرمادي

- **الضجيج الأخضر** Green Noise: وهو يمثل منطقة منتصف تواتر الضجيج الأبيض أو الضجيج البراوني المحدود ويستخدم تجاريا اكثر من سمعيا لتزويد المقاطع الصوتية أو الأفلام بضجيج الخلفية Background Noise وهو الأقرب اكوستيكيا لضجيج المكان Ambient Noise والذي لا دور للإنسان فيه.

- **مما سبق هل يمكنكم التخمين ماهو الضجيج الأسود Black Noise؟**

- **حزمة الضجيج الضيقة** Narrow Band Noise (NBN) وهو نوع آخر من المنبهات السمعية المستخدمة والتي تتركز طاقتها حول تواتر معين كحزمة ضيقة تواتريا مثلا من ٩٠٠ إلى ١١٠٠ هرتز.
- **ضجيج طيف الكلام** Speech Spectrum Noise وهو حزمة من الضجيج يمتد طيفها على التواترات الكلامية بين ٣٠٠ و٣٠٠٠ هرتز نظريا وبين ٢٥٠ – ٥٠٠٠ هرتز عمليا.
- **ضجيج حزمة الأوكتاف** Octave Band Noise: يعرف الأوكتاف بأنه الطيف الفاصل بين تواترين ثانيهما ضعف الأولى فكل تضاعف في التواتر هو واحد اوكتاف، وبالتالي فإن ضجيج حزمة الأوكتاف هو الضجيج الذي يمتد طيفه التواتري على مساحة اوكتاف واحد مثلا بين ٢٥٠ و٥٠٠ هرتز أو بين ٢٠٠٠ و ٤٠٠٠ هرتز.

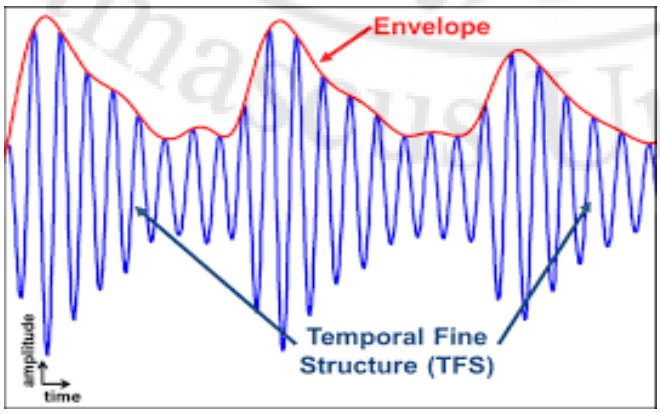
الكلام Speech:

الكلام هو صوت معقد للغاية يعرف فيزيائيا بأنه إشارة صوتية متبدلة بالتواتر والشدة عبر الزمن. تعتبر أصوات الكلام مهمة للغاية بالنسبة للإنسان لأنها تشكل أساس الاتصال الشفوي. من أهم استخدامات إشارة الكلام في السمعيات هو تخطيط السمع الكلامي واختبارات المعالجة السمعية المركزية وتقييم عمل المعينات السمعية وأجهزة زرع الحلزون. دراسة طيف الكلام واسعة جدا وتشمل الكثير من التفاصيل والتي يتم تغطيتها في مواضع مختلفة عن هذا البحث. ولدراسة خصائص الكلام يجب دراسة كافة خصائص الصوت وتطبيقها عليه والتي لامجال لذكرها هنا. يتم التركيز في دراسة طيف الكلام على خاصيتين أساسيتين وهما التواتر الأساسي للكلام والتعزيزات (فورمانت).

- **التردد الأساسي** Fundamental Frequency وهو أحد السمات المهمة للكلام حيث يتم تمييز صوت الإنسان بتواتره الأساسي F0 والذي يتم تحديده من خلال معدل اهتزاز الطيات الصوتية عند أي شخص ويختلف حسب العمر والجنس وكتلة وحجم الطيات الصوتية. يختلف التردد الأساسي لصوت الرجال عن النساء والأطفال. حيث يبلغ التواتر الأساسي لصوت الذكر البالغ السليم حدود ال١٣٠ هرتز وضمن مجال من ٨٥ إلى ١٨٠ هرتز في حين يصل المجال التواتري لصوت النساء بين ١٧٠ إلى ٢٥٠ هرتز والأعلى هو صوت الأطفال والذي يصل إلى حدود ٣٠٠ هرتز.

- **التعزيزات** Formants: وهي المكمل الأساسي لصوت الإنسان إضافة للتواتر الأساسي وهي مجموعة من التعزيزات على تواترات عالية تشكل مضاعفات للتواتر الأساسي تتشكل على طول المسار الصوتي من البلعوم إلى الفم. فالتعزيزات F1,2,3,4,.. هي ذرى متتالية في طيف الكلام (طاقة عالية) على تواترات تشكل مضاعفات للتواتر الأساسي وتتوافق مع رنين أو تجاوب السبيل السمعي وتعتبر الأساس في قدرة السبيل الصوتي على توليد الأصوات المختلفة كالصوامت Consonant والتي تتركز عند التواترات المتوسطة والحادة وأيضا الصوائت Vowels والتي تتركز في منطقة الطيف منخفض ومتوسط التواتر.

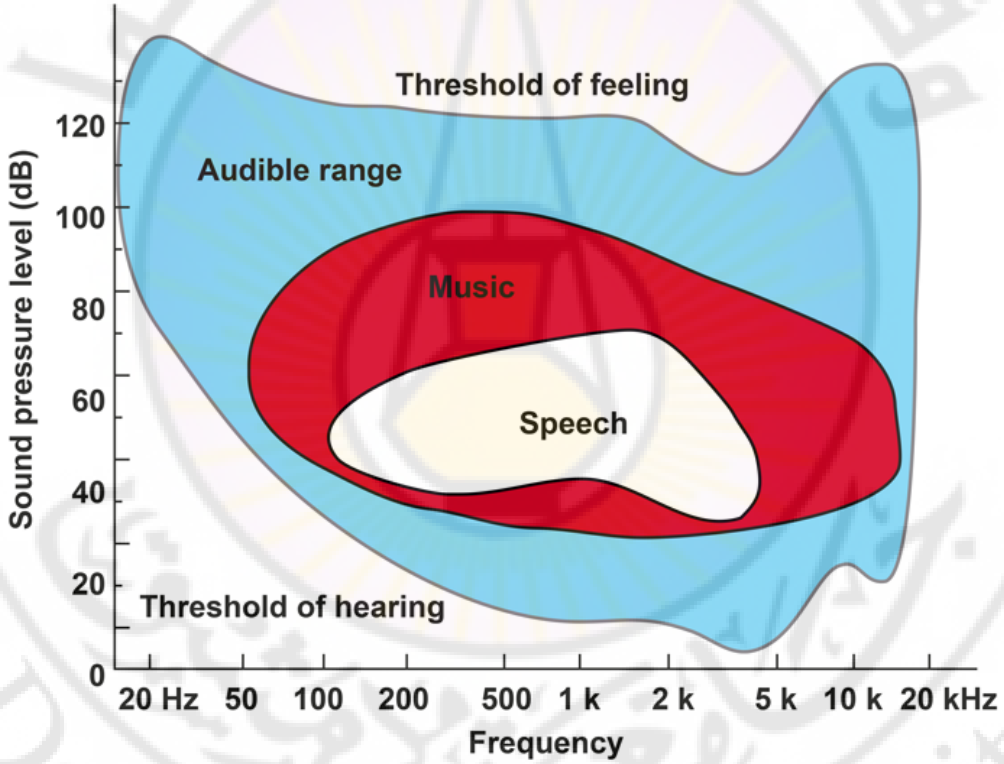
- **الأصوات الكلامية:** تقسم الأصوات الكلامية إلى صوائت Vowels وصوامت Consonants. وتختلف كل منها من حيث خصائصها الأكوستيكية وطرق توليدها. بشكل مختصر يتم توليد الأصوات الكلامية وفق نظرية المنبع- مرشح Source-Filter حيث يتم توليد الصوائت باهتزاز الحبال الصوتية ومن ثم تاخذ خصائصها الأكوستيكية من خلال مرورها في الأوساط الرنانة (المسار الصوتي بدءا من الحنجرة خروجا من الفم والأنف)، تعتبر الصوائت من أسهل الأصوات تحليلا حيث تكون ثابتة الطاقة نسبيا ويتم وصفها من خلال التعزيزات الثلاثة الأولى عادة وعلاقتها بحركة اللسان، كما يتأثر توصيف الصوائت بمدتها وبشكل المسار الصوتي أثناء إصدار التعزيزات، لفهم هذه النقطة أصدر الصوائت الأساسية التالية A,O,U,E,I.
أما الصوامت فيختلف توليدها حسب نوعها فقد تولد بالإغلاق أو الاحتكاك أو الانزلاق وغيرها وكذلك تتأثر بالممر الصوتي كفلتر، قارن بين الأصوات التالية: .. , F , R , TH , T , M. تصنف الصوامت حسب طريقة توليدها ومكان توليدها، وأيضا وجودالجهر والهمس.
- **طيف الكلام** Spectrum of Speech: يتميز طيف الكلام بأنه من نمط الضجيج شبه الدوري Quasiperiodic، مع اختلافات بين الأصوات المجهورة Voiced والغير مجهورة/ المهموسة Voiceless حيث أن طيف الأصوات المجهورة يتألف من مكونين أساسيين وهما التراكيب الدقيقة زمنيا Temporal Fine Structures (TFS) والتي تعبر عن الدور و طبقة الصوت Pitch Period والمكون الثاني هو المغلف Envelope والذي يعكس خصائص الممر الصوتي. في حين تمتاز الأصوات المهموسة بأنها أقرب للضجيج الأبيض وتخسر الجزء المتعلق بالطبقة.



مخطط يوضح طيف الكلام ومكوناته الأساسية

الموسيقا Music:

الموسيقى هي شكل آخر من أشكال الصوت المركب الذي يستخدم للتواصل أيضا. يتم استخدام كل خاصية من خصائص الصوت التي تمت مراجعتها في الفصل في وصف الموسيقى. تشبه المصطلحات المستخدمة في علم السمع إلى حد ما المصطلحات المستخدمة من قبل الموسيقيين والعلماء الذين يجرون أبحاثًا حول إدراك الموسيقى. يتم وصف الموسيقى من حيث التردد والطبقة Pitch، والشدة والجهارة Loudness، والخصائص الزمنية مثل مدة الأصوات وتسلسلها. ومع ذلك، غالبًا ما تختلف مصطلحات الموسيقى عن المصطلحات المستخدمة في علم السمع، على الرغم من مشاركة العديد من المفاهيم. الأشخاص الذين يعانون من ضعف السمع والذين يعانون من صعوبات في فهم الكلام قد يعبرون أيضًا عن مخاوفهم بشأن مشاكل سماع الموسيقى. من المفيد الاطلاع على المقياس الموسيقي لأهميته في تقييم ومساعدة المرضى الذين يعانون من ضعف السمع والذين يعبرون عن مشاكل في إدراك الموسيقى أو انخفاض الاستمتاع بالاستماع إلى الموسيقى. يوضح الشكل ٣,٧ كل م طيف الكلام والموسيقا وتقاطعهما على محوري التواتر والشدة.



الشكل ٣,٧. يوضح طيف الكلام والموسيقا والأصوات المسموعة في الأذن البشرية

الأصوات البيئية Environmental Sounds:

يُستخدم مصطلح الضوضاء عادةً للإشارة إلى الأصوات البيئية التي لا صلة لها بالموضوع السمعي ولا تنقل المعنى وتؤثر أحيانًا على التواصل أو جودة الحياة. من الضروري معرفة الأصوات البيئية المتنوعة وشدتها وتأثيرها على الوظيفة السمعية وحياة الإنسان. تستخدم الأصوات البيئية كأصوات الحيوانات ووسائل النقل في برامج التأهيل السمعي في مراحلها الأولى قبل بدء تعريف الطفل بالأصوات الكلامية كونها أسهل وطيفها التواتري أوسع.

إن التعرض للأصوات الشديدة يسبب أذية سمعية ونقص سمع محرض بالضجيج وبعض الأصوات العالية جدا تسبب صدمة صوتية أو رض صوتي حاد كالانفجارات. في حين تشكل الحروب والمعامل ونمط الحياة الصاخب والاستماع غير الآمن للموسيقا أهم أسباب نقص السمع المحرض بالضجيج. في الجدول ٣,١ يوجد تعريف بالعديد من الأصوات البيئية وشدتها.

الجدول ٣,١. يوضح مجموعة من الأصوات البيئية وشدتها

Intensity in dB SPL	Ratio of Sound Pressure to Reference Level	SPL (dynes/cm^2)	Sounds
0	1:1	.0002	Absolute human hearing threshold for a 3000-Hz pure tone
20	10:1	.002	A whispered voice at 4 feet
40	100:1	.02	A quiet room
50	316:1		A typical office
60	1,000:1	.2	Average level of soft conversation 5 feet from the speaker
70	3,160:1		Moderately intense conversational level
80	10,000:1	2.0	Average level of shouting at a distance of about 5 feet, or the sound of heavy traffic
90	31,600:1		Elevated train, or pneumatic drill at 10 feet
100	100,000:1	20.0	Symphony orchestra, or rivet gun at 35 feet
120	1,000,000:1	200.0	Sound of a jet airplane engine, or MP3 player at high volume
140	10,000,000:1	2000.0	Loud sound causing pain

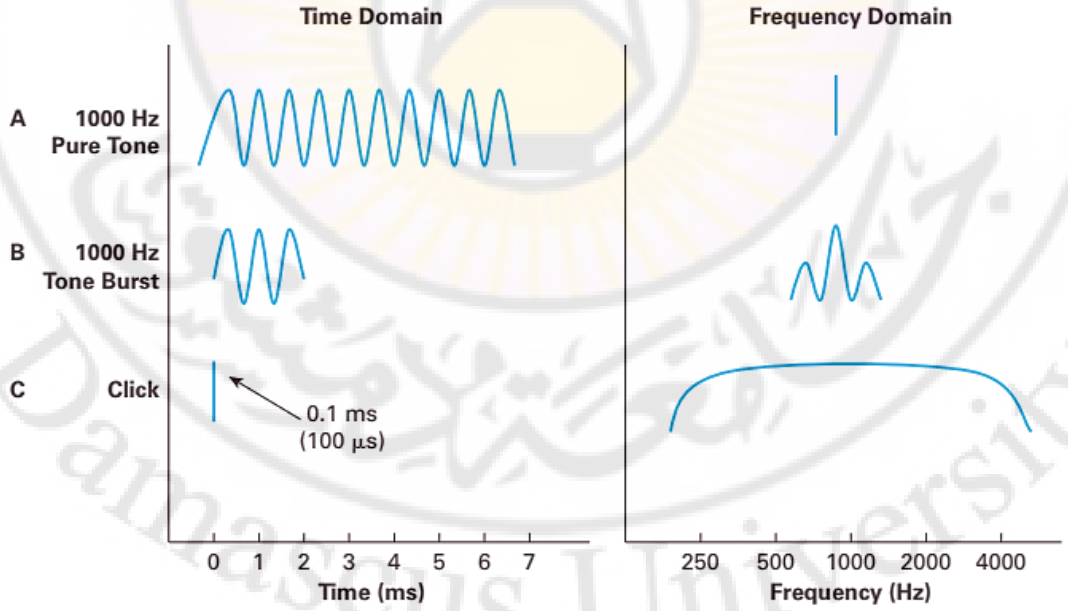
انتهت المحاضرة

الدرس الرابع: نماذج الأصوات الهامة السمعيات Audiologic Sound Samples

الأصوات العابرة Transient Sounds:

الأصوات العابرة هي أصوات مختصرة للغاية مع فترات من المللي ثانية أو حتى جزء قصير من الألف من الثانية. يعتبر صوت الكليك (النقر) Click مثال شائع على هذه الأصوات العابرة. وهناك نوع آخر يسمى رشقة النغمات Toneburst وهي حزمة ضيقة من النغمات تتمركز حول تواتر مركزي وتستمر عدة أجزاء من واحدة الميللي ثانية (١٠-١٥ ميللي ثانية) وتتكون غالبا من أقل من ٤ أو ٥ دورات من الصوت

في الشكل ٣,٦ توضيح للعلاقة بين مدة المنبه السمعي وطيفه التواتري، حيث أنه كلما كان المنبه عابرا وذو مدة قصيرة جدا كلما كان طيفه التواتري أوسع بكثير وهذا حال منبه الكليك ذو مدة ال ١٠٠ ميكروثانية. في حين يمتد زمن التونبرست قليلا ليسمح بصفاء تواتري متمركز حول تواتر معين كتواتر ١٠٠٠ هرتز في الشكل، أما للحصول على نغمة صافية فنحن بحاجة لزمن اطزل يمتد إلى عدة ثوان. نية هو ١/٢٥٠ جزء من الثانية فقط. يشار إلى الأصوات النغمية القصيرة جدًا باسم رشقات النغمات. تستخدم المنبهات (الأصوات) العابرة وخصوصا القصيرة جدا كالكليك في اختبارات التقييم السمعي للأطفال الصغار والرضع نظرا لكونها تعطي استجابة سمعية مهمة يمكن تسجيلها وذلك بسبب طيفها التواتري الواسع والذي ينبه مناطق واسعة من الحلزون ويعوض بذلك عن عدم أو تأخر نضج الجهاز العصبي أو صعوبة الاختبار في هذا العمر.



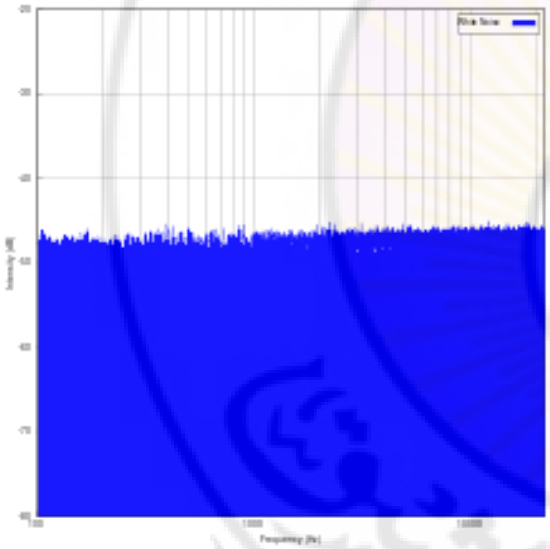
الشكل ٣,٦. نماذج من المنبهات السمعية وعلاقة طول المنبه مع طيفه التواتري

الضجيج Noise: عادة ما يشار إلى مصطلح الضجيج بطريقة سلبية نسبة لأي ضوضاء مزعجة أو أي طاقة صوتية غير مرغوب فيها وتسبب عدم الرضا أو عدم الراحة كصوت دراجة نارية مع عوادم مفتوحة أو صوت نباح الكلب في الليل أو الصباح الباكر. وحتى في غياب هذه الأصوات الخارجية هناك ضجيج دائم الوجود لايمكن تفاديه إلا في الغرف السمعية او غرف العزل الصوتي وهو ضجيج الخلفية أو مايسمى بضجيج المكان Background Noise وهو الضجيج الناجم عن الحركة المستمرة والحتمية

لجزيئات الهواء والتي تسبب ضجيجا واسع الطيف من ٢٥٠ إلى ٨٠٠٠ هرتز ولكن بطاقة منخفضة تقدر في درجات الحرارة والضغط الجوي العاديين بحدود $١٠^{-١٦}$ واط / م^{٢} ولحسن الحظ هذا المقدار منخفض ويمكن تجاهله ولايؤثر على دقة قياس السمع حتى عند الأشخاص الذين لديهم حساسية سمعية أفضل من المتوسط.

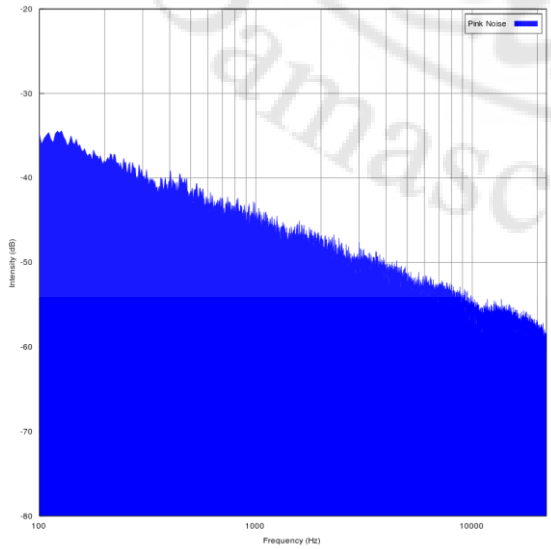
أنواع الضوضاء في اختبارات السمع: للضجيج (noise) أهمية كبيرة في الاختبارات السمعية وفي الأبحاث العلمية السمعية وأيضا في بعض برامج التأهيل والعلاج السمعي كالعلاج بالضجيج لمرضى الطنين المزمن. يستخدم الضجيج إلى جانب النغمة الصافية في تخطيط السمع بالنغمة الصافية لزيادة دقة الاستجابة في حالات نقص السمع غير المتناظر وهو مايسمى بالتشويش Masking. كما يستخدم مرافقا للمنبه الكلامي في تخطيط السمع الكلامي لتشخيص بعض الاضطرابات وهو مايسمى بإدراك الكلام في الضجيج Speech In Noise Perception (SINP). للضجيج أنواع مختلفة حسب طيفها التواتري ولكل منها استخداماته الخاصة في علم السمعيات:

- **الضجيج الأبيض** White Noise : هو أحد أهم أنواع الضجيج والذي يستخدم على نطاق واسع من المجالات ويتألف من صوت مركب من مجموعة كبيرة أو طيف واسع من التواترات على مساحة عدة أوكتافات وبسعة متساوية تقريبا وهو يشبه بالتعريف الفيزيائي اللون الأبيض والذي يتركب من كامل ألوان الطيف. أهم مايميز الضجيج الأبيض هو توزع طاقة الصوت Sound Power بشكل متساوي على كامل أجزاء الطيف فلو اقتطعنا الجزء من ٢٠ – ٤٠ هرتز وأيضا الجزء ٤٠٠ – ٤٢٠ هرتز سنجد أن لهما نفس الطاقة (السعة) لأنهما متساويان في عرض الحزمة، طبعا هذا الأمر يحدث في حال كانت عملية التوزع خطية وقد لايتوافر ذلك دائما ويكون هناك توزع غير خطي للطاقة عبر التواترات ويحدث ما يسمى بالعشوائية اللحظية أي تبدل الطاقة بشكل لحظي وعفوي غير منسق بين اجزاء الطيف وهذه الظاهرة موجودة في العديد من النظم الغير خطية وأهم أمثلتها هو الانتروبي Entropy.

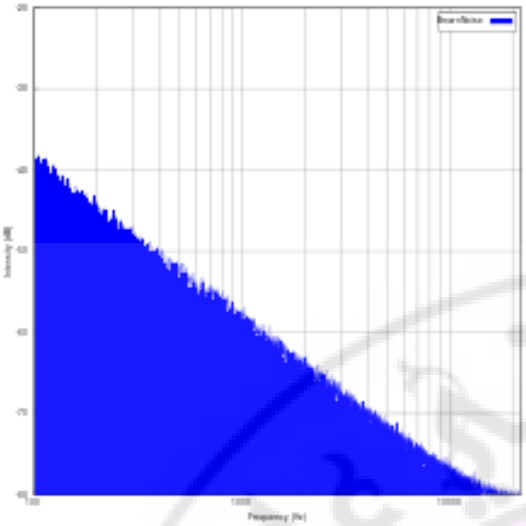


مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الأبيض

- **الضجيج الوردي** Pink Noise: يتميز طيف الضجيج الوردي بأن الطاقة تكون متوزعة بشكل متماثل في كل اوكتاف فمثلا يتم ادراك الطاقة في الاوكتاف ٢٠-٤٠ بنفس الفاصلة والمسافة لتوزع الطاقة في الاكتاف ٢٠٠٠-٤٠٠٠. أما الميزة الثانية لهذا الطيف هي تناقص الطاقة بمقدار ٣,٠١ ديسبل كلما ارتفعنا اوكتاف من التواترات المنخفضة إلى الحادة. انظر الشكل المرافق.

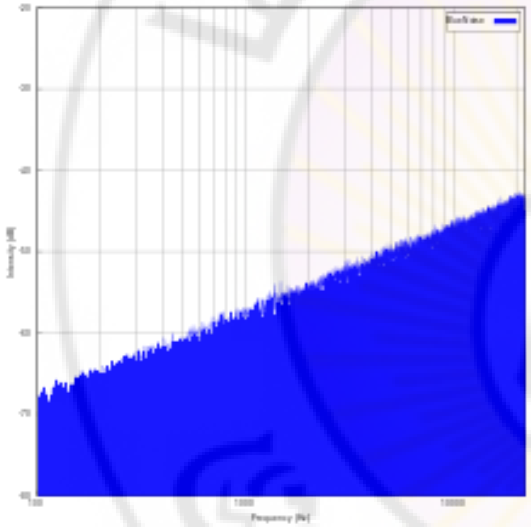


مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الوردي



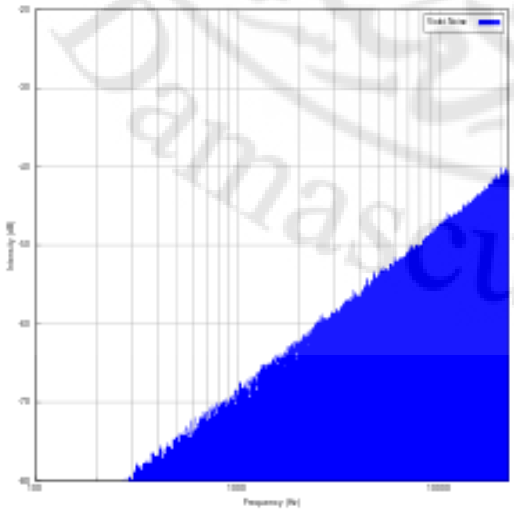
- **الضجيج البراوني (البني)** Brownian noise: لايسمى هذا الضجيج بالبني نسبة للون الطيف البني وانما بالبراوني نسبة للحركة البراونية أو العشوائية وفيه يتم تناقص الطاقة بمعدل ٦,٠٢ ديسبل / الاوكتاف ولو أردنا تصنيفه لونيا سيعطى اللون الأحمر Red Noise حيث يقع الضجيج الوردي في الوسط بينه وبين الضجيج الأبيض. انظر الشكل المرافق.

مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج البني (البراوني)



- **الضجيج الأزرق** Blue Noise: يتميز طيف الضجيج الأزرق بازدياد الطاقة بمعدل ٣,٠١ ديسبل/ الاوكتاف، أو بشكل عام يطلق على كل طيف له طاقة قليلة على التواترات المنخفضة وتزداد باتجاه التواترات المرتفعة أي كلما انتقلنا من القرار إلى الجواب ولكن هذا التعريف فضفاض قليلا لأنه لايوضح العلاقة الدقيقة لتبدل الطاقة مع التواتر. انظر الشكل.

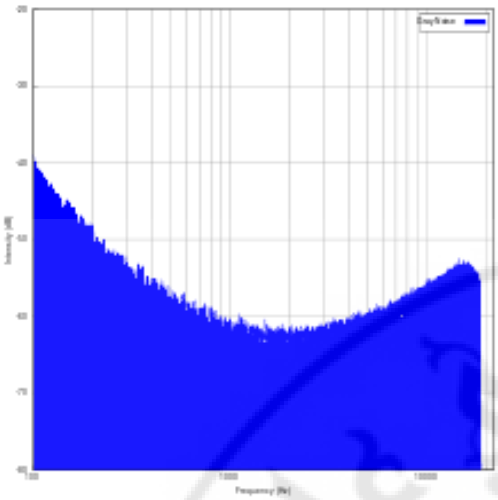
مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الأزرق



- **الضجيج البنفسجي أو الأرجواني** Purple (violet) Noise: وفيه تزداد الطاقة بمعدل ٦,٠٢ ديسبل/ اوكتاف كلما ارتفعنا باتجاه التواتر الحادة، صوتها يسبه الهسهسة Hissing وتمييزها أصعب في الأذن البشرية بسبب نقص كفاءتها على التواترات الأكثر ارتفاعا.

مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الأرجواني

- **الضجيج الرمادي** Grey Noise: وهو طيف يشبه طيف الضجيج الأبيض مع تعديل في توزع الطاقة يتماشى مع منحنيات تساوي الحدة (العلو) Equal Loudness Contours (وهي منحنيات ندرسها لاحقا تعبر عن عدم إدراك الصوت بشكل متساوي العلو على جميع التواترات) وبالتالي فإن الطيف الرمادي يتم إدراكه سمعيا متساوي العلو على جميع التواترات بعكس الضجيج الأبيض والذي يكون متساوي الطاقة على جميع التواترات وبالتالي لايتم إدراكه بشكل متساوي.



مخطط يوضح التركيب الطيفي للضجيج الرمادي

- **الضجيج الأخضر** Green Noise: وهو يمثل منطقة منتصف تواتر الضجيج الأبيض أو الضجيج البراوني المحدود ويستخدم تجاريا اكثر من سمعيا لتزويد المقاطع الصوتية أو الأفلام بضجيج الخلفية Background Noise وهو الأقرب اكوستيكيا لضجيج المكان Ambient Noise والذي لا دور للإنسان فيه.

- **مما سبق هل يمكنكم التخمين ماهو الضجيج الأسود Black Noise؟**

- **حزمة الضجيج الضيقة** Narrow Band Noise (NBN) وهو نوع آخر من المنبهات السمعية المستخدمة والتي تتركز طاقتها حول تواتر معين كحزمة ضيقة تواتريا مثلا من ٩٠٠ إلى ١١٠٠ هرتز.
- **ضجيج طيف الكلام** Speech Spectrum Noise وهو حزمة من الضجيج يمتد طيفها على التواترات الكلامية بين ٣٠٠ و٣٠٠٠ هرتز نظريا وبين ٢٥٠ – ٥٠٠٠ هرتز عمليا.
- **ضجيج حزمة الأوكتاف** Octave Band Noise: يعرف الأوكتاف بأنه الطيف الفاصل بين تواترين ثانيهما ضعف الأولى فكل تضاعف في التواتر هو واحد اوكتاف، وبالتالي فإن ضجيج حزمة الأوكتاف هو الضجيج الذي يمتد طيفه التواتري على مساحة اوكتاف واحد مثلا بين ٢٥٠ و٥٠٠ هرتز أو بين ٢٠٠٠ و ٤٠٠٠ هرتز.

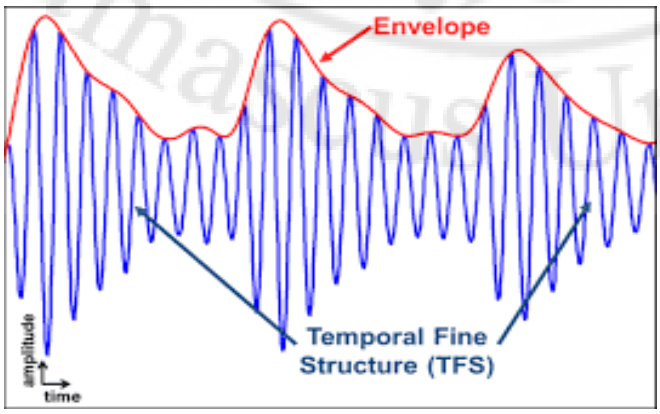
الكلام Speech:

الكلام هو صوت معقد للغاية يعرف فيزيائيا بأنه إشارة صوتية متبدلة بالتواتر والشدة عبر الزمن. تعتبر أصوات الكلام مهمة للغاية بالنسبة للإنسان لأنها تشكل أساس الاتصال الشفوي. من أهم استخدامات إشارة الكلام في السمعيات هو تخطيط السمع الكلامي واختبارات المعالجة السمعية المركزية وتقييم عمل المعينات السمعية وأجهزة زرع الحلزون. دراسة طيف الكلام واسعة جدا وتشمل الكثير من التفاصيل والتي يتم تغطيتها في مواضع مختلفة عن هذا البحث. ولدراسة خصائص الكلام يجب دراسة كافة خصائص الصوت وتطبيقها عليه والتي لامجال لذكرها هنا. يتم التركيز في دراسة طيف الكلام على خاصيتين أساسيتين وهما التواتر الأساسي للكلام والتعزيزات (فورمانت).

- **التردد الأساسي** Fundamental Frequency وهو أحد السمات المهمة للكلام حيث يتم تمييز صوت الإنسان بتواتره الأساسي F0 والذي يتم تحديده من خلال معدل اهتزاز الطيات الصوتية عند أي شخص ويختلف حسب العمر والجنس وكتلة وحجم الطيات الصوتية. يختلف التردد الأساسي لصوت الرجال عن النساء والأطفال. حيث يبلغ التواتر الأساسي لصوت الذكر البالغ السليم حدود ال١٣٠ هرتز وضمن مجال من ٨٥ إلى ١٨٠ هرتز في حين يصل المجال التواتري لصوت النساء بين ١٧٠ إلى ٢٥٠ هرتز والأعلى هو صوت الأطفال والذي يصل إلى حدود ٣٠٠ هرتز.

- **التعزيزات** Formants: وهي المكمل الأساسي لصوت الإنسان إضافة للتواتر الأساسي وهي مجموعة من التعزيزات على تواترات عالية تشكل مضاعفات للتواتر الأساسي تتشكل على طول المسار الصوتي من البلعوم إلى الفم. فالتعزيزات F1,2,3,4,.. هي ذرى متتالية في طيف الكلام (طاقة عالية) على تواترات تشكل مضاعفات للتواتر الأساسي وتتوافق مع رنين أو تجاوب السبيل السمعي وتعتبر الأساس في قدرة السبيل الصوتي على توليد الأصوات المختلفة كالصوامت Consonant والتي تتركز عند التواترات المتوسطة والحادة وأيضا الصوائت Vowels والتي تتركز في منطقة الطيف منخفض ومتوسط التواتر.

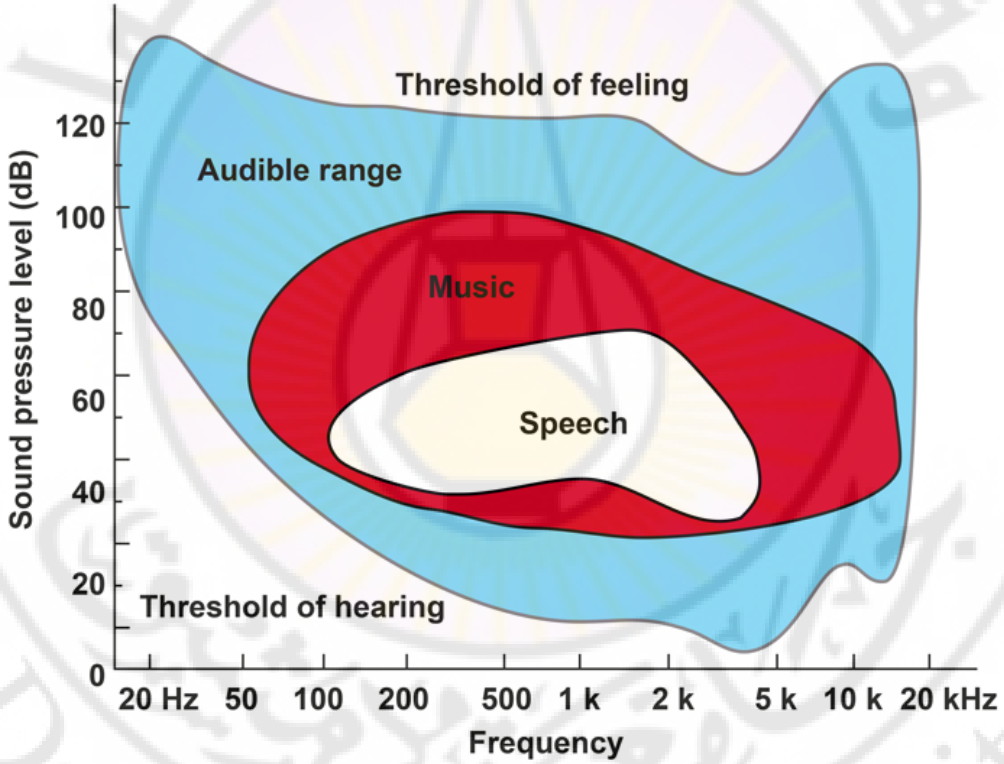
- **الأصوات الكلامية:** تقسم الأصوات الكلامية إلى صوائت Vowels وصوامت Consonants. وتختلف كل منها من حيث خصائصها الأكوستيكية وطرق توليدها. بشكل مختصر يتم توليد الأصوات الكلامية وفق نظرية المنبع- مرشح Source-Filter حيث يتم توليد الصوائت باهتزاز الحبال الصوتية ومن ثم تاخذ خصائصها الأكوستيكية من خلال مرورها في الأوساط الرنانة (المسار الصوتي بدءا من الحنجرة خروجا من الفم والأنف)، تعتبر الصوائت من أسهل الأصوات تحليلا حيث تكون ثابتة الطاقة نسبيا ويتم وصفها من خلال التعزيزات الثلاثة الأولى عادة وعلاقتها بحركة اللسان، كما يتأثر توصيف الصوائت بمدتها وبشكل المسار الصوتي أثناء إصدار التعزيزات، لفهم هذه النقطة أصدر الصوائت الأساسية التالية A,O,U,E,I.
أما الصوامت فيختلف توليدها حسب نوعها فقد تولد بالإغلاق أو الاحتكاك أو الانزلاق وغيرها وكذلك تتأثر بالممر الصوتي كفلتر، قارن بين الأصوات التالية: .. , F , R , TH , T , M. تصنف الصوامت حسب طريقة توليدها ومكان توليدها، وأيضا وجودالجهر والهمس.
- **طيف الكلام** Spectrum of Speech: يتميز طيف الكلام بأنه من نمط الضجيج شبه الدوري Quasiperiodic، مع اختلافات بين الأصوات المجهورة Voiced والغير مجهورة/ المهموسة Voiceless حيث أن طيف الأصوات المجهورة يتألف من مكونين أساسيين وهما التراكيب الدقيقة زمنيا Temporal Fine Structures (TFS) والتي تعبر عن الدور و طبقة الصوت Pitch Period والمكون الثاني هو المغلف Envelope والذي يعكس خصائص الممر الصوتي. في حين تمتاز الأصوات المهموسة بأنها أقرب للضجيج الأبيض وتخسر الجزء المتعلق بالطبقة.



مخطط يوضح طيف الكلام ومكوناته الأساسية

الموسيقا Music:

الموسيقى هي شكل آخر من أشكال الصوت المركب الذي يستخدم للتواصل أيضا. يتم استخدام كل خاصية من خصائص الصوت التي تمت مراجعتها في الفصل في وصف الموسيقى. تشبه المصطلحات المستخدمة في علم السمع إلى حد ما المصطلحات المستخدمة من قبل الموسيقيين والعلماء الذين يجرون أبحاثًا حول إدراك الموسيقى. يتم وصف الموسيقى من حيث التردد والطبقة Pitch، والشدة والجهارة Loudness، والخصائص الزمنية مثل مدة الأصوات وتسلسلها. ومع ذلك، غالبًا ما تختلف مصطلحات الموسيقى عن المصطلحات المستخدمة في علم السمع، على الرغم من مشاركة العديد من المفاهيم. الأشخاص الذين يعانون من ضعف السمع والذين يعانون من صعوبات في فهم الكلام قد يعبرون أيضًا عن مخاوفهم بشأن مشاكل سماع الموسيقى. من المفيد الاطلاع على المقياس الموسيقي لأهميته في تقييم ومساعدة المرضى الذين يعانون من ضعف السمع والذين يعبرون عن مشاكل في إدراك الموسيقى أو انخفاض الاستمتاع بالاستماع إلى الموسيقى. يوضح الشكل ٣,٧ كل م طيف الكلام والموسيقا وتقاطعهما على محوري التواتر والشدة.



الشكل ٣,٧. يوضح طيف الكلام والموسيقا والأصوات المسموعة في الأذن البشرية

الأصوات البيئية Environmental Sounds:

يُستخدم مصطلح الضوضاء عادةً للإشارة إلى الأصوات البيئية التي لا صلة لها بالموضوع السمعي ولا تنقل المعنى وتؤثر أحيانًا على التواصل أو جودة الحياة. من الضروري معرفة الأصوات البيئية المتنوعة وشدتها وتأثيرها على الوظيفة السمعية وحياة الإنسان. تستخدم الأصوات البيئية كأصوات الحيوانات ووسائل النقل في برامج التأهيل السمعي في مراحلها الأولى قبل بدء تعريف الطفل بالأصوات الكلامية كونها أسهل وطيفها التواتري أوسع.

إن التعرض للأصوات الشديدة يسبب أذية سمعية ونقص سمع محرض بالضجيج وبعض الأصوات العالية جدا تسبب صدمة صوتية أو رض صوتي حاد كالانفجارات. في حين تشكل الحروب والمعامل ونمط الحياة الصاخب والاستماع غير الآمن للموسيقا أهم أسباب نقص السمع المحرض بالضجيج. في الجدول ٣,١ يوجد تعريف بالعديد من الأصوات البيئية وشدتها.

الجدول ٣,١. يوضح مجموعة من الأصوات البيئية وشدتها

Intensity in dB SPL	Ratio of Sound Pressure to Reference Level	SPL (dynes/cm^2)	Sounds
0	1:1	.0002	Absolute human hearing threshold for a 3000-Hz pure tone
20	10:1	.002	A whispered voice at 4 feet
40	100:1	.02	A quiet room
50	316:1		A typical office
60	1,000:1	.2	Average level of soft conversation 5 feet from the speaker
70	3,160:1		Moderately intense conversational level
80	10,000:1	2.0	Average level of shouting at a distance of about 5 feet, or the sound of heavy traffic
90	31,600:1		Elevated train, or pneumatic drill at 10 feet
100	100,000:1	20.0	Symphony orchestra, or rivet gun at 35 feet
120	1,000,000:1	200.0	Sound of a jet airplane engine, or MP3 player at high volume
140	10,000,000:1	2000.0	Loud sound causing pain

انتهت المحاضرة

جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية
قسم السمعيات

Acoustics & Psychoacoustics

Sound Absorption امتصاص الصوت

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology

April 2023

الامتصاص Absorption

- يحول الامتصاص الطاقة الصوتية إلى حرارية .
- يفيد الامتصاص في تقليل مستويات الصوت داخل الغرف ولكن ليس بين الغرف .
- كل مادة تتفاعل معها الموجات الصوتية تمتص بعض الأصوات.
- المقياس الأكثر فائدة لذلك هو معامل الامتصاص الذي يشار إلية عادة بالحرف (ألفا α).
- معامل الامتصاص: هو نسبة الصوت الممتص إلى الطاقة الصوتية المسلطة على السطح.
- يتراوح معامل امتصاص أي وسط بين 0-1، وإذا لم تمتص مادة ما أي جزء من الطاقة الصوتية المسلطة عليها فإن معامل امتصاصها يكون صفرا.

الامتصاص Absorption

- تعكس المادة التي يكون معامل امتصاصها 0 كل الحوادث الصوتية عليها.
- في الممارسة العلمية، لأي مادة القدرة على امتصاص بعض الأصوات ولو بدرجات متفاوتة، لذلك فإن هذا الصفر فهو يمثل الحد النظري لمعامل الامتصاص.
- إذا قامت مادة بامتصاص كل الصوت الساقط عليها يكون معامل الامتصاص الخاص بها هو الواحد (1).
- كما هو الحال مع الحد الأدنى لمعاملات الامتصاص، إن قيمة الواحد أو الامتصاص الكلي هي قيمة نظرية وفي الواقع لايوجد مادة إلا وتقوم بعكس الصوت عنها ولو بنسب ضئيلة.

- تختلف معاملات الامتصاص باختلاف التواتر.
- المواد الامتصاصية النموذجية تتميز بمعاملات الامتصاص التي تزداد مع التردد.
- لذلك فإن فعاليتها محدودة بالنسبة للتواترات المنخفضة خاصة أقل من 250هرتز. في حين هناك ماصات تم تصميمها لامتصاص التواترات المنخفضة.

معامل الامتصاص

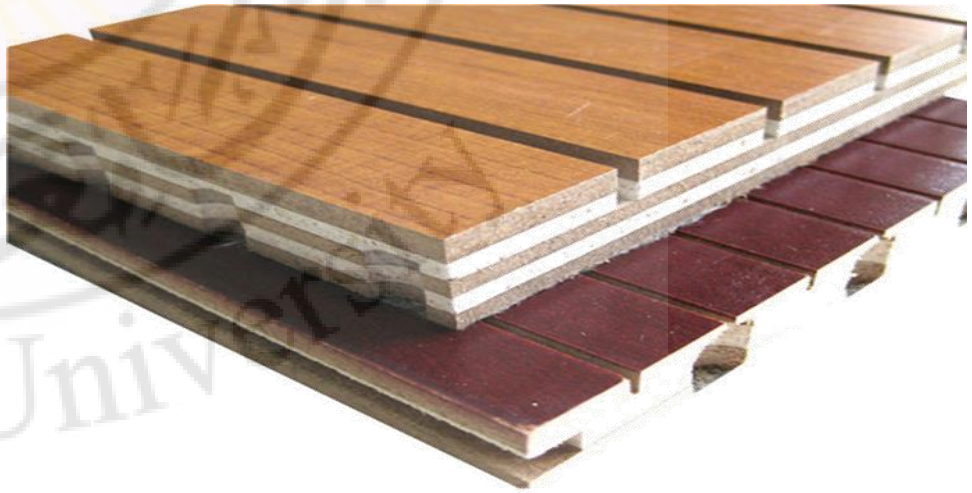
- تم تحديد معامل الامتصاص من قبل الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد
(American society for testing and materials (ASTM)
- معامل تخفيض الضجيج ((Noise Reduction Coefficient (NRC) هو المتوسط الحسابي (وليس اللوغاريتمي) لمعاملات امتصاص مادة عند 250 و 500 و 1000 و 2000 هرتز، ويتم استخدامه لتجنب ذكر معامل امتصاص كل مادة على جميع التواترات.
- الجدول التالي يبين القيم المعتبرة لأغراض مرجعية فقط. ويجب أن تستند القيم المحددة إلى مواصفات الشركات المصنعة.
- لاحظ أيضا أن معاملات الامتصاص وقيم NRC ليس لها وحدات مرتبطة بها.
- بشكل عام تعتبر المواد ذات قيم NRCأقل من 0.20 عاكسة وليست ماصة.
- تستخدم المواد ذات معامل الامتصاص المرتفع للتخلص من الصدى ومعاكسة تشكل الأمواج الواقفة Standing waves.

معاملات الامتصاص وقيم NRC للمواد الشائعة

Material	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
Painted drywall	0.10	0.08	0.05	0.03	0.03	0.03	0.05
Plaster	0.02	0.03	0.04	0.05	0.04	0.03	0.05
Smooth concrete	0.10	0.05	0.06	0.07	0.09	0.08	0.05
Coarse concrete	0.36	0.44	0.31	0.29	0.39	0.25	0.35
Smooth brick	0.03	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.05
Glass	0.05	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.05
Plywood	0.58	0.22	0.07	0.04	0.03	0.07	0.10
Metal blinds	0.06	0.05	0.07	0.15	0.13	0.17	0.10
Thick panel	0.25	0.47	0.71	0.79	0.81	0.78	0.70
Light drapery	0.03	0.04	0.11	0.17	0.24	0.35	0.15
Heavy drapery	0.14	0.35	0.55	0.72	0.70	0.65	0.60
Helmholtz resonator	0.20	0.95	0.85	0.49	0.53	0.50	0.70
Ceramic tile	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.00
Linoleum	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.05
Carpet	0.05	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.15
Carpet on concrete	0.05	0.10	0.15	0.30	0.50	0.55	0.25
Carpet on rubber	0.05	0.15	0.13	0.40	0.50	0.60	0.30
Upholstered seats	0.19	0.37	0.56	0.67	0.61	0.59	0.55
Occupied seats	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.87	0.80
Water surface	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.00
Soil	0.15	0.25	0.40	0.55	0.60	0.60	0.45
Grass	0.11	0.26	0.60	0.69	0.92	0.99	0.60
Cellulose spray (1″)	0.08	0.29	0.75	0.98	0.93	0.76	0.75

Sound Absorption Average

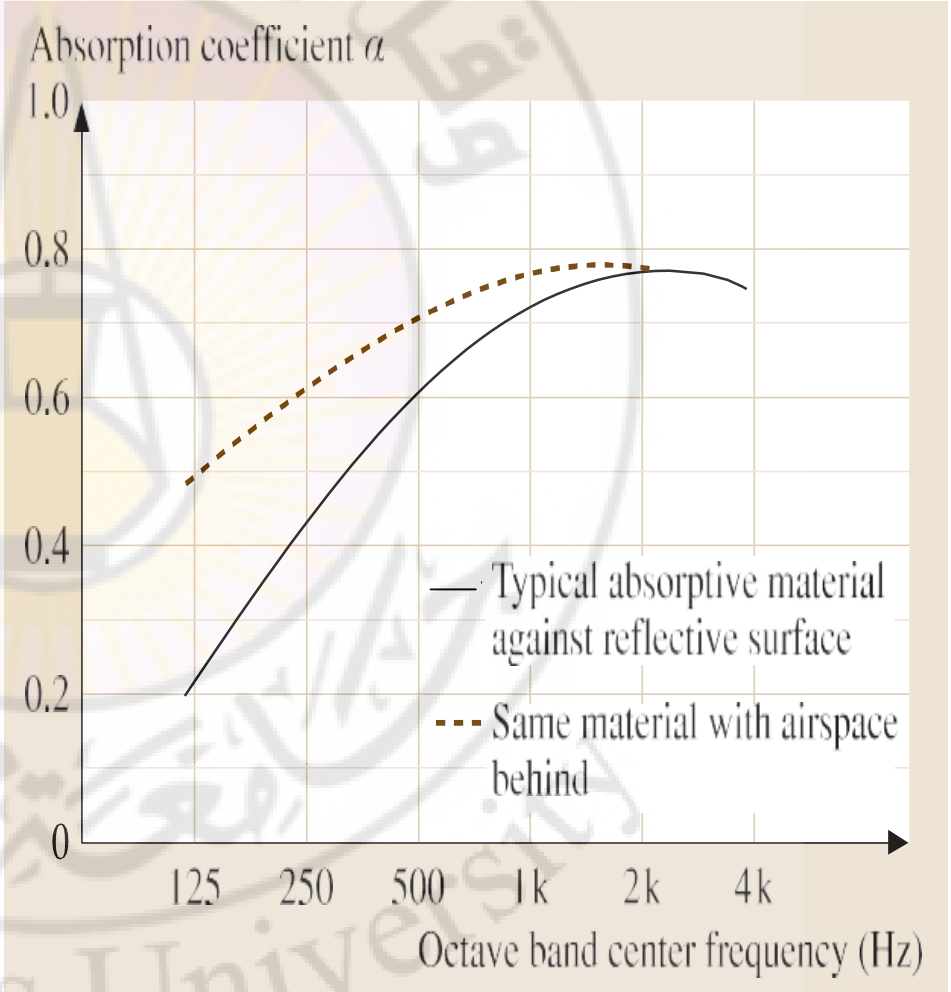
- حاليا يستخدم مشعر آخر لامتصاص الصوت يسمى: وسطي امتصاص الصوت Sound Absorption Average (SAA) وهو يعبر عن وسطي امتصاص الصوت لمادة بين التواترات 200-2500 هرتز.
- إن الطريقة التي يتم فيها تركيب وتصميم الجدار المكون من المادة الممتصة يؤثر بشكل مهم على ازدياد معامل الامتصاص وخصوصا للتواترات المنخفضة.
- مثلا زيادة طبقات المادة مع وجود فراغات هوائية وثقوب ضمنها – مواجهة المادة بحاجز هوائي خلفها جميعها من العوامل التي تزيد امتصاص التواترات المنخفضة.



التأثير العام لمساحة هوائية بين المادة الممتصة وسطحها المتصاعد :

ـــــ : مادة ماصة نموذجية ضد السطح العاكس

ـ ـ ـ : نفس المواد مع الفراغ الهوائي خلفها



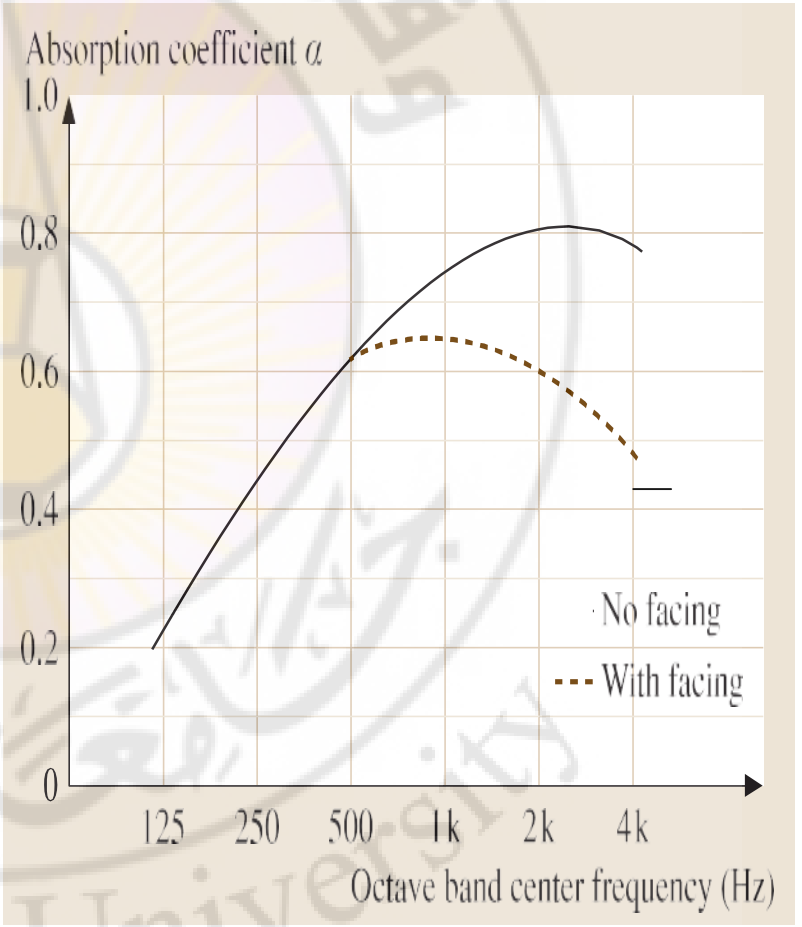
تأثير الواجهات الشفافة غير الصوتية على امتصاص المواد

- يمكن أن تؤدي الأسطح الموجودة على المواد الامتصاصية إلى تدهور خصائصها الامتصاصية، خاصة بالنسبة للترددات الأعلى (فوق 2000 هرتز).
- الواجهات الشفافة صوتيًا Acoustically Transparent، مثل قماش ال Grill وأقمشة ال Fabric المفتوحة، لها تأثير ضئيل على خصائص الامتصاص، لكن المواد المواجهة غير الشفافة صوتيًا، مثل المعدن المثقوب والشرائح الخشبية، يمكن أن تنتج نوعًا من التأثيرات السلبية على معامل الامتصاص موضحة في الشكل التالي.
- بالمجمل من المهم جدا وحسب نوع كل مادة تحديد المسافات المفتوحة (الثقوب) والفراغات الهوائية والطبقات المناسبة لطبيعة كل مادة لتصبح اكثر امتصاصا.

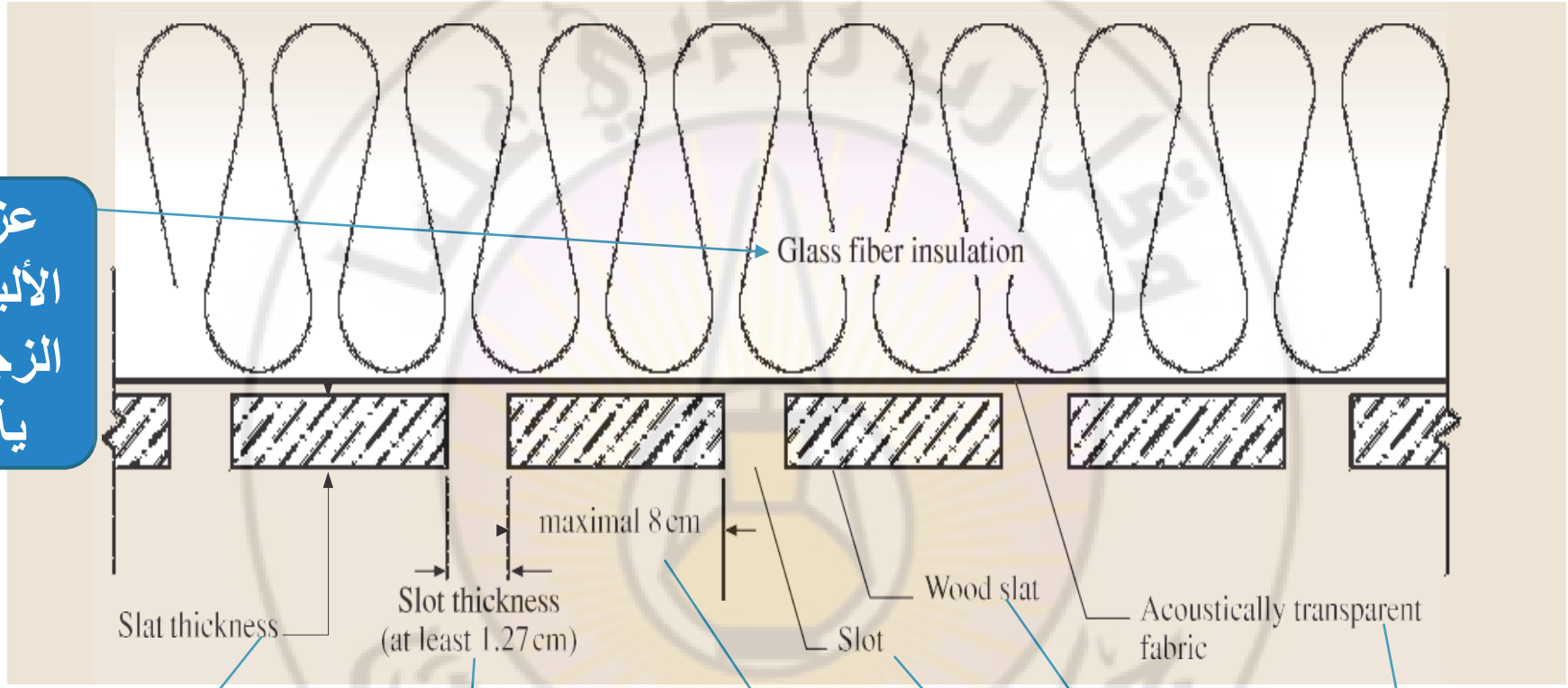
التأثير العام للواجهات الشفافة غير الصوتية على الامتصاص

ـــ : عدم وجود واجهها

- - - : وجود واجهها



إرشادات التصميم العامة للأسقف ذات الألواح الخشبية الداعمة



عزل الألياف الزجاجية

نسيج شفاف صوتيا

سماكة الشريحة

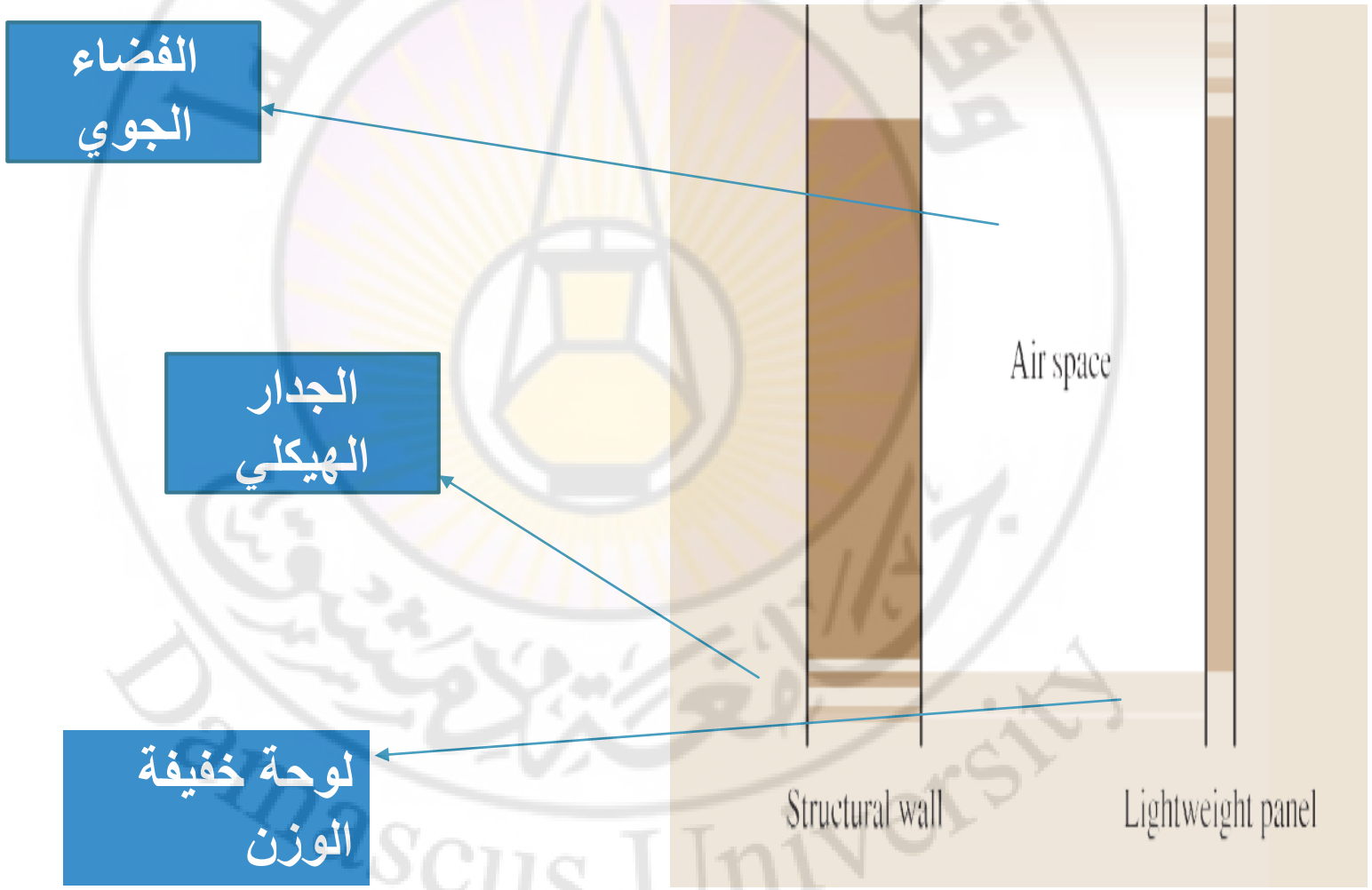
سمك الفتحة (1.27 سم على الأقل)

حد أقصى 8سم

فتحة

شريحة خشبية

تصميم مقطع عرضي للحاجز الذي يستخدم بمواجهة الجدار الاسمنتي لتعزيز الامتصاص



الانعكاسات Reverberation

- يعرف بانه تراكم الصوت داخل الغرفة الناتج عن الانعكاسات المتكررة للأمواج الصوتية على جميع أسطح الغرفة (حيث يستخدم الموسيقيين الانعكاسات لانها تترك أثر جميلا للأصوات).
- ان الصدى شكل من أشكال انعكاس الصوت.
- إن الانعكاسات المتكررة داخل الغرفة السمعية تسبب رفع مستوى الصوت بمقدار 15 ديسبل مما يؤثر على نتائج الاختبار السمعي كما انها تسبب تشويشا على تمييز الكلام داخل الغرفة.
- للتحكم بشدة انعكاس الصوت يجب مراعاة عوامل معينة مثل (مساحة الجدران وحجم الغرفة و المواد المطلية بها الجدران والأرضية). فمثلا الجدران الملساء تميل إلى توجيه الأمواج الصوتية باتجاه معين وهذا سيؤدي لتلقي المستمعين كمية كبيرة من الصوت.
- أما الجدران الخشنة تميل لنشر الصوت باتجاهات مختلفة مما يسمح للمستمع بادراك الصوت في كل جزء من أجزاء الغرفة.
- يعتبر الامتصاص عاملا مهما جدا للتحكم في انعكاس الصوت، حيث يمكن الاستفادة من الامتصاص في حجب أو تخفيف الانعكاسات غير المرغوب بعكسها عن الأسطح بحيث يتم حجب هذه الأمواج بتغطية الأسطح بمادة ماصة.

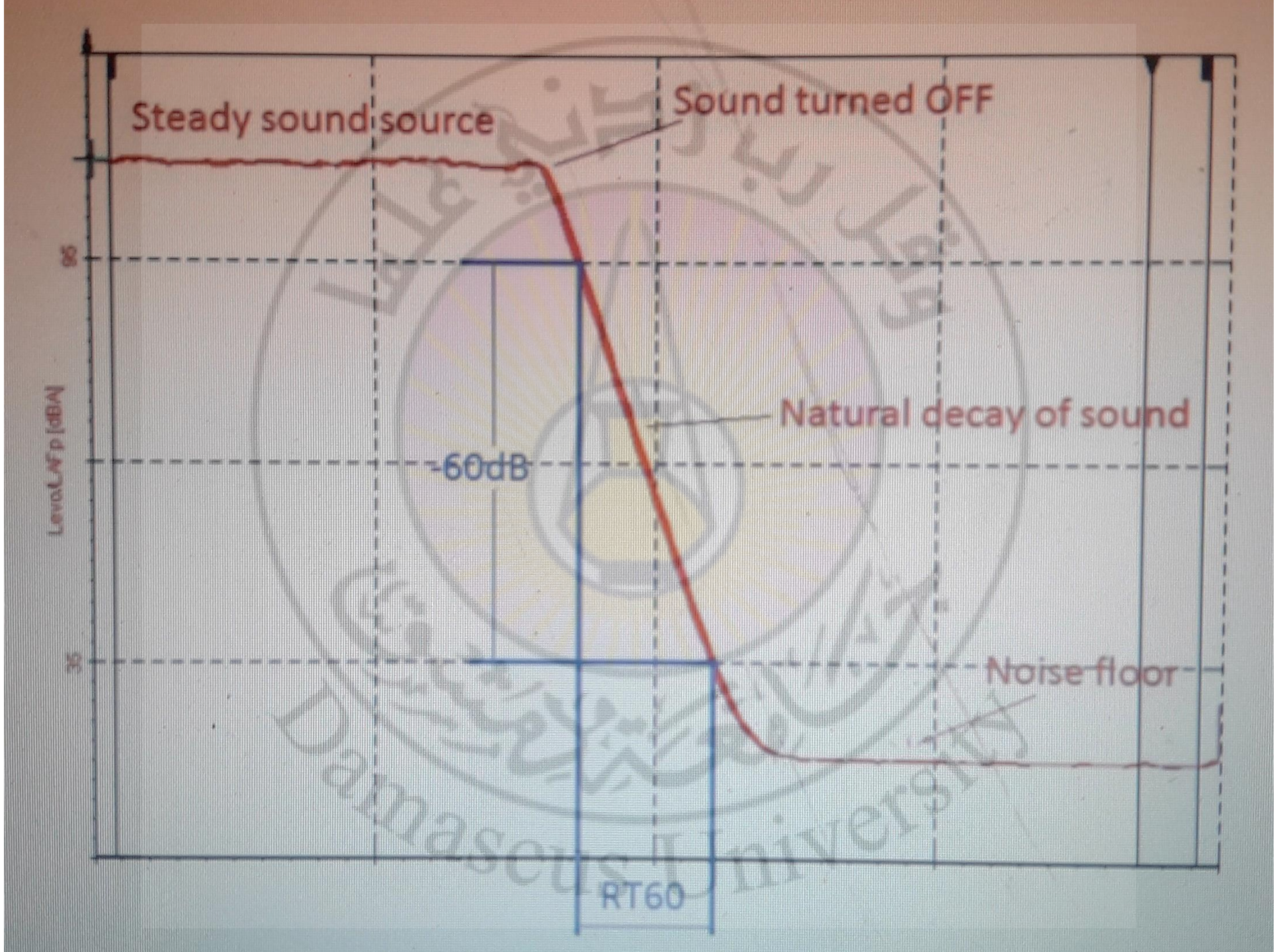
قياس الانعكاسات Reverberation

- يتم التعبير عن انعكاس الصوت باستخدام بارامتر يسمى RT_{60} زمن انعكاس الصوت
- حيث نستطيع تعريف RT_{60} بطريقتين:
  - **فيزيائيا:** هو الوقت الذي يستغرق لتقليل مستوى ضغط الصوت (داخل الغرفة) بما يقابل 60 ديسبل بعد توقف مصدر الصوت.
  - **رياضيا:** يعبر عنه بمعادلة سابين حيث RT_{60} يتناسب طردا مع حجم الغرفة ، ويتناسب عكسا مع امتصاص المواد

$$RT_{60}=0.161\ V/A$$

وللتحكم بRT_{60} نعمل على تغيير حجم الغرفة أو معامل الامتصاص

- يمكن تقليل حجم الغرفة بتقسيمها بجدران لكن عمليا لضبط RT_{60} يجب إضافة مواد امتصاص للجدران لأن امتصاص المواد يختلف باختلاف التردد وهذا يؤدي لاختلاف RT_{60}


Steady sound source
Sound turned OFF
Natural decay of sound
60dB
Noise floor
RT60
95
35
Level LAFp [dBA]

قياس الانعكاسات Reverberation

نوع المكان	RT
استديو بث	0.5 s
صف مدرسي	1 s
قاعة مؤتمرات أو محاضرات	1 s
مسرح	1 s
قاعة عرض متعددة المهام	1.3 to 1.5 s
كنيسة	1.4 to 1.6 s
قاعة حفلات روك	1.5 s
اوبرا	1.4 s
قاعة سيمفونيات	1.8 to 2 s
قاعة كاتيدرائية	3 or higher

قياس الانعكاسات Reverberation

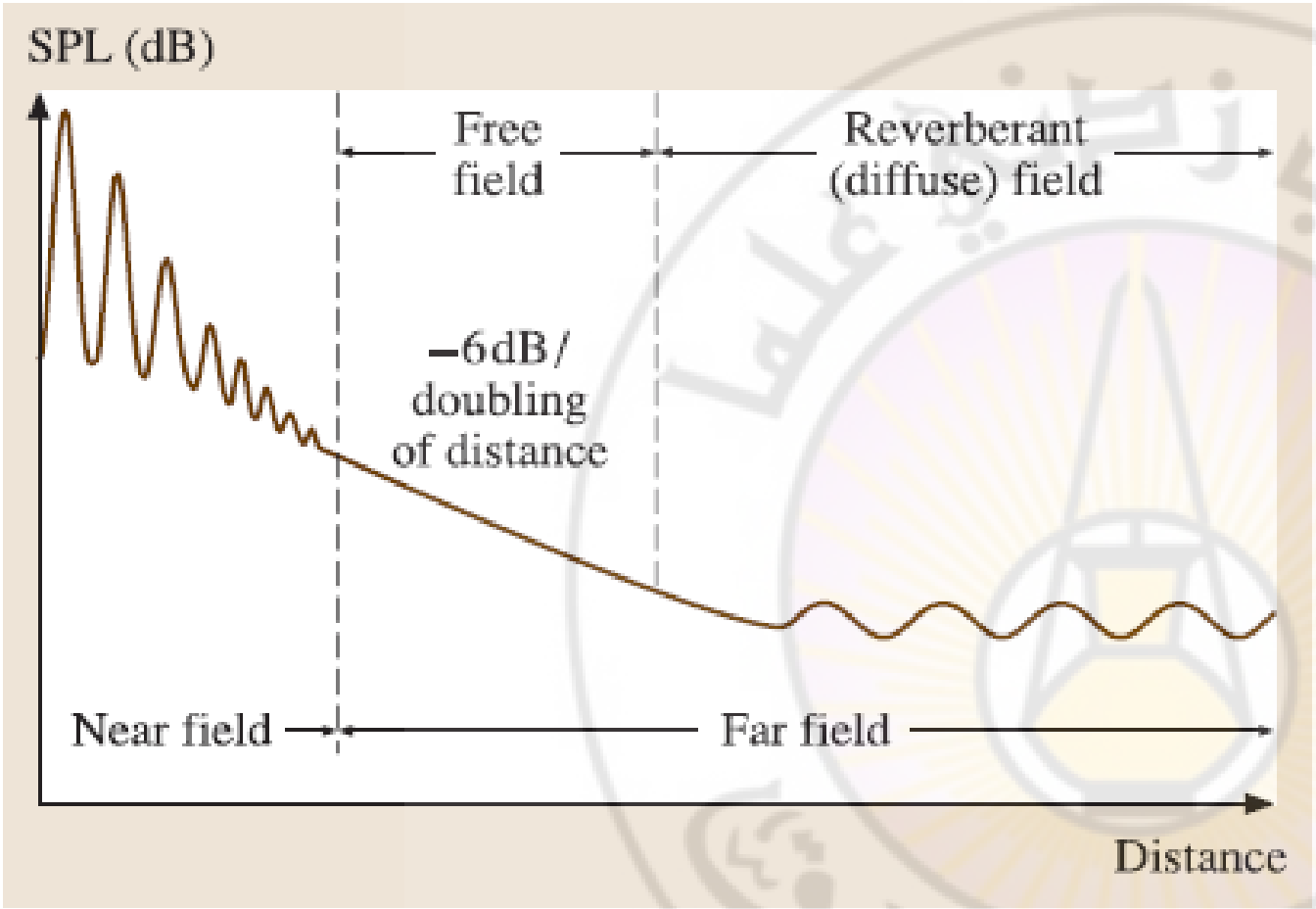
- من الجدول السابق نلاحظ أن :
- RT_{60} المنخفضة مرغوبة للاستخدام بالخطاب العادي
- RT_{60} المرتفعة مرغوبة للاستخدام في استديوهات الموسيقا وقاعات المحاضرات
- RT_{60} المتوسطة تختلف حسب نوع الموسيقا.
- يجب أن تحوي المنشآت متعددة الأغراض على قيم متعددة لزمن انعكاس الصوت

- تسمى الغرف المنعشة 1.7< RT-60
- تسمى الغرف الميتة 0.8>RT-60

Damascus University

حقل الصوت ضمن الغرف الصوتية

- هناك العديد من الحقول الصوتية ذات الخصائص الاكوستيكية المختلفة والتي تتشكل داخل الغرف.
- تعتمد أبعاد كل حقل على أبعاد الغرفة ذاتها والخصائص العاكسة لجدرانها وأيضا حسب تواتر الصوت الصادر من المنبع.
- يتشكل الحقل القريب Near Field عادة في المسافة الممتدة على ربع طول موجة الصوت ذي التواتر الأصغر. تتموج قيم ضغط الصوت بشدة في الحقل القريب فقد تتعزز أو تحذف خاصة في مواجهة أسطح عاكسة كبيرة. لذلك يجب تجنب قيلس مستوى الصوت في الحقل القريب.
- يمتد الحقل البعيد عادة Far Field أبعد من الحقل القريب. وهو يعتبر المجال المناسب لقياس مستوى الصوت. عند الانتقال من الحقل القريب إلى البعيد نشعر بانخفاض ضغط الصوت بمعدل 6 ديسبل لكل تضاعف بالمسافة من المنبع.
- يتشكل الحقل الحر Free Field في الغرف ذات المساحات الكبيرة او ذات الامتصاص العالي لانه يشترط عدم حصول انعكاسات للصوت.
- في نهاية الحقل البعيد يتشكل مجال الانعكاسات المرتدة عن الجدران والذي يمتاز بتساوي الضغط الصوت في أي نقطة من نقاطه.



$$SPL_2 = SPL_1 - [20 \times \log(d_2/d_1)] \,, \tag{11.2}$$

where SPL_1 is the sound pressure level at the location closer to the sound source, SPL_2 is the sound pressure level at the location farther from the sound source, d_1 is the distance from the source at which SPL_1 is measured, and d_2 is the distance from the source at which SPL_2 is measured.

Damascus University

مقياس مستوى الصوت Sound Level Meter

مقياس مستوى الصوت Sound Level Meter

- تتألف مقاييس الصوت من:

1. الميكروفون والمضخم أولي Microphone and preamplifier
2. مضخم الدخل Input amplifier
3. مرشحات وفلاتر filters
4. مضخم الخرج output amplifier
5. دارات التعديل والمحولات اللوغاريتمية averaging and logarithmic converter
6. خرج تماثلي أو رقمي analogue or digital display

مقياس مستوى الصوت Sound Level Meter

- لتوحيد المعايير تم تقسيم مقاييس الصوت لعدة تصنيفات :

I. التصنيف 0 مقاييس الصوت المستخدمة في المختبرات

II. التصنيف 1 مقاييس الصوت التي تستخدم في بيئة متحكم بها صوتياً

III. التصنيف 2 مقاييس الصوت المستخدمة للاختبارات السمعية مثل جهاز تخطيط السمع وتخطيط الساحة الحرة لاختبار المعينات السمعية

IV. التصنيف 3 مقاييس الصوت المستخدمة لقياس الضجيج

سؤال؟؟؟

جامعة دمشق
كلية العلوم الصحية
قسم السمعيات

Acoustics & Psychoacoustics

Sound Insulation العزل الصوتي

Dr. Samer Mohsen

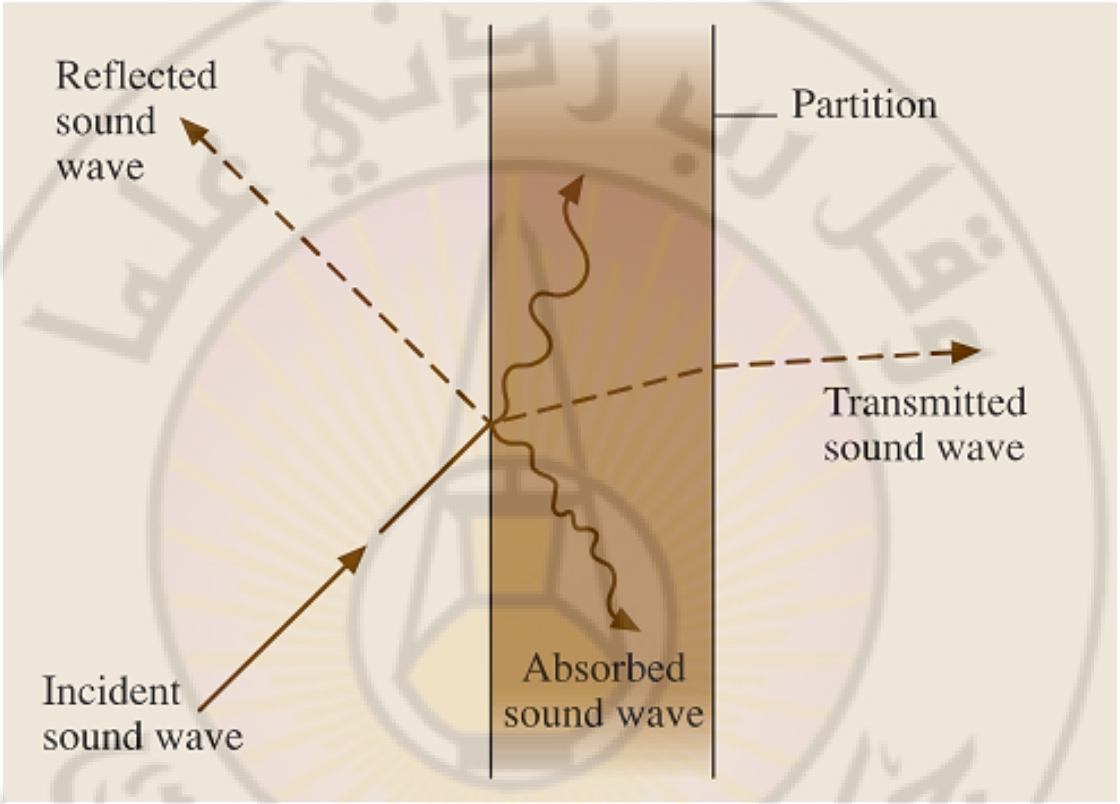
MD., ENT, PhD OF Audiology

May 2022

عزل الصوت Sound Insulation

- إن وصف عزل الصوت مشابه من نواح كثيرة لوصف امتصاص الصوت.
- كما هو الحال مع الامتصاص ، يوجد معامل إرسال Transmission Coefficient يتراوح في الحدود المثالية من 0 إلى 1 وهو نسبة لا وحده ويشار إليه بالحرف t
- على عكس معامل الامتصاص ، فإن حد t =1 ممكن عمليًا لأن معامل النقل الفعال 1 يعني ضمنيا أن كل طاقة الصوت تنتقل عبر نافذه مفتوحة مثلا أي لايحدث امتصاص للصوت.
- أما قيمة الصفر تعني ان كامل الصوت تم منعه من الانتقال أي ان العزل 100% وهذا الأمر نظري ومن الصعب تحقيقه عمليا إذ لابد وأن يعبر جزء ولو بسيط من الصوت ولو على تواتر معين.

Damascus University



- إن الحديث عن غرف تخطيط السمع أو مايسمى بالغرف الصوتية Acoustic rooms يتطلب معرفة تأثير كل من الامتصاص والعزل حيث لايمكن فصل هذين المفهومين عن بعضهما.
- من وجهة نظر أخرى لايمكن الحديث دوما عن العزل والامتصاص بمعنى توهين الصوت بين المصدر والمستمع وإنما يتطلب الأمر أحيانا الحديث عن ضبط الصوت والتحكم به أي تعزيزه بمكان وتوهينه بمكان آخر كهندسة الصوت في المسارح والقاعات مثلا.

عزل الصوت Sound Insulation

- على عكس الامتصاص ، فإن الوصف الرئيسي لعزل الصوت هو مستوى الديسيبل بناءً على معامل النقل.
- تُعرف هذه القيمة بخسارة الإرسال TL

  والتي تحسب من المعادلة التالية : $TL = 10 - \log (1 / t)$
- يمكن تعريف خسارة الإرسال بشكل عام على أنها مقدار الصوت الذي تم تقليله بواسطة حاجز Partitionبين مصدر الصوت والمستمع.
- يأخذ أيضًا تقليل الصوت الكامل للفاصل بين الغرفتين في الاعتبار الخصائص الامتصاصية لغرفة المستمع ويحسب على النحو التالي:

$$SPL_s - SPL_L = TL + 10. \log (AL/S)$$

$$SPL_S - SPL_L = TL + 10 \cdot \log(A_L/S)$$

SPLs هو متوسط مستوى ضغط الصوت في الغرفة التي تحتوي على مصدر الصوت

SPLL هو متوسط مستوى ضغط الصوت في غرفة المستمع المجاورة

AL هو الامتصاص الكلي في غرفة المستمع

TL هو فقدان الإرسال بين الغرفتين

S هي المساحة السطحية للقسم بين الغرفتين.

لاحظ أن TL هي الكمية التي يتم الإبلاغ عنها عادةً في نشرات الشركات المصنعة حيث يتم قياسها في مختبر مستقل عن التركيب.

- في أبسط الحالات وعندما تكون النافذة مفتوحة مثلا بين المصدر والمستمع يمكن الحديث عن TL تقارب الصفر ولكن هذا الأمر قلما يحدث عمليا فحتى النافذة وأبعادها تتحكم بمقدار الخسارة والتي تبلغ في مثل هذه الحالة 10ديسبل.
- عمليا تقدر كمية خسارة النقل TL المثالية في غرف العزل ب 70 ديسبل. ولكن أغلب العيادات قد تقبل بمقدار نصف هذا المقدار كحد أقصى بشرط توافر مكان هادىء نسبيا وبعيد عن مصادر الضجيج الشديد.

العوامل المؤثرة في معامل خسارة النقل TL

- إن معامل خسارة النقل TL لكل مادة عازلة يختلف حسب التواتر وعادة يزداد العزل باتجاه التواترات المرتفعة باستثناء تواتر وحيد يحدث فيه هبوط حاد في معامل خسارة النقل عند توافق التواتر Coincidence مع التواتر الحرج للمادة العازلة Critical Frequency .
- يعتمد مدى هذا الانخفاض على التخميد الاهتزازي للحاجز العازل والتواتر الذي يحدث فيه يعتمد على كثافة وسمك المادة.
- تنخفض الترددات الحرجة عمومًا بنفس معدل زيادة سمك المادة
- يمكن التقليل من تأثيرات coincidence باستخدام أقسام متعددة الطبقات بمواد مختلفة وسمك مادة مختلف مدمج في قسم واحد.

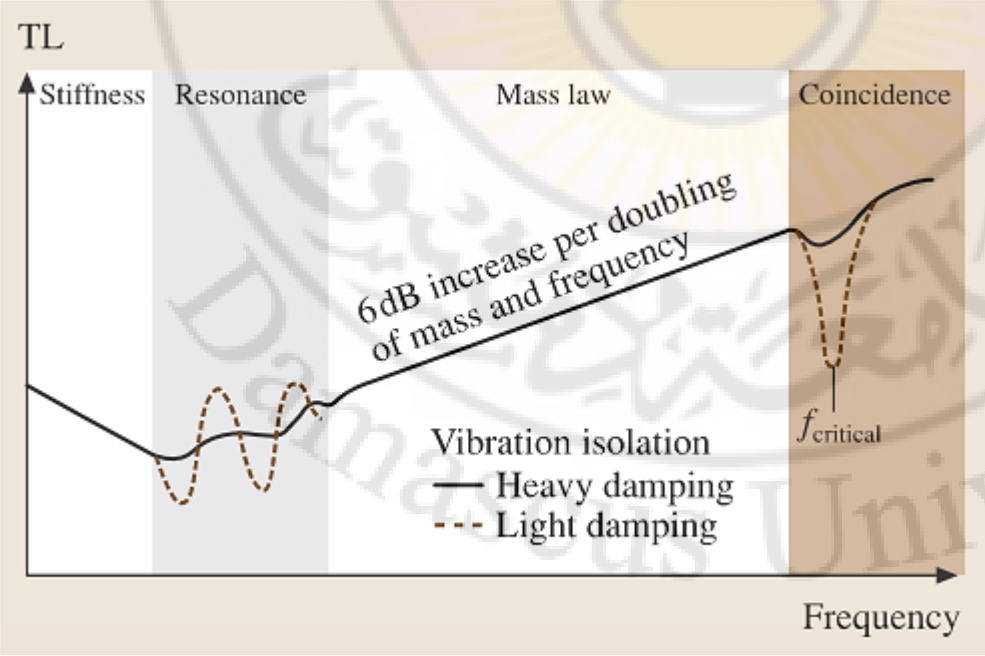


Table 11.3 Critical frequencies for common building materials

Material	Thickness (cm)	Critical frequency (Hz)
Concrete	8	100
Plywood	1.2	1700
Gypsum wall board	1.2	3100
Steel or aluminum	0.3	4100
Lead	1.2	4400
Glass	0.3	4900
Plexiglass	0.3	9800

Damascus University

معدل العزل STC

- كما هو الحال في حساب معدل الامتصاص والذي هو معدل حسابي كما ذكرنا في المحاضرة السابقة، نحن بحاجة لحساب معدل العزل Sound transmission class – STC والذي هو معدل يعبر عن مقدار خسارة النقل الذي تؤمنه مادة معينة ضمن طيف التواترات الأهم وهي التواترات الكلامية بين 500 و2000 هرتز وهو يحسب بطريقة رياضية مختلفة عن طريقة معدل الامتصاص وليس معدل حسابي (سنتطرق لها في فصول لاحقة).
- يتعلق معدل العزل بعوامل مختلفة وهو عبارة عن رقم بلا واحدة لأنه يمثل نسبة بين مقادير ولكن في الحقيقة هو يمثل أو يرتبط بالديسبل.
- إذا معدل العزل يعطي فكرة عن مقدار تخميد الصوت الذي يؤمنه حاجز معين بين وسطين ضمن مجال التواتر المذكور أعلاه ولكن عند الحاجة لمعرفة معدل العزل عند تواتر خارج المجال المذكور أقل من 250 مثلا عندها يجب دراسة STC الخاصة بهذا التواتر.
- هل معدل STC المصرح به من قبل ASTM هو واقعي. في الحقيقة هو مجرد رقم مرجعي ويجب دوما العودة لأرقام وتصريحات الشركات المصنعة.
- هل أرقام الشركات المصنعة واقعية؟ في الحقيقة لا أيضا لأن هناك عوامل أخرى تتحكم بجودة العزل كالتركيب والتجميع والفواصل ومنافذ الهواء والطاقة وإحكام الإغلاق والتثبيت على الأرضيات وغيرها.

Table 11.4 Transmission loss and STC values for common partitions

Partition	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	STC
1/2 inch drywall on both sides of wooden studs	17	31	33	40	38	36	33
1/2 inch drywall on wooden studs with 2 inches of insulation	15	30	34	44	46	41	37
Double layer of 1/2 inch drywall on wooden studs	25	34	41	51	48	50	41
1/2 inch drywall on staggered wooden studs	23	28	39	46	54	44	39
1/2 inch drywall on staggered wooden studs with 2 inches of insulation	29	38	45	52	58	50	48
1/2 inch drywall on metal studs	22	27	43	47	37	46	39
1/2 inch drywall on metal studs with 2 inches of insulation	26	41	52	54	45	51	45
8 inch thick concrete masonry units	36	44	50	54	58	56	53
Open-plane office partition	10	12	12	12	12	11	12
4 inch thick brick wall	32	34	40	47	55	61	45
1/2 inch drywall inside/1 inch stucco outside on wooden studs	21	33	41	46	47	51	42

Damascus University

Table 11.5 Speech privacy associated with STC ratings*

STC range	Sound privacy
0 to 20	No privacy (voices heard clearly between rooms)
20 to 40	Some privacy (voices heard in low** background noise)
40 to 55	Adequate privacy (only raised voices heard in low background noise)
55 to 65	Complete privacy (only high level noise heard in low background noise)
70	Practical limit

* assuming no significant flanking paths or openings in walls
** in the 35 dBA range

Dar Al-Hekma University

مستوى تخميد الضجيج NIC

- للإجابة على التساؤلات المطروحة سابقا علينا اللجوء لمعيار أكثر واقعية من معيار معدل العزل.
- معدل أو مستوى تخميد الضجيج Noise insulation class هو عبارة عن مقياس يراعي جميع الظروف التي تتحكم بجودة العزل وبالتالي هو قياس واقعي لمستوى تخميد الضجيج في الغرفة التي يتم تنفيذها وليس ضمن المخبر كما هو الحال في مقياس STC.
- طبعا هناك مقايسس اخرى متعددة وقيم مرجعية تعتمدها ال ASTM يمكن الرجوع إليها عند تصميم الغرف السمعية.
- احد هذه المقايسس هو مستوى النقل خارج وداخل الجدران Outdoor indoor transmission class أو اختصارا ال OITC وهو مقياس يعبر عن مستوى نقل الضجيج الخارجي إلى داخل مبنى أو غرفة معزول ويقصد هنا أصوات عالية واقعية كصوت طائرة أو زحمة سير أو آلات معينة خارج المبنى. وهناك قيم مرجعية أيضا تعبر عن الحدود المسموحة لهذا المقياس والتي تشمل طيفا أوسع من طيف ال STC يمتد بين ال 80 و 4000 هرتز.

العزل بمواد غير متجانسة

- كل ماذكر سابقا هو عن خصائص العزل والامتصاص للمواد المتجانسة أي خصائص كل مادة على حدة.
- مانقوم به في الواقع هو استخدام تصاميم متعددة المواد والطبقات.
- هذا الأمر من شأنه التخفيف من التكلفة التي تتطلب زيادة سماكة وكتلة مادة معينة مثلا قد تكون باهظة الثمن وأيضا يزيد من معامل العزل والامتصاص.
- عندما يعبر الصوت من طبقات متعددة غير متجانسة ستطبق كل مادة خصائصها على هذا الصوت مسببة بعض التخميد وبالتالي ستزيد ال TL.
- لاتوجد علاقة حسابية واضحة توضح نسبة زيادة ال TL مع زيادة عدة الطبقات وتنوع المواد ولكن حتما هناك شكل من العلاقة الطردية بينها ولو أن خصائص المادة ذاتها ستبقى الأكثر تأثيرا.
- من أكثر العوامل المؤثرة أيضا في هذه التصاميم هي خلق طبقات من الهواء بين طبقات مواد العزل حيث تزداد بفضلها معاملات العزل والامتصاص.
- الأمر الأكثر اهمية أيضا هو التخفيف قدر الامكان من مساحات الأبواب والنوافذ وإبقاء الحد الأدنى الممكن من المنافذ الهوائية كفتحات التهوية والمآخذ وغيرها ذات التأثير السلبي.

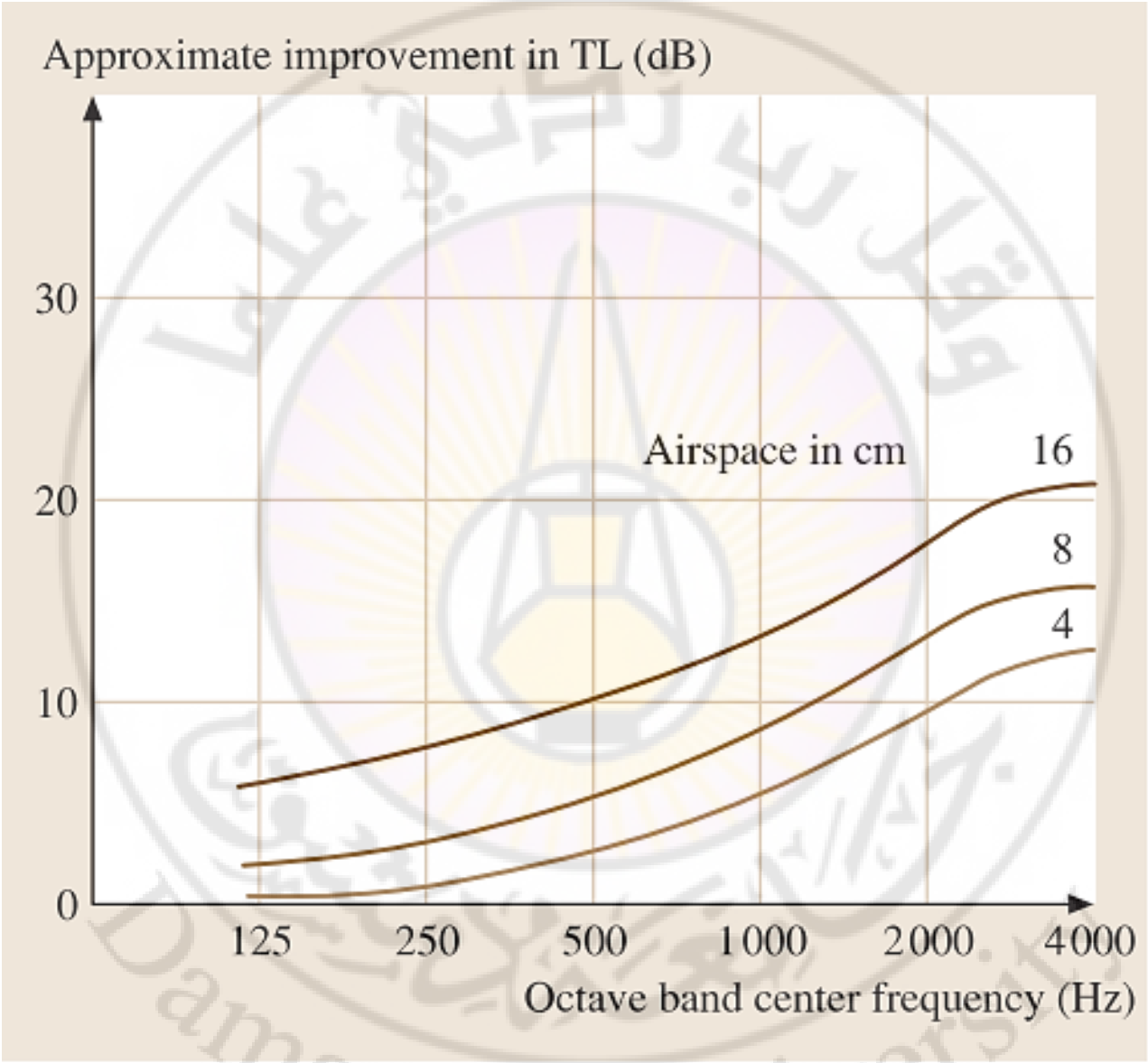


Fig. 11.19 General TL improvement that can be expected from air spaces in partitions

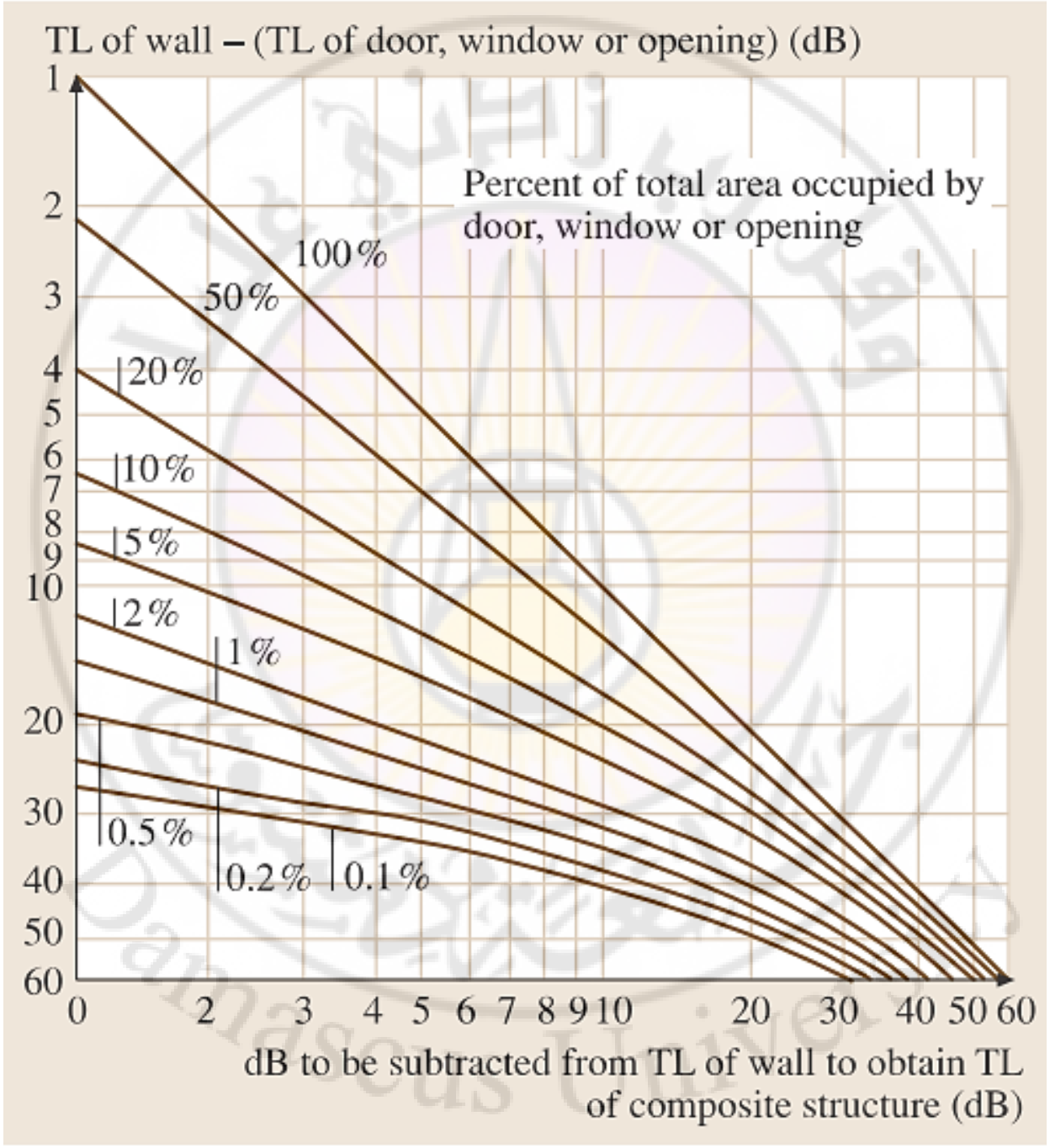

TL of wall – (TL of door, window or opening) (dB)
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
20
30
40
50
60
Percent of total area occupied by door, window or opening
100 %
50 %
20 %
10 %
5 %
2 %
1 %
0.5 %
0.2 %
0.1 %
0
2
3
4
5
6
7
8
9
10
20
30
40
50
60
dB to be subtracted from TL of wall to obtain TL of composite structure (dB)

Table 11.6 Transmission loss reduction as a function of air opening*

Wall area having air opening (%)	Resultant wall TL (dB)	Resultant reduction in TL (dB)
0.01	39	6
0.1	30	15
0.5	23	22
1	20	25
5	13	32
10	10	35
20	7	38
50	3	42
75	1	44
100	0	45

* based on original wall TL of 45 dB

Damascus University

طرق الحد من الضجيج

- يوجد لدينا عدة طرق للحد من الضجيج بشكل عام حيث يمكن الحد من الضجيج من مصدره أو عن طريق التعامل مع المسار بين المستمع ومصدر الضجيج أو عن طريق تطبيقات على المستمع.
- اذا تمكنا من الحد من الضجيج من مصدره بالتالي لسنا بحاجة لمراعاة مسار الضجيج أو موقع المستمع، وبالمثل اذا كان بالإمكان التحكم بالضوضاء بشكل جيد في المسار ما بين المستمع والمصدر فليس بالضرورة مراعاة موقع المستمع.
- ان التحكم بالضوضاء عند المصدر لا يحتاج للكثير من الشرح بشكل عام فهو يقتصر على المسافة بين المصدر والمستمع.

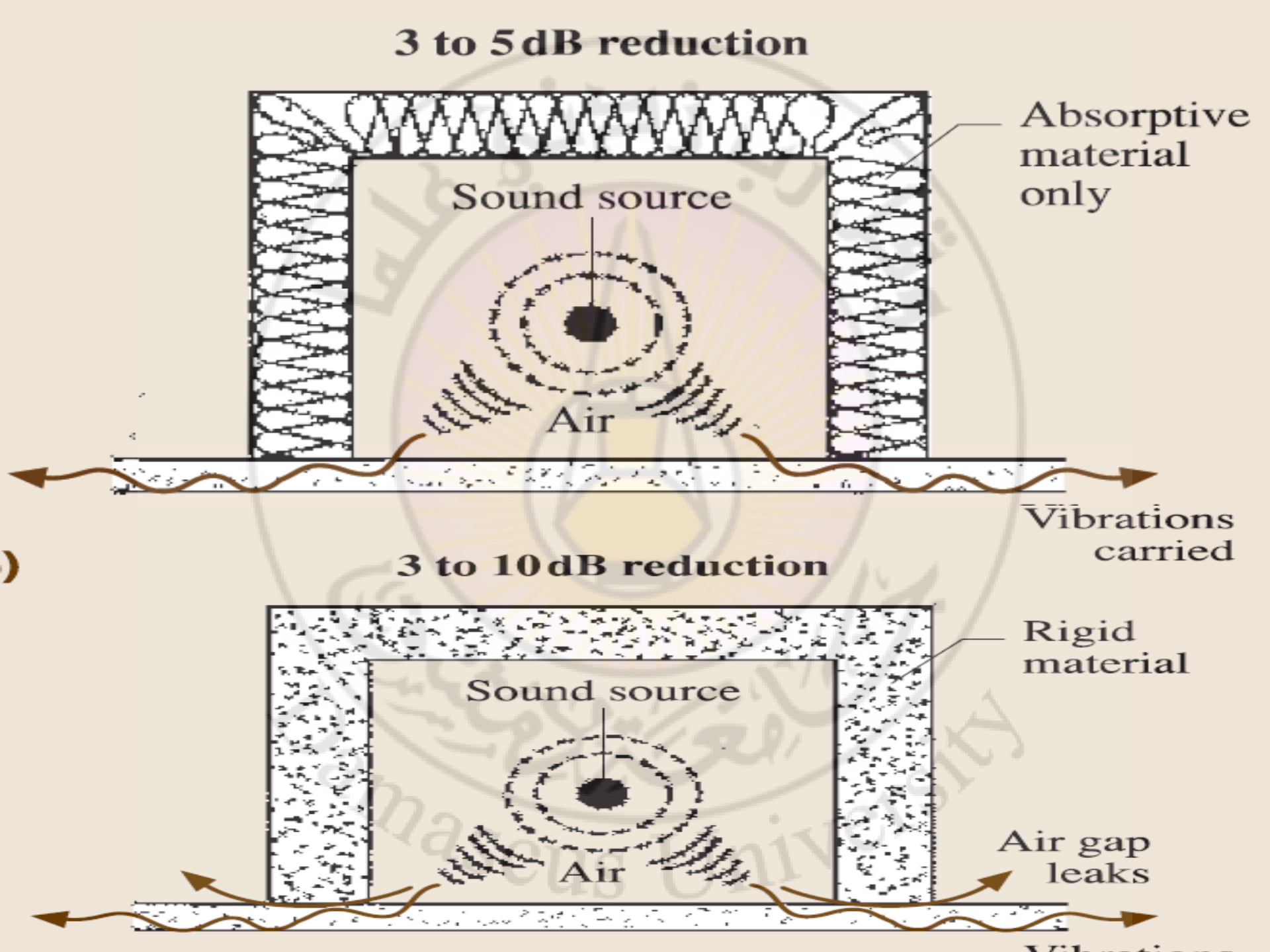
Damascus University

تخطيط المكان space planning

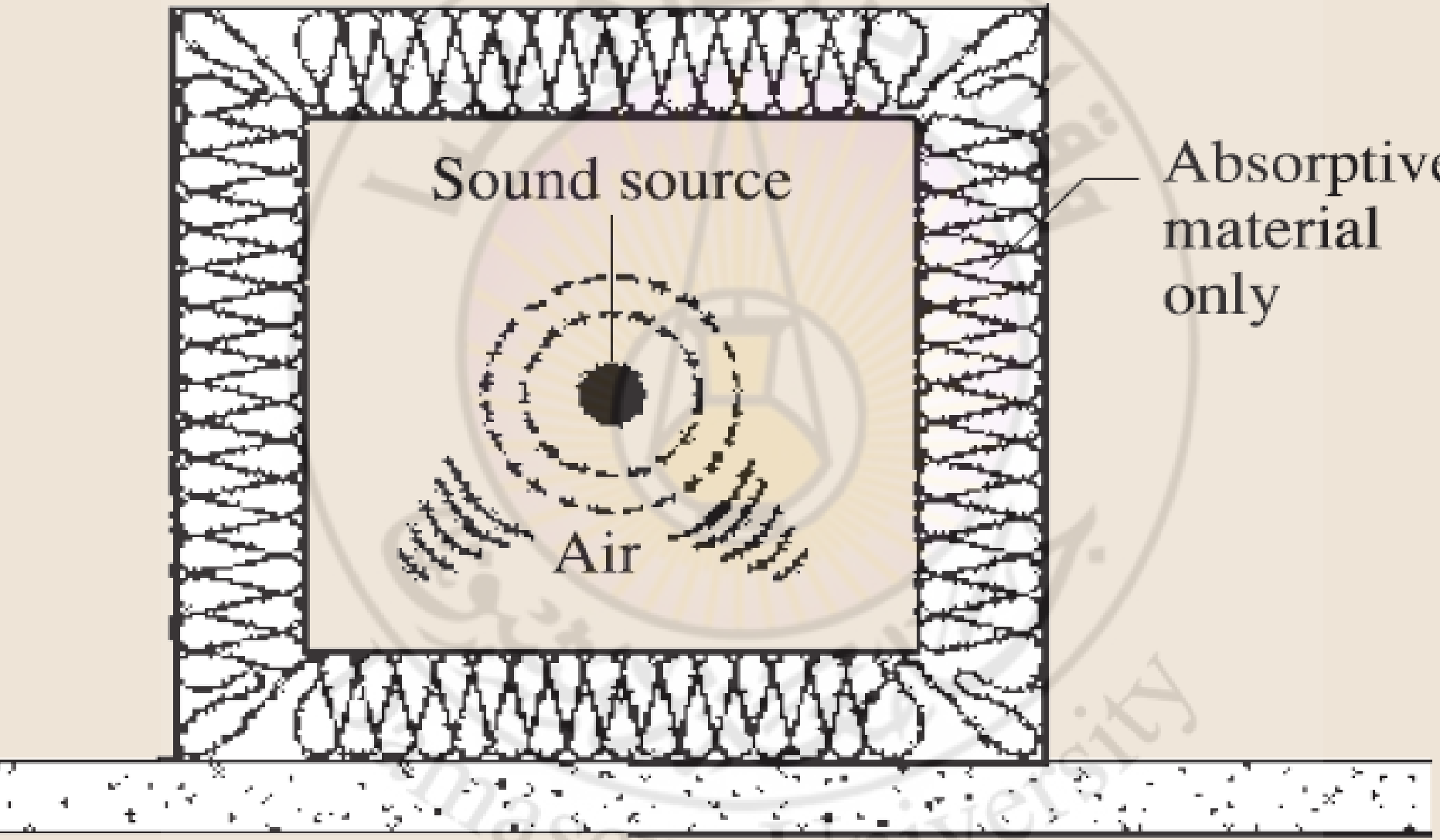
- يعتبر تخطيط المكان من أكثر الطرق فعالية للتحكم بالضجيج في المباني. ينطبق هذا على كل من تصميم الغرف داخل المبنى وموضع المبنى نفسه .
- فيما يتعلق بمصادر الضوضاء الخارجيه يجب تجنب وضع الغرف التي تتطلب الهدوء بمواضع قريبه من مصادر الضجيج، حيث يمكن وضع المساحات التي تحتمل صخبا أكبر مثل دورات المياه وأعمدة المصاعد في الجهات الأكثر صخبا.
- يجب أن تكون المباني بعيدة قدر الإمكان عن الشارع او حدود السكك الحديدية الصاخبة مع الاستفادة من الحماية من المباني الأخرى والميزات الطبوغرافية.
- اذا كان مكان البناء بالقرب من مصادر خارجية صاخبة فيجب الانتباه الى تصميم الواجهات التي تواجه المصادر الصاخبة وتجنب النوافذ والأبواب الصغيرة القابلة للفتح والأغلاق.

Enclosures (غرف العزل الجاهزة)
الحاويات

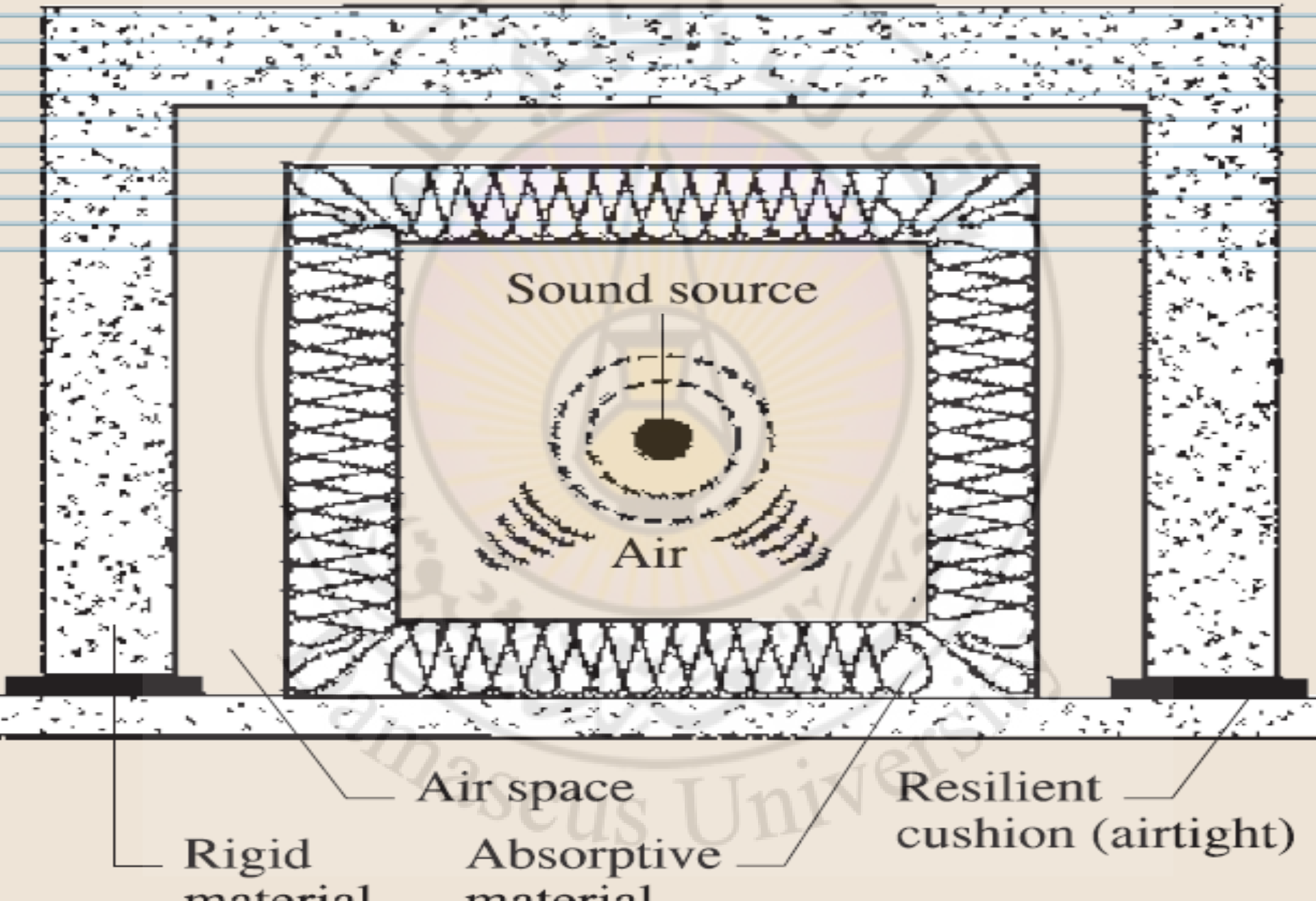
- يمكن للحاويات أن تكون فعاله في تخفيض مستويات الضجيج ولكن يجب التأكد أنها صممت بشكل جيد .
- لدينا عدة نقاط يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم حاويات الضجيج .
- الحاويات يجب أن تكون محيطه بشكل تام لمنبع الضجيج ولا تحوي أي فجوات هواء، التي يمكن ان تؤثر بشكل كبير على فعالية الحاويات.
- يجب عزل الحاوية عن الأرضيات أو أي عناصر هيكليه للبناء.
- يمكن للاهتزازات أن تنتقل على طول الأرضية وذلك لأن مصدر الضجيج على تلامس مباشر معها.
- الطريقة الوحيدة لتقليل هذه الاهتزازات هي عزل المصدر اهتزازيا عن الأرض ويكون ذلك باستخدام نوابض مضبوطة أو باستخدام وسادات أو أرضيات عائمه.


3 to 5 dB reduction
Absorptive material only
Sound source
Air
Vibrations carried
3 to 10 dB reduction
Rigid material
Sound source
Air
Air gap leaks

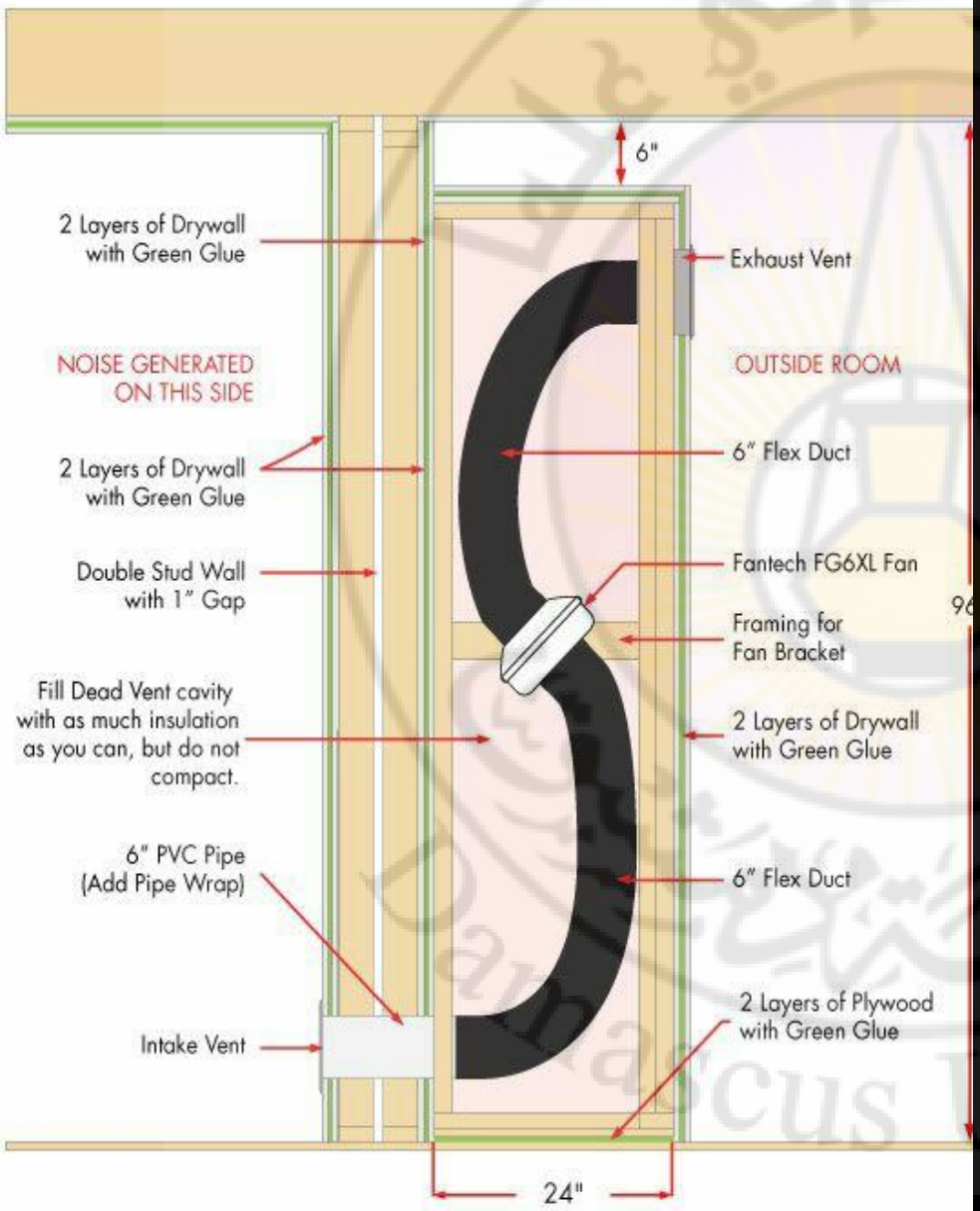
6 to 10dB reduction



20 or more dB reduction



تصميم فتحات التكييف في الحاوية



- كاتمات الصوت هي أجهزة يتم إدخالها في مسار مجاري الهواء أو الأنابيب بهدف محدد لتقليل الصوت الذي ينتقل عبر تلك القناة. يتم تصنيف فعالية كاتمات الصوت عادةً باستخدام معامل خسارة النقل TL.

- المعالجة الامتصاصية داخل الغرفة يمكن أن تقلل الصدى ، وفي هذه العملية تقلل مستويات الضوضاء بما يصل إلى 10 ديسيبل.

- كطريقة فاعلة أيضا تستخدم تقنية التحكم النشط بالضجيج (تشرح في مقررات لاحقة).

سؤال؟؟؟

Psychoacoustics
علم الصوتيات السريري (الإدراكي)

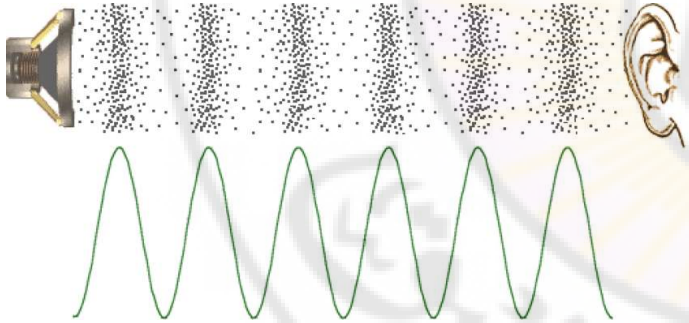
Bushra Kassouma
بشرى قسومة

مقدمة علم الصوتيات السريري

تعاريف علم الصوتيات السريري

تعريف علم الصوتيات السريري (الإدراكي)

- هو علم إدراك الصوت ويهتم بدراسة العلاقة الإحصائية بين المنبه السمعي source of sound وإدراك الصوت perception.
- ومن جهة أخرى: يعرف بأنه أحد فروع الفيزياء الحيوية التي تهتم بعلم السمعيات وخاصة آلية الإدراك الحسي للصوت في الأذن البشرية.



Damascus University

تعريف علم الصوتيات السريري (الإدراكي)

- وأيضا يعرف بأنه العلم الذي يدرس الاستجابة النفسية للصوت في الظروف المختلفة :كلام – ضجيج – موسيقا
- السمع هو الحاسة التي تفسر آلية إدراك الصوت وتتم هذه الوظيفة من خلال الجهاز السمعي.
- إذا يهتم علم الصوتيات السريري بالمنبه السمعي من جهة وبالجهاز السمعي كمستقبل ومعالج لهذا المنبه
- من التعاريف المختلفة السابقة يتبين التنوع والغنى في علم السايكوأكوستيك.

ترجمة مصطلح Psychoacoustics

- إن ترجمة المصطلح اللاتيني Psychoacoustic تعتبرمن الأمور الصعبة إذ أن السابقة Psycho تستخدم للإشارة إلى الجوانب النفسية أو الإدراكية أو الحسية المرتبطة بمكون آخر غير حسي أو فيزيائي كالصوت في مصطلحنا هنا.
- بعض المراجع تترجم المصطلح باسم علم النفس السمعي وهو مصطلح غير دقيق اذ لا ندرس هنا علم النفس وإنما الإدراك والمعالجة السمعية.
- قد يكون مصطلح: **الصوتيات الإدراكية** أوالصوت وإدراكه أكثرملائمة، ولكن تم اعتماد المصطلح في الخطة الدرسية لقسم السمعيات بالشكل المذكور في العنوان: الصوتيات السريرية وسيتم العمل به ريثما يتم إعلان ما يناقضه من قبل لجان ترجمه متخصصة بالمصطلحات في علم السمعيات

مقدمة علم الصوتيات السريري

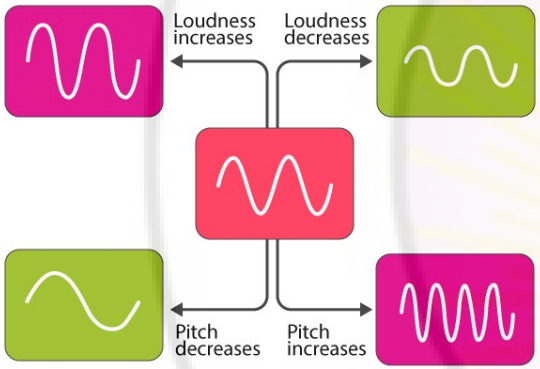
مجالات علم الصوتيات السريرية

مجالات علم الصوتيات السريرية

طرق القياس السايكوأكوستية	مقارنة السمع بأذن واحدة وبالأذنين	إدراك خصائص الصوت	ترميز الصوت وفيزيولوجيا السمع
إدراك الكلام	نظرية كشف الإشارة	الحساسية السمعية والعوامل المؤثرة على الاستجابة السمعية	مركب المنبه - الاستجابة

BK1

خصائص الصوت



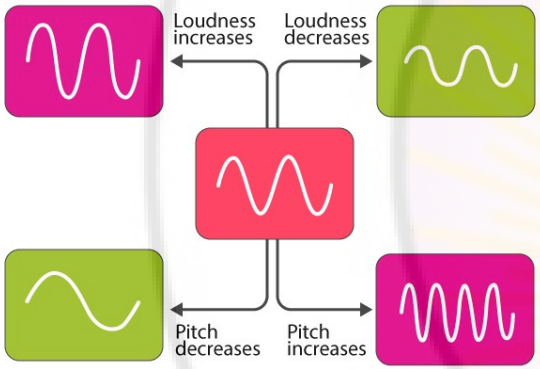
- خصائص الصوت
  - طبقة الصوت pitch (إدراك التواتر)
  - علو الصوت loudness (إدراك الشدة)

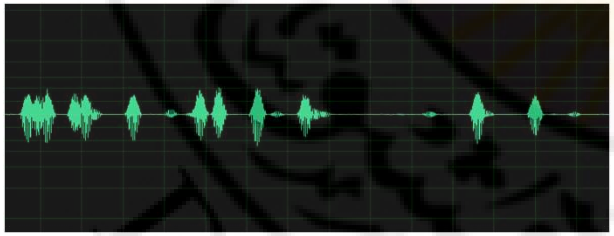
Slide 8

BK1 Bushra Kassouma, 4/14/2023

BK2

خصائص الصوت





- خصائص الصوت
  - طبقة الصوت pitch (إدراك التواتر)
  - علو الصوت loudness (إدراك الشدة)
  - طابع الصوت timbre (إدراك التوقيت)

BK2 Bushra Kassouma, 4/14/2023

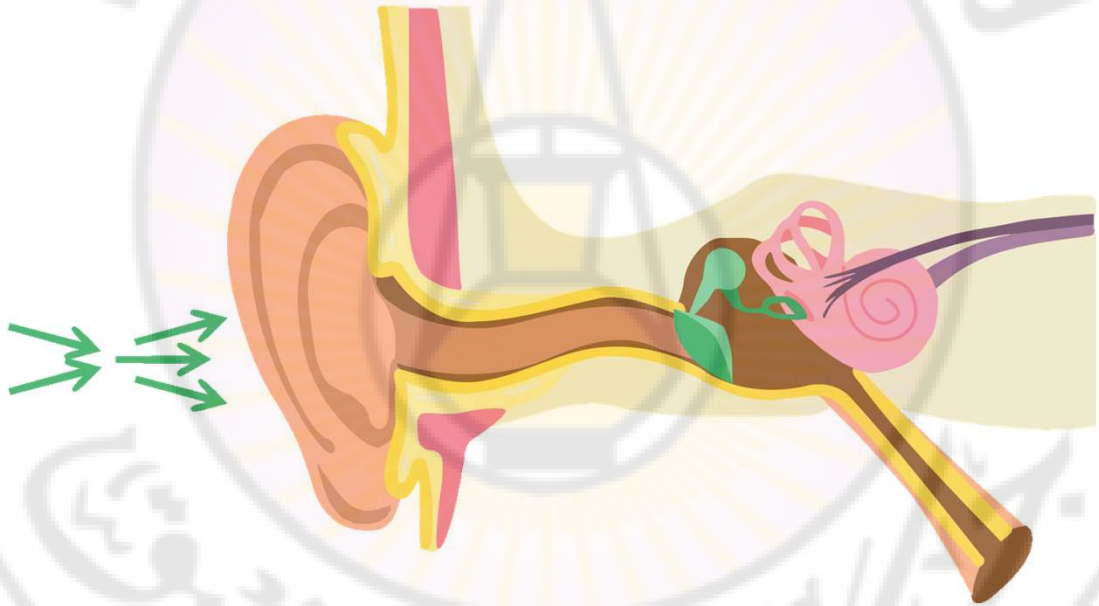
تسلسل المهارات السمعية

تسلسل المهارات الإدراك السمعي (العالم اربر (1982))

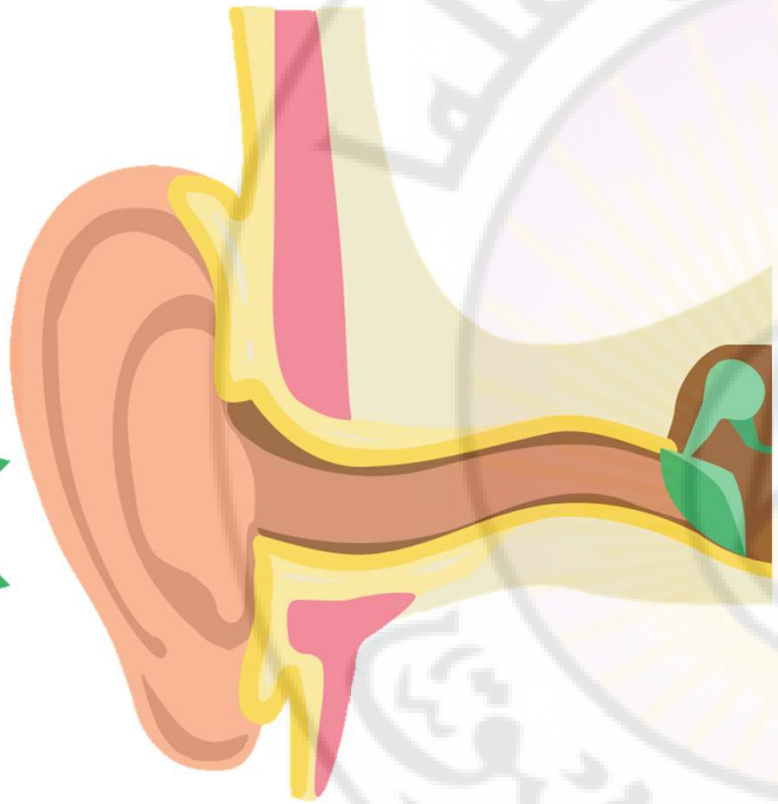
فيزيولوجيا السمع

وتأثيره على إدراك الصوت

فيزيولوجيا السمع وعلاقته بالصوتيات السريرية

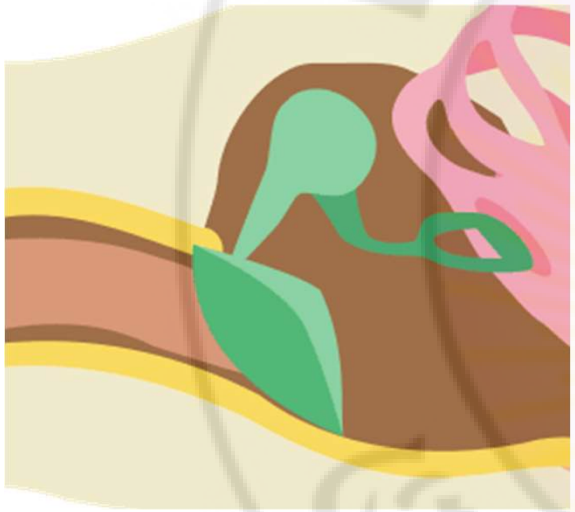


الأذن الخارجية



- شكل الأذن الخارجية وقناة الأذن تساهم بتكبير الصوت بين توترات 2000-3500هرتز.

الأذن الوسطى



- سلسلة عظيمات السمع تساهم بتضخيم الأصوات بين 600-1800 هرتز.

التكبير المكتسب من الأذن الخارجية والوسطى

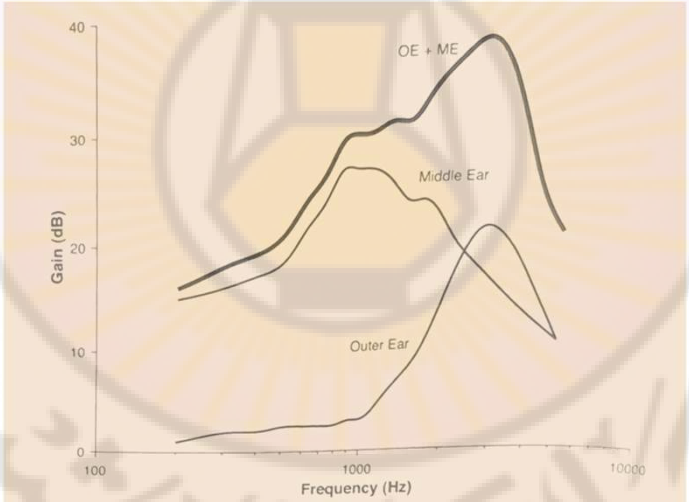
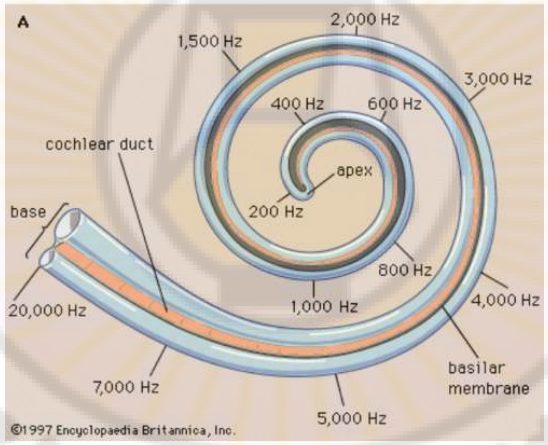


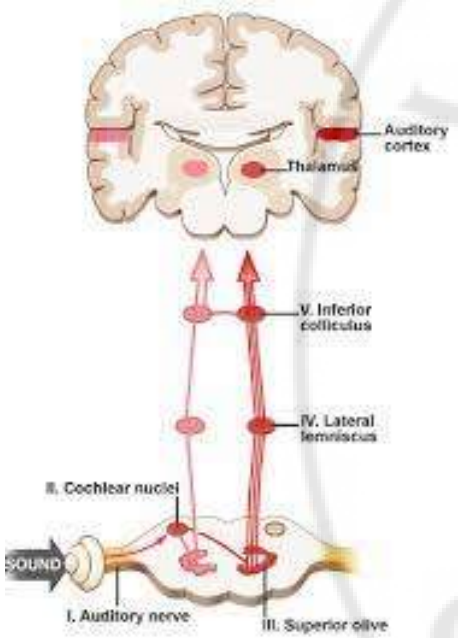
FIGURE 2–6. Schematics of transfer functions of outer ear (OE) and middle ear (ME), along with the total gain provided by the combined outer and middle ear. The combined function reflects amplification between 2000 to 3500 Hz from the outer ear and 600 to1800 Hz from the middle ear.

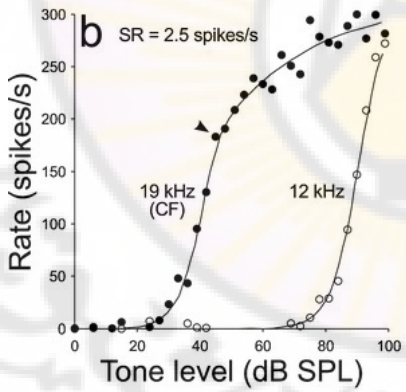
الأذن الداخلية والعصب السمعي

- وظيفة الأذن الداخلية تحويل الطاقة الصوتية (الميكانيكية) إلى ترميز عصبي
- يتم ذلك حسب الترتيب التواتري tonotopic organization للأذن الداخلية.



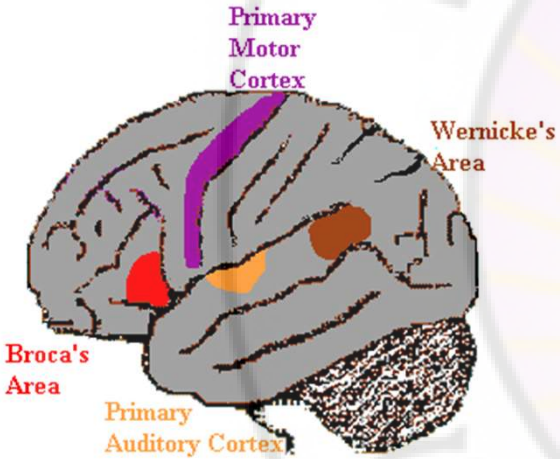
الأذن الداخلية والعصب السمعي





- يقوم العصب السمعي بنقل الإشارة إلى الدماغ
- يقوم العصب السمعي بترميز شدة الصوت، حيث أن كمية الألياف العصبية المنبهة تتناسب طرداً مع شدة الصوت، كما أن شدة استجابة الليف العصبي تزداد مع زيادة شدة الصوت.
- توقيت تنبيه الخلايا العصبية يترجم إلى طابع الصوت

وظيفة الدماغ السمعية



- يقوم الدماغ بتحليل الإشارات وربطها بمراكز تحليل اللغة والذاكرة
- المركز السمعي الأساسي في الدماغ، كما القوقعة، لديه تنظيم تواتري

تسلسل المهارات الإدراك السمعي

BK4

خصائص الصوت

- خصائص الصوت
  - طبقة الصوت pitch (إدراك التواتر)
  - علو الصوت loudness (إدراك الشدة)
  - طابع الصوت timbre (إدراك التوقيت)

BK4 Bushra Kassouma, 4/14/2023

الاختبارات السمعية

والمهارات الإدراكية التي يتم اختبارها

التقييم السمعي

- إن المبدأ الأساسي للتقييم السمعي هو تقديم منبه صوتي ومن ثم قياس الاستجابة الناجمة عن هذا المنبه.
- لكن تبقى المعايير الأساسية لاعتماد هذه الثنائية منبه – استجابة Response - Stimulus هي:

المصداقية Validity: التي تعني أننا نقيس فعلاً ما نعتقد أننا نقيسه

والموثوقية Reliability: تفترض حصولنا على نفس النتيجة في حال قمنا بتكرار الاختيار

مناهج اختبار السمع

- المنهج الماسح Screening Approach: حيث نطلب من الشخص المفحوص أن يبين فيما إذا سمع صوت واحد مقدم بشدة ثابتة. هنا تكون النتيجة نعم أم لا (Pass or Fail)
- منهج تحديد العتبة Approach Detecting Threshold: حيث يطلب من المفحوص أن يستجيب إلى لسلسلة من الأصوات المقدمة له بشدات تتغير تنازلياً وصولاً إلى أخفض شدة يستجيب لها المفحوص والتي تسمى بعتبة السمع Threshold Hearing

العوامل المؤثرة على مركب منبه - استجابة

عوامل تتعلق بالمنبه: 1. نوع المنبه المستخدم 2. طريقة تقديم المنبه 3. درجة أو شدة المنبه 4. معدل التنبيه 5. الفواصل بين المنبهات	**عوامل تتعلق بالاستجابة:** 1. نوع الاستجابة المنتظرة (سلوكية – فيزيولوجية) 2. طريقة تسجيل وقياس الاستجابة
عوامل تتعلق بالمفحوص: 1. سن الشخص المفحوص 2. العمر المعرفي 3. الحالة العصبية والمرضية 4. فهم طبيعة الاختبار	**عوامل تتعلق ببيئة وظروف الاختبار:** 1. معايرة جهاز الاختبار 2. ملائمة البيئة للشخص المفحوص 3. عدم وجود مشتتات

الاختبارات السمعية والإدراك السمعي

- تفيد الاختبارات السمعية بتقييم آلية عمل الجهاز السمعي.
- هل يمكن للاختبارات السمعية تقييم الإدراك السمعي؟

- جميع الاختبارات الموضوعية objective tests مثل فحص المعاوقة tympanometry، اختبار البث الصوتي القوقعي OtoAcoustic Emission، واختبار جذع الدماغ Auditory Brainstem Response لا تقييم الإدراك، فقط أداء الجهاز السمعي.

الاختبارات السمعية الغير موضوعية Subjective Tests	المهارة السمعية الإدراكية التي يتم اختبارها
مخطط السمع Audiometry	كشف الصوت
اختبار تمييز الكلام Speech Audiometry	تمييز الصوت ومعرفة الصوت
المقابلة Taking Case History	كشف الصوت حتى إدراك الصوت

مناقشة

بشرى قسومة
kassoumabushra@gmail.com

Thank You!

علو الصوت

علم الصوتيات السريري (الإدراكي)

Psychoacoustics – Loudness

Bushra Kassouma

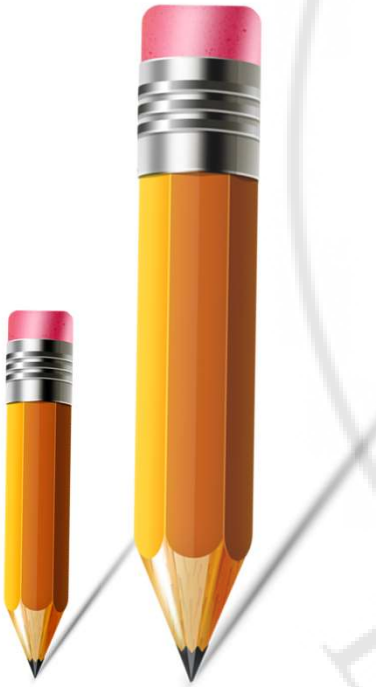
بشرى قسومة

علو الصوت والمجال الديناميكي للسمع

علو الصوت

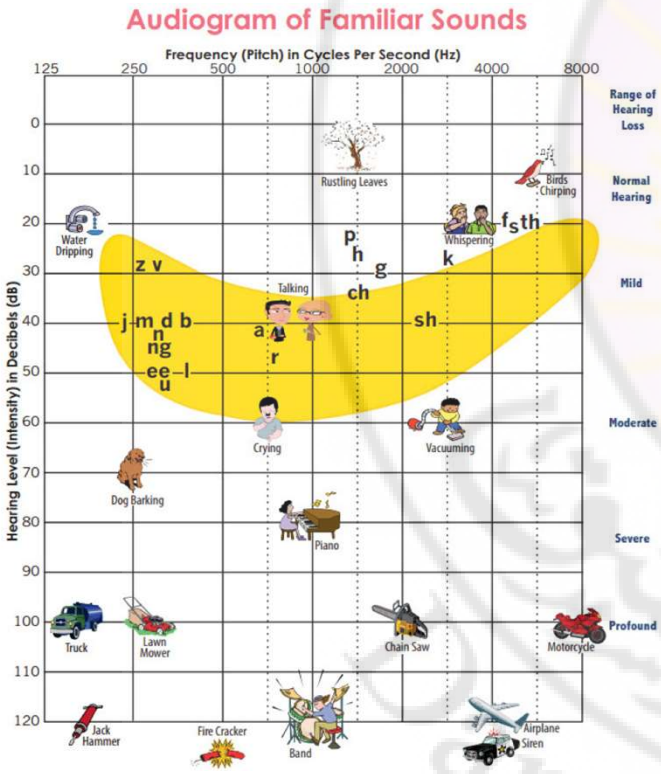
- حدة الصوت أو علوه هي إدراك شدة أو قوة الصوت.
- هي مشعر شخصي *subjective* وتعتبر أحد خصائص الصوت التي تتيح لنا تصنيف الأصوات من حدة منخفضة (صوت هادئ) إلى حدة عالية (صوت عالي).
- اضطراب إدراك علو صوت قد يؤثر على فهم الكلام، خاصة أجزاء الكلام متنوعة الشدة، مثل الأحرف اللينة (آ، و، ي).

علو الصوت وشدة الصوت



- بالتعريف علو الصوت هو المرادف الإدراكي لشدة الصوت.
- شدة الصوت يمكن قياسها عن طريق جهاز قياس مشتوى الصوت *sound level meter* ويقاس كوحدة ضغط أو شدة (ديسبل)، ولا يحتاج هذا القياس تدخل بشري.
- أما بالنسبة لعلو الصوت، فلا يمكن قياسه من غير أذن مستمعة. لا يمكننا قياس علو الصوت منفرداً، بل فقط بمقارنته بصوت آخر.

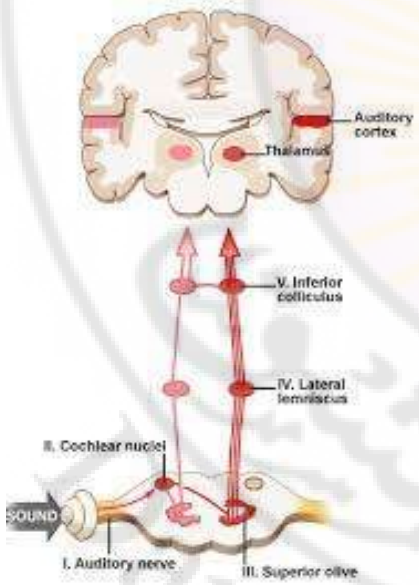
المجال الديناميكي للصوت



- إن إدراك شدة الصوت يتم ضمن مجال ديناميكي يتراوح بين صفر ديسبل كأخفض صوت يمكن ادراكه (حركة جناح ذبابه على بعد 1م من المستمع) وصولاً إلى شدة 120 ديسبل (صوت رعد قريب جدا).
- يعادل هذا المجال الديناميكي ازدياد بمقدار واحد على تريليون وهي تعبر عن مرونة الجهاز العصبي السمعي في السيطرة على أقل شدة قابلة للإدراك مقابل أعلى شدة بنوعية عالية.
- كما أن الجهاز السمعي العصبي قادر على تمييز تغييرات علو الصوت بشدة أقل من 1 ديسبل.

التمثيل الفيزيولوجي لشدة الصوت

ترميز شدة الصوت في الجهاز السمعي



- في المحاضرة الماضية، ناقشنا أن شدة الصوت يتم ترميزه بواسطة آليات الجهاز السمعي العصبي أهمها:
  - حركة الغشاء القاعدي في القوقعة واهتزاز الشعيرات الحسية.
  - عدد الألياف العصبية المنبهة وشدة التنبيه الذي تنقله.
  - يقوم الدماغ بجمع هذه المعلومات وإدراكها كعلو الصوت.

قياس علو الصوت

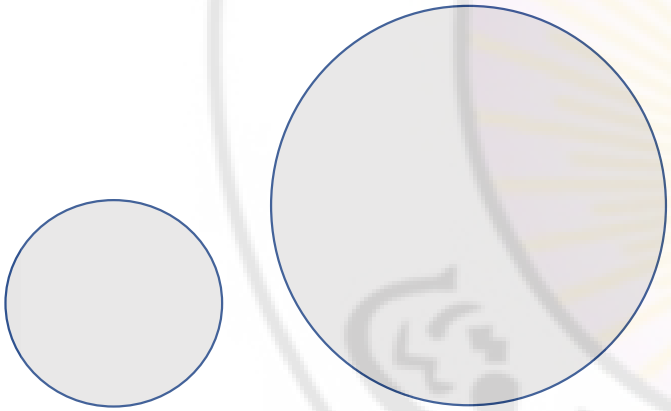
أسئلة البحث العلمي في مجال علو الصوت

- ما هي العلاقة بين شدة الصوت وعلوه؟ هل التناسب طردي؟
- إذا غيرنا الصوت بمقدار 10 ديسبل، ما مقدار تغير إدراكنا لعلو الصوت؟
- هل هذا المقدار ثابت إذا كان الصوت مرتفع أو منخفض الشدة، كفرق علو الصوت الذي ندركه بين 40 / 50 ديسبل، أو 80 /90 ديسبل أو 10/20 ديسبل؟

Damascus University

قانون ستيفنز لعلو الصوت

- قام العالم ستانلي ستيفنز بتطوير تقنية المقياس الحجمي *Magnitude Estimation*، حيث يعطى المستمع عدة منبهات متتالية وعليه إعطائها درجة رقمية لما يشعر به عند سماعها من حيث العلو وهنا تمكن هذه الأرقام من تخمين الجانب الإدراكي لهذه الأصوات.
- عندما يدرس الاختبار درجات علو الصوت تكون النتيجة تابع زيادة علو الصوت *Loudness Growth Function*
- قام العالم بتقديم صوت مرجعي 1000هرتز بشدة 40 ديسبل، ثم طلب من المستمع مقارنة أصوات أخرى تواترها 1000هرتز، بشدات مختلفة.
- قام بتعيين الصوت المرجعي وحدة 1 سون sone، وطلب من المستمع تعيين 2 سون إذا شعر بأن علو الصوت ضعف الصوت المرجعي.



1 sone 2 sones

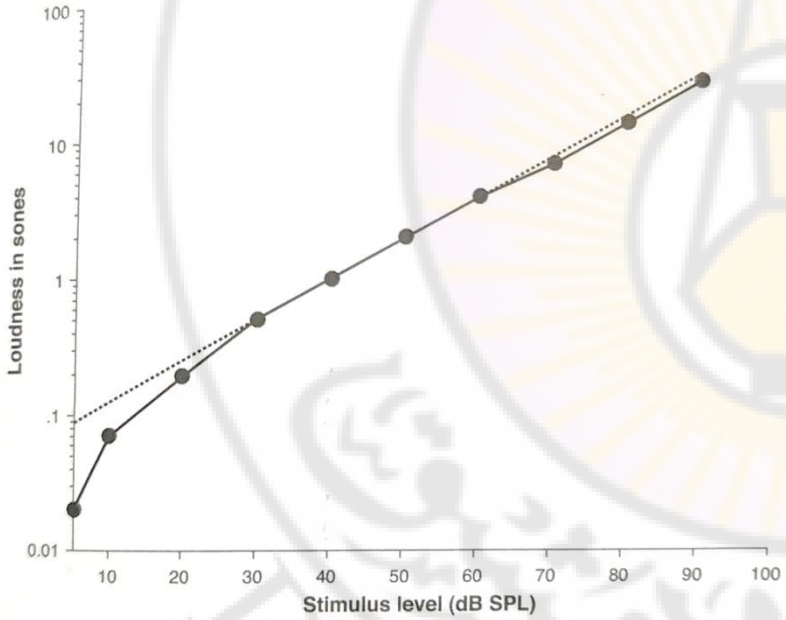
قانون ستيفنز لعلو الصوت

- وجد العالم أن زيادة الشدة بمقدار 10 ديسبل أدى إلى الشعور بعلو صوت مضاعف وهذا ما نسميه قانون ستيفنز لتابع علو الصوت:

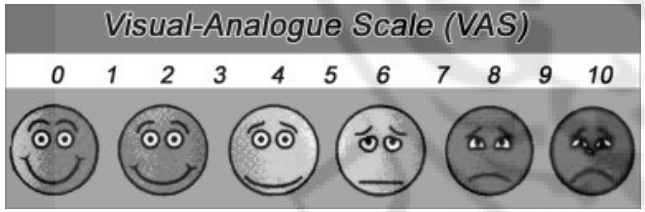
$$LaI^{0.3}$$

حيث L تمثل العلو المدرك، وI شدة الصوت.

- يبين الشكل البياني العلاقة اللوغاريتمية بين شدة الصوت وإدراكنا لعلو الصوت.
- ملاحظة: نلاحظ من البيان أن قانون ستيفنز ينطبق فقط للشدات بين 30 حتى 90 دسيبل. أما الشدات المنخفضة، فتكون زيادة العلو أشد انحداراً.



طرق قياس أخرى

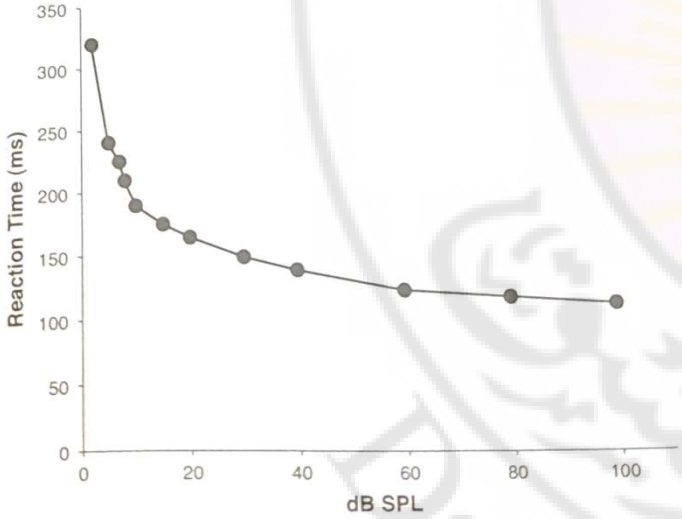


- منهاج المقياس الحجمي *Magnitude Estimation* يشكو من مشاكل كثيرة أهمها قلة موثوقيته (لا يمكن تكرار نفس التجربة والحصول على نفس النتائج أكثر من مرة)
- لتفادي هذه المشكلة، تم اقتراح طريقة انتاج حجمي *Magnitude Production* والتي تسمح للمستمع تعديل الصوت لدرجة العلو المطلوبة، فكانت نتيجة هذه الطريق شبيهة بالمقياس الحجمي.
- تستخدم المقاييس الحجمية في تحري وظائف العديد من الحواس الأخرى كما تستخدم في طرق المطابقة بين النماذج *Cross-Modality Scaling*.
- مثال 1: يمكن التعبير عن علو الصوت من خلال طول خط أفقي مرسوم أو تحريك مشعر على الكومبيوتر.
- مثال 2: يمكن التعبير عن درجة علو الصوت من خلال شكل يوحي بدرجات من الراحة والانزعاج. وتسمى هذه الطريقة بالمقياس التماثلي البصري *Visual Analogue Scale*.

يستخدم هذا المقياس سريرياً في الكثير من الحالات، منها تحديد شدة علو الطنين أو عند برمجة القوقعة.

طرق قياس أخرى

- **مقياس زمن الارتكاس Reaction Time**: وهو مقياس حديث وحظي بالكثير من الاهتمام، فبواسطته قد يصبح من إمكاننا التخلص من المقاييس الغير موضوعية كالمقياس الحجمي.
- توقيت الارتكاس هو الوقت الذي يحتاجه الشخص للاستجابة لصوت معين وهو يتناسب مع علو الصوت.
- وجد أن زمن الارتكاس يقل كلما زادت شدة الصوت بطريقة مرادفة للمقياس الحجمي بالشدات المتوسطة والعالية، لذا فيمكننا استخدام هذا المقياس لتخمين إدراك علو الصوت في هذه الشدات.
- أهمية نجاح مقياس زمن الارتكاس تتبين بالأخص عندما نريد أن نعرف إدراك علو الصوت عند الأطفال أو ذوي الاحتياجات اللغوية الشديدة اللذين لا يمكنهم التعبير عن تجربتهم لفظياً.



أسئلة البحث العلمي في مجال علو الصوت

- ما هي العلاقة بين شدة الصوت وعلوه؟ هل التناسب طردي؟
- إذا غيرنا الصوت بمقدار 10 ديسبل، ما مقدار تغير إدراكنا لعلو الصوت؟
- هل هذا المقدار ثابت إذا كان الصوت مرتفع أو منخفض الشدة، كفرق علو الصوت الذي ندركه بين 40 / 50 ديسبل، أو 80 /90 ديسبل أو 20/10 ديسبل؟

علو الصوت والتواتر

منحنيات تساوي علو الصوت *Equal Loudness Contours*

- يعتمد علو الصوت على تواتره بالإضافة لشدته.
- عندما نستخدم نغمة صافية ذات تواتر 1000هرتز كمرجع يتم إدراك علو معين للصوت، ثم نقوم بتغير التواتر المقدم للمستمع ونغير الشدة إلى أن يدرك المريض علو الصوت الجديد مساويا لعلو الصوت المرجعي المستمر (1000هرتز)
- نستمر في تبديل التواتر فنحصل على شدات مختلفة على التواترات المختلفة ولكنها جميعا متساوية بالعلو نسبة للتواتر المرجعي نسمي هذه المنحنيات بمنحنيات تساوي العلو *Equal Loudness Contours*.
- تدعى هذه الطريقة بمطابقة العلو *loudness matching*.

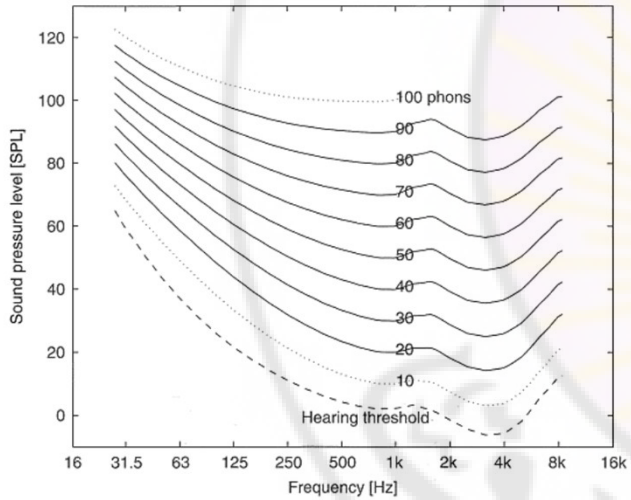


Fig. 3.4 Equal-loudness contours. Replotted from Suzuki and Takeshima (2004).

Damascus University

منحنيات تساوي علو الصوت *Equal Loudness Contours*

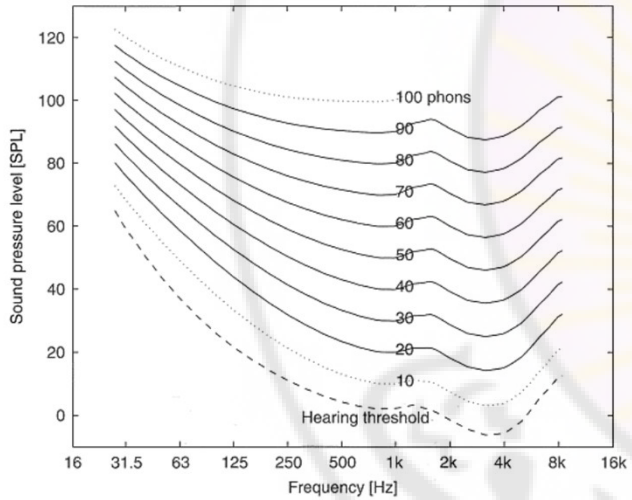
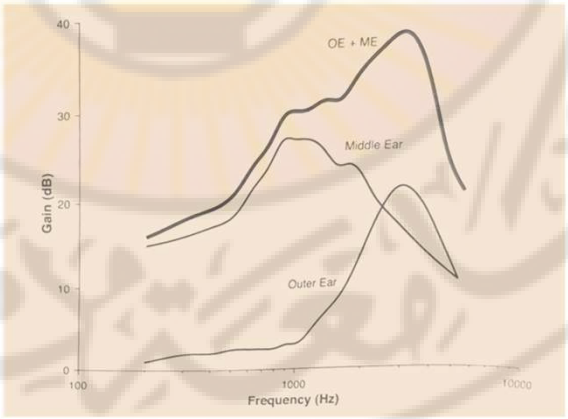


Fig. 3.4 Equal-loudness contours. Replotted from Suzuki and Takeshima (2004).

- اعتمد مقياس فون *phon* في هذه المنحنيات كونه يعبر عن علو الصوت نسبة لتواتر 1000هرتز المرجعي في هذه المنحنيات.
- يتبين لنا من الشكل تأثير تواتر الصوت على شعورنا بعلوه. الأصوات ذات التواتر المتوسط (3000-6000هرتز) تحتاج لشدة أقل لنشعر بعلو متساوي، لذا تعتبر هذه التواترات أعلى من غيرها.
- الشكل البياني هو شكل عكسي للتكبير الناتج عن الأذن الخارجية والأذن الوسطى.
- هذا يعني أن وظيفة الأذن الخارجية والوسطى لها علاقة مباشرة بتأثير التواتر على إدراك علو الصوت.



منحنيات تساوي علو الصوت *Equal Loudness Contours*

- المجالات العملية التي تستخدم منحنيات تساوي علو الصوت هي في صناعة المنبهات وأجهزة التحذير ومجالات الإنتاج الصوتي.
- كأخصائيين سمعيات، تفيد هذه المنحنيات عند قياس علو الصوت في الشركات الصناعية أو المطارات.. الخ.
- كما تفيد في معايرة الميعنات السمعية.

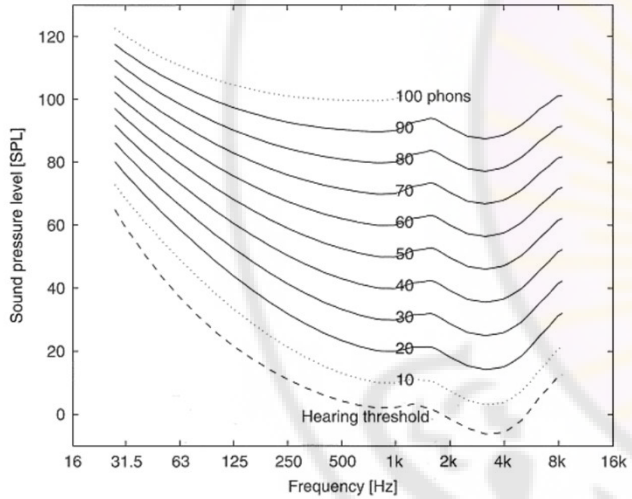


Fig. 3.4 Equal-loudness contours. Replotted from Suzuki and Takeshima (2004).

Damascus University

علو الصوت ومدته

ظاهرة الاندماج الزمني

مدة الصوت

- يزداد ادراك علو الصوت بازدياد مدته.
- تعرف هذه الظاهرة بالاندماج الزمني *Temporal Integration*.
- يمكن استخلاص منحنيات تساوي العلو نسبة لمدة المنبه الصوتي مشابه لتلك المرتبطة بالتواتر وعند ملاحظة هذه المنحنيات نستنتج أن الصوت الأقصر يتطلب طاقة (شدة) أعلى ليتم إدراكه بنفس العلو.
- يختلف انحدار هذه المنحنيات أيضا بحسب الشدة، حيث أن الشدة المتوسطة تتطلب تبدل في المدة أقل منها للشدات المنخفضة والعالية.

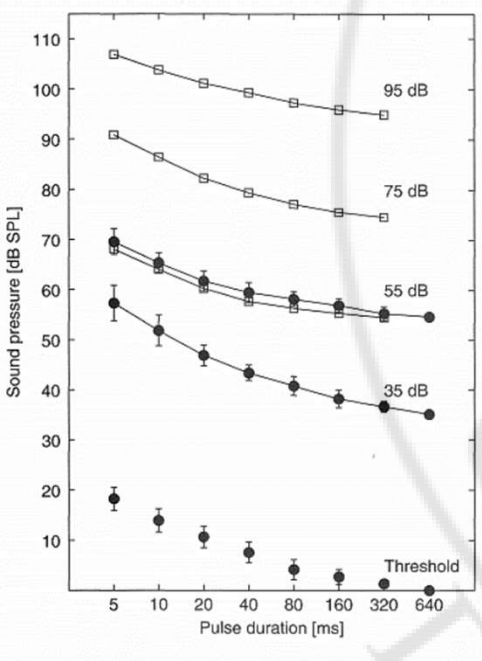
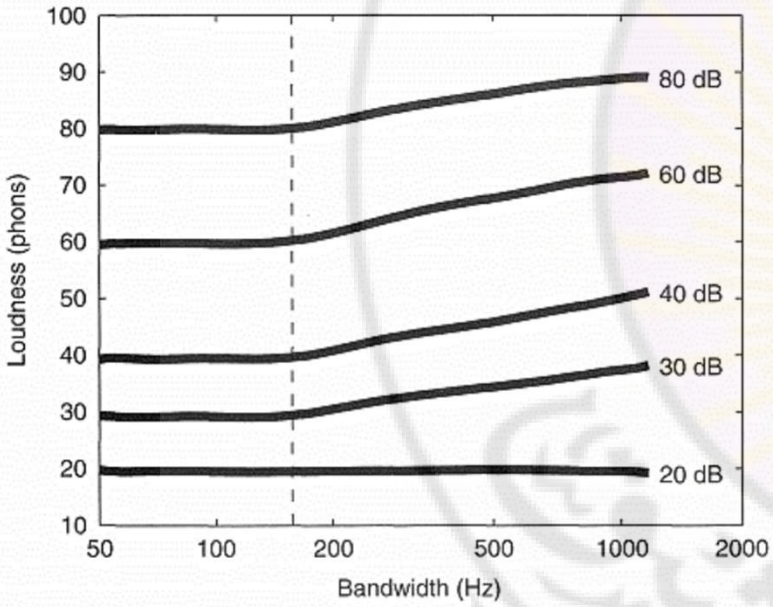


Fig. 3.5 An illustration of temporal integration of loudness. Equal-loudness functions for 1-kHz tones with a series of fixed levels (ranging from threshold to 95 dB SPL) and varied durations (ranging from 5 to 640 ms). Replotted from Poulsen (1981).

علو الصوت وعرض الحزمة

ظاهرة التجمع الطيفي

عرض الحزمة *Bandwidth*



- يزداد علو الصوت مع ازدياد عرض الحزمة.
- تسمى هذه الظاهرة بالتجمع الطيفي *Spectral Summation*.
- هذه الظاهرة تتم دراستها من خلال مطابقة علو الصوت، كما ذكرنا سابقا، حيث يطلب من المستمع أن يطابق علو صوت نغمة صافية على تواتر 1000 هرتز مع صوت ضجيج Narrowband Noise حول نفس التواتر.
- من التجربة يظهر أنه بازدياد عرض الحزمة يزداد علو الصوت وذلك يرتبط أيضا بالشدة والمدة.
- العتبة التي يبدأ عندها الازدياد تسمى الحزمة الحدية *critical band*.
- كما في حالة مدة الصوت، يزداد العلو أكثر مع زيادة عرض الحزمة للشدات المتوسطة، من المنخفضة والعالية.

تمييز اختلافات الشدة

قانون وبير

تمييز الاختلافات في الشدة - أسئلة

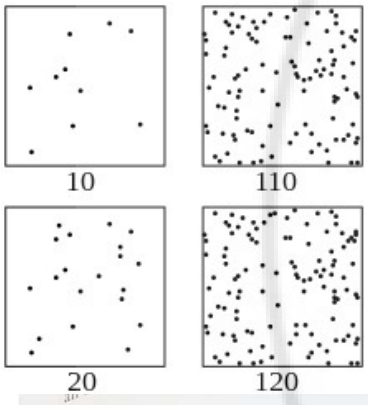
- هل يمكننا تمييز إدراكياً اختلافات بالشدة بين صوتين؟
- ما هو أصغر اختلاف يمكننا تمييزه؟
- هل هذا الاختلاف ثابت مع تغيير شدة الصوت؟

Damascus University

أصغر فرق ملحوظ Just Noticeable Difference

- يعرف أصغر فرق ملحوظ بأنه أصغر فرق بين محفزين فيزيائيين يمكننا إدراكه.
- هناك العديد من الدراسات لمعرفة متى يمكن للشخص معرفة الفرق بين صوتين مختلفين الشدة.

قانون ويبر



- ينص قانون ويبر على أن أصغر فرق ملحوظ يشكل نسبة ثابتة مع تغيير الشدة.
- فيما يتعلق بالشدة السمعية (I)، فقانون ويبر يصبح: $\Delta I/I = k$ حيث أن ΔI هو أصغر اختلاف ملحوظ وk ثابت.
- كما وصف الفرق بالدسيبل بين صوتين ΔL

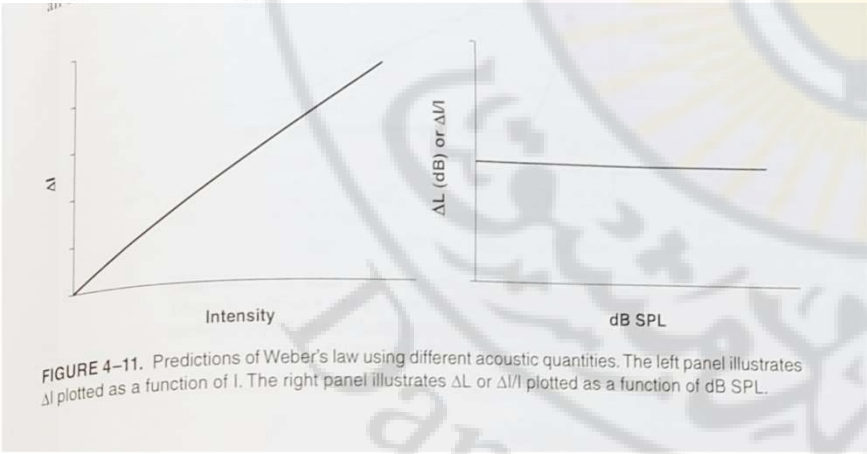
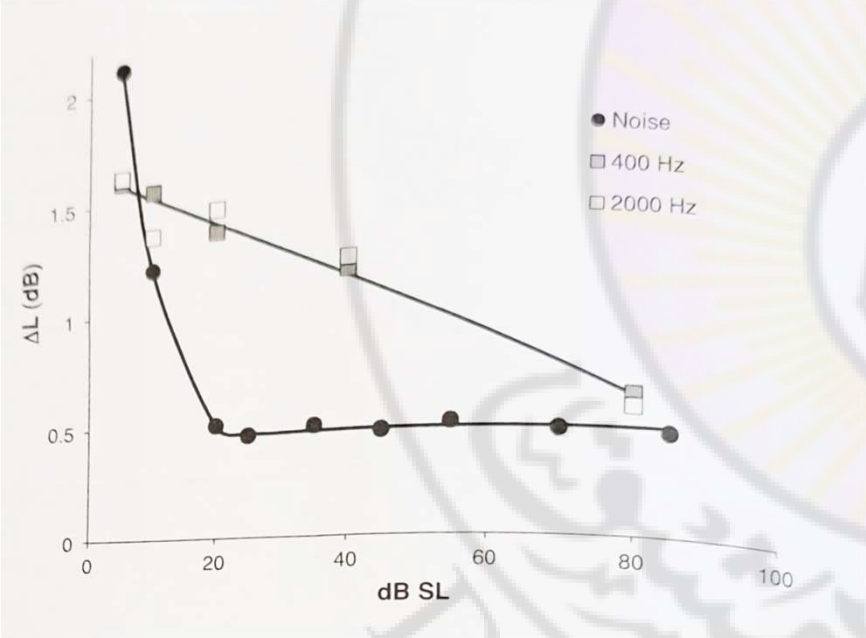


FIGURE 4–11. Predictions of Weber's law using different acoustic quantities. The left panel illustrates ΔI plotted as a function of I. The right panel illustrates ΔL or ΔI/I plotted as a function of dB SPL.

دراسة ميلر Miller ونقض قانون وبير

- قام العالم ميلر بدراسة أصغر فرق ملحوظ لشدات مختلفة من الضجيج والنغمات الصافية *pure tones*.
- تبين أنه لا يمكن تطبيق قانون وبير على الشدات المنخفضة أو على النغمات الصافية.
- يعزى سبب الاختلاف لقدرة الجهاز السمعي العصبي على الاستفادة من كافة المعلومات على مدى المجال التواتري.



دراسة ميلر Miller ونقض قانون ويبر

- إذا نظرنا إلى رسم البياني، فعند تنبيه الغشاء القاعدي بمنبهين: 1000هرتز بشدة 60 دسيبل وشدة 64 دسيبل، أحدث ذلك اضطراباً في منطقة 2300هرتز بحواالي 10 دسيبل، وذلك أثر على قدرة الدماغ على تمييز الفرق بين 60 و 64 دسيبل.
- بينت الدراسات أن هذا الفرق الناتج عن تحفيز الغشاء القاعدي هي خاصية مرتبطة بالتواترات الحادة فقط
- في دراسات حجبت فيها التواترات العالية، أصبح قانون ويبر يطبق من جديد، حتى على النغمات الصافية.

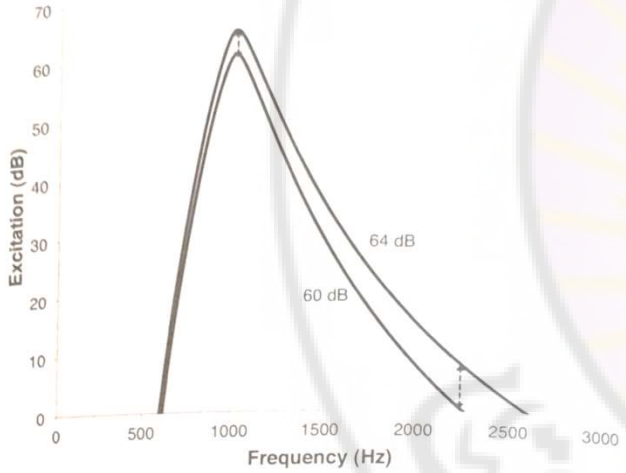


FIGURE 4–13. Excitation patterns for two tones presented at 60 and 64 dB SPL are shown. The difference between the excitation patterns is larger for the high-frequency side of the excitation pattern when compared with the peak, illustrated by the two arrows on the figure.

تأثير نقص السمع الحسي العصبي على علو الصوت

خاصية الاستنفار

ظاهرة الاستنفار Recruitment

- تعرف ظاهرة الاستنفار بأنها الظاهرة ازدياد إدراك علو الصوت مع ارتفاع شدة الصوت بشكل غير طبيعي (متسارع).
- يوضح الشكل الفرق بإدراك علو الصوت مع زيادة شدة الصوت بين شخص سمعه طبيعي وشخص مصاب بضعف سمع حسي عصبي بحدود 40 دسيبل.
- كما نرى، الشخص المصاب بضعف سمع حسي عصبي يميز نفس درجات علو الصوت (سون) ولكن ضمن مجال ديناميكي أضيق.
- نلاحظ أيضاً أن علو الصوت يصبح مماثل للشخص ذو السمع الطبيعي في الشدات العالية.
- تعد هذه الظاهرة خاصة بضعف السمع الحسي (ناتجة عن حركة الشعيرات الحسية) وكانت تستخدم سريرياً للتفريق بين الضعف الحسي والعصبي.

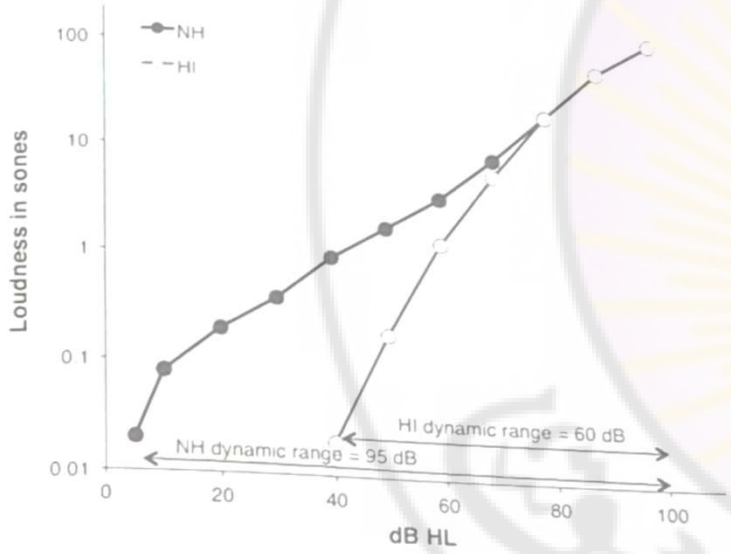
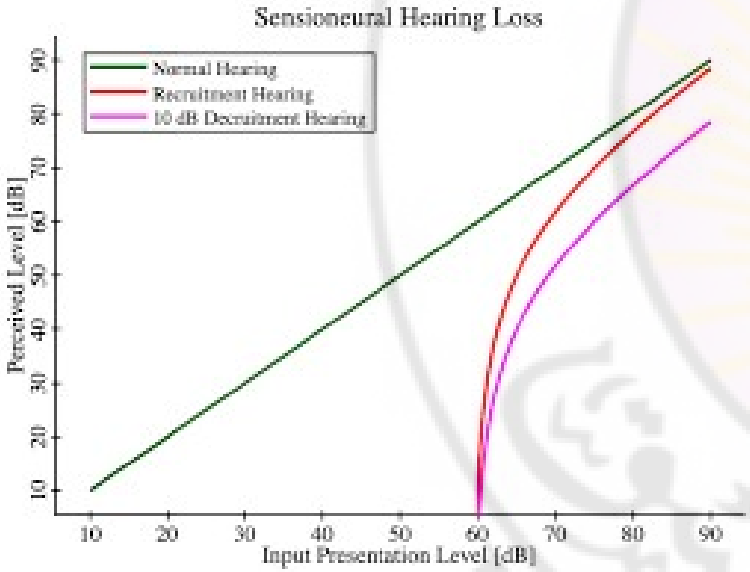


FIGURE 4–14. Loudness growth functions a normal-hearing listener (*filled circles*) and for a listener with a 40-dB HL sensorineural hearing loss (*unfilled circles*) are shown. The dynamic ranges of hearing of the two listeners are labeled.

ظاهرة عكس الاستنفار أو الاستنفار الجزئي
Derecruitment or Partial Recruitment



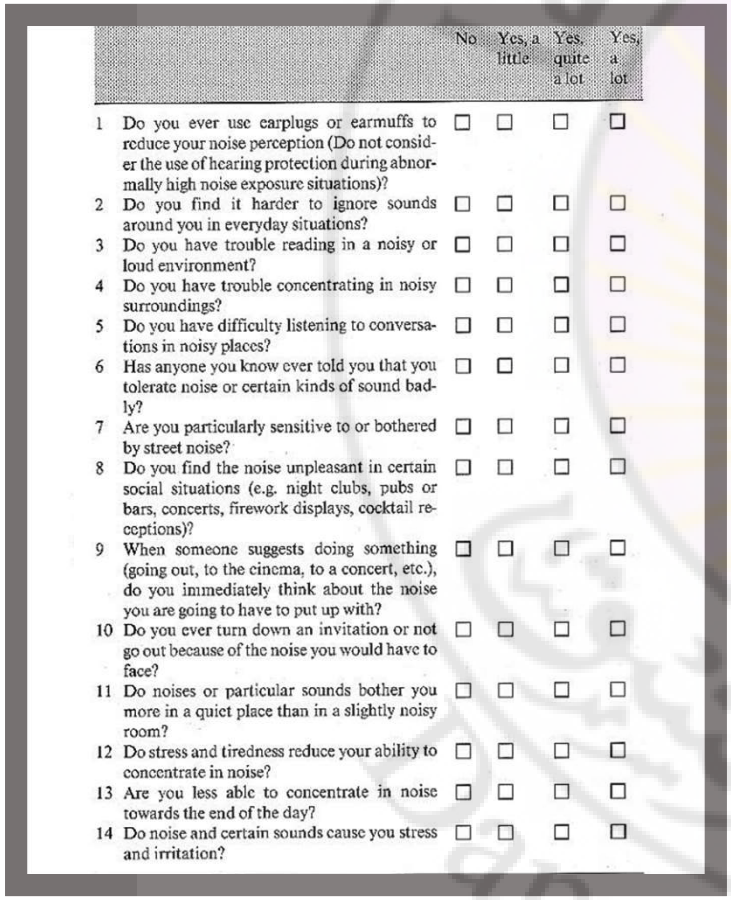
- ظاهرة الاستنفار تنطبق على ضعف السمع الحسي العصبي البسيط إلى متوسط الدرجة.
- في حالات ضعف السمع الحسي العصبي الشديد إلى العميق، تبينت ظاهرة الاستنفار الجزئي، حيث يشعر الشخص أن العلو منخفض في الشدات العالية (المسموعة).

- هذا يجعل معايرة المعينات السمعية صعب لهذه الفئة، حيث لا يشعر بعلو الصوت حتى عند تضخيم الصوت.

احتداد السمع Hyperacusis

وحالات الانزعاج من علو الصوت

احتداد السمع Hyperacusis



		No	Yes, a little	Yes, quite a lot	Yes, a lot
1	Do you ever use earplugs or earmuffs to reduce your noise perception (Do not consider the use of hearing protection during abnormally high noise exposure situations)?	☐	☐	☐	☐
2	Do you find it harder to ignore sounds around you in everyday situations?	☐	☐	☐	☐
3	Do you have trouble reading in a noisy or loud environment?	☐	☐	☐	☐
4	Do you have trouble concentrating in noisy surroundings?	☐	☐	☐	☐
5	Do you have difficulty listening to conversations in noisy places?	☐	☐	☐	☐
6	Has anyone you know ever told you that you tolerate noise or certain kinds of sound badly?	☐	☐	☐	☐
7	Are you particularly sensitive to or bothered by street noise?	☐	☐	☐	☐
8	Do you find the noise unpleasant in certain social situations (e.g. night clubs, pubs or bars, concerts, firework displays, cocktail receptions)?	☐	☐	☐	☐
9	When someone suggests doing something (going out, to the cinema, to a concert, etc.), do you immediately think about the noise you are going to have to put up with?	☐	☐	☐	☐
10	Do you ever turn down an invitation or not go out because of the noise you would have to face?	☐	☐	☐	☐
11	Do noises or particular sounds bother you more in a quiet place than in a slightly noisy room?	☐	☐	☐	☐
12	Do stress and tiredness reduce your ability to concentrate in noise?	☐	☐	☐	☐
13	Are you less able to concentrate in noise towards the end of the day?	☐	☐	☐	☐
14	Do noise and certain sounds cause you stress and irritation?	☐	☐	☐	☐

- يعاني بعض الأشخاص من احتداد السمع، فيشعر الشخص المصاب بحساسية عالية لشدة الصوت ويشتكي أن علو الصوات مرتفع حتى للأصوات متوسطة الشدة.
- نقوم بفحص مستوى العلو المزعج loudness discomfort levels LDLs كجزء من التقييم السمعي وهي عادةً 80 دسيبل حسي وما فوق.
- نجد أن مستوى العلو المزعج لدى الشخص الذي يعاني من احتداد سمعي أقل من 80 دسيبل حسي.
- هذا بالإضافة إلى أسئلة نوعية الحياة (كالمثال المرفق) تساعدنا في تشخيص هذه الحالة ووضع خطة علاجية مناسبة.

مناقشة

تمارين

1. قدمنا صوت تواتره 2000هرتز وشدته 50دسيبل لمستمع وطلبنا منه تحديد علو الصوت على مقياس تماثلي بصري.
عدد جميع العوامل التي يمكن تعديلها لنزيد من إدراك علو الصوت لدى المستمع.

2. صف كيف قد يتأثر إدراك علو الصوت في الحالات التالية:
- نقص السمع التوصيلي (اضطراب في الأذن الخارجية أو الوسطى)
- نقص سمع حسي عصبي متوسط الدرجة
- نقص سمع حسي عصبي شديد إلى عميق
- نقص سمع في التواترات الحادة
- احتداد السمع

بشرى قسومة

kassoumabushra@gmail.com

Thank You!

Psychoacoustics - Pitch
علم الصوتيات السريري (الإدراكي)
طبقة الصوت

Bushra Kassouma
بشرى قسومة

Damascus University

طبقة الصوت ونغم الصوت

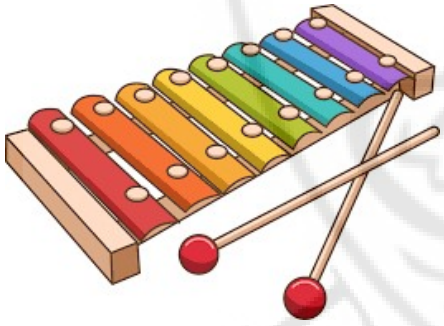
تعريف طبقة الصوت

- الطبقة هي المرادف الإدراكي للتواتر، والذي يقابل فيزيائيا عدد مرات تكرار الموجة الصوتية في الثانية.
- في علم السمعيات والموسيقا تعرف الطبقة بانها الإحساس السمعي للصوت الذي يسمح بتصنيفه على مقياس خطي من منخفض (صوت عريض) إلى مرتفع (صوت حاد).

قياس طبقة الصوت

قياس طبقة الصوت

- كما في تجارب قياس علو الصوت، لا يمكن قياس صوت إلا بمقارنته بصوت آخر.
- استخدمت نفس المقاييس الغير موضوعية (المقياس الحجمي والمقياس التناسبي) التي استخدمت لقياس علو الصوت، ولكن لم تعطي ذات الموثوقية.
- السبب في ذلك يعزى لعدم اقتران الطبقة بحجم معين (كبير وصغير)، فتحديد قيمة رقمية لعلو الصوت أسهل بكثير من تحديد قيمة رقمية لطبقة الصوت.



العوامل المؤثرة في طبقة الصوت

طبقة الصوت والتواتر

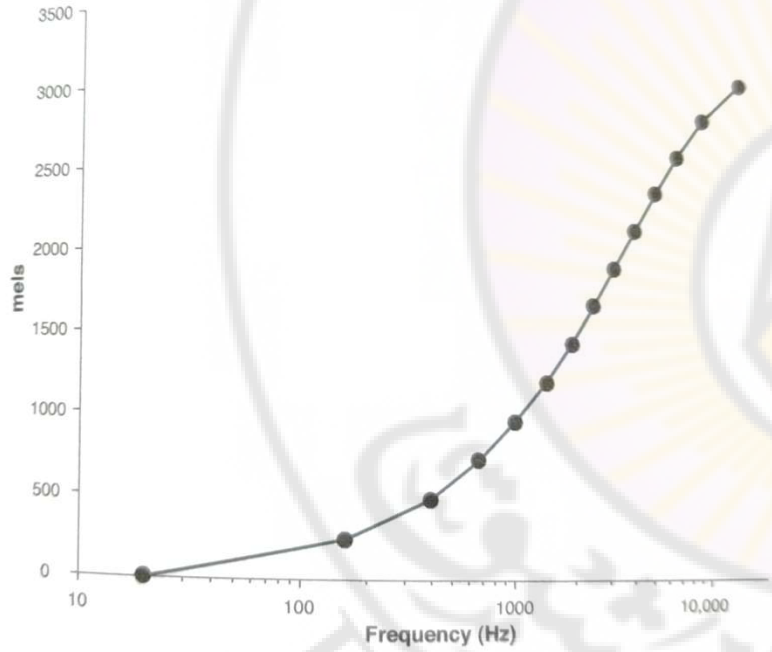


FIGURE 6–9. Mels versus frequency (Hz). Adapted from Beranek (1949).

- كما في تجربة ستيفنز لقياس علو الصوت، قام العالم بمحاولة قياس إدراك طبقة الصوت.
- قام بتعيين وحدة ميل mel لطبقة الصوت عند 1000هرتز بشدة 40 دسيبل كصوت مرجعي، وطلب من المستمع مقارنة هذا الصوت بمجموعة أصوات وتحديد تناسب الأصوات.
- حدد العالم أن 1000 ميل تمثل طبقة الصوت وبالتالي الصوت الذي يشعر المستمع أنه نصف الطبقة يكون 500 ميل وضعف الطبقة 2000 ميل.

طبقة الصوت والتواتر

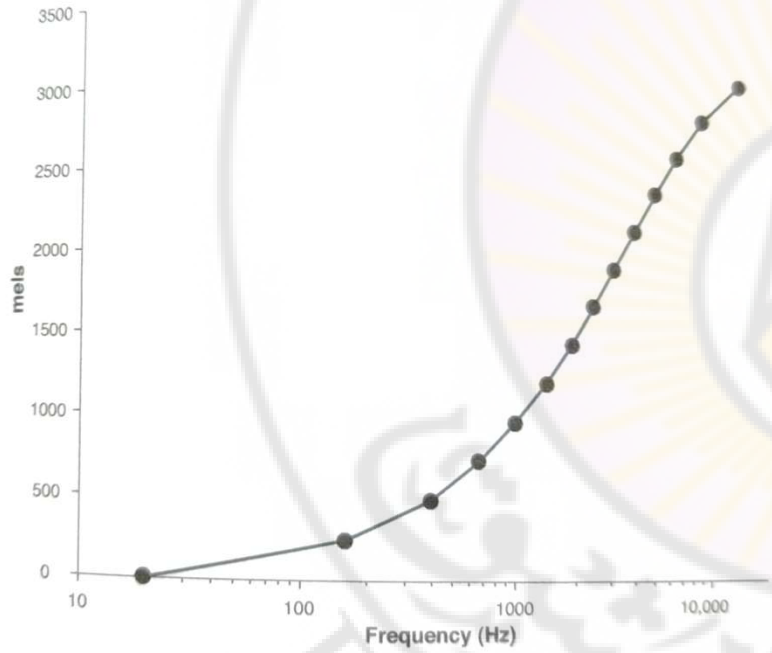


FIGURE 6–9. Mels versus frequency (Hz). Adapted from Beranek (1949).

- نستنتج من المخطط أن زيادة التواتر تزيد الطبقة المدركة، ولكن التناسب ليس خطي.
- كما ذكرنا سابقا، هذه الطريقة من القياس ذات موثوقية قليلة فلم يعتمد مقياس ميل مثل سون وفون، ولكن تفيد بمعرفة العلاقة بين التواتر وإدراك طبقة الصوت.

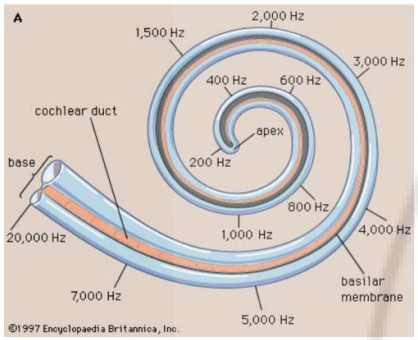
نظريات العوامل المؤثرة بالصوت

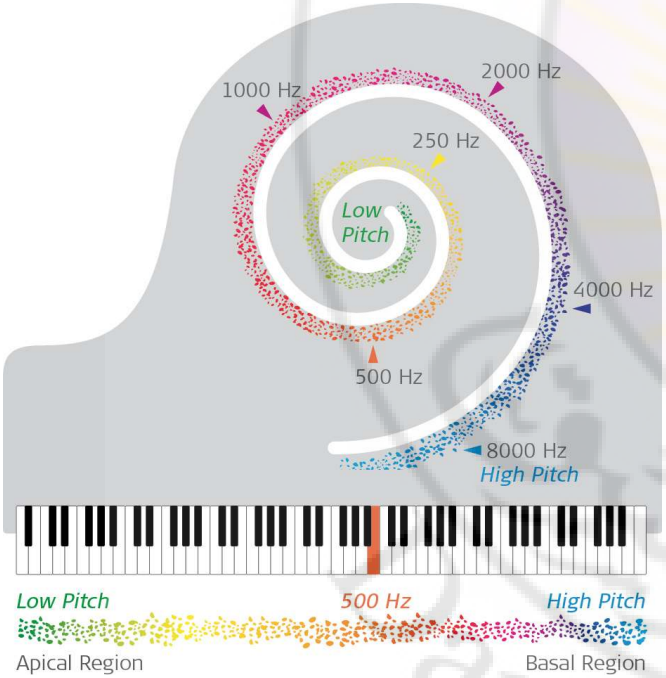
نظرية الترميز الوضعي
Place Code Theory

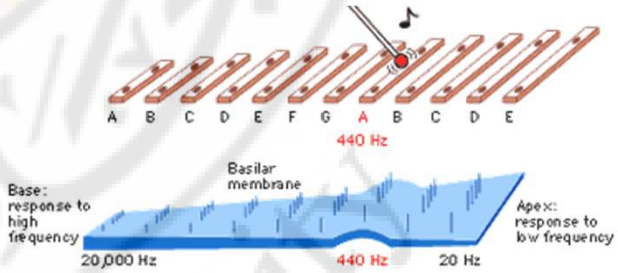
نظرية الترميز الزمني
Temporal Code Theory

نظرية الترميز الوضعي

- تنص هذه النظرية أن طبقة الصوت يتم ترميزها من خلال موقع التحفيز على الغشاء القاعدي المرتب تواترياً.
- وجد أن هذه النظرية تفسر إدراكنا لطبقة الصوت بشكل عام وللتواترات الحادة بشكل خاص.







ترميز الأصوات المختلفة

- من السهل تحديد موقع التحفيز الذي ينشأ من الأصوات البسيطة (النغمات الصافية)، ولكن من الصعب تحديد الموقع في الأصوات المركبة (ضجيج، موسيقا، كلام...الخ)

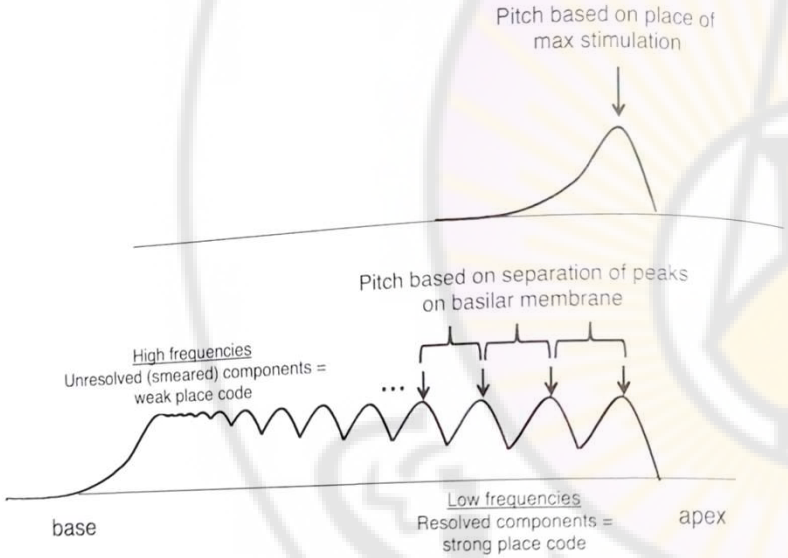
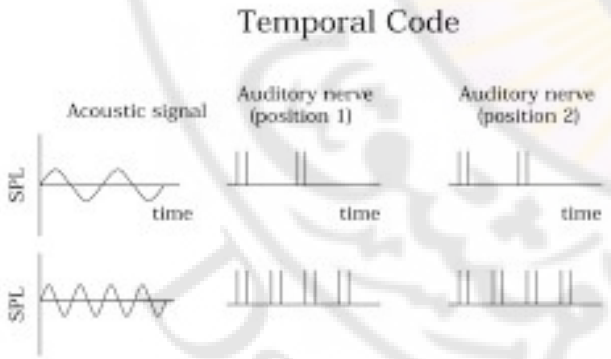


FIGURE 6–3. Schematic of the traveling wave envelope for a single tone (*top panel*) and a complex tone (*bottom panel*). The top panel illustrates a single place of maximum vibration. The bottom panel illustrates multiple places of high vibration and shows that low-frequency harmonics are resolved at the apex and high-frequency harmonics are unresolved at the base of the cochlea.

نظرية الترميز الزمني

- تنص النظرية على أن طبقة الصوت يتم ترميزها عبر الأنماط الزمية (عدد الدورات في الثانية) التي تنبه العصب السمعي.
- https://isle.hanover.edu/Ch10AuditorySystem/Ch10Temporal.html
- وجد أن هذه النظرية تفسر إدراكنا لطبقة الصوت بشكل عام وللتواترات العريضة بشكل خاص.



تأثير الشدة على إدراك طبقة الصوت

- وجدت الأبحاث أن شدة الصوت لها تأثير بسيط على إدراك طبقة الصوت.
- هذا التأثير لم يكن ثابت مع اختلاف التواتر، وكان تأثيره بسيط جداً (أقل من 4%).

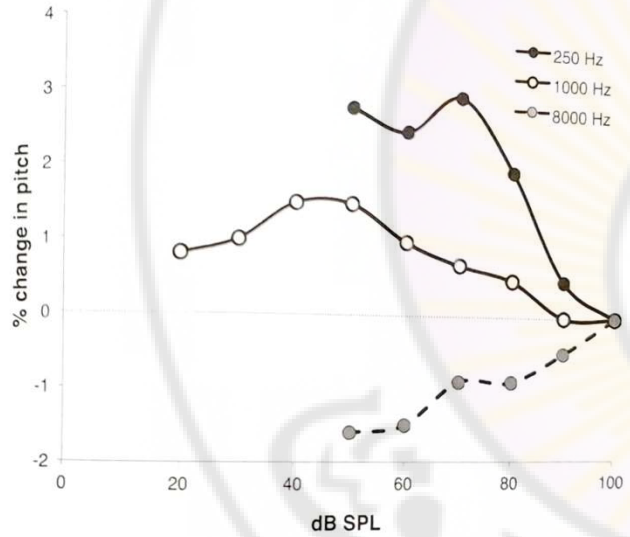
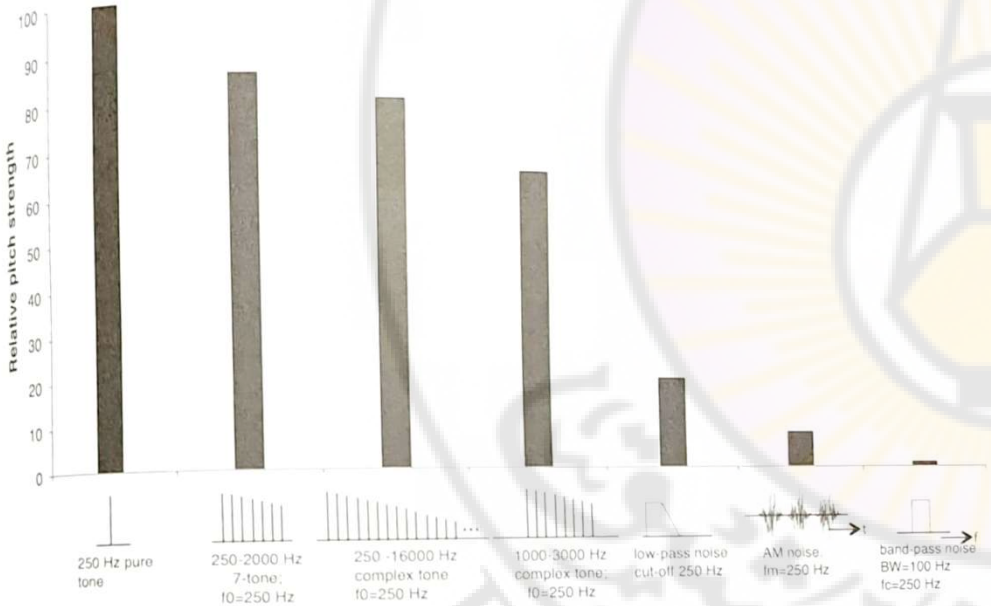


FIGURE 6–10. Pitch matches as a function of intensity. Median percent change in pitch is plotted as a function of stimulus intensity for pure tones presented at three frequencies. Adapted from Morgan et al. (1951).

إدراك طبقة الصوت

وضوح الطبقة (قوة الطبقة) Pitch Strength

- وضوح طبقة الصوت أو نغمة الصوت ينقص مع زيادة طيف الصوت sound spectrum.



الصوت المركب والتواتر الأساسي

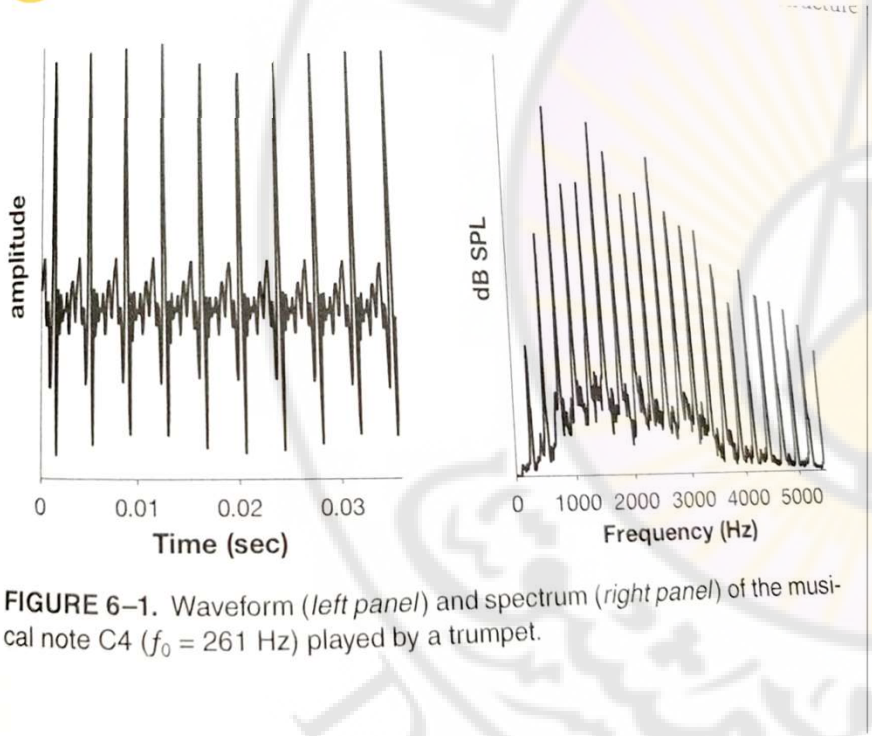


FIGURE 6–1. Waveform (*left panel*) and spectrum (*right panel*) of the musical note C4 (f_0 = 261 Hz) played by a trumpet.

- طبقة الأصوات المركبة تعتمد على توافقيات الصوت Harmonics بما يسمى ظاهرة إدراك التواتر الأساسي fundamental frequency.
- جميع الأصوات التوافقية دورية، ومعدل التواتر يعتمد على التواتر الأساسي

إدراك طبقة الأصوات المركبة

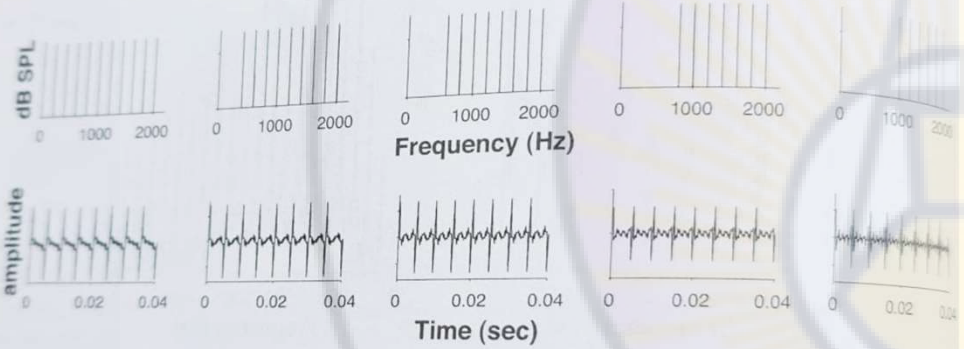


FIGURE 6–2. Illustration of the acoustic effect of removing low-frequency harmonics. Spectra (*top panels*) and waveforms (*bottom panels*) are shown. Low-frequency harmonics are progressively removed from a complex tone, illustrated by moving from the left panels to the right panels.

- يقوم الجهاز السمعي بإدراك الأصوات المركبة من خلال مغلف الموجة (وليس من تفاصيلها). فإدراكنا لطبقة الصوت يتناسب مع التواتر الأساسي، حتى لو تناقصت عدد التواترات، حتى وإن كان التواتر المفقود هو التواتر الأساسي نفسه، والتي تسمى نظرية التواتر الأساسي المفقود Missing Fundamental Frequency.
- نرى أمثلة عن التواتر الأساسي المفقود في بعض الآلات الموسيقية والأصوات الكلامية.

أهمية إدراك طبقة الصوت وتأثير نقص السمع

أهمية تمييز طبقة الصوت

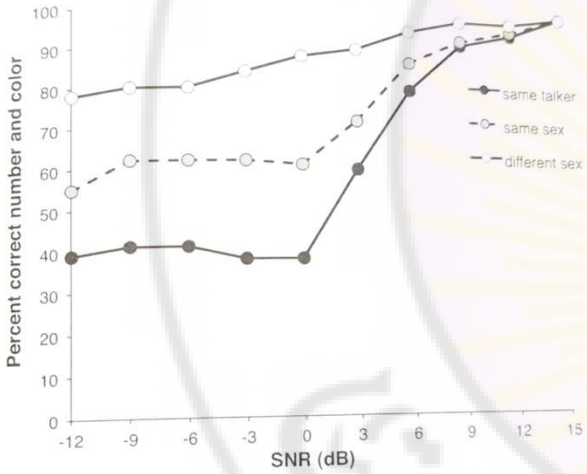
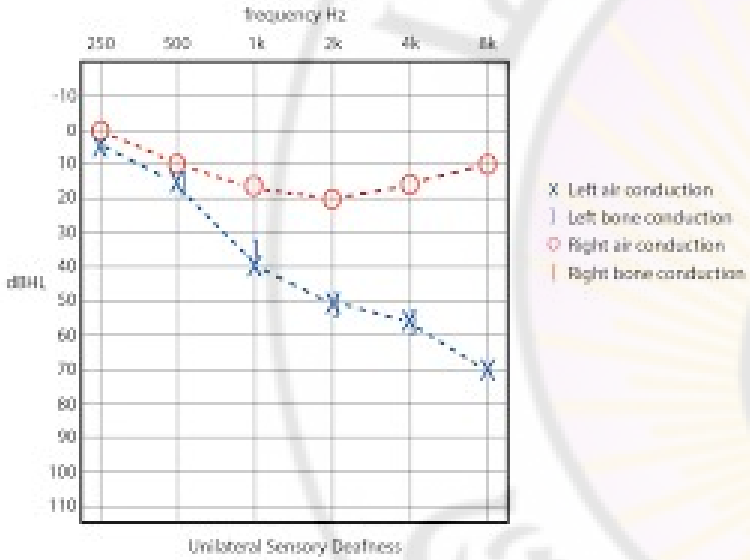
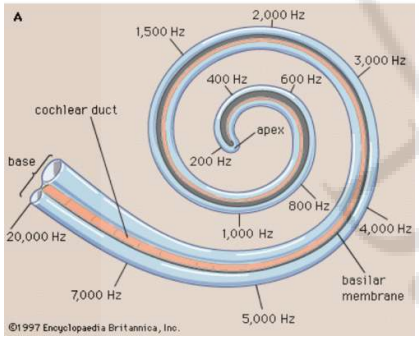


FIGURE 6–17. Percent correct for color and number plotted as a function the SNR in dB for different target + masker configurations. Target and maskers sentences were spoken from the same talker, different talkers but the same sex, and different talkers with different sexes. Adapted from Brungart (2001).

- نحتاج لقدرة تمييز طبقة الصوت في حياتنا اليومية لتمييز صوت وإدراك مشاعر المتكلم وتنغيم الكلام، كما تسمح لنا بالاستمتاع بالموسيقى وتمييز الآلات الموسيقية عن بعضها.
- هذه الخاصية نفسها تسمح لنا بالتركيز على صوت متكلم في الضجيج، وخاصة ضجيج مشابه (كلام ضمن كلام).
- لتوضيح ذلك، قام العالم برونغارت بتقديم كلمتين (لون ورقم) بآن واحد، مرة بنفس الصوت، مرة بصوتين من نفس الجنس، ومرة أخرى من جنسين.
- كان المستمع قادر على التمييز بين صوتين من جنسين أكثر من نفس الجنس وأكثر بكثير من نفس المكلم.

نقص السمع وإدراك طبقة الصوت





- يؤثر نقص السمع التوصيلي فقط على الأصوات الغير مسموعة، لكنه لا يؤثر على قدرة إدراك طبقة الصوت المسموع
- يؤثر نقص السمع الحسي العصبي على إدراك الطبقة. فالضرر في الشعيرات الحسية في الأذن الداخلية يؤثر على نظرية الترميز الوضعي والزمني.
- في هذه الحالة، يؤثر نقص السمع الحسي العصبي على إدراك طبقة الصوت في كافة التواترات، حتى إن كان يسمعها المريض بشكل طبيعي.
- في حال نقص السمع أحادي الجانب أو الغير متناسق، يشعر الكثير من المرضى بما يسمى السمع المزدوج diplacusis حيث يشعر الشخص بطبقة صوت مختلفة في كل أذن عند تقديم صوت واحد.

تأثير نقص السمع

- نقص السمع الحسي العصبي يؤثر على إدراك طبقة الصوت
- في الكثير من الأحيان لا يمكن التعويض عن هذا التأثير حتى بالمعينة السمعية.
- يشتكي الكثير من المرضى من السمع في الأماكن المزدحمة وعند سمع أكثر من متكلم في ذات الوقت.

بشرى قسومة
bushra.kassouma210@gmail.com

Thank You!

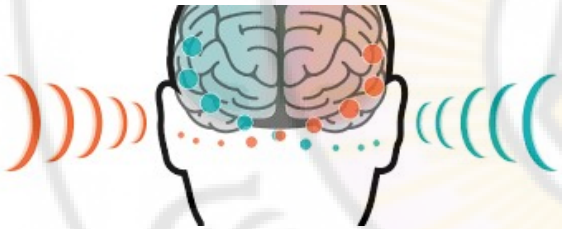
Psychoacoustics – Binaural Hearing
السمع بأذن واحدة مقابل السمع بالأذنين

Bushra Kassouma
بشرى قسومة

السمع بأذن واحدة
مقابل السمع بالأذنين

السمع بالأذنين

- السمع بالأذنين له فوائد عديدة لإدراكنا للبيئة الصوتية والتواصل.
- لذا يعاني الأشخاص اللذين لديهم من نقص سمع أحادي الجانب من الكثير من المشاكل التواصلية واضطرابات بنوعية الصوت.



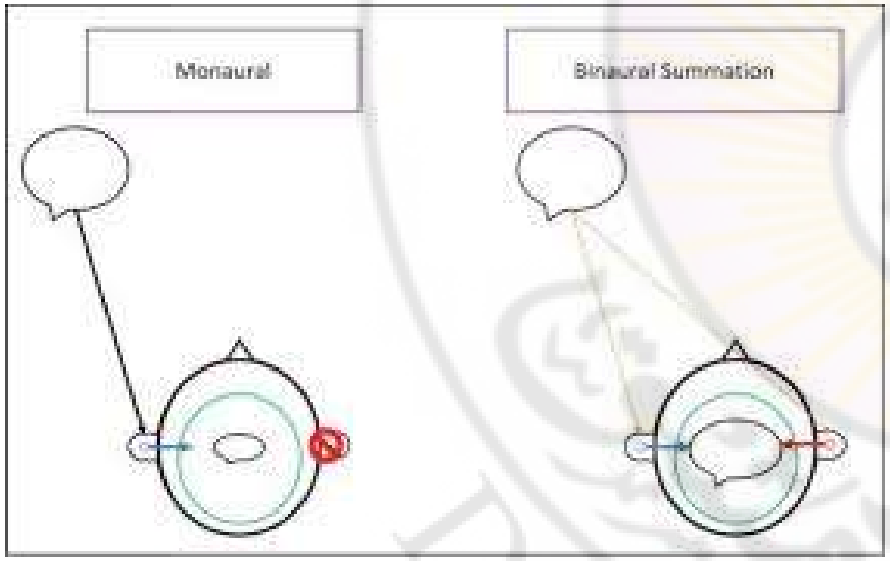
فوائد السمع بالأذنين

- مجموع الأذنين
  Binaural Summation
- معرفة اتجاه وموقع الصوت
  Localization and Lateralization
- إزالة التشويش بالسمع بالأذنين
  Binaural Unmasking

Damascus University

مجموع الأذنين
Binaural Summation

مجموع الأذنين Binaural Summation



- يعرّف مجموع الأذنين Binaural Summation بقدرة الجهاز السمعي على الاستفادة من المعلومات القادمة من الأذنين لتحسين الأداء.
- بينت الدراسات أن الفرق بعتبة السمع عند تقديم الصوت بالساحة الحرة مقابل تقديم الصوت بسماعات الرأس كان بين 10-15دسيبل.

Damascus University

مجموع الأذنين Binaural Summation

TABLE 7–1. Amount of Binaural Advantage Measured in a Variety of Tasks

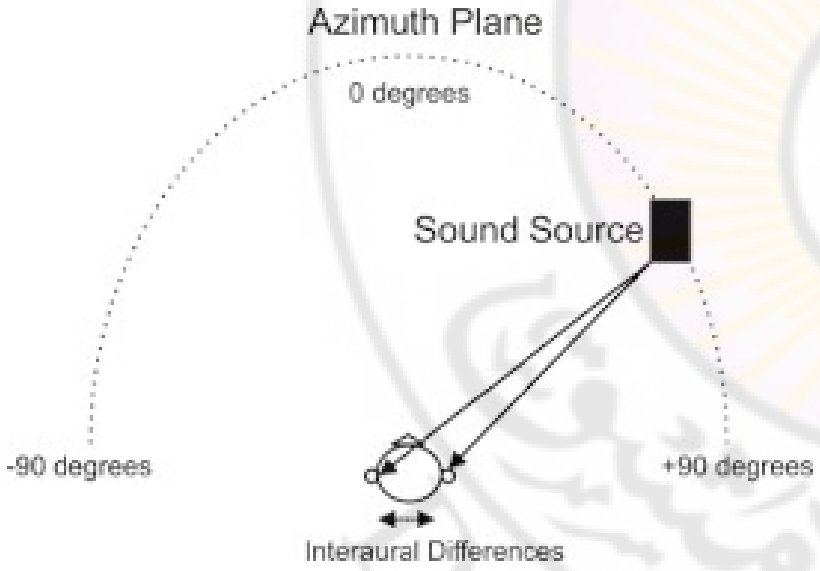
Task	Binaural Advantage	Investigators
Loudness summation of tones	Almost doubling of loudness	Algom, Rubin, and Cohen-Raz (1989)
Loudness summation of noise	Doubling of loudness	Marks (1980)
Absolute threshold of noise	2–3 dB	Pollack (1948)
Absolute threshold of tones	2–3 dB	Shaw, Newman, and Hirsh (1947)
Threshold in noise	0–2 dB	Hirsh (1948)
Intensity discrimination	~60%	Jesteadt and Wier (1977)
Frequency discrimination	~60%	Jesteadt and Wier (1977)
Speech (speech recognition threshold)	~2.5 dB	Shaw et al. (1947)

يبين الجدول الفوائد العديدة للسمع بالأذنين:

- إدراك علو الصوت يضاعف للنغمات والتشويش
- عتبة السمع للتشويش والنغمات تزيد بحدود 2-3 دسيبل
- القدرة على تمييز تغييرات الشدة والتواتر تزيد بحدود 60%.
- تزيد عتبة معرفة الكلام بحدود 2.5 دسيبل. هذا الأمر هام فهو يعادل زيادة 30-40% من نسبة فهم الكلام.

معرفة اتجاه الصوت
Localization

معرفة اتجاه الصوت

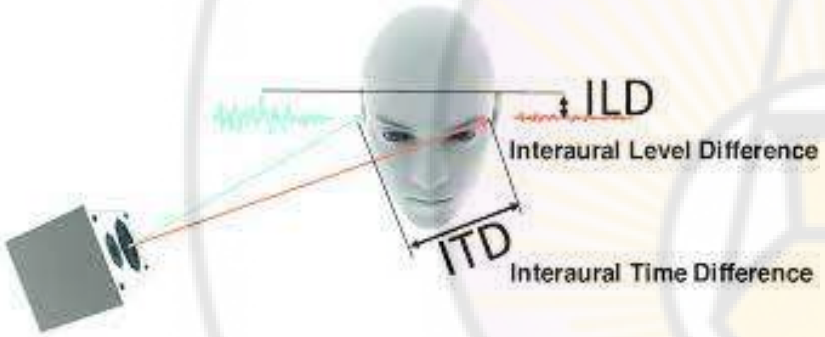


- من أهم مزايا السمع بأذنين
- القدرة على معرفة موقع الصوت على المستوى الأفقي أفضل من العمودي بسبب موقع الأذنين على الرأس، وهنا نعرف درجة السموت الصوت azimuth بالدرجة بين مصدر الصوت والرأس، حيث أن درجة سموت 0 تقع أمام الرأس مباشرة.

معرفة اتجاه الصوت

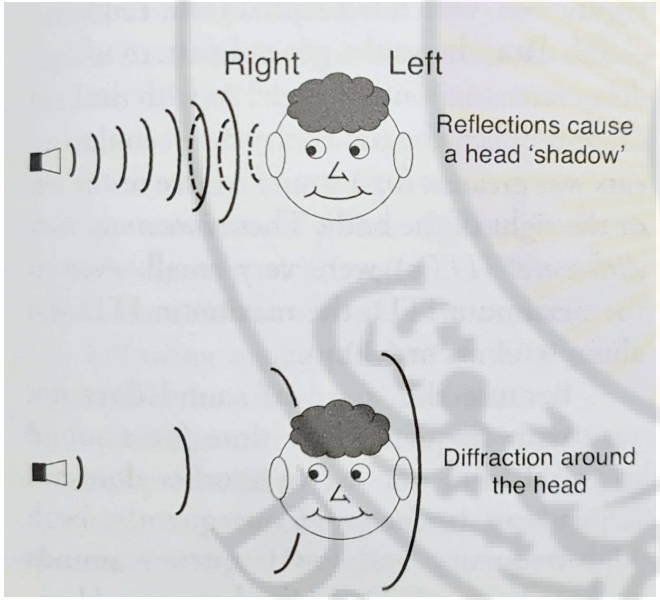
معرفة اتجاه الصوت ناتجة عن خاصيتين:

- فرق مستوى الصوت بين الأذنين
  Interaural Level Difference
- فرق زمن الصوت بين الأذنين
  Interaural Time Difference



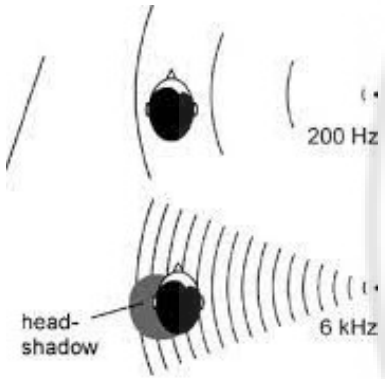
Damascus University

فرق مستوى الصوت بين الأذنين Interaural Level Difference وتأثير ظل الرأس Headshadow Effect



- اذا كان مصدر الصوت لنفترض موازي للأذن اليمنى وأردنا معرفة تأثير الرأس على اختلاف الصوت في الأذن اليسرى عن اليمنى، فيتناسب ذلك مع طول الموجة الصوتية wavelength وحجم الرأس، فبعض الأصوات ترتد عن الرأس وبعضها ينعطف جول الرأس.

فرق مستوى الصوت بين الأذنين Interaural Level Difference وتأثير ظل الرأس Headshadow Effect



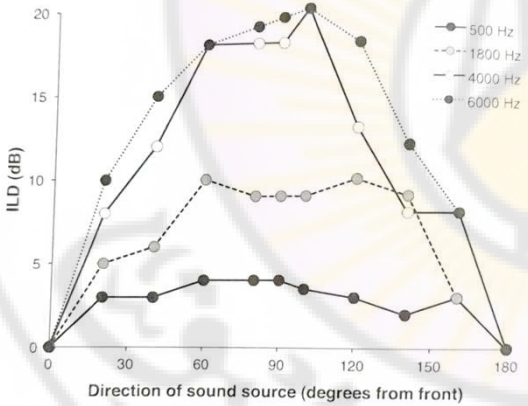


FIGURE 7–2. ILDs (in dB) are plotted a function of sound location with respect to a human listener, where 0° is front and center. Each function represents an ILD measurement for a different frequency. Adapted from Feddersen et al. (1957).

- وجد أن الأصوات ذات تواتر حاد ترتد عن الرأس بينما تنعطف الأصوات ذات التواتر العريض حول الرأس.
- وبالتالي تأثير ظل الرأس يؤثر بشكل أساسي على التواترات الحادة.
- يعتمد هذا التأثير على درجة سموت الصوت.

فرق زمن الصوت بين الأذنين Interaural Time Difference

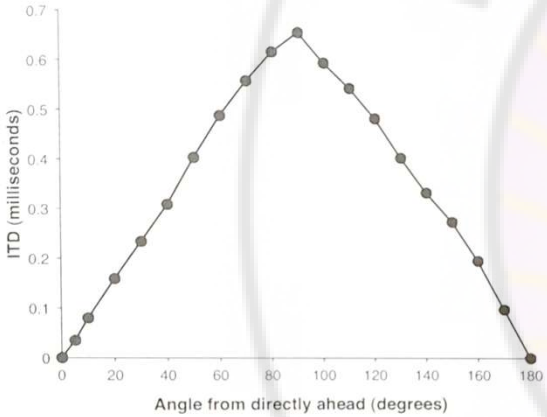
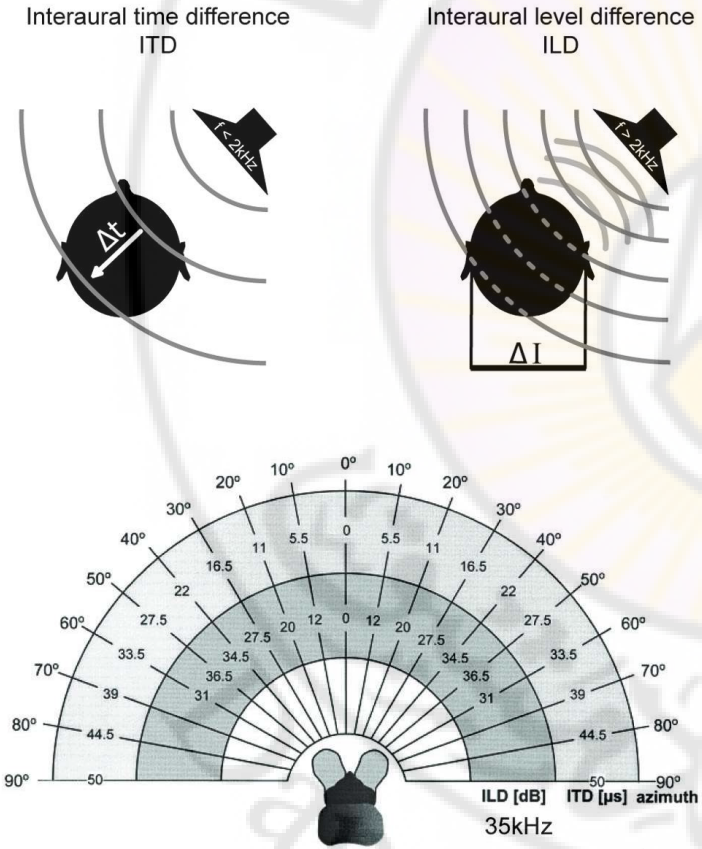


FIGURE 7–3. ITD versus location. Interaural time differences in milliseconds are plotted a function of sound's location with respect to a human listener, where 0° is front and center. Adapted from Feddersen et al. (1957).

- فرق زمن الصوت هو الزمن المستغرق لانتقال الصوت من الأذن الأقرب لمصدر الصوت للأذن الأبعد.
- هذه الخاصية تتميز بها الأصوات ذات التواترات العريضة.
- يعد هذا الفرق الزمني بسيط (أجزاء من الثانية) ولكنه يفيد بمعرفة اتجاه الصوت.

معرفة اتجاه الصوت

- يعتمد معرفة اتجاه الصوت على اختلاف مستوى الصوت للتواترات الحادة ولاختلاف الزمن للتواترات العريضة.



إزالة التشويش بالسمع بالأذنين
Binaural Unmasking

إزالة التشويش بالسمع بالأذنين Binaural Unmasking

- هي القدرة على تخفيف أثر الضجيج على السمع، وهي تفيد بإدراك الكلام مع وجود ضجيج.
- إزالة التشويش تتم عن طريق:
  - تجمع الأذنين Binaural Summation
  - ميزة الأذن الأفضل Better-ear Advantage
  - الكبت ثنائي الجانب Binaural Squelch

ميزة الأذن الأفضل Better-ear Advantage

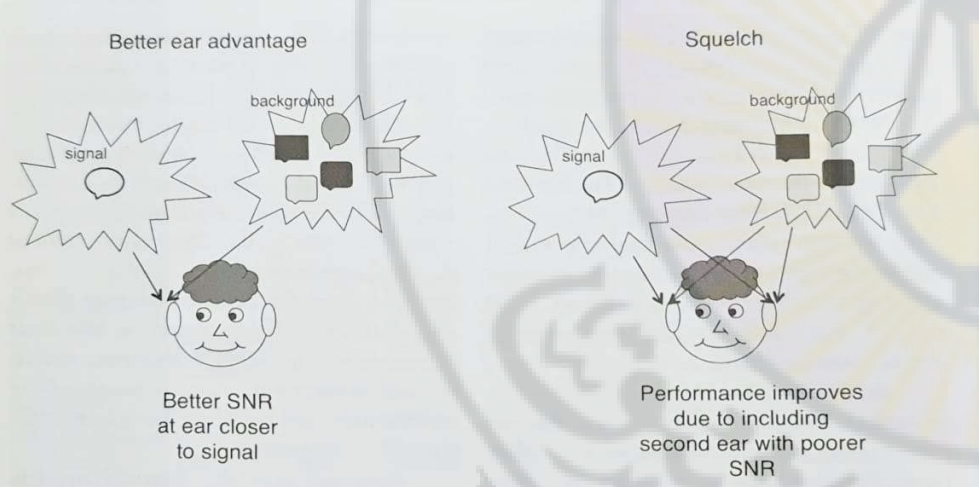


FIGURE 7–13. Illustration of better ear advantage (*left panel*) versus binaural squelch (*right panel*).

- نعتبر هنا أن الأذن الأفضل هي الأذن الأقرب لمصدر الصوت، وبالتالي التي لديها نسبة صوت-ضجيج signal-to-noise ratio أفضل.
- تحسب هذه الميزة عن طريق طرح عتبة الصوت في الأذن الأفضل من عتبة الأذن الأسوأ.
- تفيد هذه الميزة بزيادة حتى 56% في اختبارات فهم الكلام.

الكبت ثنائي الجانب Binaural Squelch

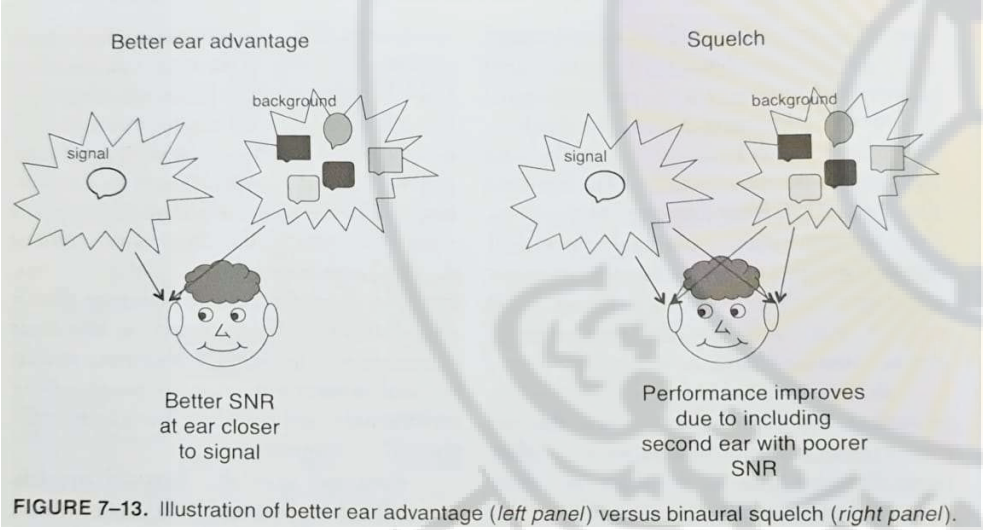
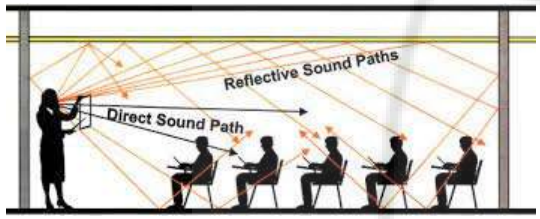


FIGURE 7–13. Illustration of better ear advantage (*left panel*) versus binaural squelch (*right panel*).

- نعتبر هنا أن الأذن الأفضل هي الأذن الأقرب لمصدر الصوت، وبالتالي التي لديها نسبة صوت-ضجيج signal-to-noise ratio أفضل.
- هذه الميزة هي الاستفادة من الأذن الأسوأ في السمع وفهم الكلام.
- تفيد هذه الميزة بزيادة حتى 3-5% في اختبارات فهم الكلام.

نظرية الأسبقية Precedence Theory



- الأمواج الصوتية ترتد عن الأسطح ولكننا في غالب الأحيان لا نشعر بها.
- يتم ذلك عن طريق نظرية الأسبقية والتي تنص أن الصوت الذي يسبق في الوصول للأذن هو الذي يتم سمعه ومعرفة اتجاهه.
- تعتمد نظرية الأسبقية على:

- سيطرة الموضع localization dominance: إدراك الوقع يتم فقط للصوت الأسبق.
- الدمج fusion: الصوت الرئيسي وارتداداته يتم دمجها كصوت واحد (إن لم يكن الفرق الزمني بينهما كبير.
- كبت الصدى echo suppression: كبت الصدى الناتج عن ارتداد الأصوات

مناقشة وتمرين

سريرياً، ما تأثير ضعف السمع أحادي الجانب unilateral hearing loss أو الغير متوازي asymmetrical hearing loss؟
اكتب رسالة لمدرسة طفل لديه ضعف سمع أحادي الجانب تحتوي على نصائح لمساعدة الطفل سمعياً

بشرى قسومة
bushra.kassouma210@gmail.com

Thank You!

Psychoacoustics – Temporal Processing
علم الصوتيات السريري (الإدراكي)
المعالجة الزمنية

Bushra Kassouma
بشرى قسومة

طابع الصوت
والمعالجة الزمنية

طابع الصوت

- تعتبر المعالجة الزمنية من أهم عناصر المعالجة الصوتية.
- الأصوات تتغير عادة مع الزمن فالمعلومات المتعلقة بالصوت تحتاج زمن لمعالجتها.
- قدرة الجهاز السمعي على تمثيل التغييرات في شدة أو تواتر الصوت تسمى المعالجة الزمنية والمرادف الإدراكي لها يعتبر طابع الصوت.
- قدرتنا على فهم الكلام والاستمتاع بالموسيقى ترتكز على قدرتنا على المعالجة الزمنية للصوت.

Damascus University

المعالجة الزمنية

التحليل الزمني – كشف الفواصل	التحليل الزمني – كشف التعديل
الدمج الزمني	التشويش الزمني

Damascus University

المعالجة الزمنية

التحليل الزمني
نظرية كشف الفواصل الزمنية
Temporal Resolution
Temporal Gap Detection Theory

تجارب قياس المعالجة الزمنية: نظرية كشف الفواصل Gap Detection Theory

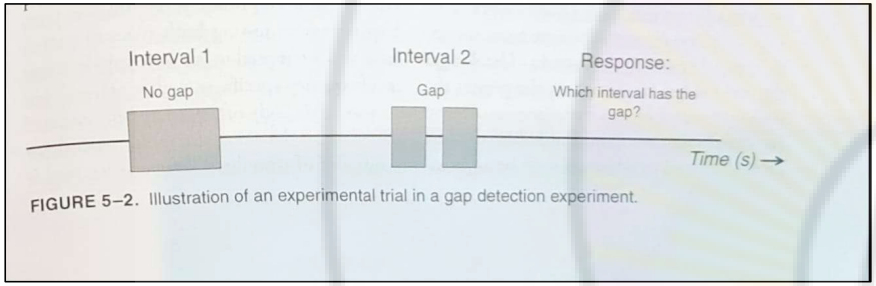


FIGURE 5–2. Illustration of an experimental trial in a gap detection experiment.

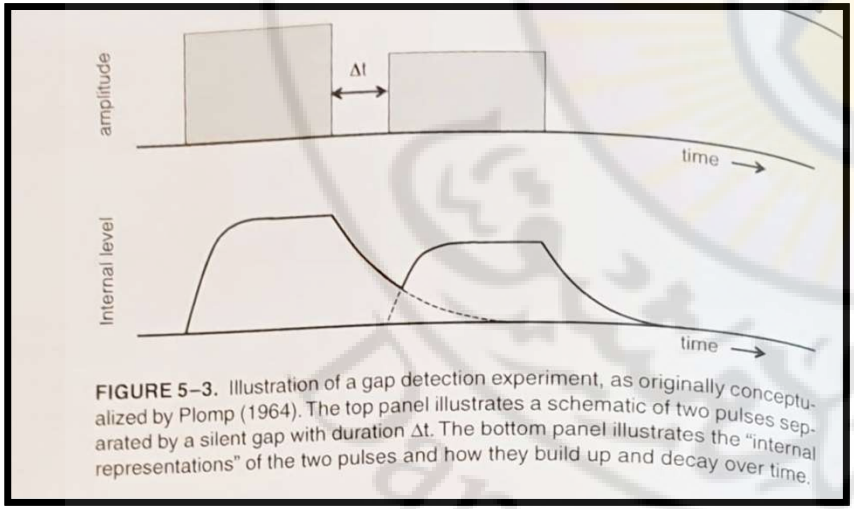


FIGURE 5–3. Illustration of a gap detection experiment, as originally conceptualized by Plomp (1964). The top panel illustrates a schematic of two pulses separated by a silent gap with duration Δt. The bottom panel illustrates the "internal representations" of the two pulses and how they build up and decay over time.

- اذا نبهنا الجهاز السمعي بصوت متقطع، فيمكننا إدراك أنه صوت متقطع وليس متواصل نتيجة إدراكنا للفواصل الصامتة بين التنبيهات مع الزمن، وإن لم نعد ندرك الفواصل فنشعر بأن الصوت مستمر وليس متقطع.
- قام العالم بلومب Plomp 1964 بقياس أقصر فاصل صامت يمكن للشخص إدراكه فكانت النتيجة أننا ندرك الفواصل حتى 2-3 ميللي ثانية.
- كانت تجربة بلومب باستخدام تشويش white noise، وتجارب لاحقة وجدت أن هذه الفواصل تختلف عند تقديم منبهات أخرى (نغمات صافية مثلا).

التأثير الطيفي على إدراك الفواصل

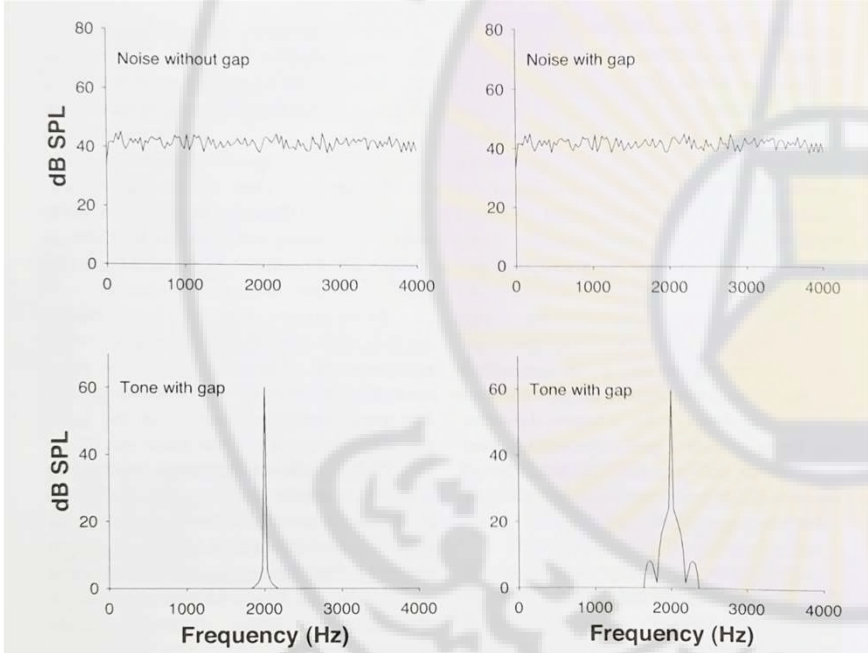


FIGURE 5–4. Illustration of spectra for sounds without 2-ms gaps inserted (*left panels*) and with gaps inserted (*right panels*). The spectra in the top panels are for noise without and with the temporal gap, and the spectra in the bottom panels are for a 2000-Hz tone without and with the temporal gap.

- عند تقديم صوت متقطع، يؤثر الصوت الأول على إدراكنا للصوت الثاني نتيجة تحفيز الجهاز السمعي.
- نلاحظ من الشكل أن التشويش لا يتأثر بالفواصل بينما تتأثر النغمات الصافية.
- التأثير يكون بزيادة طيف الصوت spectral splatter، إدراكياً نشعر بأن الصوت أقل حدة وأكثر تشويشاً من الصوت الأول.

Damascus University

تأثير الشدة على إدراك الفواصل

- كما نلاحظ من الشكل، فزيادة شدة الصوت تزيد من قدرتنا على إدراك الفواصل.
- يفيدنا هذا بأننا عند اختبار المعالجة الزمنية يجب تقديم الصوت بشدة تتجاوز عتبة السمع بكثير حتى تكون النتيجة دقيقة.
- يصبح ذلك صعب في حالات ضعف السمع الشديد أو العميق.

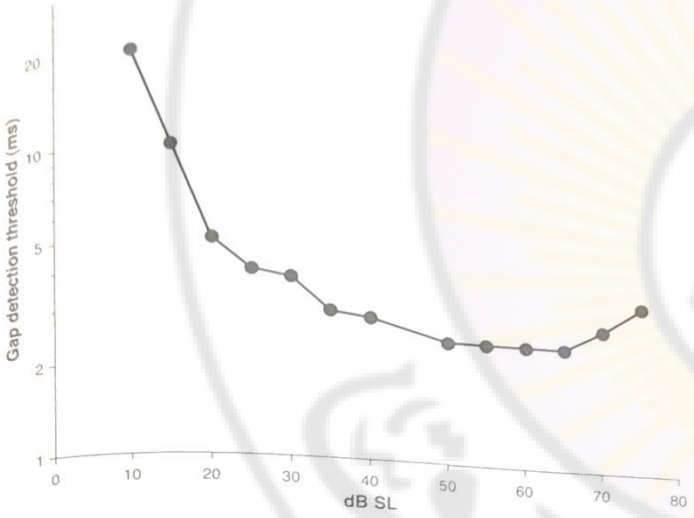
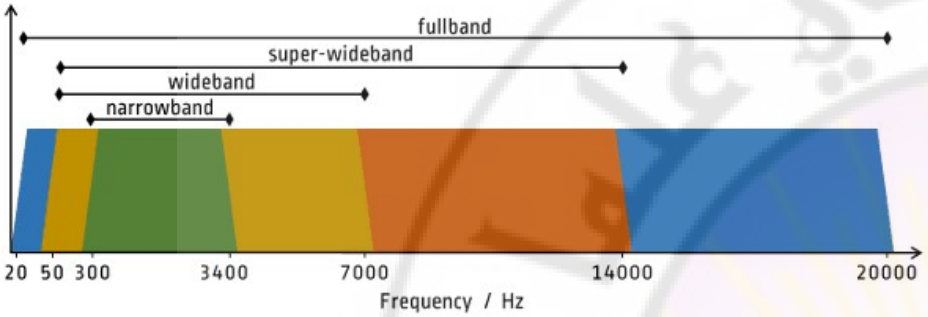


FIGURE 5–5. The effects of level on gap detection threshold. Gap detection thresholds (ms) are plotted as function of sensation level in dB. Adapted from Plomp (1964).

تأثير عرض الحزمة على إدراك



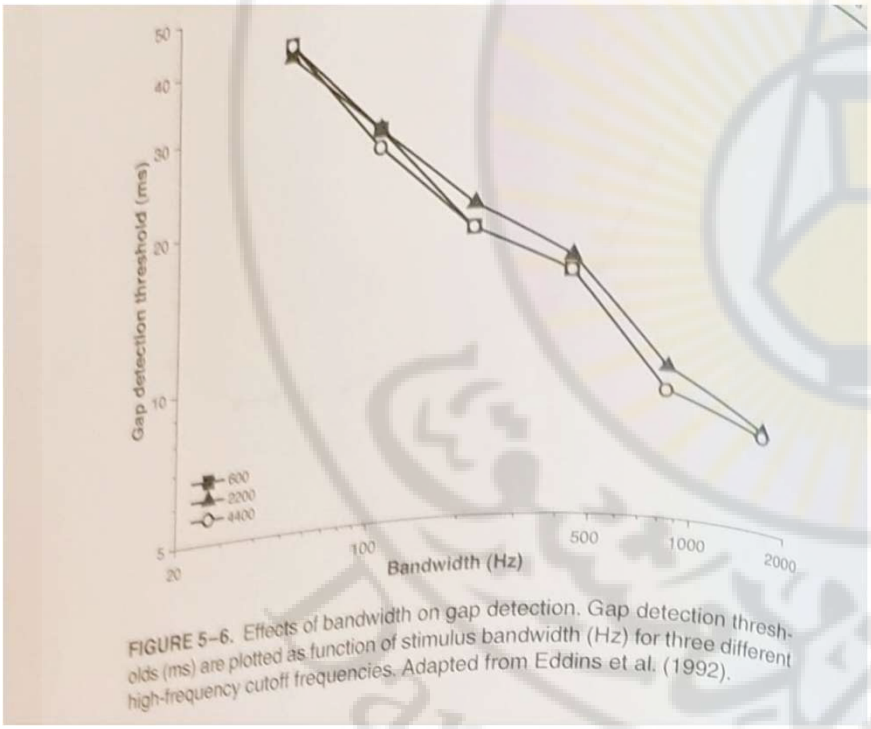


FIGURE 5–6. Effects of bandwidth on gap detection. Gap detection thresholds (ms) are plotted as function of stimulus bandwidth (Hz) for three different high-frequency cutoff frequencies. Adapted from Eddins et al. (1992).

- كما يبين الشكل، فإن زيادة عرض الحزمة يزيد من قدرتنا على إدراك الفواصل، لذا نستخدم منبهات ذات فواصل عريضة (منبهات شبيهة بالتشويش) عند اختبار المعالجة الزمنية.

المعالجة الزمنية

التحليل الزمني
نظرية كشف تعديل الشدة
Temporal Resolution
Amplitude Modulation Detection Theory

كشف تعديل الشدة

- يعرف كشف تعديل الشدة على أنه قدرة الجهاز السمعي على كشف تغييرات الشدة مع الزمن.
- لنفترض أن لدينا صوت ثابت وقمنا بتعديله، قدرتنا على كشف أن الصوت تم تعديله ولم يعد ثابت تسمى عتبة كشف تعديل الصوت amplitude modulation detection threshold.
- قام العالم فايمايستر Viemeister (1979) بطرح سؤال: ما مقدار التعديل الذي نحتاجه ليدرك الشخص أن الصوت لم يعد ثابت؟

تعديل الشدة

- الشكل يبين ثلاثة أصوت: الشكل الأيسر ثابت الشدة، الشكل المتوسط معدل بنسبة 20% (m=0.2) والشكل الأيمن معدل بنسبة 100% (m=1).
- لنفترض لدينا صوت شدته 60 ديسبل،
  - الصوت الأول تبقى الشدة 60 ديسبل مع زيادة المدة الزمنية.
  -الصوت الثاني تتناقص الشدة من 60 ديسبل حتى 48 ديسبل تقريبا كل 0.05 ثانية (الذي يسمى تواتر التعديل).
  -الصوت الثالث تتناقص الشدة من 60 ديسبل حتى 0 ديسبل تقريبا كل 0.05 ثانية.

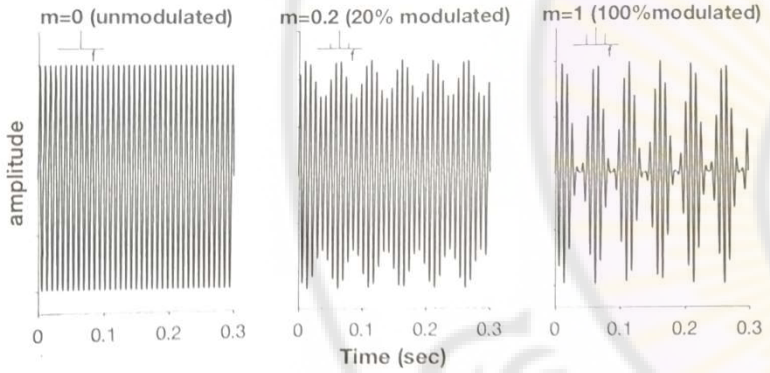


FIGURE 5–10. Waveforms of three different SAM tones at different modulation depths. Going from left to right, the stimuli progress from no modulation ($m = 0$), 20% modulation ($m = 0.2$) and fully modulated ($m = 1$). The small insets in the upper left hand corners represent the spectra of the SAM tones.

Damascus University

كشف تعديل الشدة

- قام فايمايستر بتقديم صوتين أحدهما ثابت والآخر معدل وطلب من المستع تحديد اذا كشف تعديل في الصوت.
- نتائج التجربة توضح بالشكل كتابع بين نسبة التعديل وتواتر التعديل (عدد المرات التي تم تعديل الصوت في الثانية).

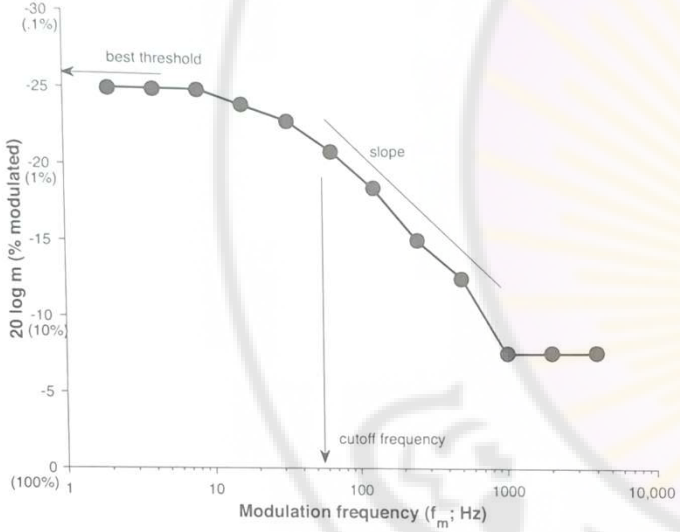


FIGURE 5–12. A temporal modulation transfer function (TMTF). Modulation detection thresholds in 20log(m), where *m* is the modulation depth, are plotted as a function of modulation frequency in Hz. The amount of modulation in percent is also shown. Better thresholds are shown at the top of the figure so that the function has the appearance of a low-pass filter. Different features of the TMTF are highlighted on the figure. Adapted from Viemeister (1979).

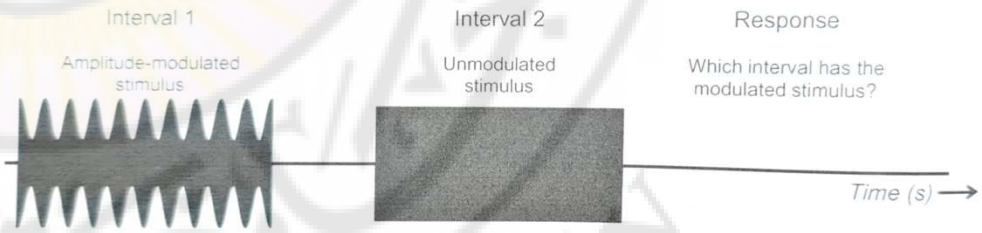


FIGURE 5–11. Illustration of an experimental trial for a modulation detection task. Here, the modulated stimulus has 50% amplitude modulation (a modulation depth of 0.5).

كشف تعديل الشدة

- نلاحظ أن عتبة نسبة التعديل دقيقة جداً (تصل إلى 0.5%) وهذا يعبر عن دقة الجهاز السمعي.
- نلاحظ أن تواتر تعديل الصوت له تأثير كبير، أي أننا بإمكاننا كشف تعديل الصوت اذا عدّل ببطء.

- وجدت الدراسات أن هذه الخاصية لا تتأثر بشدة أو تواتر المنبه (بشرط أن يكون الصوت مسموع) ولكنها تتأثر بعرض حزمة الصوت، فتزيد قدرة الجهاز السمعي على كشف تعديل الشدة كلما زاد عرض الحزمة.

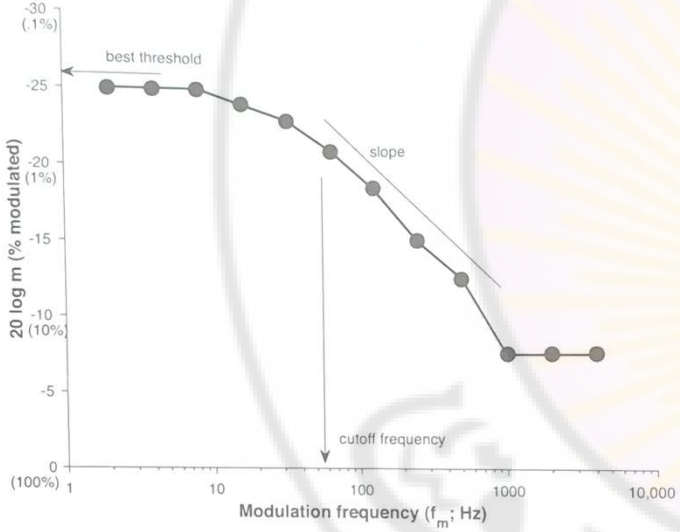


FIGURE 5–12. A temporal modulation transfer function (TMTF). Modulation detection thresholds in 20log(m), where *m* is the modulation depth, are plotted as a function of modulation frequency in Hz. The amount of modulation in percent is also shown. Better thresholds are shown at the top of the figure so that the function has the appearance of a low-pass filter. Different features of the TMTF are highlighted on the figure. Adapted from Viemeister (1979).

المعالجة الزمنية

التحليل الزمني – كشف الفواصل

التحليل الزمني – كشف التعديل

الدمج الزمني

التشويش الزمني

التشويش الزمني

Temporal Masking

التشويش الزمني Temporal Masking

- يعرّف التشويش الزمني بالتأثير الإدراكي لصوت تشويشي على المنبه.
- تدعى هذه الظاهرة أيضا تشويش أمامي Forward Masking.
- يحدث التشويش الزمني (الأمامي) عندما نقدم صوت تشويشي ذات شدة عالية ومركبات تواترية شبيهة بالمنبه.
- يتأثر التشويش الزمني بشدة التشويش والمنبه وبالفاصل الزمني بين التشويش والمنبه.

FIGURE 5–14. Schematic of the stimulus presentation sequence used in a 2I–2AFC task for forward masking.

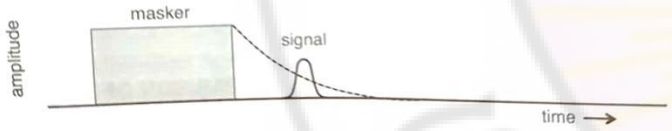
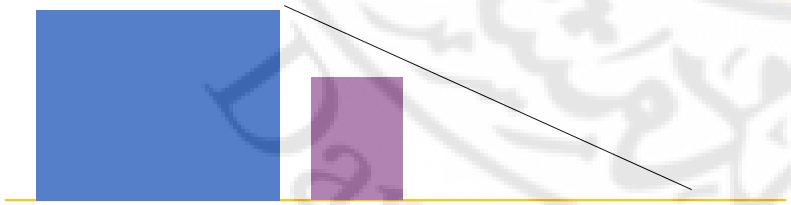


FIGURE 5–15. Schematic of forward masking. Temporal effects of masking are illustrated by a masker (*gray rectangle*) and a signal presented after a certain time delay. The dotted line shows the decay of the internal representation of the masker.



عتبة التشويش الأمامي

- وهو عتبة كشف المنبه كتابع لشدة التشويش والفاصل الزمني بين التشويش والمنبه.
- التحرير من التشويش masking release هو تناقص تأثير التشويش على المنبه مع الزمن.
- نلاحظ أن التحرير من التشويش لا يحدث في الشدات المنخفضة (30 ديسبل) حتى 40 ميلي ثانية.

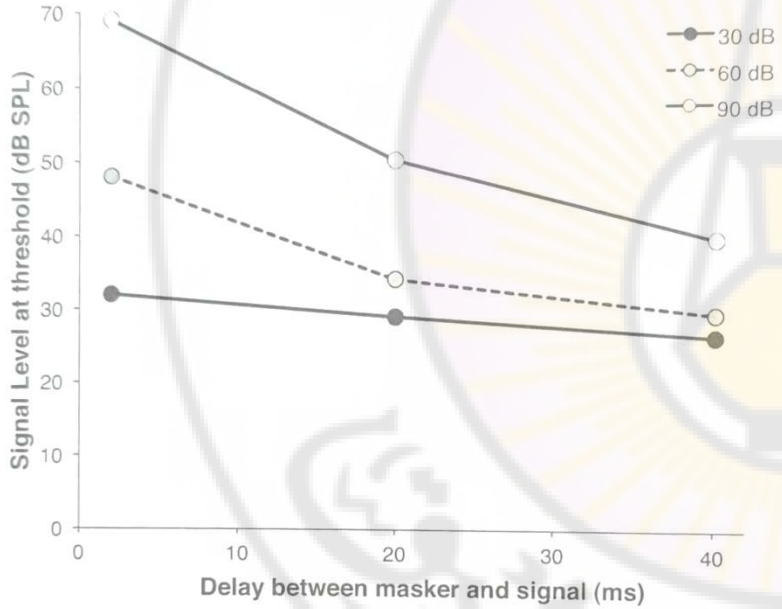
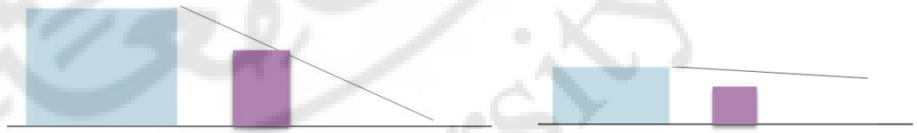


FIGURE 5–16. Forward masked thresholds in (dB SPL) are plotted as a function of the delay in ms between the masker (a 2-kHz tone) and signal (also a 2-kHz tone) for three different masker levels (30, 60, and 90 dB SPL). Adapted from Plack and Oxenham (1998).



عتبة التشويش الأمامي

- نستنتج أن الجهاز السمعي لديه آليات تحرير التشويش اذا كان التشويش مرتفع، الأمر الذي يساعد على إدراك الأصوات اللاحقة لأصوات ذات شدة عالية.
- سريرياً يفيد ذلك بقدرتنا على إدراك الكلام السريع دون تأثير حرف على آخر (مثال كلمة أسود).

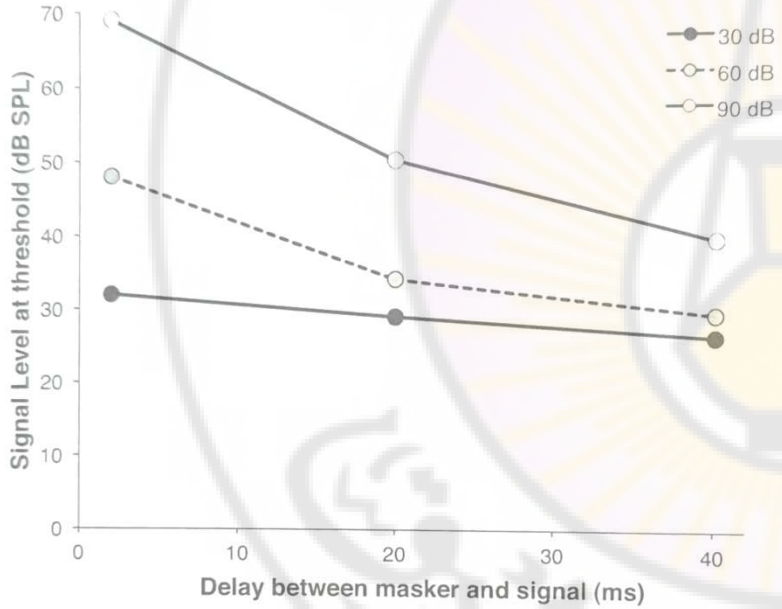
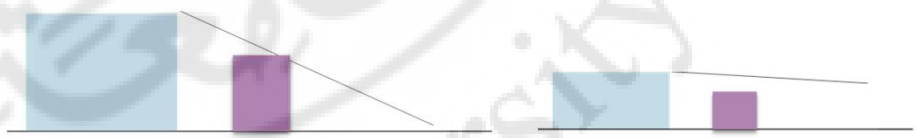


FIGURE 5–16. Forward masked thresholds in (dB SPL) are plotted as a function of the delay in ms between the masker (a 2-kHz tone) and signal (also a 2-kHz tone) for three different masker levels (30, 60, and 90 dB SPL). Adapted from Plack and Oxenham (1998).



المعالجة الزمنية

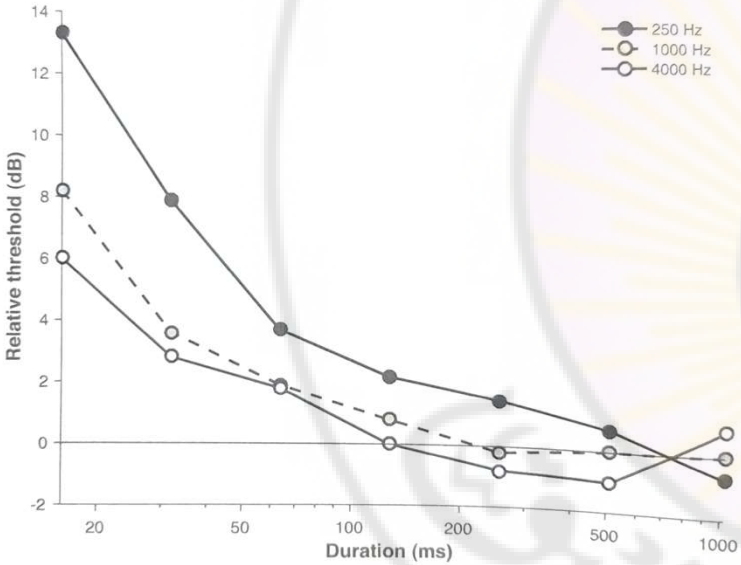
الدمج الزمني

Temporal Integration

الدمج الزمني Temporal Integration

- عند إجراء اختبار السمع، وجد أن عتبة السمع تتأثر بزيادة مدة تقديم الصوت.
- يعزى ذلك لخاصية الدمج الزمني temporal integration أو التجمع الزمني temporal summation والذي يعرف بقدرة الجهاز السمعي على تجميع المعلومات السمعية مع الزمني لتحسين عتبة السمع.

الدمج الزمني والزمن الحرج



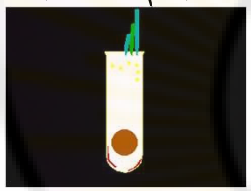
- يعرف الزمن الحرج على أنه الزمن الذي نحتاجه لنصل إلى عتبة السمع الحقيقية (العتبة الأفضل).
- يبين الشكل أن الزمن الحرج عند سمع النغمات الصافية بحدود 200-300 ميلي ثانية.
- الأصوات التي تكون مدتها أقل من ذلك يمكننا سماعها ولكن بعتية سمع مرتفعة.
- نلاحظ أن هذه الخاصية تؤثر بشكل كبير على التواترات المنخفضة أكثر من التواترات الحادة.

تفسير الدمج الزمني

- هناك العديد من النظريات التي تحاول تفسير ظاهرة الدمج الزمني منها:

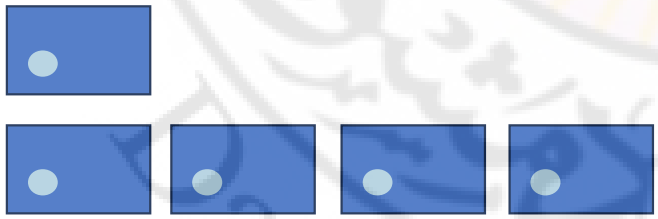
- نظرية تجميع الطاقة Energy Summation Hypothesis:

والتي تفترض أن الطاقة الحركية الناتجة عن صوتٍ ما يتم تجميعها مع الزمن حتى يتمكن الجهاز السمعي من إدراكها.



- نظرية اللقطات المتعددة The Multiple Looks Hypothesis:

التي تفترض أن الجهاز السمعي يقوم بأخذ سلسلة من اللقطات 'snapshots' السريعة لتزيد من فرصة التقاط الأصوات منخفضة الشدة.



التأثير السريري للدمج الزمني

- من الإرشادات التي تنص عليها منظمة ASHA المتعلقة باختبار السمع: *عند قياس عتبة السمع يجب تقديم المنبه لمدة 1-2 ثانية.*
- هذا الزمن يتجاوز الزمن الحرج ولكنه يعطي مجال لوجود اختلافات بقدرة الدمج الزمني بين الأشخاص (وبالأخص الأشخاص اللذين يعانون من ضعف سمع حسي عصبي.

تأثير نقص السمع على المعالجة الزمنية

أجريت الكثير من الأبحاث لدراسة تأثير نقص السمع على المعالجة الزمنية، ووجدت اختلاف كبير بين الأفراد المصابين بنقص السمع ودرجة تأثر المعالجة الزمنية

- لا تتأثر المعالجة الزمنية عند الأشخاص المصابين بضعف سمع توصيلي (بشرط أن يكون الصوت مسموع).
- تتأثر المعالجة الزمنية عند الأشخاص المصابين بضعف سمع حسي عصبي بدرجات متفاوتة. قد يكون ذلك لأن بعضهم مصاب حسياً وبعضهم مصاب عصبياً. عموماً وجد أن التحليل الزمني (إدراك الفواصل وإدراك تعديل الشدة) لم يتأثر بشكل ملحوظ ولكن التحرر من التشويش الأمامي والدمج الزمني كان أقل لدى هؤلاء الفئة.
- الأشخاص المصابون باضطراب في المعالجة سمعية مركزية central auditory processing disorders تتأثر لديهم جميع نواحي المعالجة الزمنية ويجب اختبار كل منها على حدا.

تأثير نقص السمع على المعالجة الزمنية - سريرياً

أمثلة عن نصائح السريرية متعلقة بالمعالجة الزمنية تبعاً لنقص السمع التي يمكننا تقديمها هي:

- اذا كان الشخص مصاب بضعف سمع حسي عصبي يجب تفادي التكلم معه بسرعة عالية وتفادي التكلم بوجود تشويش عالي (نخفف من التشويش أو نزيد شدة صوت المتكلم)
- الأشخاص المصابون باضطراب في المعالجة سمعية مركزية central auditory processing disorders يحتاجون إلى زيادة شدة الصوت وتخفيف سرعة الصوت (كالكلام والموسيقى) بدرجات متفاوتة.

بشرى قسومة
bushra.kassouma210@gmail.com

Thank You!