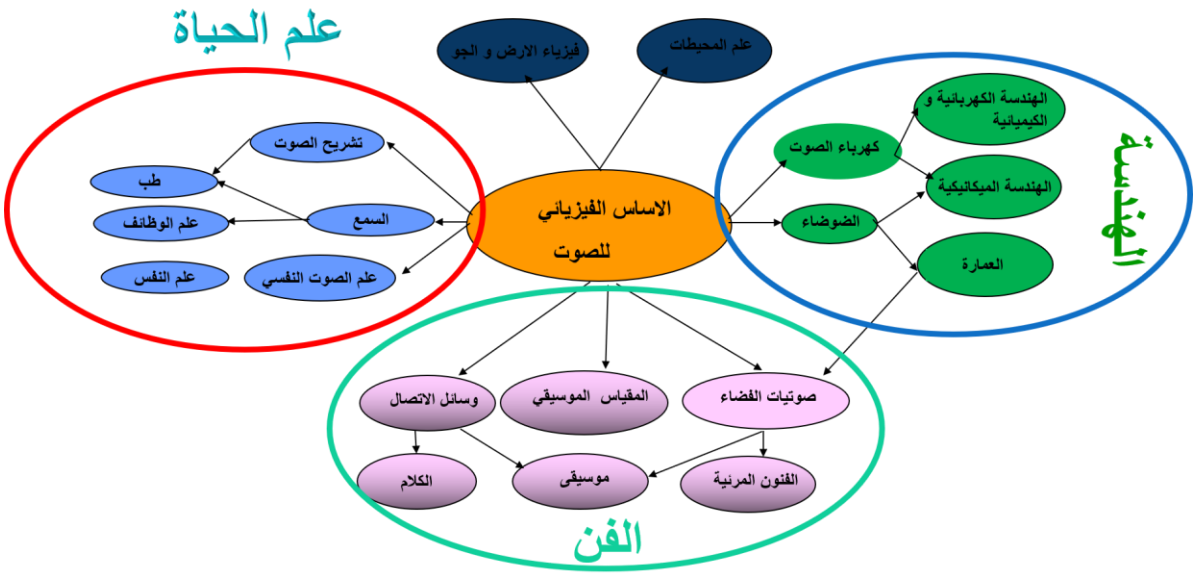
صوتيات العمارة
محاضرة 1

اعـــــداد

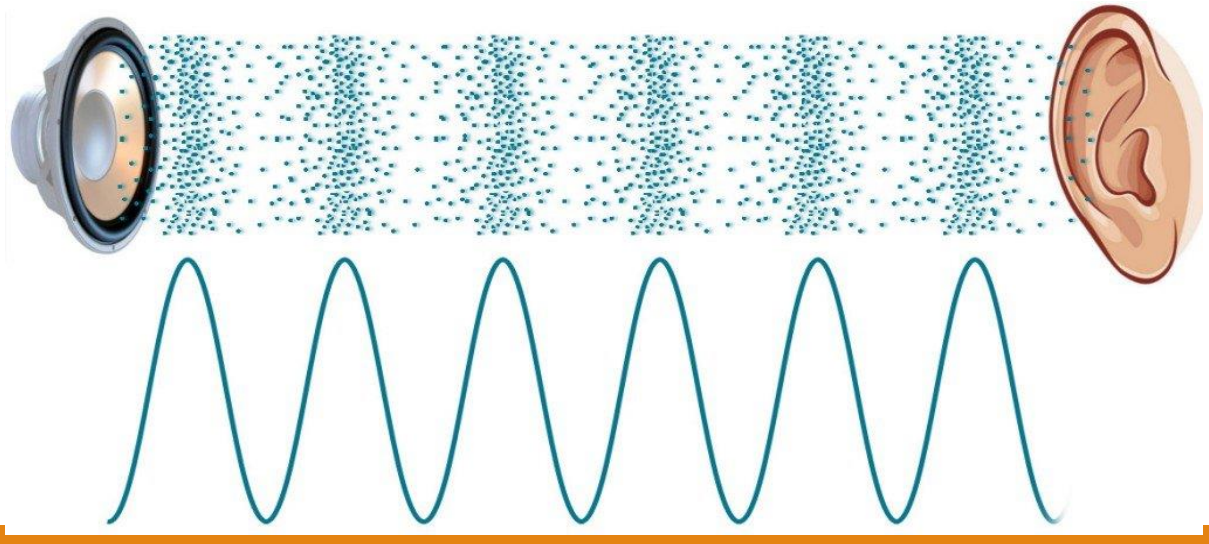
م.م فرح احمد ذياب

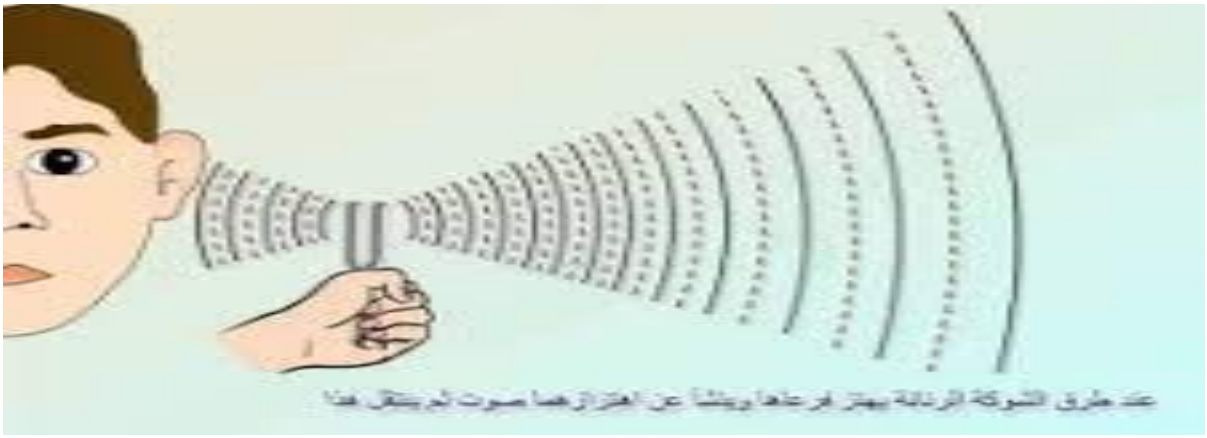
علاقة فيزياء الصوت بالعلم و الفنون



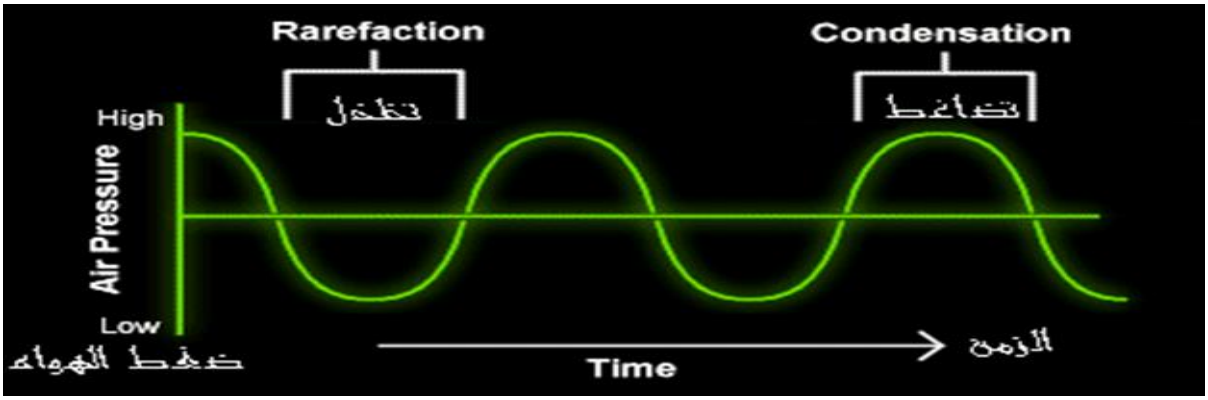
يهتم الدرس بموضوع تصميم صوتيات الفضاء للوصول الى أداء صوتي جيد له، و يركز على التصميم الصوتي للفضاء المغلق اكثر منه على الفضاء المفتوح.

الصوت: هو الظاهرة الفيزيائية الطبيعية التي تقوم بنقل الطاقة الصادرة من المصدر المصوت خلال **وسط مادي** كالهواء او الجدار الى المستقِبِل الذي يتحسس بها بواسطة الأذن او بواسطة وسائل تقنية أخرى والذي يكون على شكل **موجة طولية** أي سلسلة من التضاغطات و التخلخلات لجزيئات الوسط الناقل حيث تكون سرعة انتقاله في الهواء وفي ظروف جوية اعتيادية بمقدار ٣٤٠م في الثانية.

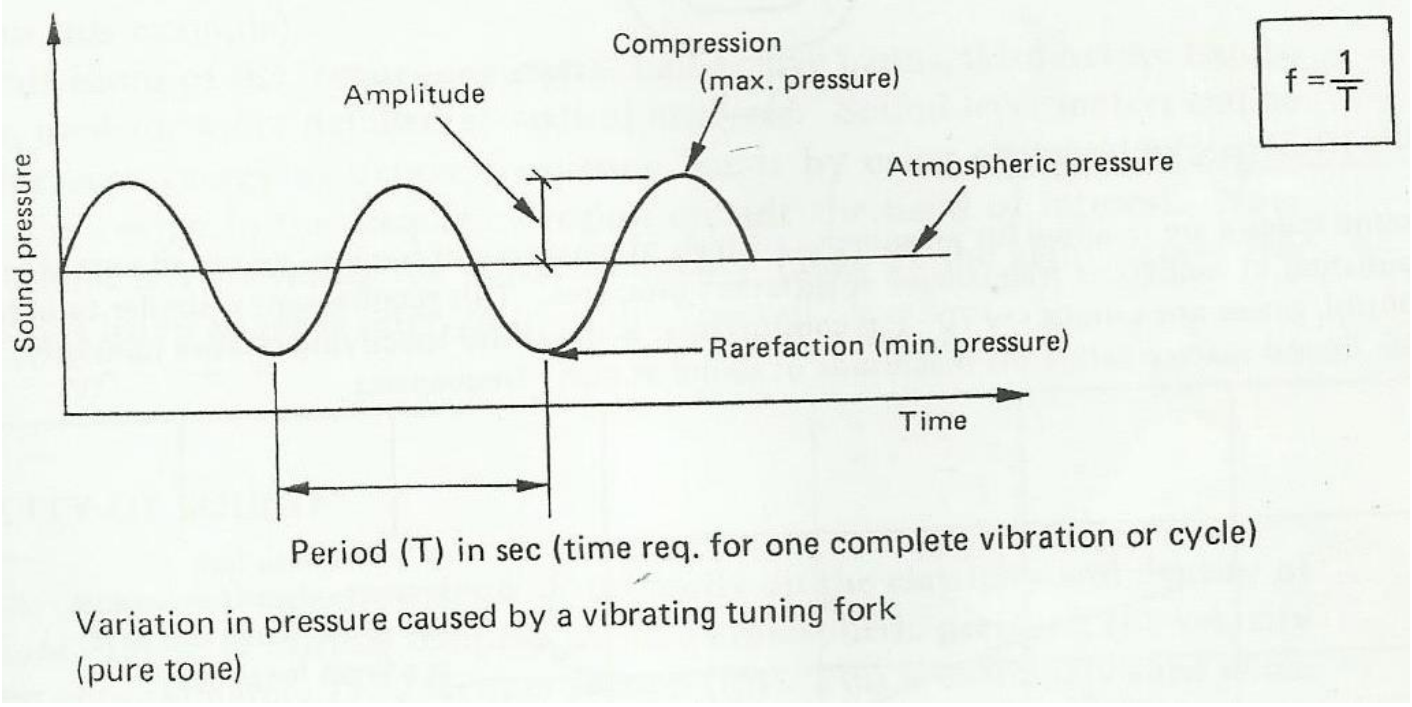




كما يعرف الصوت : بانه اضطراب في وسط مرن ، ينتج احساسا" بالصوت المسموع من الاذن البشرية وهو أحد صور الطاقة وينتقل الصوت من مكان لآخر بواسطة أمواج ميكانيكية وأمواج تضاغط تحدث ذبذبات في الهواء أو المواد البنائية وتقاس بالميكروبار ويمكن التمييز بين صوت حديث شخصين وصوت موسيقى مثلا بواسطة الأذن الآدمية أو الأجهزة الصوتية.



طول الموجة: المسافة التي تقطعها الموجة الواحدة = المسافة بين نقطتين متتاليتين متشابهتين في الطور اي المسافة الاتي تقطعها الموجة الواحدة خلال الذبذبة الواحدة، او المسافة بين قمتين او قعرين(تضاغط او تخلخل).



Variation in pressure caused by a vibrating tuning fork (pure tone)

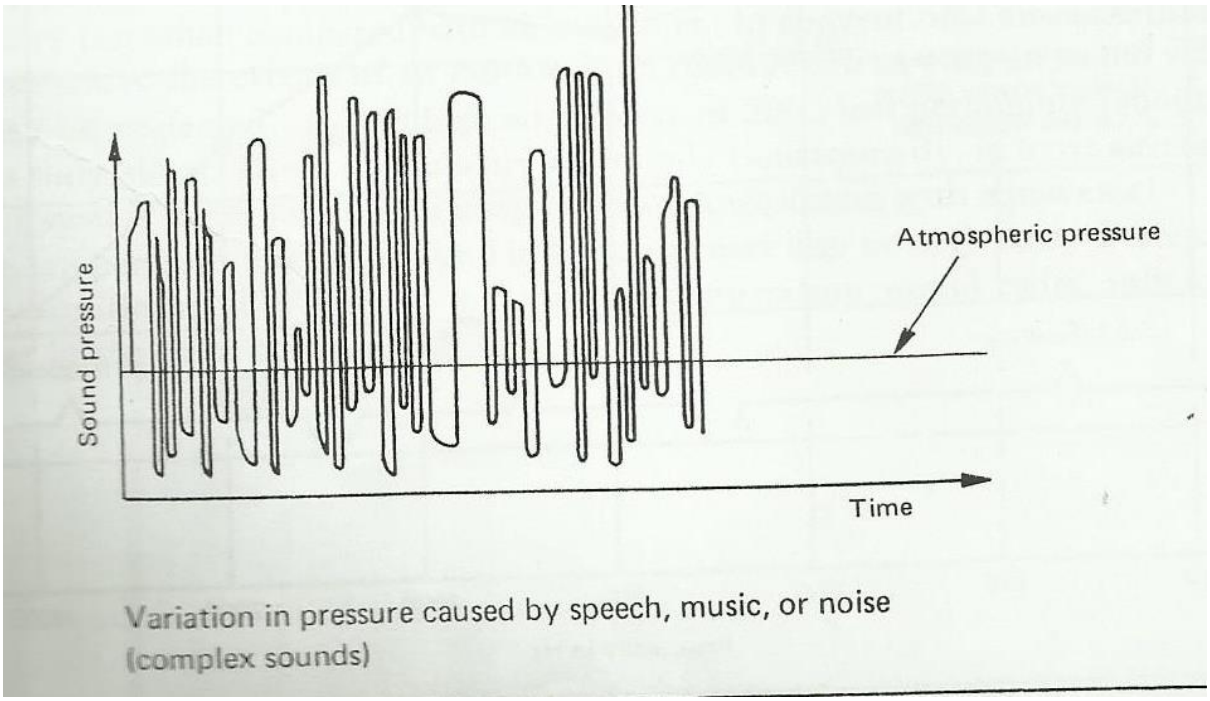
اسباب توّلد الصوت:

تذبذب جسيم.

الانفجار.

العملية الحرارية.

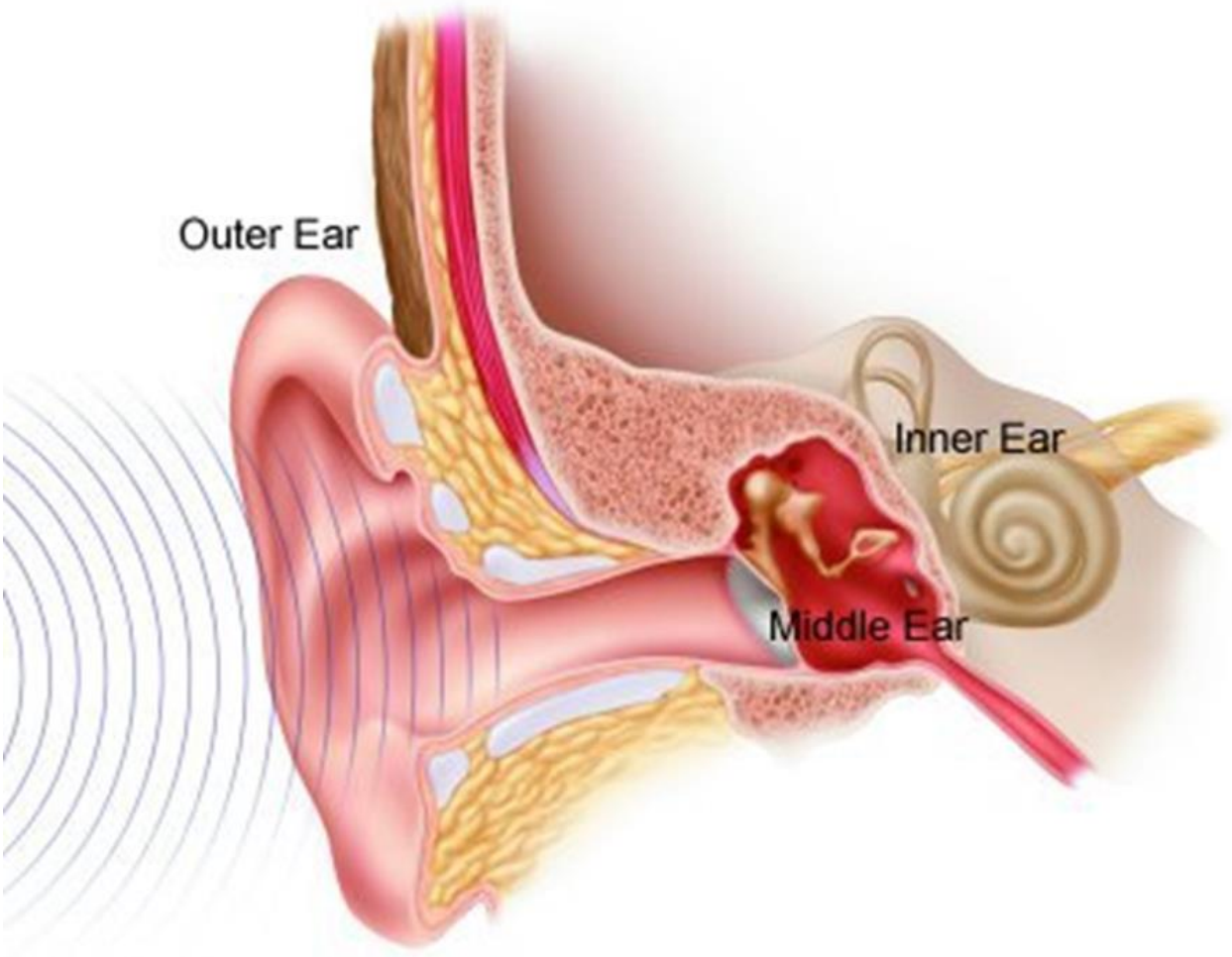
قيثارة الهواء.



شكل الموجات الصوتية الناتجة من كلام الانسان

ميكانيكية السمع

- تتكون الأذن تشريحيا من ثلاثة أقسام (الأذن الخارجية) ومهمتها تجميع الأصوات وتضخيمها بواسطة غشاء الطبل وإرسالها إلى (الأذن الوسطى) التي هي بمثابة لاقط ومكبر للصوت، ثم ترسلها عبر عصب السمع إلى مركز السمع في الدماغ.
- أما (الأذن الداخلية) فإن مهمتها الأساسية هي حفظ توازن الجسم بالتعاون مع المخيخ، ومع أن أذناً واحدة تكفي للسمع إلاّ أن الخالق عزّ وجل قد جعل لنا أذنين لكي نتمكن من تحديد بُعد مصدر الصوت عنا


Outer Ear
Inner Ear
Middle Ear

الأذن البشرية Human Ear

تتكون الأذن البشرية من ثلاثة أجزاء:

أ- الأذن الخارجية،

ب- الأذن الوسطى،

ج- الأذن الداخلية.

تقترب الموجات الصوتية من الأذن البشرية و تدخل أما مباشرة أو منعكسة من قبل صيوان الأذن إلى القناة السمعية تقوم قناة الاذن الخارجية بتضخيم الترددات الصوتية وايصالها الى غشاء طبلة الاذن التي بدورها تهتز بطريقة متكافئة مع الترددات الصوتية الواصلة اليها . هذا الاهتزاز من طبلة الاذن يقوم بتحريك عظيمات الاذن الوسطى (المطرقة والسندان والركاب). اذ يتصل عظم الركاب بالجزء المسؤول عن السمع في الاذن الداخلية المعروف ب(القوقعة). وحركة الركاب واهتزازه يسبب تحرك سائل خاص موجود داخل القوقعة متصل بخلايا الاذن الداخلية المسؤولة عن استلام الترددات الميكانيكية وتحويلها الى إشارات كهربائية تنتقل عن طريق العصب السمعي الى مركز السمع الخاص في الدماغ ليتم تفسيرها وفهمها. هذه السلسلة العظمية تنتج تكبير للضغط بقيمة (20:1)، تتصل هذه الاهتزازات للعظيمات بالقوقعة الحلزونية للأذن بواسطة سائل خاص يدعى (Basilar) الذي يقوم بتحفيز او إثارة مجموعة من شعيرة صغيرة جداً من الخلايا على سطحها ومن خلال حركة هذه الخلايا المتناهية الدقيقة فى الحجم يقوم الدماغ بتفسير الصوت.

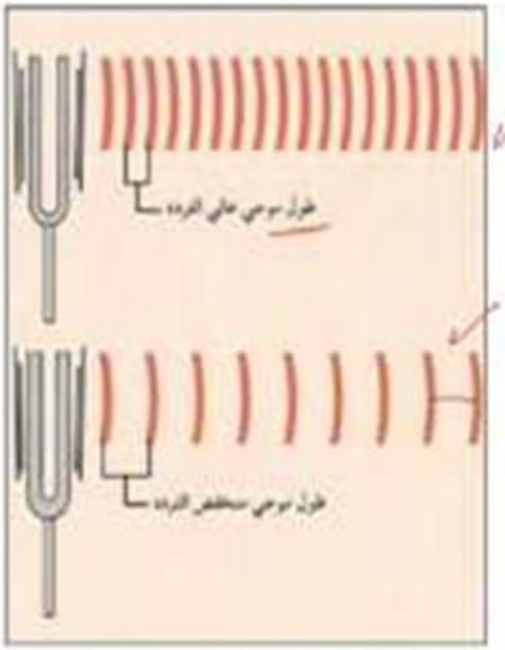
المفاهيم الفيزياوية للصوت :

الاهتزاز: هو إضطراب في وسط ناقل ، يمكن ان ينتج حركة قابلة للإكتشاف.

الطول الموجي: هو المسافة التي يقطعها الصوت اثناء موجة كاملة الاهتزاز ، وبالاعتماد على سرعة الصوت في الوسط الناقل مقسوما على التردد ، ويمكن الحصول عليه من المعادلة التالية:

الطول الموجي = السرعة/ التردد

او يمثل المسافة الفيزياوية بين نقطتين متماثلتين في الطور من الموجة الصوتية ، وتحسب من حاصل قسمة السرعة على تردد الموجة الصوتية



تردد موجات الصوت هو عدد التضاغطات والتخلخلات التي ينتجها جسم مهتز في كل ثانية.

كلما زادت السرعة التي يهتز بها الجسم ارتفع تردده.

ومع ازدياد التردد يتناقص الطول الموجي.

يحدد تردد الصوت حدة الصوت . الأصوات ذات الحدة الكبيره لها تردد أكبر من الأصوات ذات الحدة المنخفضه.

RealShow

شدة الصوت Intensity :

هو مسار الطاقة الصوتية في وحدة زمنية خلال وحدة مساحية ويقاس بوحدة واط / سم ٢ فتردد الصوت يحدد نوعية الصوت أما شدة الصوت فتحدد كمية الصوت وعموما فإن مدى السمع عند الانسان يتراوح بين ٢٠٠٠٠ – ٢٠ هيرتز.

امتصاص الصوت :

عندما تقع موجة الصوت على سطح ما فإن كل طاقة الصوت تتوزع إلى ثلاثة اتجاهات رئيسية . جزء منها يدخل في السطح والجزء الثاني يمتص بالاحتكاك مع السطح والجزء الأخير

ينعكس من السطح ويعتمد وجود صدى صوت على كمية فقد موجة الطاقة الصوتية نتيجة احتكاك الصوت بالسطح .

سرعة الصوت :

ينتقل الصوت خلال الهواء العادي في درجة حرارة ٢٠ م بسرعة ٣٤٠ مترا في الثانية على شكل موجات صوتية.

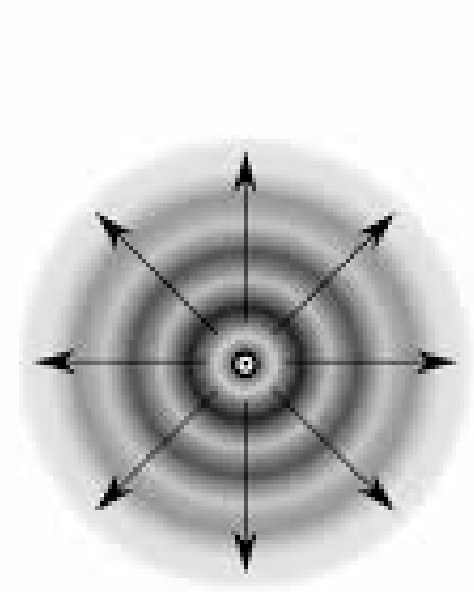
تردد الصوت Frequency :

هو عدد الموجات الصوتية في الثانية الواحدة ويقاس بوحدة هيرتز، وهو المسافة بين اعلى قمة الى اعلى قمة او نقطة للموجة الصوتية الواحدة والذي يمر عند نقطة محددة في الفراغ او الفضاء في الثانية الواحدة.

أنواع المصادر الصوتية:

المصدر النقطي Point Source:

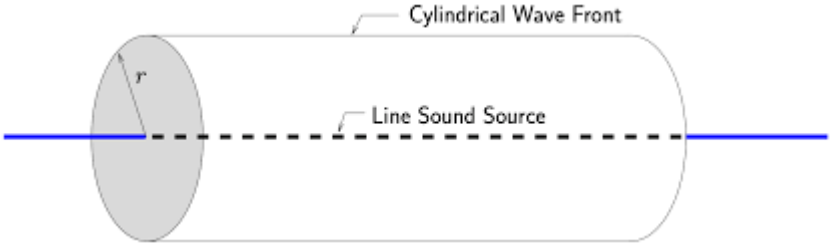
ينتشر الصوت كروياً لدى ابتعاده من المصدر النقطي بشكل تام وعليه تكون الطاقة الصوتية في أي اتجاه تكون متناسبة عكسياً مع الزيادة في المساحة الكروية للانتشار (حسب قانون التربيع العكسي).



Point source

المصدر الخطي Line Source:

وهي على محور واحد وبخط طويل بالنسبة إلى المتلقي أو المسافة التي تصل إلى المتلقي يدعى مصدر خطي .



مجال الصوت

مجال مغلق close field :

أ – موسيقي.

ب – كلامي:

محاضرات.

مسرح.

ابنية دينية.

مجال مفتوح open field:

حدائق.

مسارح مفتوحة.

ملاعب رياضية.

العناصر الاساسية لصوتيات العمارة

1 – العزل الصوتي:

انشاءات الموقع.

موقع الفعاليات.

تركيب الجدران و الارضيات و السقوف والحواجز.

مستوى الصوت الخلفي(الطبيعي و الاصطناعي).

التنسيق مع صوتيات الفضاء.

2 – صوتيات الفضاء:

- الحجم.
- اشكال السطوح الداخلية و مواضعها.
- مقاعد المستمعين و التأثيث.

.

3 – السيطرة على ضوضاء النظام الميكانيكي:

- **عزل الاهتزاز.**
- **معالجة القنوات.**
- **اختيار الاجهزة.**
- **تولد الضوضاء الخلفية**

4 – نظام التقوية الصوتية:

- التوافق مع صوتيات الفضاء.
- اختيار مكبر الصوت و موقعه.
- سيطرة النظام و المكونات.

صوتيات العمارة
محاضرة 2
نبذة تاريخية عن المسارح

اعـــــداد

م.م فرح احمد ذياب

1-2-2 المسرح الإغريقى القديم Theatre of Ancient Greece

يرجع تاريخ المســـرح الاغريقى القديم الى أكثرمن 2000 عام مضـــت ، حين ظهر المفهوم الكلاسيكى للمسارح ، والذى جاء في بساطة تعكس محاولة مباشرة للوصول الى أقوى علاقة بصرية وسمعية ممكنة بين المتفرج والممثل تسح المسارح الاغريقية ما بين 15000 - 20000 متفرج. ومن شأن تصميم المسرح الاغريقى ان يحقق عدة مميزات هامة فهو يسمح بوضـع أكبر عدد ممكن من المتفرجين في نفس الصـف فيجعل المشـاهدين قريبين قدر الامكان من منطقة التمثيل Stsge ،فيحصـلون بذلك على أكبر توزيع صـوتى ممكن ، كما أن الميول الحاد من المدرجات تقلل من فقدان الطاقة الصوتي كنتيجة لأحتكاكها برؤوس المستمعين ، ولا يحتوى المسـرح الاغريقى الا على قليل جدا من الانعكاسـات الصـوتية والتى تنتج أسـاسـا من

التبليط الحجرى في المنطقة المركزية للمسرح وأيضـا من المبانى التى تنتج مباشـرة خلف هذه الساحة ،

إن تحليل ودراسـة المسـرح الاغريقى من النواحى الصـوتية لا يزال أحد النقاط المثيرة للجدل ، اذ لايمكن في جميع الاحوال تحديد الممارســـة المســـرحية لدى الاغريق الا من خلال الحدس، كما انه يمكن القول أن مستويات الضـوضـاء الخلفية Background Noise المحيطة بالمسرح كانت مثالية حيث لا توجد ضوضاء هائلة كالتى تنتج عن الآلآت والمحركات وغيرها من مخلفات الحضارة الحديثة. اما بالنظر للعوامل المناخية تصبح الرياح هى العامل الوحيد ذو اهمية في دراسة الصوتيات لهذة المسارح ، فالدلائل تؤكد على ان المسرح الاغريقى يقع عادة على الجوانب الحادة للتلال في مواقع ريفية هادئة ، قليلة الرياح، والتى قد ينتج عن هبوبها خلال الاشـجار والمبانى والمسـتمعين ضـوضـاء غير مرغوب فيها ، توضـح نموذج لمسرح دودون الإغريقي القديم.

2-2-2 المسرح الرومانى Roman Theater

لم يتطور المســـرح الروماني إلا في القرن الثالث قبل الميلاد حيث تميز المســـرح الرومانى بزيادة الوعى بتأثير الصوتيات على المسارح عما كان عليه المسرح الإغريقي ، وقد كتب فيتروفيس - مهندس معمارى رومانى عاش في القرن الاول قبل الميلاد - في الجزء الخامس عن كتبه في العمارة ، ان الاساس لتاثيرات سلوك الصوت هى موقع المسرح والذى يجب اختيارة وفق اســـس معينة ، وهذا ما يعكس في فترة مبكرة جدا محاولة جادة لفهم طبيعة الصوتيات واثرها على المسارح.

فقد طور المســرح الرومانى منحدرا اشــد ميلا للمقاعد كما اســتخدم مبانى اكبر خلف منطقة التمثيل مما يعطى المزيد من الاسطح العاكسة، بالاضافة الى انعكاس الصوت ايضا عن الحوائط الجانبية ، ولأن جميع هذه الانعكاسات ذات تاخر زمنى بسيط ، فانها تعمل اساسا على زيادة قوة الصوت المباشر ، ويعتقد أن هذه الحوائط بداية ظهور فكرة صوتيات الغرف ، إنظر الصورة (2-2) نموذج لمسرح رومانى قديم يوضح الشكل الذى تتميز به المسارح في تلك الحقبة ، وبذلك كانت النواه الاولى في تصميم فراغات ذات سقف وحوائط. واقترح فيتروفيس وضع بعض المزهريات Vases البرونزية على المسرح بحيث يعمل رنين التجاويف الهوائية بها على احداث بعض التكبير لاصوات الممثلين.

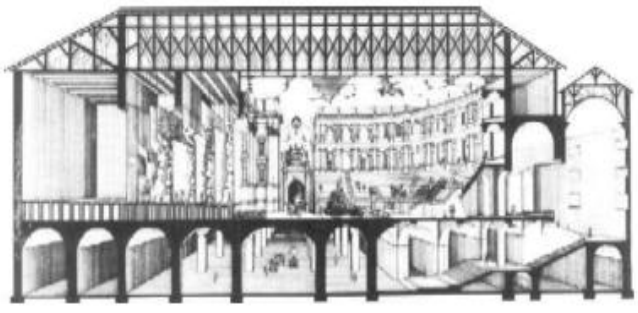
3-2-2 المسرح في العصور الوسطى Theater in Middle Ages

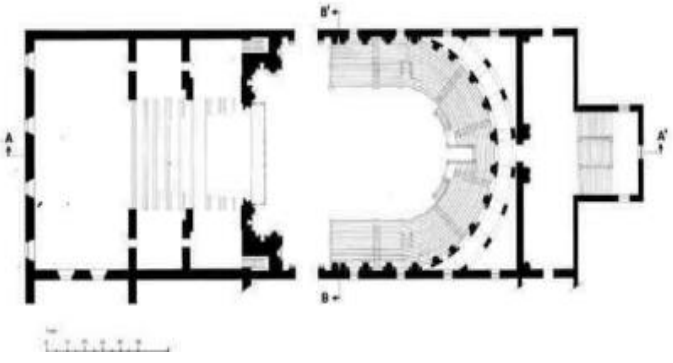
اما في العصور الوسطى فقد كان لارتباط الموسيقى بالكنائس القوطية دور مؤثر في تطور الصوتيات وعلاقتها بالعمارة وهذا ما جعلهم يلاحظون تلك التأثيرات الصوتية لكل فراغ بحسب وظيفته.

4-2-2 المسرح في عصر النهضة Theater in Renaissance

وفي عصر النهضة صمم المعماريون مبانيهم في تلك الفترة وفقا لنوع الموسيقى لتحقيق ملائمة الشكل والوظيفة ، وعلى إثر ذلك تم تعديل العديد من الكنائس الموجودة في تلك الفترة بتعديل زمن التردد ما يمكن من سماع الالآت الوترية بشكل أفضل .

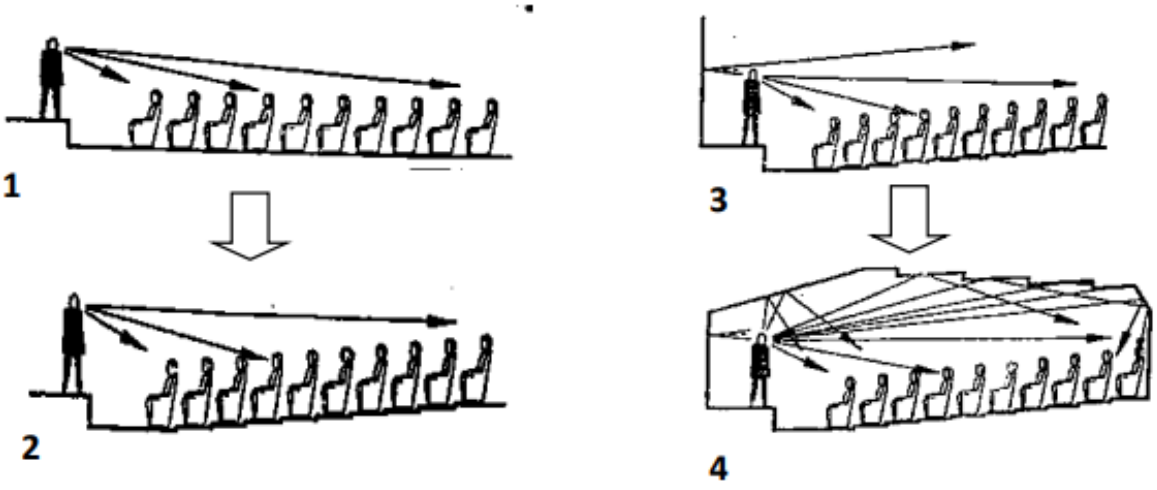
وتطور استخدامات المسارح بعد ذلك لتشمل الفن الاوبرالى الذى اثر وبشكل كبير على القاعات المغلقة وظهور مايعرف بالتياترو فارنس Teatro Farnes إنظر الشكل رقم (2-1) ، وهو عبارة عن شكل مستطيل به منطقة المقاعد والتى تتالف من قطاع نصف دائرى في الخلف بالاضافة الى جزئين مستقيمين على طول جانبه تاركا فراغا كبيرا في الوسط يرتبط بخشبة المسرح ، والتى طورت فيما بعد لتكون منطقة البروسيم Proscenium وهى عبارة عن جزء من المسرح مفصول صوتيا عن القاعة بفراغ اعلاه يسمى بالبروسنيم .





كتبت بعدها بحوث عدة عن علم الصـوتيات توصـف تكون البؤرة الصـوتية والصـدى خلال الانعكاس الصوتى عن الاسقف والحوائط ، تطور من خلالها القاعات تدريجيا مع ظهور الفن الاوبرالى لتظهر الاوركسترا كاملة الحجم في مساحة منفصلة في مقدمة المسرح خفضت فيما بعد لتصبح حفرة الاوركسترا Orchestra Pit وهى حفرة ضيقة ذات ارضيات وحوائط عاكســة للصــوت ومفتوحة من ناحية القاعة والتى تؤلف البيئة الصــوتية المحيطة بالعازفين .

ومايجدر بالذكر أن الجهود في هذه الفترة كانت مســتمرة من أجل وضــع قواعد تحكم عملية التصـميم الصـوتى لقاعات الاسـتماع ، ففى أواخر هذا القرن 1790 كتب جورج سـاندر George Sanders بحثا عن المسـارح اقترح خلاله أن تكون القاعات مسـتديرة وأن لا يزيد بعد أى مستمع بها عن الممثل عن 70 قدما (حوالى 21.33 م).



5-2-2 المسرح في القرن التاسع عشر Theater in The 19th Century

شـهد القرن التاسـع عشـر جهودات ضـخمة للوصـول الى صـوتيات أفضـل بقاعات الاسـتماع، وقد سـاهم الكثير من المعمارين بجهود طيبة دون أن يدركوا الحقائق العلمية وراء ذلك، فهم – على سبيل المثال – كانوا يعرفون ان المسارح ودورالاوبرا يجب أن تبطن بألواح من الخشب الرقيق ، حتى تمتص الأصوات ذات الترددات المنخفضة الى المتوسطة بحيث لا

6-2-2 المسرح في القرن العشرين Theater in The 19th Century

ما حدث في القرن العشرين لعلم الصوتيات كان طفرة بكل المقاييس ، فقد توصل عالم الفيزياء الامريكى سـابين الى أول كمية صـوتية يمكن حسـابها بطريقة علمية في مرحلة التصميم.

وقد تميز القرن العشرين ايضا بمحاولات العديد من علماء الصوتيات لتبسيط هذا العلم وقاموا بتطوير العديد من برامج الحاسـب الالى التى تعامل مع الصـوتيات والتى شـهد بعدها العقدان الاخيران تطورا ملحوظا في تصـميم قاعات الاسـتماع ناتج عن زيادة الوعى والخبرة بتاثير الشكل على الوظائف الصوتية والاهتمام باختيار المواد المناسبة .

وتتسـم لتصـميمات الحديثة لقاعات الاسـتماع بزيادة الميل نحو المزج بين تصـميم المسارح وقاعات عزف الموسيقى والذى لا يتحقق الا من خلال فهم مقتضيات الاداء المسرحى وفهم الخصائص الصوتية لكل منهم ثم التوفيق بينهما باستخدام الوسائل الصوتية القابلة للضبط بهدف الوصول الى آفاق جديدة تكون فيها القاعة صالحة لأكثر من إستخدام . لذلك سوف نركز في الفقرات التالية على طرق واساليب التصميم الصوتى لقاعات الاستماع من خلال دراسة سوك وطبيعة الموجات الصوتية في الفراغات المغلقة (الخطيب ، 2002 ، ص25).

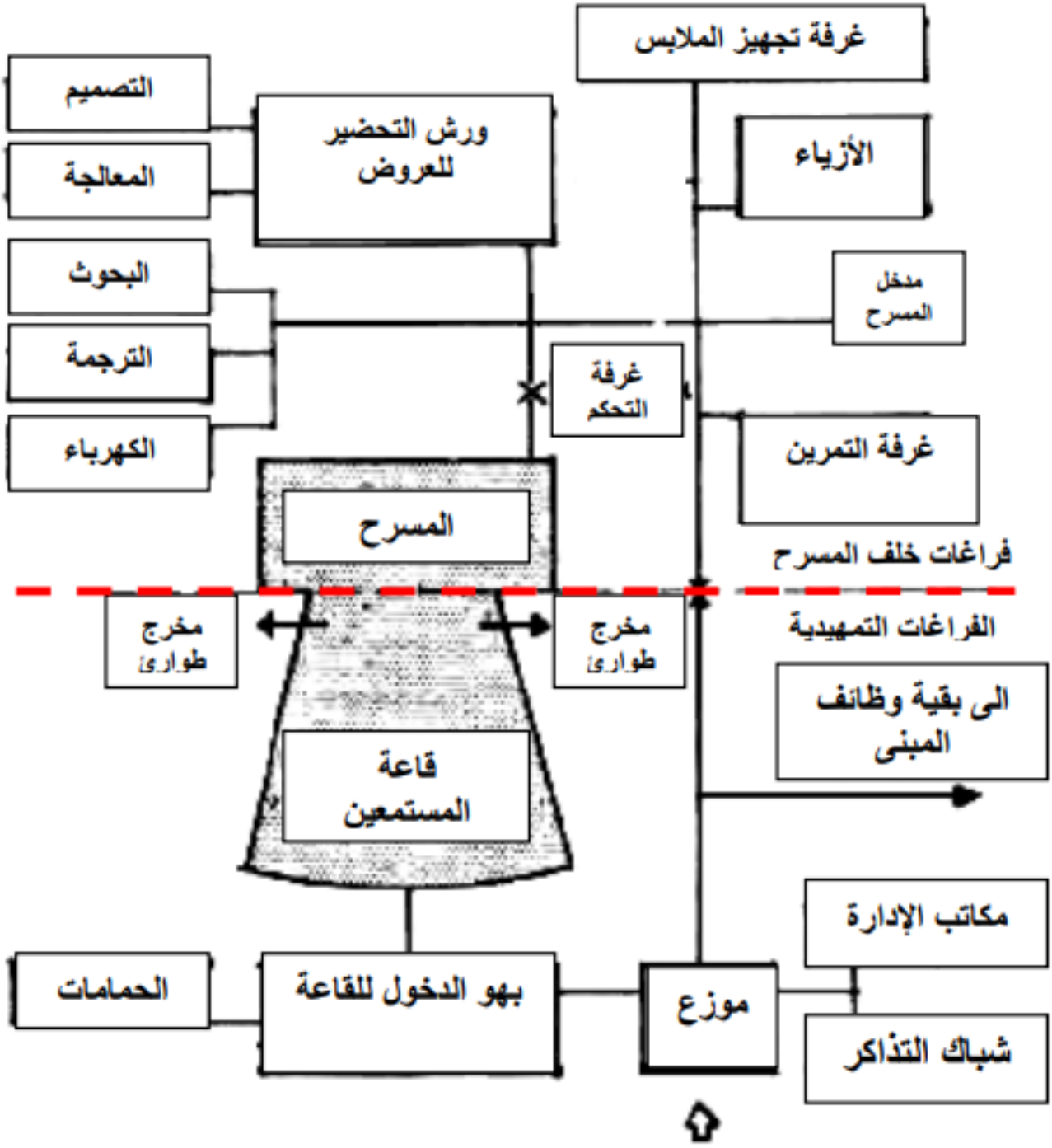
3-2 تصميم قاعات الاستماع

1-3-2 أقسام مبانى قاعات الاستماع تتكون عموما من ثلاث أقسام رئيسية وهى :

(أ) الفراغات الممهدة لدخول القاعة (front-of-house spaces) وهى مكونة من صالة الدخول ، بهو موزع ، شباك التذاكر ، الحمامات ، وسائل الحركة الرأسية ، وهذه تكون ضرورية لأي قاعة ولكن هناك فراغات إختيارية كمكتب إدارة و كافتريا و معرض مصاحب للعرض . (Judith Strong ، 2010 ، 25)

(ب) قاعة الاستماع (House or Auditorium) وهى القاعة او الصالة المخصصة لجلوس الافراد للإستماع إما للحديث أو الموسيقى أو كليهما وهى ما نختص به في دراستنا هذه.

(ج)المسرح وماخلف المسرح (Backstage or Back- of house spaces) وهى مكونة من خشبة المسرح ، الكواليس ،غرف تجهيز الممثلين (تغيير الملابس ، المكياج) ، إستراحات الممثلين ، ورش تركيب الديكور ،غرف التدريب ، غرف الفنيين ، الإشراف .


غرفة تجهيز الملابس
التصميم
المعالجة
ورش التحضير للعروض
الأزياء
البحوث
الترجمة
الكهرباء
مدخل المسرح
غرفة التحكم
غرفة التمرين
المسرح
فراغات خلف المسرح
الفراغات التمهيدية
مخرج طوارئ
مخرج طوارئ
الى بقية وظائف المبنى
قاعة المستمعين
مكاتب الإدارة
الحمامات
بهو الدخول للقاعة
موزع
شباك التذاكر

2-3-2 العوامل المتؤثرة في تصميم التشكيل الداخلى لقاعات الاستماع هى :

(أ) الجمهور يحدد الجمهور نوع العرض وطابعه وحجمه وامتداده ولذلك يجب التصـميم بناء على نوعية الجمهور المنتظر من حيث السن والمستوى .

(ب) نوع العروض المقدمة يملى موضـوع العرض وطبيعة الجهة العارضـة تأثيرا كبيرا على نوع العروض فإذا كان العرض مقدما لغرض موسـيقي مثلا وجب دراسـة النواحي الصـوتية والتصـميمية و التقنية المناسبة وتهيئتها للجهة العارضـة و أيضـا لها تأثير كبير على الشكل العام للمبنى وحجمه ففي المسارح العالمية تتنافس كبرى الدول في إقامة مباني ضخمة وأفكار إنشائية مبتكرة .

يمكن تقسـيم قاعات الاسـتماع عموما الى ثلاث مجموعات حسـب طبيعة المصـدر الصـوتى وهى:

- المجموعة الاولى : قاعات الحديث
- المجموعة الثانية : قاعات الاستماع والموسيقى
- المجموعة الثالثة : قاعات الاسـتماع التى تضـم أكثر من نوع من المصـادر الصـوتية (دور الأوبرا) وأكثر من إستعمال (القاعات المتعددة الأغراض) .

لذلك يواجه المعمارى عند تصديه لدراسة الصوتيات في العمارة ، كثير من التحديات التى تفرضـها طبيعة العنصـر وما يتبعها من تغيرات في المفاهيم والأسـاليب المعمارية والإنشـائية ، أهم هذه التحديات :

1. التزايد المطرد في اعداد قاعات الاستماع auditoria المطلوبة ومايصاحبه من مشاكل ناجمة عن زيادة السـعة أو المرونة في التصـميم ، إما بغرض تعدد الوظائف أو استعمالات الفراغ .
2. التعارض بين بعض الاتجاهات المعمارية الحديثة وبين متطلبات الخصـوصـية الصوتية acoustical privacy
3. استعمال مواد البناء الخفيفة ،وهذا الاتجاه ناشئ عن محاولة الاستغناء عن المواد التى لا تشكل ضرورة انشائية أو حرارية، وتفتقر معظم هذه المواد المستعملة أهم خواص العزل الصـوتى ، مثل التركيبات سـابقة التجهيز والتى تهيئ مسـارات لانتقال الصـوت أو الضوضاء بين مختلف الفراغات المعمارية .
4. التوسـع في اسـتعمال الاجهزة والماكينات داخل المبانى والتى تشـكل مصـادر جديدة للضوضاء داخل المبانى رغم التطورات .
5. اسـتغلال قبوات المبانى كمواقف للسـيارات أو وضـع المولدات الكهربائية والاجهزة الميكانيكية ادى الى نشوء الضوضاء والاهتزازات .
6. التزايد المطرد في مصادر الضوضاء الخارجية مثل الطائرات والقطارات والسيارات

المضلع
حائط خلفى مقوس
المستطيل
الشكل البيضاوى
الشكل المربع
الشكل الخماسى

الشكل المستطيل
الشكل المستطيل مع بلكونات طرفية (صناديق) وبلكونة خلفية
الشكل المستطيل مع بلكونات طرفية (شريطية)
الشكل المستطيل مع بلكونات طرفية (شريطية) وبلكونة خلفية
الحائط الخلفى المقوس مع بلكونات على جوانب القاعة وخلفها
شكل حدوة الحصان مع بلكونات على محيط الشكل
الشكل المضلع مع إمكانية وجود بلكونات على كل أضلاع الشكل
الشكل الخماسى مع إمكانية وجود بلكونات على جوانب الشكل
الشكل المروحى (90°) بدون بلكونات جانبية
خشبة المسرح
حفرة الأوركسترا

ان الهدف الرئيسي من تصميم القاعات هو ضمان ان كل مستمع في القاعة يفهم ما يقول المحاضر ، و بتعبير اخر يتعلق ذلك بمشكلة وضوح الكلام ، اما الهدف الاخر فهو حفظ الصفات الطبيعية لصوت المتكلم , بحيث نضمن ان السامع يستطيع التجاوب مع نبرات الصوت و انفعالات المحاضر دون ان يحدث لها تشويه.

و بالرغم من التوسع في استخدام الاجهزة و الانظمة الصوتية الكهربائية في معظم القاعات في وقتنا الحاضر الا ان ذلك لا يعفي المصمم من دراسة الخصائص الصوتية لهذه القاعات ، و محاولة تصميمها بحيث يضمن الاهداف المذكورة اعلاه.

2-2-3 شكل القاعة :

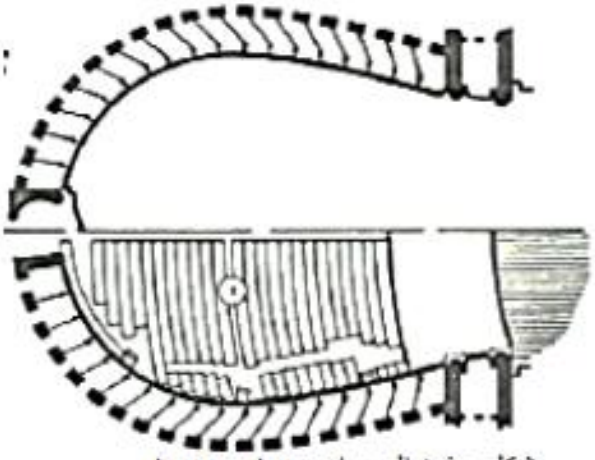
يتنوع التاثير المتبادل بين الفراغ المعمارى والصـوتيات وفقا لتنوع شـكل هذا الفراغ، لذلك يصبح وضع توصيات بخصوص هذا الامر مسألة صعبة ، وبشكل عام فإن جميع الاشكال المسـتخدمة في تصـميم قاعات الاسـتماع تحمل داخلها عوامل نجاح أو فشـل ، بحيث يتوقف الامر في النهاية على وعى المصـمم بسـلوك الصـوت وتفاعله مع شـكل الفراغ ، فقد اكتسـبت القاعات المستطيلة شـهرة واسـعة في اواخر القرن التاسـع عشـر ، غير أن هذا النجاح لا يرجع الى الشـكل فحسـب بل الى تضـافر عدة عوامل كالابعاد وزمن التردد ... ، ومن ناحية اخرى يفضـل الكثير من المصـممين الشـكل المروحى في المسـاقط الافقية على المسـاقط المستطيلة أو الدائرية أو البيضـــاوية ، الا أن هذا الاتجاه لا يمثل قاعدة في حد ذاته ، لانه حتى في مثل هذه

القاعات تظهر بعض العيوب كنقص الانعكاسـات الصـوتية في منطقة وسـط القاعة مما يلزم ايجاد بعض الحلول .

جدول رقم (3-1) علاقة نوع القاعة بأقصى مسافة من المسرح وأقصى سعة للمقاعد وأقصى حجم للقاعة، والحجم الأمثل للفرد .

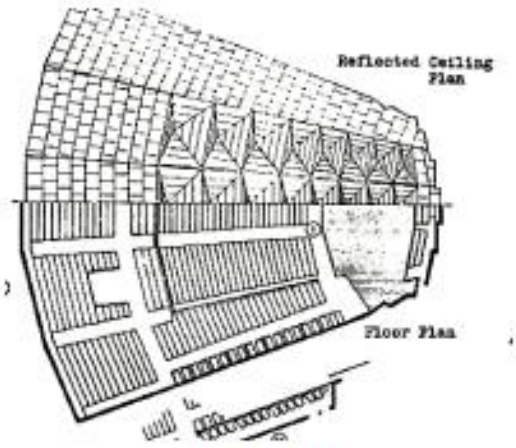
نوع القاعة	أقصى مسافة من خشبة المسرح م	اقصى سعة للمقاعد	أقصى حجم للقاعة $م^3$	الحجم الأمثل V ($م^3$ / فرد)		
				الاقل	الأمثل	الأعلى
قاعات العزف الموسيقى concert	40	1200	10000	8.0-6.5	– 7.1 10.0	12.0 -9.9
الاوبرا	30	2300	15000	4.0	5.1-4.2	6.0-5.7
الكنائس	-	-	30000	5.7	9.9-7.1	11.9
دور السينما والمسارح	20	1300	-	2.5	3.0-3.1	4.0-4.2
قراغات المحاضرات والمؤتمرات	15 استماع مريح 20-15 وضوح جيد 25-20 وضوح مقبول 30 حد مقبول دون الحاجة لوسائل مساعدة	500	5000	-	3.0-2.8	5.0-4.9
القاعات المتعددة الاغراض (تحدث وموسيقى)	-	-	8000	1.2-0.7	1.8- 1.6	2.2

ويمكن القول بانه هناك خمسة أشكال رئيسة للمساقط الافقية الستعملة للقاعات الاكبرى وهى : المربع square ،المستطيل rectangular ، السداسي hexagonal ، المروحى fan shaped ، شكل حذوة الحصان horse shoe ،ولا يمثل الشكل وضعا حرجا اذا كانت سعة الفراغ اقل من الف شخص، وكلما زاد المقاس تم تفضيل الشكل المروحى لما فيه من مميزات سنفصلها فيما بعد.والشكل رقم (3-1) يوضح بعض الامثلة للاشكال الشائعة الاستعمال لمساقط قاعات منفذة .



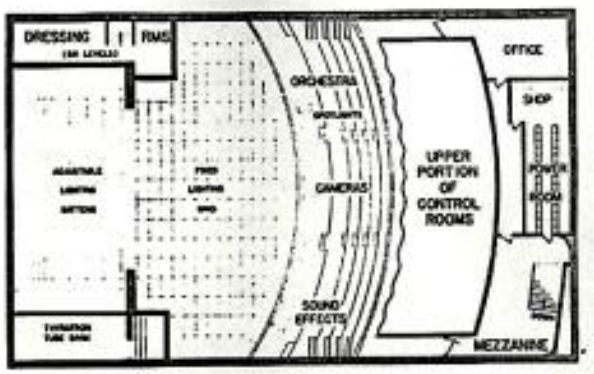
شكل حذوة الحصان horse shoe

Teatro alla Scala – Milan, Italy, 1778



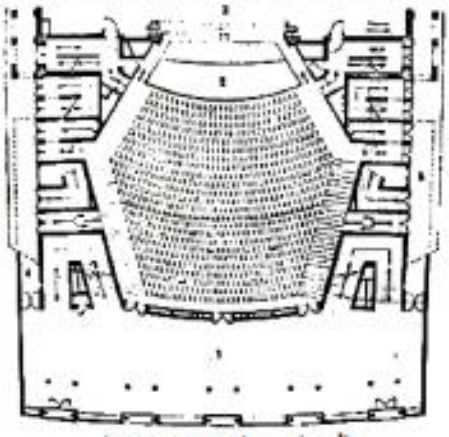
المروحى fan shaped

MANN CONCERT HALL, TAL AVEV, ISRAEL 19



الشكل المربع square ، والمستطيل rectangular

CBS TELEVITION COLOR STUDIO 72, NEW YORK, 1995



السداسي hexagonal

STATE OPERA HOUSE, GERMANY, 1958

الظاهرة الصوتية في القباب

استناداً إلى مشابهة ظاهرة الانعكاس الصوتي لظاهرة الانعكاس الضوئي في أن زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس، فإن الأسطح المقعرة تمتلك خصوصية في أنها تعمل على تمركز معظم الموجات الصوتية المنعكسة عنها وفقاً لهذا القانون في منطقة محددة من الفضاء مولدة ما يعرف بالبقع الحارة (Hotspots)، حيث يرتفع منسوب الضغط الصوتي في منطقة دون أخرى مما يولد تشوهاً في الحالة السمعية وخللاً في توزيع مناسيب الضغط الصوتي. (Lawrance1976 p137) تعرف البقع الحارة بنقاط التمركز البؤري إذ يمكن تحديد موقعها بالنسبة للأشكال الدائرية من المعادلة: (حماد 1987،ص167)

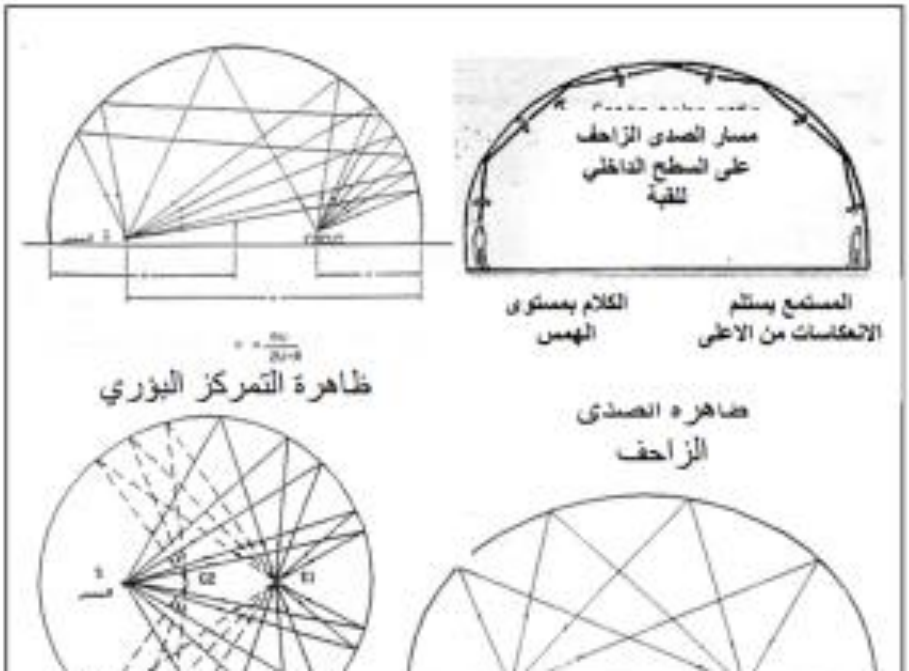
$$V = \frac{Ru}{2u - R}$$

حيث أن: V = مركز تجمع الموجات المنعكسة.

R = نصف قطر الدائرة.

U = بعد المصدر الصوتي عن الدائرة باتجاه مركز التجمع.

من الظواهر الأخرى التي تسهم الأشكال المقعرة في توليدها هي ظاهرة الصدى الزاحف (Creep Echo) حيث تنعكس الموجات الصوتية بالتتابع في مستوى قريب من محيط القبة مما يمكن المستمع القريب منه أن يسمع بشكل واضح في حين أن المستمع في الوسط لا يستطيع ذلك، حيث تضر هذه الظاهرة أيضاً في تجانس توزيع الطاقة الصوتية للفضاء السمعي. شكل (2).



شكل (2) الظاهرة الصوتية في القباب
(حماد 1987،ص167)

مما ذكر يلاحظ وجود نظرة سلبية تجاه القباب لما يمكن أن تسببه من إشكالات، لذلك طرحت العديد من الحلول الصوتية لتجاوز هذه الإشكالات حيث يتم اللجوء أحيانا الى تغيير موقع التمركز البؤري عن طريق تغيير النسبة بين نصف قطر القبة بالارتفاع اذ يجب أن يكون نصف قطر التقوس (R) للقبة ذات الشكل الدائري أو الأشكال المقاربة أقل من نصف الارتفاع $R < \frac{H}{2}$، إذ يتمثل الارتفاع بالمسافة العمودية بين المصدر الصوتي وقمة القبة، والهدف من هذه الطريقة أن لا يكون الصوت المنعكس عن سطح القبة ذو شدة أعلى من الصوت الذي يأتي عن سطح مستوي افتراضي في نفس الارتفاع إذا ما قورن معه حيث تصبح نقطة التمركز الضارة أعلى من رؤوس المستمعين.

. يمكن

توظيف العلاقة بين نصف القطر والارتفاع بشكل معاكس بأن يكون نصف القطر أكبر من ضعف الارتفاع $\{R > 2H\}$ وهذا يجعل نقطة التمركز الضارة تحت مستوى سطح الأرض (الخفاجي ،1995 ص76). إلا أن مساوئ الاحتمال الثاني أن القبة ستكون كبيرة جداً مما يولد مشاكل أخرى مثل ضياع الطاقة الصوتية وتولد ظاهرة الصدى . ومما تقدم يلاحظ محدودية الطرق المتبعة لمعالجة الحالات السلبية الناتجة عن وجود القباب ومن دون فهم لإمكانيات هذا العنصر في التأثير على الظاهرة الصوتية في الفضاء السمعي . وأما بالنسبة لأهم مؤشرات التشكيل الهندسي للقباب المؤثرة في الأداء الصوتي فهي (شكل القبة، حجم القبة، موقع القبة، عدد القباب،...) و غيرها من المؤشرات سيتم تفصيلها و اختبارها لاحقا.

مؤشرات كفاءة الأداء الصوتي

كفاءة الأداء الصوتي مفهوم يرتبط بتحقيق أعلى درجة لوضوحية وفهم الكلام في ظروف مناسبة لا تتطلب من المستمع بذل مجهود في محاولة الاستماع ويكون ذلك من خلال توفير عاملين أساسين هما: (الخفاجي 1996 ص85)

1. الطاقة الصوتية Sound Energy 2. نقاء الصوت ودقة المعلومة Clarity and Information

وأهم مؤشرات كفاءة الأداء الصوتي هي:

أ- زمن الترديد Reverberation Time

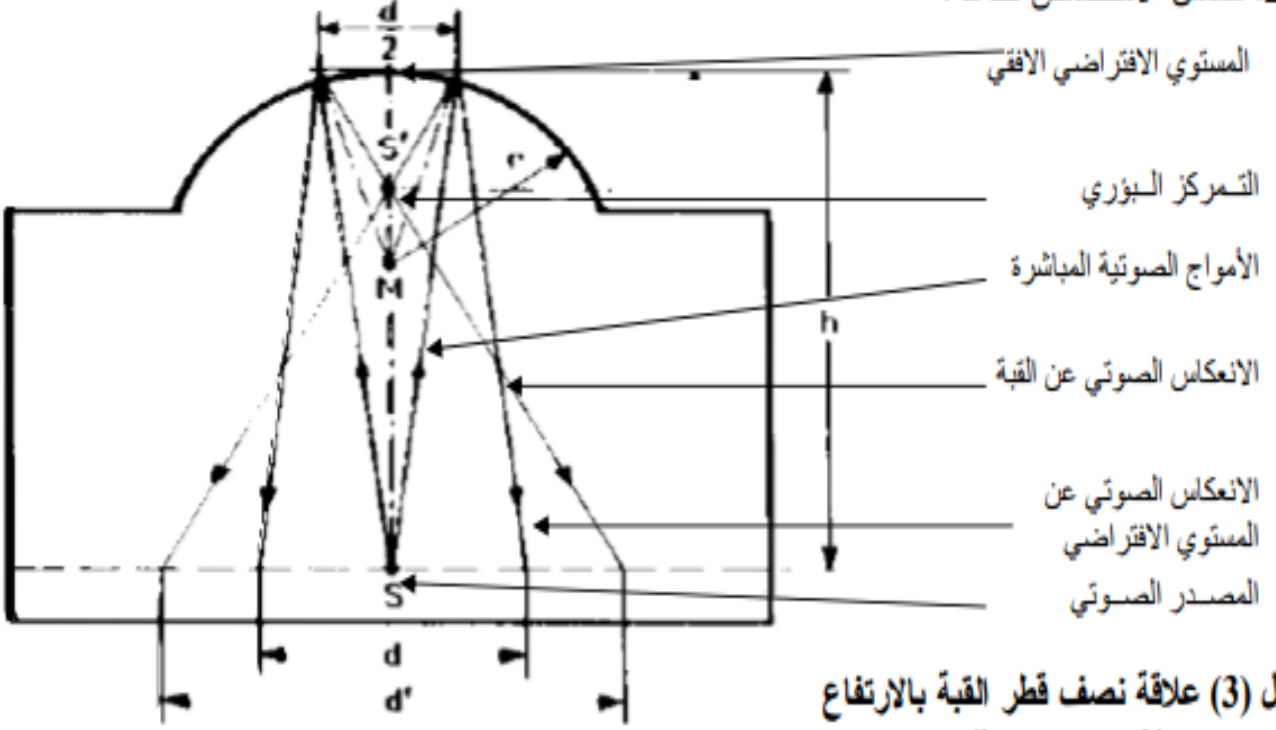
هو الزمن اللازم لانخفاض الصوت بمقدار 60 ديسبيل من منسوبه الاصلي بعد توقف المصدر الصوتي ، ويمكن احتسابه من المعادلة: (Furrer 1964 p52)

$$RT = \frac{0.161V}{\sum A}$$

حيث:RT: زمن الترديد (ثانية).

V: حجم الفضاء (م3).

Σ A: معامل الامتصاص للقاعة.



شكل (3) علاقة نصف قطر القبة بالارتفاع

(Internet: 9)

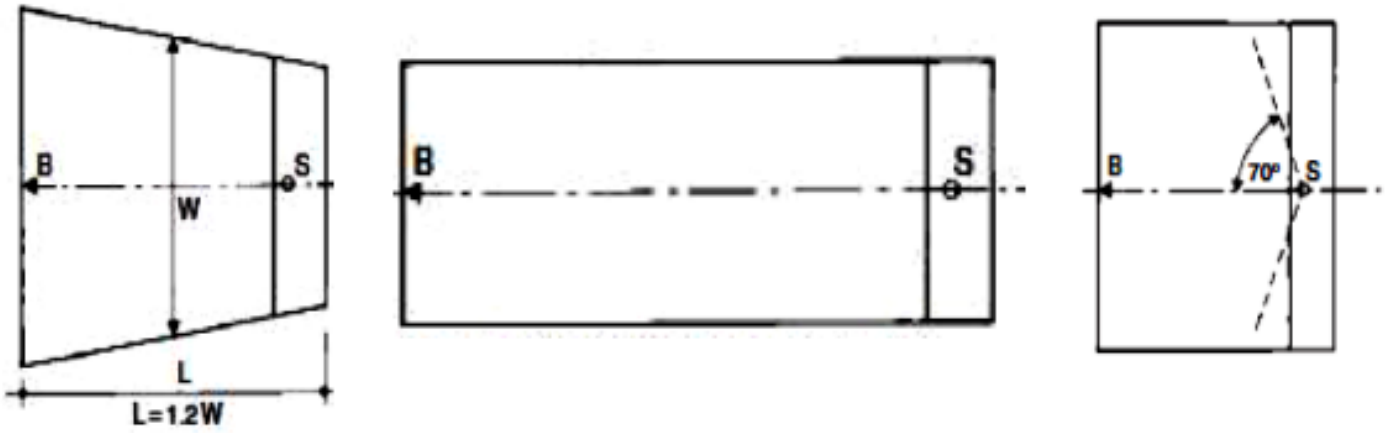
1-4-3 القاعة المستطيلة

أخذت القاعات المستطيلة إهتماما كبيرا من الباحثين في مجال الصوتيات ويرجع السبب في ذلك الى سيطرة الشكل على الفراغات ليس الى كونه إقتصاديا في إنشائه – والذى قد يكون احدى الأسباب – ولكن ما ارتبط به من نجاح عبر التاريخ ، وتنحصر مشاكل قاعات الاستماع المستطيلة الى أمرين : الحوائط المستوية وتوازى هذه الحوائط

فالحوائط المستوية تنتج الصدى ، مالم تكن عالية الإمتصاص ، والحوئط المتوازية تنتج الصدى المتعدد أو المشوش ، ففى الغرف المستطيلة تبقى زوايا الانعكاس لاشعة الصوت من الرتب المختلفة ثابتة، وتكمن خطورة ذلك في أن خواص الامتصاص للمادة تتغير بتغير زاوية اصطدام الاشعة بها ، ومع ذلك فان الشكل المستطيل مفضل عن بقية الاشكال الاخرى ، وبسبب الطبيعة الاتجاهية للترددات العالية فإنه يفضل أن تكون أطوال مثل هذه القاعات أكبر من عروضها ، وقد ذكر كندسن (Kundsen) أن القيم المثلى لهذه النسبة تتراوح بين 1:2 ، و 1:1.2 .

و تعد الفضاءات القصير والعريضة أفضل بكثير من تلك التى تتميز بالطول (إنظر الشكل رقم (3-8))، ويبين أن وضوحية الصوت تقل بعد الزاوية 70 من المحور العمودى على مصدر الصوت وهذا ما يضع حدود لعرض الفضاء .

وعموما فإن القاعات الكبرى أفضل صوتيا من تلك الكبرى التى قد تحدث أثر المشاكل الصوتية ويعتمد عامل تصميم القاعات على نسبة الطول والعرض والإرتفاع ، وأن أسوأ الأشكال هو الشكل المكعب نسبة لتساوى الثلاث أبعاد. والجدول (3-2) يوضح أفضل الذسب المستخدمة لأشكال القاعات .



شكل رقم (3-8) نسبة طول وعرض الفضاءات
المصدر : (Steven Szokolay , 2004,ص 179)

جدول رقم (3-2) أفضل النسب المستخدمة لقاعات المستطيلة

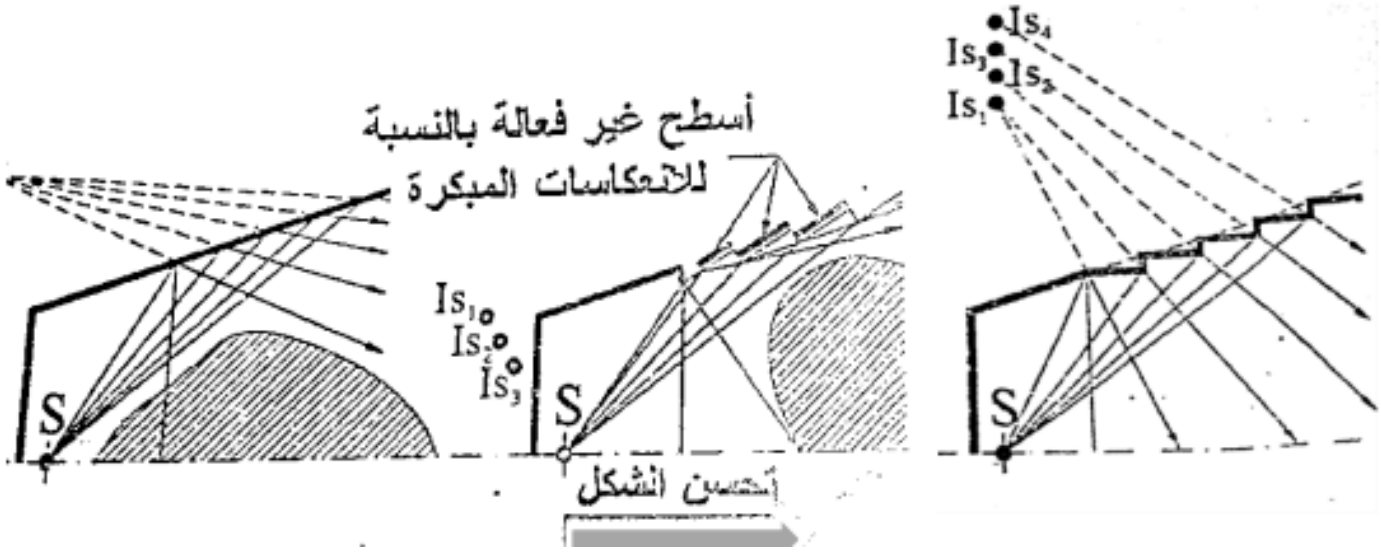
	النسبة	القاعات الصغرى	القاعات المتوسطة	القاعات الكبرى
الإرتفاع (متر)	0.30	2.44	3.66	4.88
العرض (متر)	0.39	3.12	4.68	6.24
الطول (متر)	0.47	3.76	5.63	7.51
الحجم (متر^3)	-	304	1036.32	2438.4

2-4-3 القاعة ذات الشكل المروحى

يتميز باستيعاب العدد الأكبر من المستمعين دون زيادة البعد بينه وبين المنصة ،
يعتبر الفراغ ذو المسقط الافقى المروحى من الفراغات المثالية من الناحية الصوتية وخصوص
إذا كان الحائط الخلفى مقعر لما تحدث من بؤرة صوتية لا تعالج الا بجعل الحائط الخلفى مر
مادة ماصة للصوت .

ومن ناحية أخرى يؤدى جعل المسقط الافقى للفراغ على شكل شبه منحرف الى تحسن
سماته الصوتية كثيرا خصوصا اذا تمت دراسة دقيقة لتوزيع الاشعة المكبرة ، بحيث تغطى
جميع أجزاء الفراغ. (الخطيب 2002 ، ص 143 – 144)

وعموما فإنه يفضل معظم المعماريين استخدام القاعات ذات المسقط المروحى بالرغ
من مميزاتها العديدة الا انها لا تعطى – اذا كانت ذات سطح مستو – اى انعكاسات مبكرة في
منطقة وسط القاعة بل ينتقل الصوت من المنصة كليا الى المؤخرة ، ويوضح بذلك أهميه عمل
سنون المنشار الموازية لمحور القاعة ، والتى قد تكون مناطق ظل ايضا يمكن ان تحل بعمل
تحديب خفيف على الحوائط الموازية لمحور القاعة لنشر الانعكاسات الجانبية حتى تملا مناطق
الظل تلك ، و الشكل رقم (3-9) يوضح تلك المراحل التى مر بها الشكل المروحى للوصول
الى افضل اثر صوتى .



صوتيات العمارة
محاضرة 3. 4
العيوب الصوتية

اعـــــداد

م.م فرح احمد ذياب

الضوضاء

فالضوضاء: هي تلك الاصوات التي لا تستسيغها اذن الانسان فهي اصوات غير منتظمة لا تؤدي في مجملها الى المعنى الواضح المراد منها بالاساس، فهي ذات تردد عالي تؤذي طبلة الاذن نتيجة لشدة الاهتزاز.

ان مشاكل الضوضاء تزداد يوما بعد يوم خصوصا في المناطق الحضرية المزدحمة قرب المناجم والخطوط السريعة والمصانع ومواقع تشييد الابنية ، اضافة الى ضوضاء وسائط النقل .

ان الضوضاء الصوتي على عكس بقية انواع التلوث البيئي التي يخشى من تراكمها ، فهي انية ومتبددة وينحصر تأثيرها عند انبعاثها فقط وتزول مباشرة بزوال المصدر.

التأثيرات السلبية للضوضاء :

يتباين البشر في تأثرهم بالضوضاء بعدة عوامل منها العمر والحالة النفسية ، وهذه التأثيرات تكون على مستويين:

١- تاثيرات سمعية مؤقتة ودائمية .

٢- تاثيرات غير سمعية.

فالتأثيرات السمعية تتراوح من الفقدان السمعي المؤقت للمستويات الواطئة من الاصوات الى الفقدان السمعي الدائمي والاذى الفيزيائي لطبلة الاذن.

اما التأثيرات غير السمعية الاخرى فهي تسبب الانزعاج وعدم استقرار الحالة النفسية وفقدان التركيز،والذي يؤثر سلبا على مستوى انتاجية الفرد .

انواع التلوث الضوضائى:

١- تلوث مزمن: هو تعرض دائم ومستمر لمصدر ضوضاءوقد يحدث ضعف مستديم في السمع .

٢- تلوث مؤقت ذو اضرار فسيولوجية : هو تعرض لفترات محدودة لمصدر او مصادر ضوضائية مثل

التعرض للمفرقعات ، يؤدي الى اصابة الاذن وقد يحدث تلفا فيها.

٣- تلوث مؤقت دون ضرر : هو تعرض لفترة محدودة لمصدر ضوضاء مثل ضجيج الشارع والاماكن المزدحمة يؤدي الى ضعف بسيط في السمع يعود الى حالته الطبيعية بعد فترة وجيزة.

كيف تتم السيطرة على الضوضاء ؟

١- تقليل شدة الضوضاء من مصدرها .(كما في تقليل الاحتكاك الناجم عن تشغيل الالة الصناعية باستخدام الكاتمات والمخمدات الصوتية)

٢- مقاطعة مسار الضوضاء او اطالة مسارها عن طريق وضع الحواجز لاطالة مسار الموجة.(سطوح ماصة للصوت واخرى عاكسة)

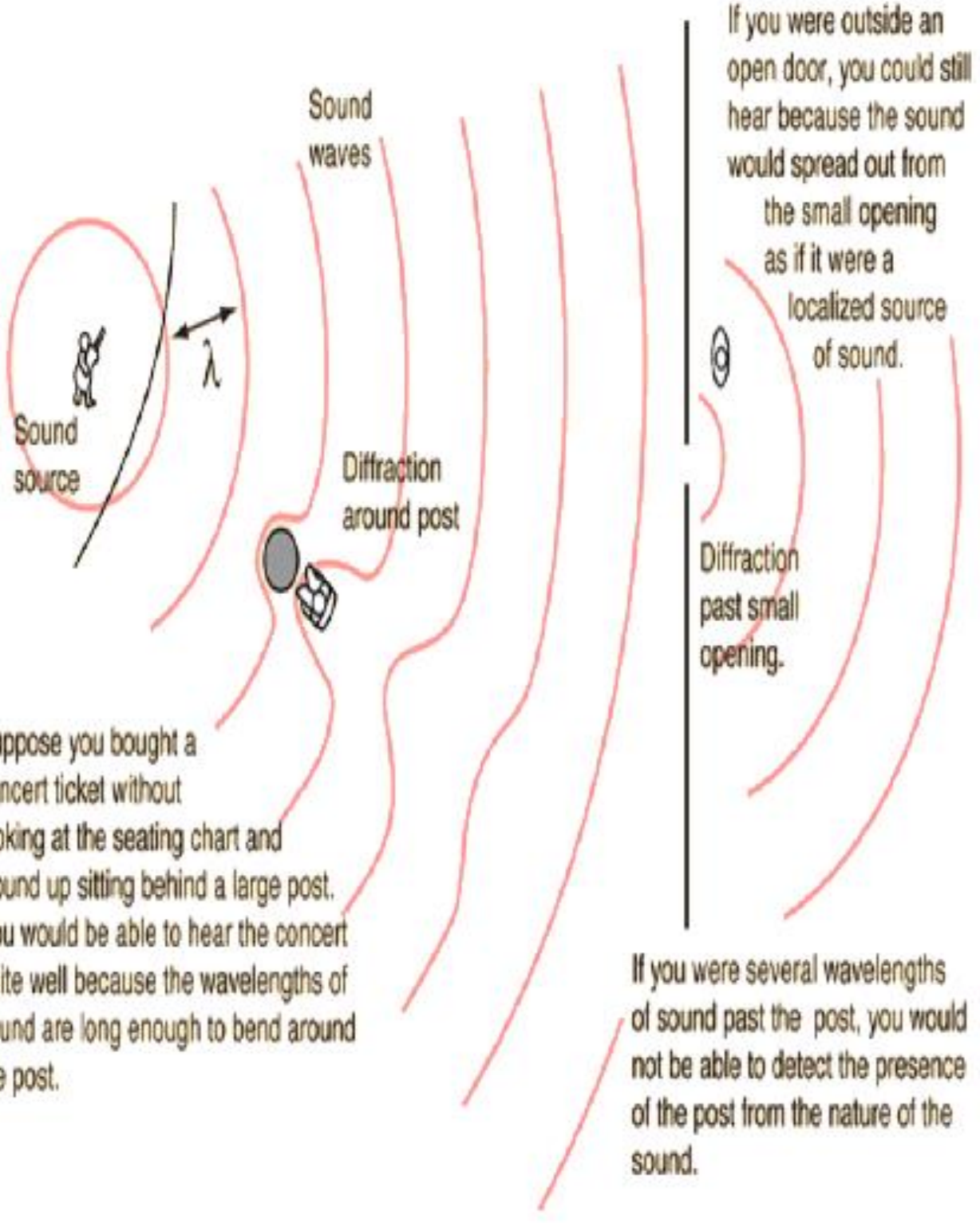
٣- حماية اذن السامع باستخدام الواقيات.

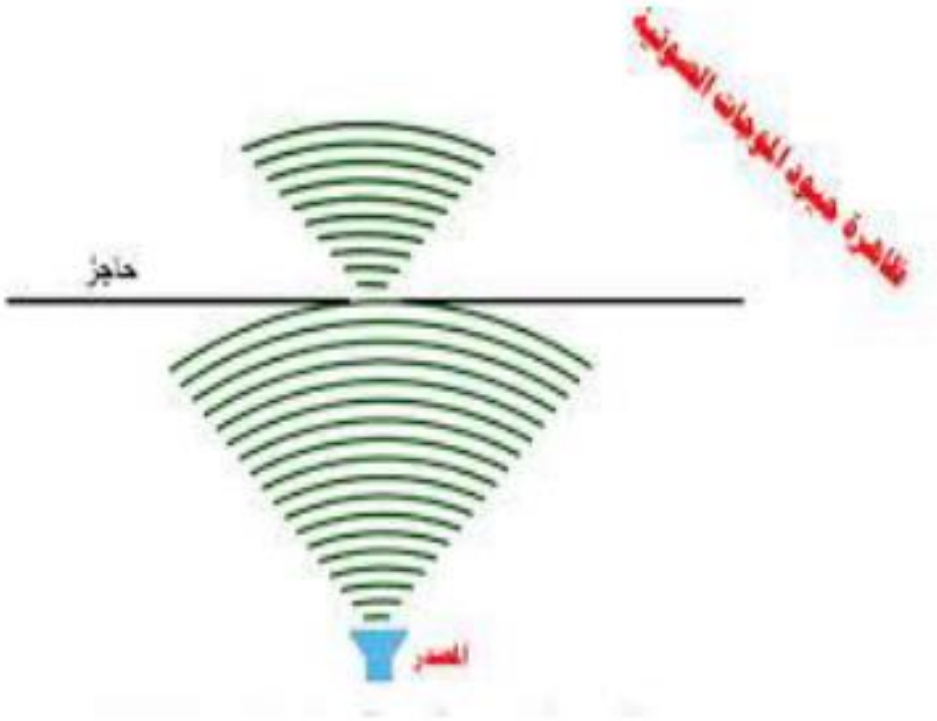
ظاهرة الحجب masking: عند تولد مصدرين للصوت فان الصوت الاعلى يحجب الصوت الاوطأ ، فاذا كان مصدر الصوت الخلفي اكبر ب ١٠ ديسيبل من مصدر الصوت الامامي فان الصوت الخلفي يعمل على حجب وازالة مصدر الصوت الامامي (مثال : استحالة سماع الحديث من شخص قريب في مصنع اثناء تشغيل الة صناعية).

ظاهرة الحيود : Diffraction هي ظاهرة انتشار الموجات حول الحواجز ،وهي ظاهرة تحدث للموجات الصوتية ولموجات الاشعاع الكهرومغناطيسي (كالضوء) فهو تغير في مسار الموجة أو انحنائها عند مرورها من فتحة ضيقة بالنسبة لطولها الموجي ، اوعند مرورها بحافة حادة

حيود الصوت : تساعد ظاهرة حيود الصوت على التمكين من سماع الاصوات حول العقبات والحواجز ، مثل الاختلاف الحاصل في صوت ضربات الصواعق القريبة والبعيدة ، فالرعد الذي يتم ادراكه من صاعقة قريبة يكون على شكل صوت حاد ، اما رعد الصاعقة البعيدة فيكون تردده الصوتي منخفض بسبب طول الموجات الصوتية المنحنية حول العقبات

في الصاعقة البعيدة وعدم حدوث ذلك او قلة حدوثه مع الصاعقة القريبة.





التداخل : Interference اندماج لمجموعة من الموجات المتواجدة في نفس الوسط مؤديا الى تكوين موجة جديدة .

فأذا تواجدت موجتان (بنفس السعة والتردد) في نفس اللحظة وكانتا تعبران الوسط ذاته فان الموجة الناتجة لها نفس تردد الموجات المنفردة ولكن بضعف سعة الموجات المنفردة

- **الصدى:**
- سماع الصوت مرتين متتالتين بعد انبعاث الصوت من المصدر الصوتي.
- سبب الصدى: اذا وصل الصوت المباشر مع الصوت المنعكس الى السامع خلال مدة زمنية ملائمة تسمى المقطع الزمني الحرج سوف تحدث تقوية صوتية.
- اما اذا طالت المدة الزمنية عن الحدود المطلوبة يحدث الصدى، أي اذا وصلت المدة الزمنية الى اكثر من 50 مللي ثانية و ما يعادل فرق المسار الذي يزيد على:

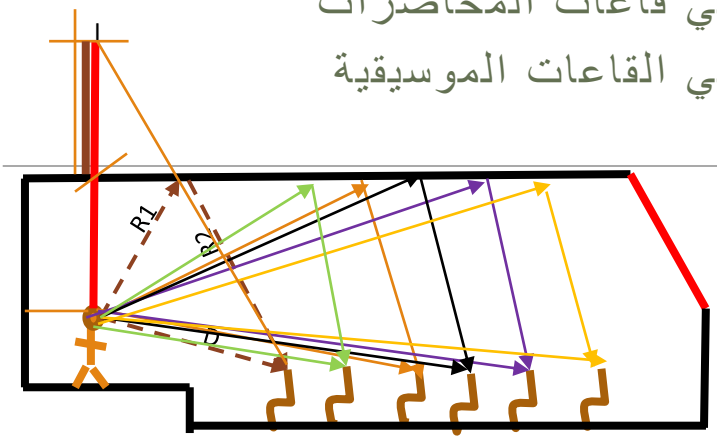
$\frac{(R1+R2)-D}{340} = 0.05_{SEC}$. OR= 17M •

- أي ان ال 17M بداية حدوث الصدى

يجب ان يكون الناتج اقل من 17 M أي ان :

(R1+R2)-D ≥ 14 M في قاعات المحاضرات

(R1+R2)-D ≥ 17 M في القاعات الموسيقية



أيضا توقيع الصفوف، و اختيار الابعاد لهما دور في احداث الصدى.

- و ظاهرة الصدى: هي الفرق في المسافات لذا يجب اختيار الابعاد بصورة دقيقة:

1 – ارتفاع السقف المبالغ فيه يحدث صدى.

2 – العرض المبالغ فيه للقاعات (بعد الجدران الجانبية) يحدث صدى.

3 – الجدار الخلفي حيث يكون اخطر مصدر للصدى اذا كان بعيد فان الصوت يأخذ مدى كبير و سوف تحدث ظاهرة الصدى في المقاعد الامامية و يفضل ان لا يكون الجدار الخلفي عاكس.

اذا كان الجدار الخلفي سبب المشكلة فان المعالجات:

أ – يبطن الجدار الخلفي بمادة ماصة

ب – عمل تكسرات بالجدار الخلفي – مبعثرات

ج – كسر الزاوية القائمة في الجدار الخلفي و جعلها مائلة او ربع دائرية او وضع المواد الماصة في نقطة التقاء الجدار مع السقف فقط.

يتم معالجة المبالغة بعرض القاعة يوضع بطانة داخلية تقلل من عرض القاعة.

اما السقف فتتم المعالجة له بعمل سقوف ثانوية عاكسة.

فوائد السقوف الثانوية:

1 – تقليل حجم القاعة مع ما يتلائم مع قياسات زمن الترديد الصوتي للفعالية

2 – توفير الواح عاكسة بسبب فرق المسار بين الصوت المباشر و المنعكس

3 – توفير الواح عاكسة مدروسة بمساحات و أماكن و زوايا انحراف تساعد على توجيه الانعكاسات الى جميع قطاعات القاعة لاحداث التقوية الصوتية المطلوبة

تحول المواد الماصة جزء من الطاقة الصوتية الى طاقة حرارية

اختيار شكل ذو ابعاد مناسبة و تقريب السامعين الى المنصة

اذا كان الجدار الجانبي يحدث صدى تعمل تكسرات فيه للتخلص من الصدى

- 2 - الصدى المتكرر: سماع الصوت بعد توقف المصدر لاكثر من مرة احدة.

سبب حدوثه هو وجود المصدر الصوتي بين جدارين او سطحين متقابلين عاكسين و المسافة بينهما قليلة نسبيا

اكثر مكان يحدث فيه الصدى المتكرر الممر و أحيانا يحدث في الاشكال غير المنتظمة

اذا سقطت الاشعة الصوتية بصورة عمودية على سطح و اخذت نفس المسار ذهابا و إيابا يحدث الصدى المتكرر (في الاشكال غير المنتظمة)

و يحدث الصدى المتكرر في:

أ – المسافة بين الجدارين المتقابلين 0.6 من الطول

ب – نسبة العرض الى الطول عندما تكون اقل بكثير من 0.6 L يحدث الصدى المتكرر

ج – نسبة الارتفاع الى الطول اقل بكثير من 0.6

للتخلص من الصدى المتكرر:

1 – طلاء احد السطوح العاكسة بمادة ماصة

2 – القضاء على التوازي بتغيير شكل المخطط

3 – عمل تكسرات في تميل بزاوية اقل من 5 درجات

3 – الانعكاسات الأولية المبكرة:

تشبه ظاهرة الصدى و تتم معالجتها بوضع مواد مبعثرة على السطوح المحيطة بالمصدر الصوتي على ارتفاع مترين و على جانبي المصدر الصوتي للتخلص من اول انعكاس قوي يحدث عندما يكون الفرق الزمني .0.03 sec

4 - الانعكاسات الأولية المتاخرة:

تهمل لانها تصل بعد 0.05 مللي ثانية، كلما ازداد عدد الانعكاسات قلت شدتها

5 – التركيز البؤري:

لا يحبذ اختيار الاشكال البيضوية او الدائرية في مخططات و مقاطع القاعات لانها تسبب ظاهرة التمركز البؤري، و يكون هذا التمركز ما يدعى بالمنطقة الحارة و البقع الميتة، بحيث يكون فيها ارتفاع الصوت و تكون النقاط القريبة منها ميتة لان الطاقة الصوتية ستكون فيها قليلة

تؤدي السطوح المقعرة الى تجمع الانعكاسات في مكان دون الاخر مما يولد ارتفاع في قيمة الضغط الصوتي في المكان او تلك البقعة و اختلاف قيمته في باقي البقع

اذا تم اختيار شكل دائري للقاعات يجب ان يتم اختيار مركز القوس او الدائرة في الأسفل حيث يكون التمركز فوق منطقة المستمع

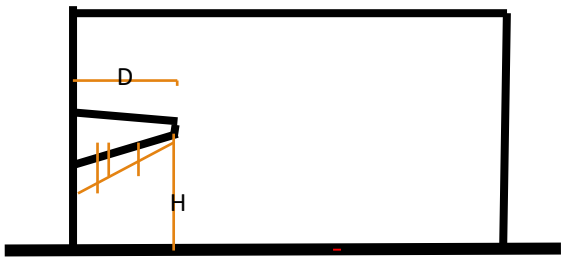
او يكون نصف القطر اكبر من ضعف الارتفاع للقضاء التمركز حيث تكون البؤرة الصوتية اسفل منطقة المستمعين

اذا تم وضع قبة السقف فوق مستطيل فيجب ان يكون نصف القطر اقل من نصف الارتفاع او تبطين الشكل المحدب بمادة ماصة، لكن هذا سبب ضياع الطاقة الصوتية

6 – الظل الصوتي:

ترتطم الأمواج الصوتية الاتية من المصدر الصوتي بالشرفة (اذا كانت القاعة فيها شرف) و تؤدي الى حيود الأمواج الصوتية و تكوين ظل صوتي، و لاجل التخلص من الظل الصوتي يجب ان يكون بروز الشرفة لا يتجاوز ارتفاعه عن الأرضية $D \leq 2H$

و تعالج هذه الحالة بالتفاصيل:



في القاعة الكلامية $H=D$

في قاعات الاوبرا $D=3H$

في القاعة الموسيقية $D \leq H$

7 - اللغط الصوتي:

التشويه الصوتي الناتج من اتحاد الموجة الصوتية المتقدمة مع احدى الموجات المنعكسة من الجدران العاكسة المتوازية و المتقابلة حول المصدر الصوتي و التي فرق الطور لها 180 درجة فان اتحاد هاتين الموجات يؤدي الى حالة ما يسمى بالتداخل الاتلافي و الذي يؤدي الى خلل في الحالة السمعية للقاعة

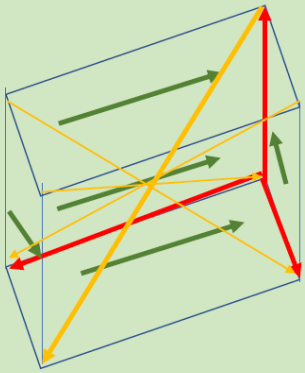
عندما ترتطم الأمواج الصوتية بالجدران سوف تنعكس و هذا الانعكاس يسبب لها انقلاب بالطور و وصول الموجتين المباشرة و المنقلبة ب 180 درجة في وقت متقارب الفرق 40 مللي ثانية و اتحاد المباشرة مع المنقلبة يؤدي الى حدوث تداخل بين الكلمات

تتم المعالج بالتخلص من الانعكاس القوي القريب من المصدر الصوتي و ذلك بتغليف الجدارين المتوازيين المحيطين بالمصدر الصوتي بمواد مبعثرة و على ارتفاع 2 m من الأرض، وعلى شكل ترايش منشورية او دائرية او مربعة

يتراوح الفرق الزمني بين 36 – 45 ملي ثانية

9 – الرنين:

- يحدث الرنين عندما تكون ابعاد القاعة متساوية او يكون احد الابعاد من مضاعفات البعد الاخر
- عندما تبتبد الابعاد عن النسبة الذهبية الصوتية 5:3:2
- عندها تتوزع الأمواج الصوتية ضمن المدى الترددي لتلك الأمواج و اذا صادف ان توزعت ان توزعت أمواج صوتية ذات ترددات متساوية على المحاور تدعى الأمواج المحورية، اما اذا توزعت على السطح تدعى الأمواج المماسية، و اذا توزعت على الأقطار الوهمية تدعى الأمواج القطرية



- لذا يجب الابتعاد عن الاشكال المكعبة او او متساوية السطوح الت لا تزيد نسبها عن 2:1
- و اذا توزعت الأمواج بهذه الطريقة و كانت ابعاد القاعة متساوية او احدهما من مضاعفات الابعد الاخر فان هذا التوافق في التوزيع يؤدي الى عملية اتحاد بين الأمواج ذات الترددات المتساوية الناتجة من هذه الابعاد (تحدث هنا عملية تقوية صوتية)
- تكون الأقطار الموجات ذات الترددات العالية التي تحدث فيها انعكاسات كثيرة لذا نفضل القاعات المحورية لتجنب تساوي ابعاد اضلاع الشكل و تجنب وجود الزوايا القائمة لان مناطق حدوث الرنين في الحافات و الزوايا القائمة لالتقاء الجدران و السقف او اختيار شكل اخر منتظم

الرنين

- للكشف عن الرنين يتم استعمال المعادلة التية:

$$F_{XYZ} = \frac{c}{2}\sqrt{(\frac{nx}{lx})^2+(\frac{ny}{ly})^2+(\frac{nz}{lz})^2}$$ •

- يتم تطبيق المعادلة 7 مرات للكشف عن الرنين
- Fx •
- Fy •
- Fz •
- Fxy •
- Fxz •
- Fyz •
- fxyz •
- اذا تساوت قيمتين او اقتربت من التساوي يكون لدينا رنين
- المعلجة في حالة حدوث رنين:
- عدم استعمال ابعاد متساوية او نسبة 2:1 و اختيار النسبة الصوتية الذهبية 5:3:2
- عدم استعمال الاشكال المنتظمة متوازية السطوح
- تشبه المعالجة معالجة التلوين الصوتي حيث يتم وضع مادة ماصة حول المصدر بعرضm 1 اما يغلف بها الجدار او توضع في السقف

مثال: اكشف عن وجود الرنين في قاعة بابعاد (28 *17 *6) m

الحل:

- للكشف عن الرنين يتم استعمال المعادلة التية:

$$F_{XYZ} = \frac{c}{2}\sqrt{(\frac{nx}{lx})^2+(\frac{ny}{ly})^2+(\frac{nz}{lz})^2}$$ •

F_x= 6 hz

F_y= 10 hz

F_z= 28.3

F_{xz}=28.3

صوتيات العمارة
محاضرة 5
المواد الماصة ومعامل الامتصاص

اعـــــداد

م.م فرح احمد ذياب

امتصاص الصوت Absorption :

يتم امتصاص الطاقة الصوتية بطريقتين:

1 – عن طريق الاحتكاك، و تحدث عند نفوذ الطاقة الصوتية الى المسام و الشقوق الرفيعة داخل المواد المسامية و الليفية، فتعمل جزيئات الهواء الموجودة داخل هذه المسام على منع الموجات الصوتية من اكمال دورتها من التضاغط و التخلخل و تتحول الطاقة التي تفقد بالاحتكاك الى حرارة.

2 – عن طريق الرنين و نحدث عند اجبار الأنظمة الجاسئة غير تامة الصلابة على التذبذب بسبب اصطدام الطاقة الصوتية بها، و تقوم هذه الأنظمة بامتصاص و تبديد الطاقة اذا كانت ذبذبتها مساوية لذبذبة الموجة الصوتية المصطدمة بها (لا تستعمل هذه الطريقة في الامتصاص الا في منتجات قليلة، حيث توضع مواد البناء العادية في حالة رنين (تذبذب) اذا لم تثبت بشكل جيد، الخشب و الزجاج و الالواح الجبسية.

كفاءة الامتصاص:

- تعرف المادة الماصة بانها المادة التي تخفّض الطاقة الصوتية داخل بنيتها بتحويلها الى حرارة، او طاقة ميكانيكية كذبذبات.

- تحدث كفاءة الامتصاص الصوتي في المادة عن طريق كميتين أساسيتين:

  - معمل الامتصاص α
  - معامل خفض الضوضاء NRC

الامتصاص:

- تعتمد كمية الطاقة التي تمتصها المادة من المجال الصوتي على معامل الامتصاص العشوائي $\propto$ و مساحة سطح المادة S و اللذان يتحدد من خلالهما مقدار الامتصاص الكلي A وفقا للمعادلة الاتية: $A = S * \propto m^2$

- اما اذا ما اشتمل الفضاء على مواد مختلفة، مساحاتها S1,S2,S3,…. ، و معاملاتها $\propto 1, \propto 2, \propto 3$ فان الامتصاص الكلي A يتحدد وفقا للمعادلة:
- $A = S1 \propto 1 + S2 \propto 2 + S3 \propto 3$

معامل الامتصاص ∝ absorption coeffient:

- يعرف معامل الامتصاص بانه النسبة بين الطاقة الصوتية التي تم امتصاصها عن طريق المادة و الطاقة الصوتية الكلية الساقطة عليها أي ان:

$$\propto = \frac{enr}{ei}$$

- و على ذلك فانه في المواد تامة الامتصاص تكون قيمة ∝ مساوية للواحد، و تكون قيمته صفر للمواد التي لا تمتص الطاقة الصوتية، أي ان قيمته تتراوح بين (0 – 1)

حيث: enr الطاقة الصوتية التي لا تنعكس عن المادة أي التي يتم امتصاصها
ei : الطاقة الصوتية الكلية الساقطة على المادة

معامل خفض الضوضاء noise reduction coefficient NRC

- هو المتوسط الرياضي لمعاملات امتصاص المادة لترددات الأربعة 250 ، 500 ، 1000 ، 2000

$$NRC = \frac{\propto 250 + \propto 500 + \propto 1000 + \propto 2000}{4}$$

- يختلف معامل امتصاص المادة الواحدة باختلاف التردد مثال ذلك:

Floor materials	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
carpet	0.01	0.02	0.06	0.15	0.25	0.45

- **زمن الترديد الصوتي:**

الزمن اللازم لكي تضمحل شدة الصوت بعد عدد من الانعكاسات مساوي الى واحد من مليون من الشدة.

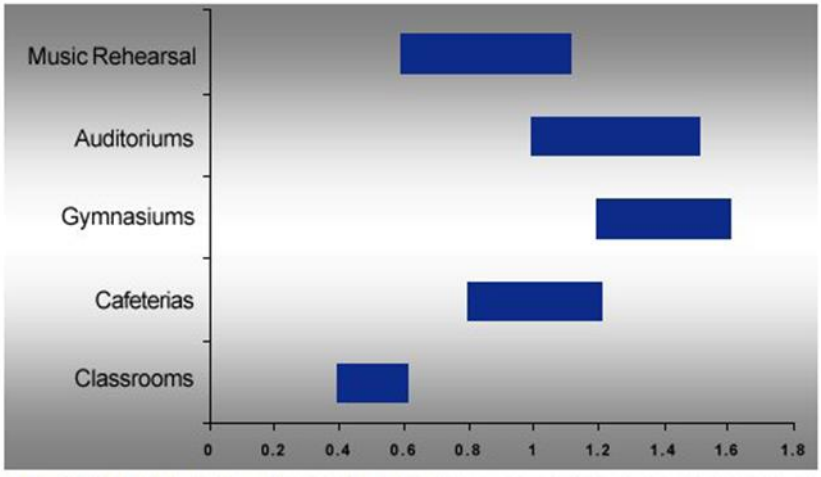
- يرتبط زمن الترديد الصوتي:

الحجم.

الترددات.

البطانة (المواد الماصة و العاكسة).

- حيث يعتبر زمن الترديد الصفة الوحيدة التي يمكن قياسها زمنيا ومختبريا و من خلالها نقيم ادائية الفضاء الصوتية.



- يختلف زمن الترديد الصوتي لكل فعالية من الفعاليات كما موضح في الجدول
- و يقاس بالثانية

1 – الطريقة الحسابية:

لحساب زمن الترديد الصوتي نحتاج:

1. حجم الفضاء من الابعاد.
2. النسبة الحجمية لكل شخص اعتمادا على نوع فعالية الفضاء.
3. مجموع الوحدات الماصة.

- 2 – الطريقة المختبرية:
- يستخدم جهاز خاص لحساب زمن الترديد و تظهر القراءة على شكل مخطط بياني.

الفضاءات المتخصصة صوتيا و زمن الترديد الصوتي:

1. فضاءات الفعاليات الكلامية:

- يجب ان تكون قيمة الترديد الصوتي لها قليلة _ أي زمن تلاشي قليل لاجل ان لا تتداخل الكلمات.

2 .فضاءات الفعاليات الموسيقية:

- يجب ان يكون زمن الترديد الصوتي لها طويل لاجل التمتع بالنبرة الموسيقية(أي زمن تلاشي اطول).

معادلة حساب زمن الترديد الفعلي :RT

معادلة حساب زمن الترديد الفعلي

الوحدات بالأمتار

$$RT = \frac{0.16\ V}{A}$$

يقاس بالثانية ← زمن الترديد الفعلي = RT

يقاس بـ م3 ← الحجم = V

تقاس بـ سابين Sabin α. $A = \Sigma S\alpha$ مجموع الوحدات الماصة = A

معادلة حساب زمن الترديد الفعلي

الوحدات بالأقدام

$$RT = \frac{0.05\ V}{A}$$

معادلة حساب زمن الترديد المثالي t:

معادلة حساب زمن الترديد الفعلي

الوحدات بالأمتار

$$t = r(0.0118\sqrt[3]{V} + 0.1070)$$

يقاس بالثانية Sec ← زمن الترديد المثالي = t

ثابت : r = للقاعات الكلامية 4

= للقاعات الموسيقية 5

= للكنائس 6

تستعمل هذه المعادلة في القاعات متوازية المستطيلات

في القاعات المروحية

$$t = 0.41\ Log(V)$$

إن الفائدة من حساب زمن الترديد هو لإيجاد مجموع الوحدات الماصة الواجب توفرها داخل القاعة وبمقارنته مع زمن ترديد الصوت الفعلي نستطيع زيادة أو تقليل الوحدات الماصة للوصول الى زمن ترديد الصوت المثالي.

1) الحجم ← $15000\ m^3$

2) حساب الوحدات الماصة:

	المساحة	α	A (سابين)
الأرضيــة	1500	0.5	750
السـقف	2000	0.03	60
الجـدران	4000	0.06	240
الحضـور (1/3)	800	0.24	142
الكراســي	2400	0.18	432
			1674 سابين

3) حساب زمن التردد

$$T = \frac{0.16\,V}{A} \qquad T = \frac{0.16 \times 15000}{1674} = 1.4\ Sec.$$

قاعة موسيقية بحجم 2500 م^3 مواصفات سطوحها كالآتي:

السطوح	المساحة م^2	معامل الإمتصاص α	Á = ΣSα
الأرضية	160	0.05	4.8 تغطية 60%
المنصة	80	0.30	24
السقف	160	0.1	16
الستائر	96	0.3	28.8
ألواح جبسية	120	0.35	42
زجاج	40	0.1	4
ألواح خشبية	200	0.02	4
الكراسي	240	0.15	36
الحضور	80 (ثلث الحضور)	0.4	32 (ثلث الحضور)
			191.6 سابين

إحسب:

(1) زمن الترديد RT الفعلي؟

(2) كمية الوحدات الماصة المضافة كي يقترب زمن الترديد من القيمة المثالية؟

$$RT = \frac{0.16\,V}{A} \rightarrow A = \Sigma\alpha.\delta = 191.6 \text{ سابين}$$ الفعلي

زمن الترديد الفعلي

$$RT = \frac{0.16 \times 2500}{191.6} = 2.08\,Sec.$$

زمن الترديد المثالي

$$t = r(0.0118\sqrt[3]{V} + 0.1070)$$ المثالي

$$t = 5(0.0118\sqrt[3]{2500} + 0.1070)$$ (موسيقية)

$$t = 1.33\,Sec.$$

(نعوض بقيمة زمن الترديد المثالي)

$$1.33 = \frac{0.16 \times 2500}{A}$$

كمية الوحدات الماصة الكلية المفروضة للحصول على زمن الترديد المثالي

$$A = 300.75$$ سابين

كمية الوحدات الماصة المضافة كي يقترب زمن الترديد من القيمة المثالية

$$300.75 - 191.6 = 109.15$$ سابين

مثال : تطلبت عملية التصميم الصوتي لقاعة دراسية استخدام مادة ماصة مساحتها 387.5 م^2 كي يقترب زمن الترديد الفعلي من قيمته المثالية والبالغة 0.85 ثانية. علماً ان مواصفات سطوح القاعة هي:

275 م^2 جص معامل إمتصاصه 0.2

50 م^2 ألواح فلين معامل إمتصاصها 0.7

75 م^2 خشب مثقب معامل إمتصاصه 0.8

150 م^2 كاشي معامل إمتصاصه 0.2

150 م^2 كونكريت معامل إمتصاصه 0.2

وإن مجموع الوحدات الإمتصاصية للكراسي والحضور 95 سابين

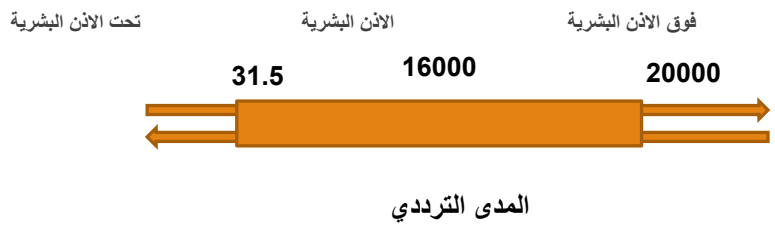
إحسب معامل إمتصاص المادة الماصة المستخدمة في التصميم؟

- النسبة الحجمية لكل شخص:
- القاعات الموسيقية: M^3 6.5 ← 9.5
- القاعات الكلامية : M^3 2.5← 4.5
- لاستخراج حجم القاعة = النسبة الحجمية * عدد الحضور
- لكل فضاء زمن ترديد بحسب الحجم و نوع الفعالية
- لكل مادة معامل امتصاص يعتمد على التردد
- نأخذ تردد 1000 للسهولة الحسابية
- يعتمد زمن الترديد الصوتي ايضا على درجة الرطوبة حيث ان الهواء يحوَل جزء من الطاقة الصوتية الى طاقة حرارية

- يدخل الهواء في حساب زمن الترديد من تردد الـ 2000 فما فوق

التردد:

- سبق ان ذكرنا في محاضرة سابقة تركيب الاذن البشرية و ميكانيكية السمع
- حيث ان الاذن البشرية تسمع مدى محدد من الترددات
- تم توزيع الترددات الى حزم تسمى octave band و اخذ مركز الحزمة الذي يعرف به التردد
- تبدا اول حزمة بتردد 31.5 HZ يقع سمع الانسان بين 20 HZ و 20000 HZ



المدى الترددي

- **علاقة الطول الموجي مع التردد:**
  - لحساب الطول الموجي ضمن العلاقة بالاسفل يتم اخذ سرعة الصوت 340 و هي متغيرة حسب الوسط الناقل و الظروف
- حساب اقل طول موجي: يتم تقسيم سرعة الصوت على اكبر تردد يسمعه الانسان عل

$C = \lambda.f$

$\lambda = 340/20000=0.0171m$

- حساب اكبر طول موجي: يتم تقسيم سرعة الصوت على اقل مدى يسمعه الانسان

$\lambda = 340/20=17m$

علاقة شدة الصوت و مركز الصوت:

- ينتشر الصوت بشكل حلقات متسعة مثل موجة الماء و كلما اتسعت الحلقة أي زادت المسافة بين السامع و مصدر الصوت قلت شدة الصوت

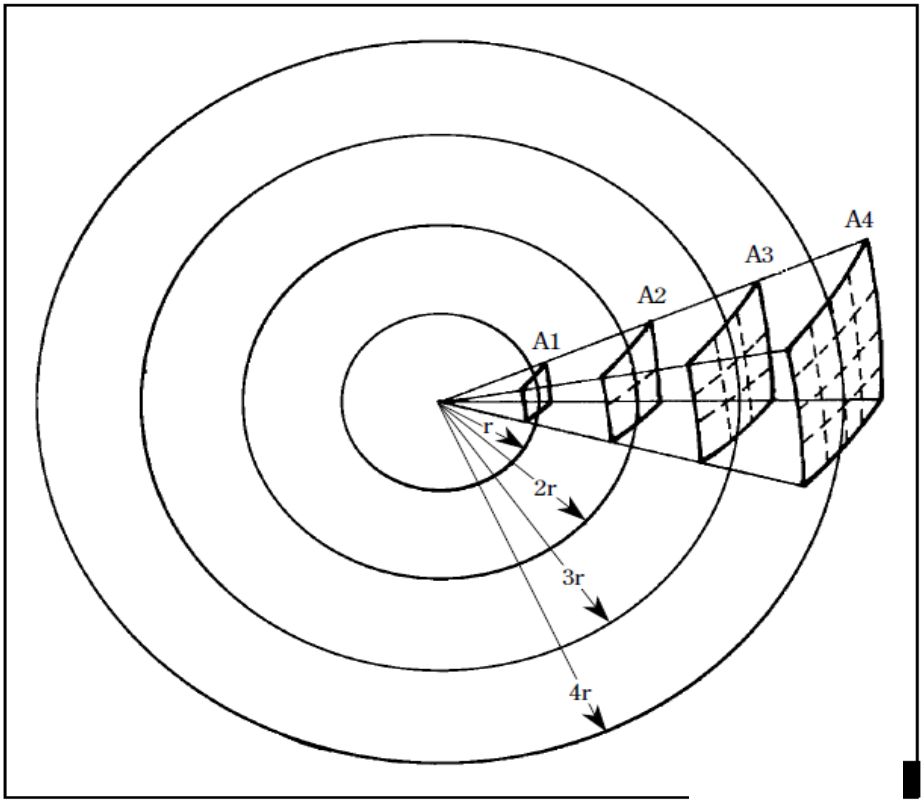
$I_1/I_2=(d_2/d_1)^2$

1 → $W= I_1 4\pi d_1^2$

2 → $W= I_2 4\pi d_2^2$

$I_1 4\pi d^2 = I_2 4\pi d^2$

$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2$



الشروط الصوتية الواجب توفرها في الفضاء الصوتي:

- 1 -ان يكون المصدر الصوتي قويا و مسموعا.
- 2 -ان تتوزع الطاقة الصوتية بكافة المكونات الترددية الى جميع اجزاء الفضاء بالتساوي.
- 3 - ان تكون درجة مفهومية الكلام و وضوحيته مناسبة.

- 4 - يجب ان تكون قوة الصوت و جهارته مناسبة و موزعة الى جميع اجزاء الفضاء بالتساوي.

- 5 - الحد من مشكلة الضوضاء الخارجية اولا و التي تنتقل مباشرة من خلال الهواء او من خلال الاهتزازات للنظام الانشائي او الداخلية الناتجة من حركة الاشخاص و الضوضاء الخلفية الناتجة من اجهزة التكييف و التحكم بخفضها الى اقل درجة لتحسين الاداء الصوتي للفضاء.

- 6 - الحفاظ على المكونات الطبيعية للصوت المسموع في جميع اجزاء الفضاء بالتساوي.

- 7 - انتشار الموجات الصوتية بشكل متجانس.

- 8 - خلو الفضاء من أي نوع من انواع العيوب الصوتية مثل الصدى و الصدى المتكرر او التركيز الصوتي او الرنين او اللغط الصوتي او ظاهرة التلوين الصوتي.

- 9 -الحصول على زمن ترديد صوتي مناسب لنوع استعمال الفضاء و بشكل متساو لجميع الاجزاء و جميع الترددات.