Acoustics & Psychoacoustics
5 + 6
Sound Absorption, Insulation

Dr. Samer Mohsen
MD., ENT, PhD OF Audiology
2021

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 0 .

- بعبارة أخرى , تعكس المادة التي يكون معامل امتصاصها 0 كل الحوادث الصوتية عليها . في الممارسة العلمية , تمتص جميع المواد بعض الأصوات , لذلك هذا هو الحد النظري.
- إذا قامت مادة بامتصاص كل الصوت الساقط عليها يكون معامل الامتصاص الخاص بها هو 1. كما هو الحال مع الحد الأدنى لمعاملات الامتصاص ,تعكس جميع المواد بعض الصوت لذلك هذا هو أيضا حد نظري لذلك , تتراوح معاملات الامتصاص بين 0 و 1

- 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.
- هناك ماصات تم تصميمها لامتصاص التواترات المنخفضة.

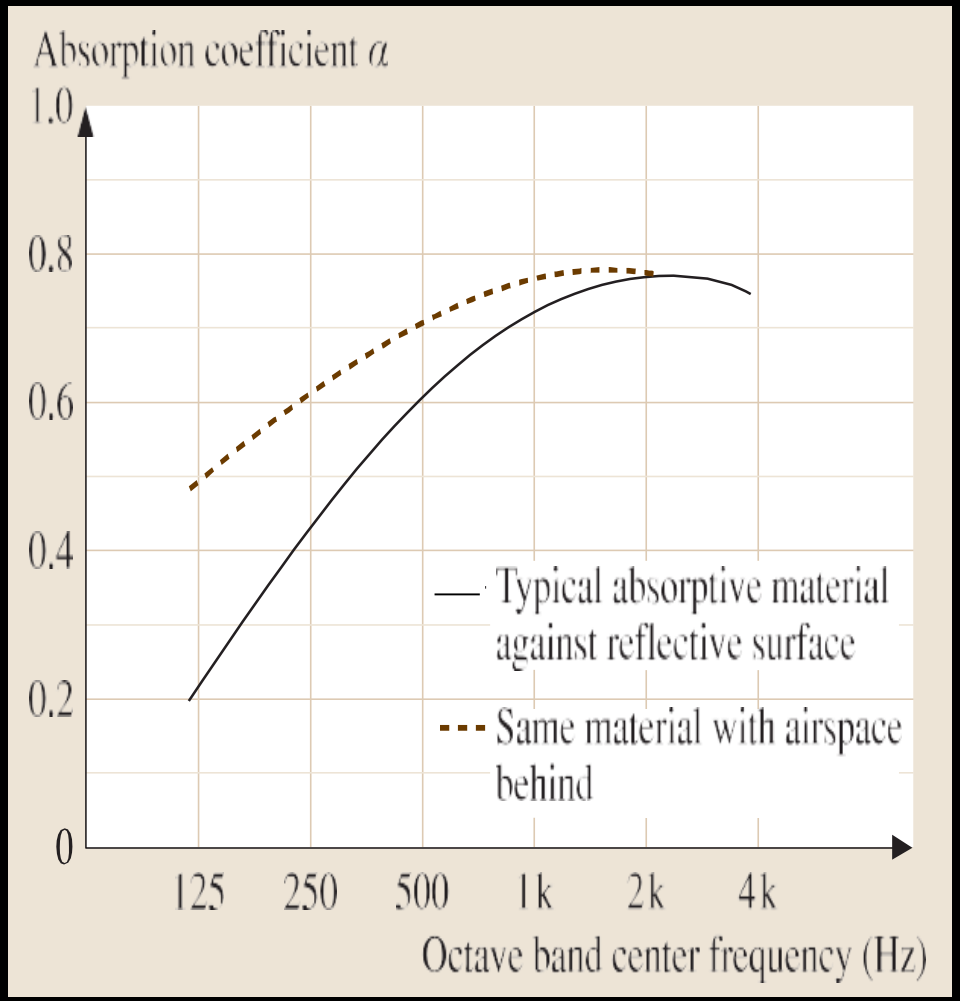
- تم تحديد معامل الامتصاص من قبل الجمعية الأمريكية للاختبار والمواد American society for testing and materials (ASTM)
- معامل تخفيض الضجيج Noise Reduction Coefficient (NRC) هو المتوسط الحسابي (على عكس اللوغاريتمي) لمعاملات امتصاص مادة عند 250 و 500 و 1000 و 2000 هرتز ، ويتم استخادمه لتجنب ذكر معامل امتصاص كل مادة على جميع التواترات.
- الجدول 11.1 : معاملات الامتصاص وقيم NRC للمواد الشائعة .
- لاحظ أن القيم المدرجة في الجدول 11.1 هي لأغراض مرجعية عامة 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 NRC أقل من 0.20 عاكسة وليست ماصة.
- تستخدم المواد ذات معامل الامتصاص المرتفع للتخلص من الصدى ومعاكسة تشكل الأمواج الواقفة Standing waves.

Table 11.1 Absorption coefficients and NRC values for common materials

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

- 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.

الشكل :11.7 التأثير العام لمساحة هوائية بين المادة الممتصة وسطحها المتصاعد :



ـــــ : مادة ماصة نموذجية ضد السطح العاكس

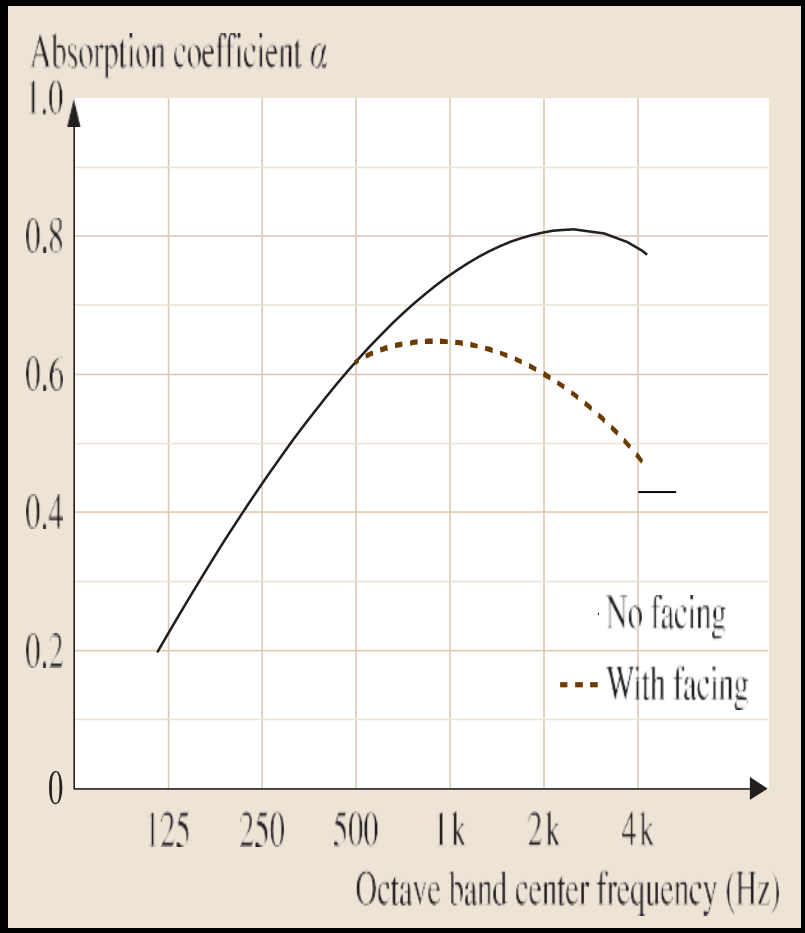
- - - : نفس المواد مع الفراغ الهوائي خلفها

- 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 11.8.
- بالمجمل من المهم جدا وحسب نوع كل مادة تحديد المسافات المفتوحة (الثقوب) والفراغات الهوائية والطبقات المناسبة لطبيعة كل مادة لتصبح اكثر امتصاصا.

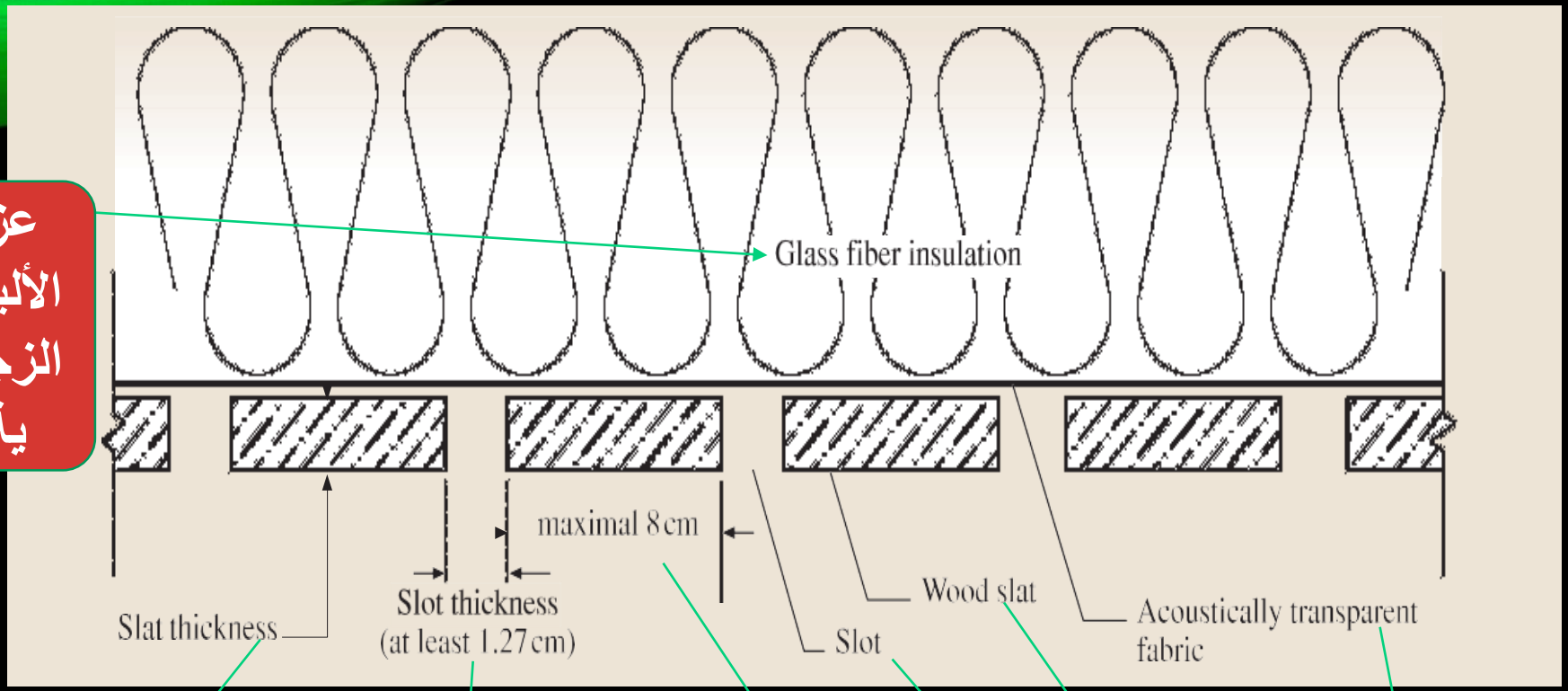
الشكل 11.8 : التأثير العام للواجهات الشفافة غير الصوتية على الامتصاص

ـــ : عدم وجود واجها

---: وجود واجها



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

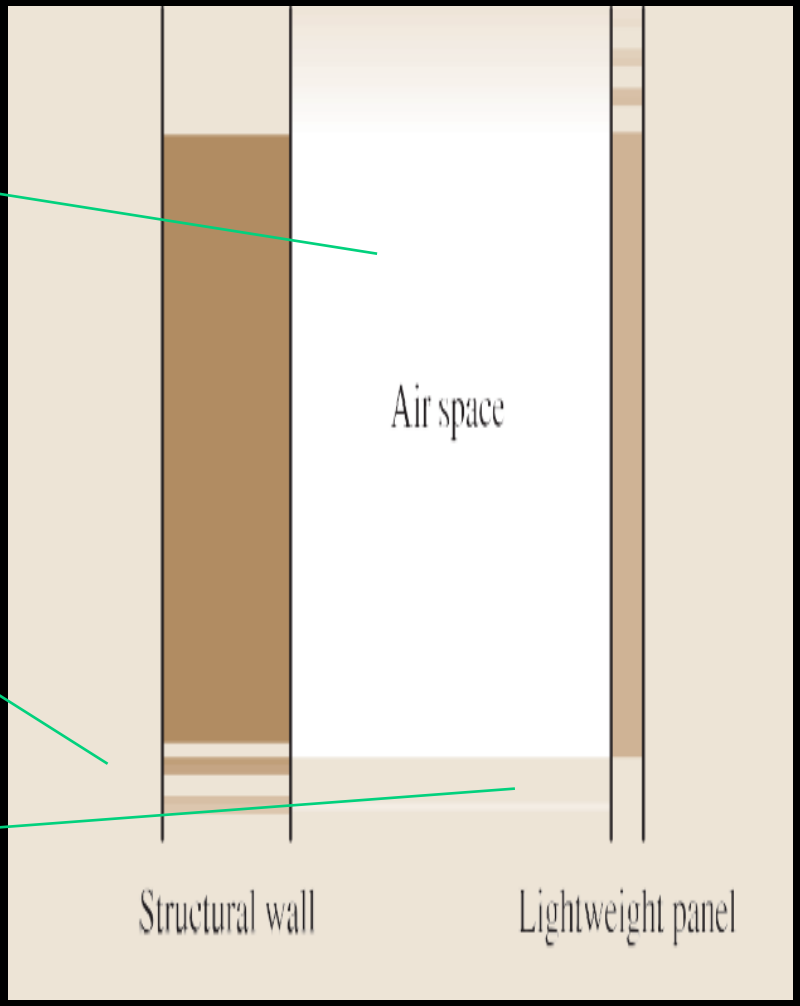
شريحة خشبية

تصميم مقطع عرضي للحاجز الذي يستخدم بمواجهة الجدار الاسمنتي لتعزيز الامتصاص

الفضاء الجوي

الجدار الهيكلي

لوحة خفيفة الوزن



الانعكاسات Reverberation

- يعرف بانه تراكم الصوت داخل الغرفة الناتج عن الانعكاسات المتكررة للأمواج الصوتية على جميع أسطح الغرفة (حيث يستخدم الموسيقين الانعكاسات لانه يترك أثر جميل 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.

الانعكاسات Reverberation

- 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:

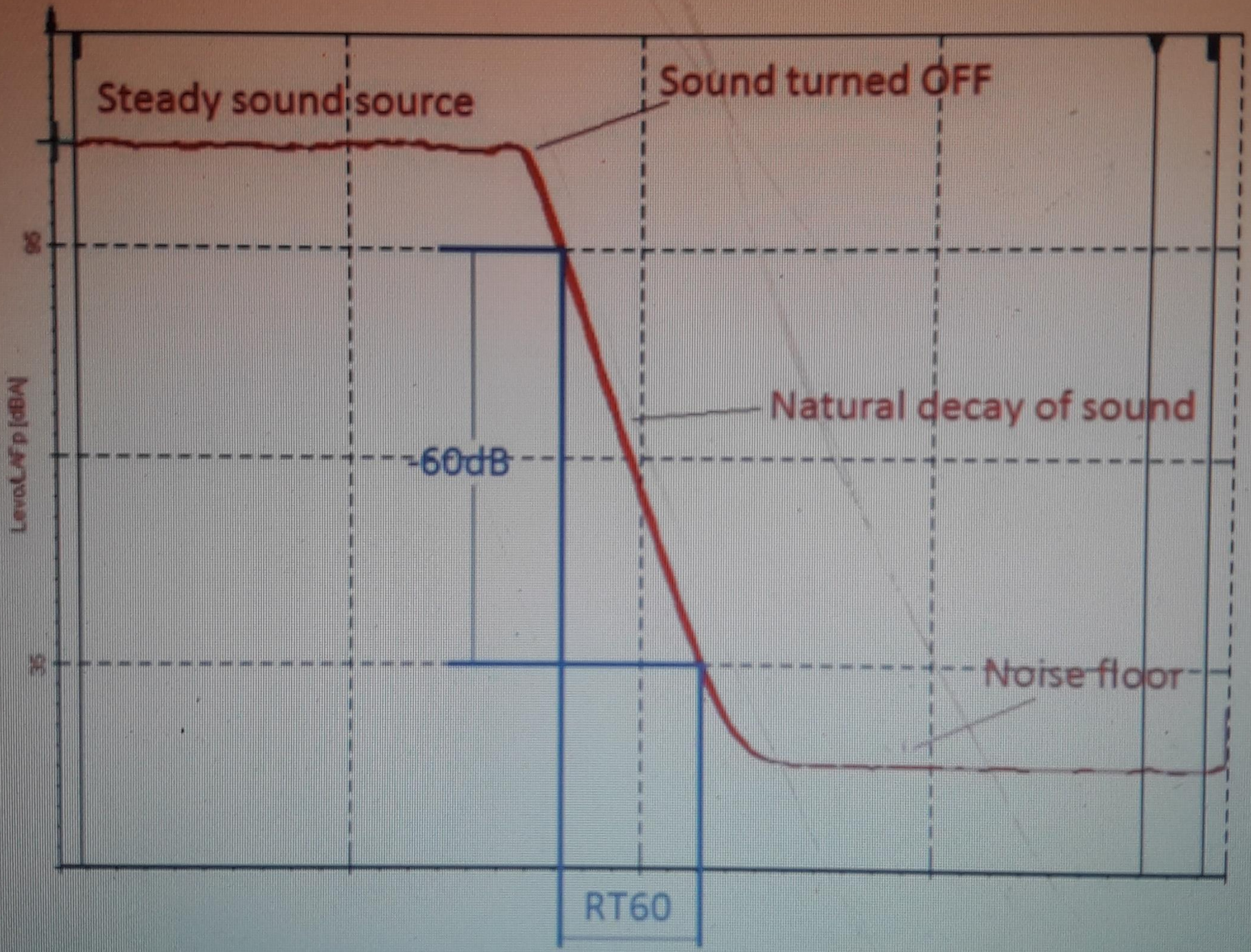
فيزيائيا: هو الوقت الذي يستغرق لتقليل مستوى ضغط الصوت (داخل الغرفة) بما يقابل 60 ديسبل بعد توقف مصدر الصوت.

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,LAFTp [dBA]

قياس الانعكاسات Reverberation

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

قياس الانعكاسات Reverberation

- من الجدول السابق نلاحظ أن :
- RT_{60} المنخفضة مرغوبة للاستخدام بالخطاب العادي

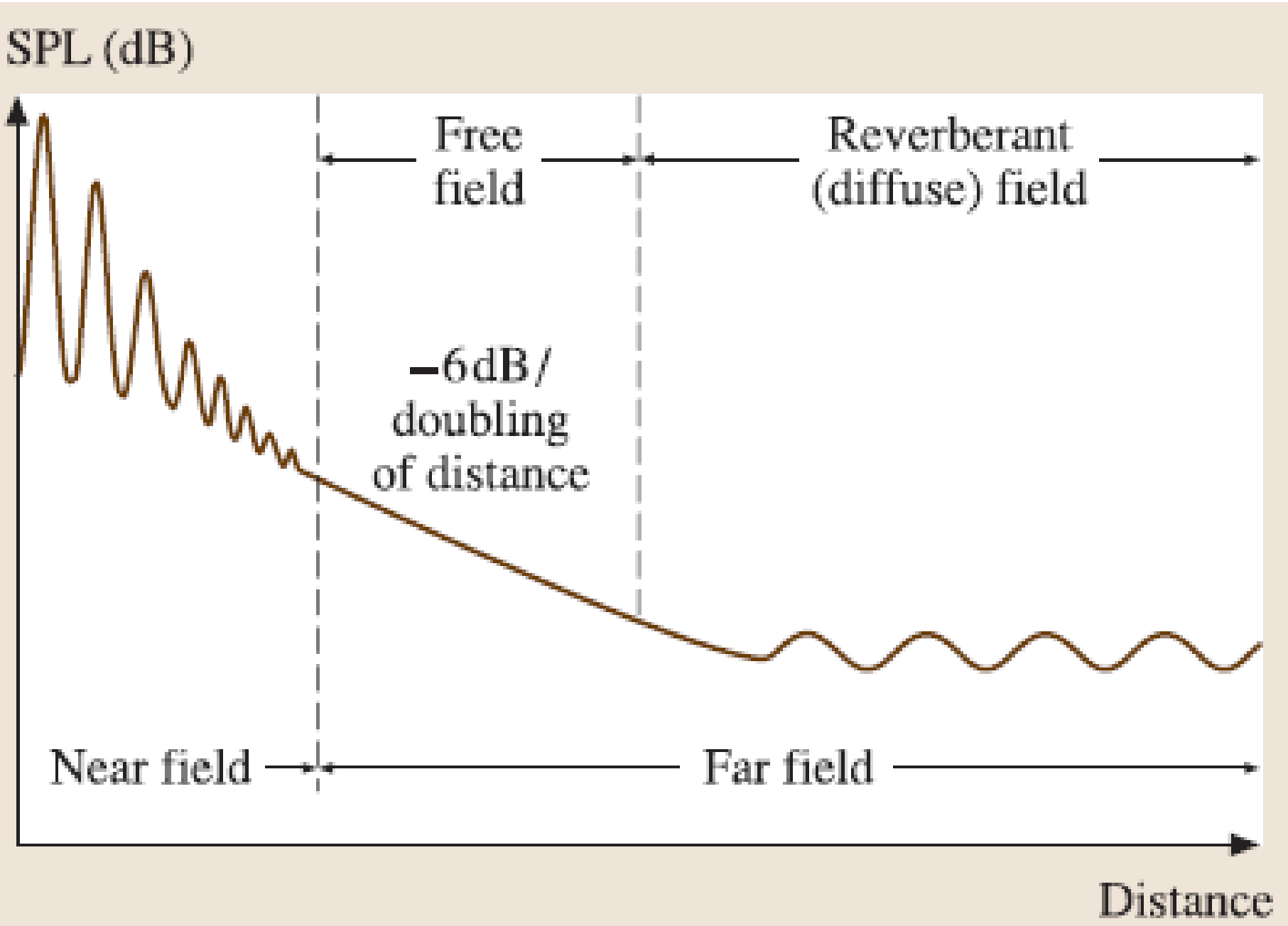
- RT_{60} المرتفعة مرغوبة للاستخدام في استديوهات الموسيقا وقاعات المحاضرات

- 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

حقل الصوت في الغرف

- 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 قياس 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 (dB)
Free field
Reverberant (diffuse) field
−6dB / doubling of distance
Near field
Far field
Distance

Sound Level Meter مقياس مستوى الصوت

مقياس مستوى الصوت Sound Level Meter

- مقياس مستوى الصوت :هو أداة لقياس مستوى ضغط الصوت تم تطويره منذ زمن طويل.
- في البداية، تم إنتاج أداة من شأنها أن تعطي إشارة موضوعية تتعلق مباشرة بـ "استجابة الأذن البشرية" أو على الأقل الاحساس الذاتي للصوت بما يسمى جهارة الصوت loudness.
- ثم تم دمج الفلاتر لتشكيل استجابة التردد للمقياس بحيث تتطابق مع جهارة الصوت كما في استجابة الأذن للنغمة الصافية لذلك كانت وظائف الترشيح هي معكوس منحنيات جهارة الصوت ولكن كانت العقبة الرئيسية أن هذه المنحنيات ليست مستقلة عن منحنيات شدة الصوت.
- كما وجد أن جهارة الصوت ليست وظيفة بسيطة لضغط الصوت نسبة للتردد ولكن لها علاقة أيضاً بالخصائص الفيزيائية للصوت، بما في ذلك توزيع الطاقة الصوتية على وجه الخصوص ضمن الطيف.

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 and averaging 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 :

- التصنيف 0 مقاييس الصوت المستخدمة في المختبرات
- التصنيف 1 مقاييس الصوت التي تستخدم في بيئة متحكم بها صوتياً
- التصنيف 2 مقاييس الصوت المستخدمة للاختبارات السمعية مثل جهاز تخطيط السمع وتخطيط الساحة الحرة لاختبار المعينات السمعية
- التصنيف 3 مقاييس الصوت المستخدمة لقياس الضجيج

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 نظريا ومن الصعب تحقيقه عمليا إذ لابد وأن يعبر جزء ولو بسيط من الصوت ولو على تواتر معين.

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:

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

$$\mathrm{SPL_S} - \mathrm{SPL_L} = \mathrm{TL} + 10 \cdot \log(A_\mathrm{L}/S)$$

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 للقسم بين الاثنين الغرف

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.

- إن معامل خسارة النقل TL لكل مادة عازلة يختلف حسب التواتر وعادة يزداد العزل باتجاه التواترات المرتفعة باستثناء تواتر وحيد يحدث فيه هبوط حادة في معامل خسارة النقل ويسمى بالتواتر الحرج Critical Frequency .
- يعتمد مدى هذا الانخفاض على التخميد الاهتزازي للحاجز العازل والتواتر الذي يحدث فيه يعتمد على كثافة وسمك المادة.
- يسرد الجدول التواترات الحرجة لمواد البناء الشائعة.
- تنخفض الترددات الحرجة عمومًا بنفس معدل زيادة سمك المادة
- يمكن التقليل من تأثيرات الصدفة 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

طرق الحد من الضجيج

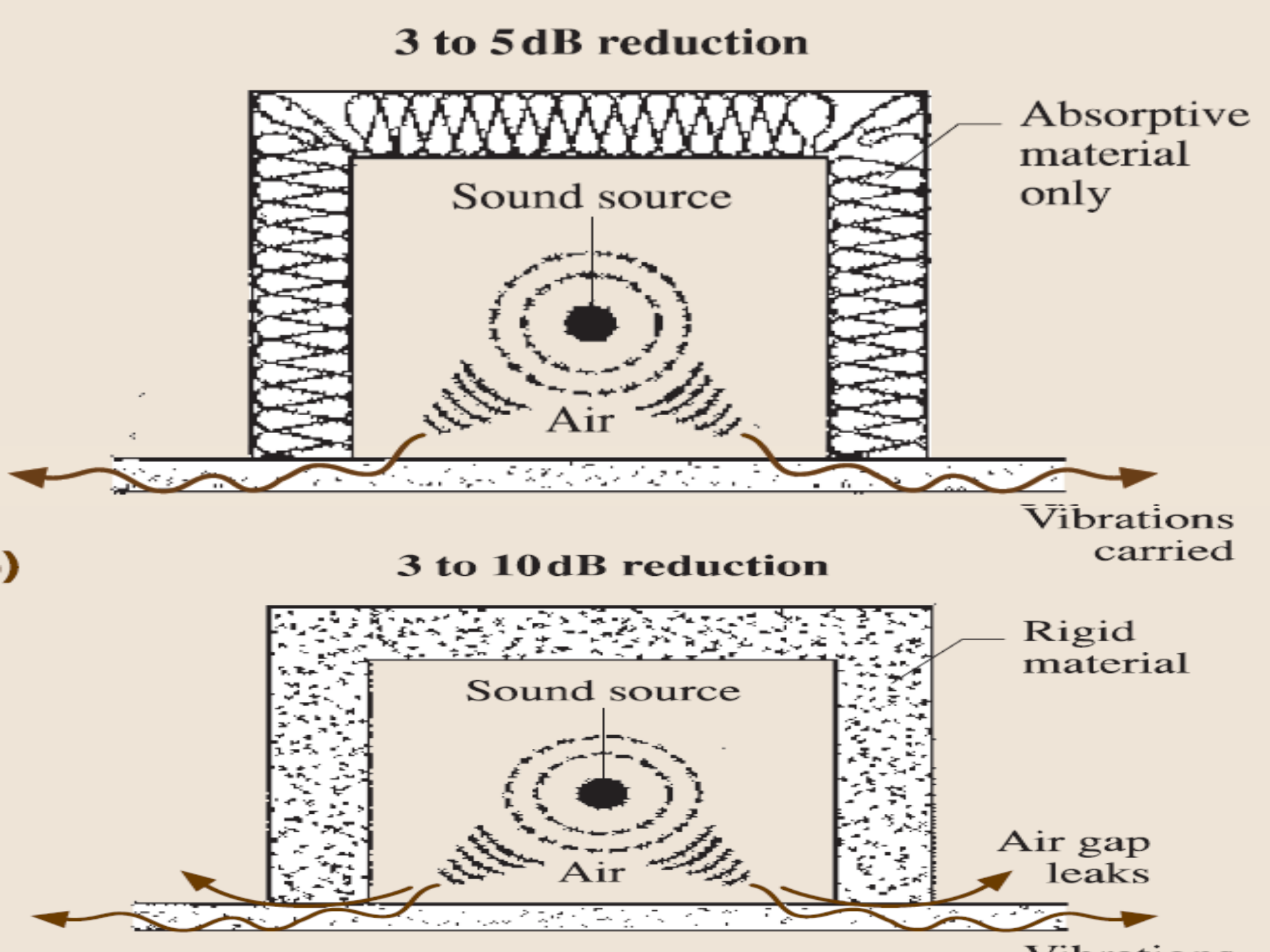
- يوجد لدينا عدة طرق للحد من الضجيج بشكل عام حيث يمكن الحد من الضجيج من مصدره أو عن طريق التعامل مع المسار بين المستمع ومصدر الضجيج أو عن طريق تطبيقات على المستمع.
- اذا تمكنا من الحد من الضجيج من مصدره بالتالي لسنا بحاجة لمراعاة مسار الضجيج أو موقع المستمع، وبالمثل اذا كان بالإمكان التحكم بالضوضاء بشكل 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.

تخطيط المكان space planning

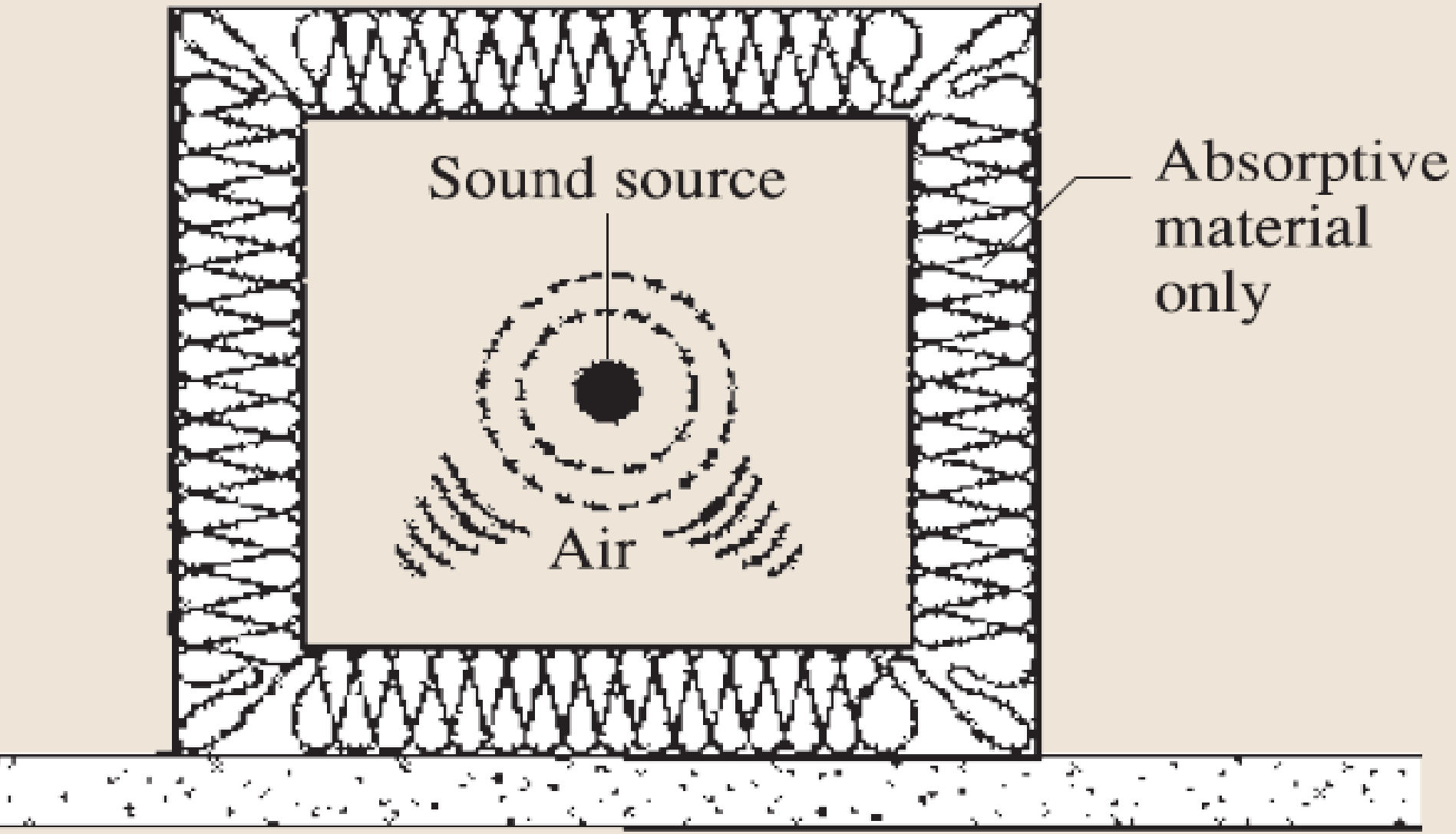
- يعتبر تخطيط المكان من أكثر الطرق فعالية للتحكم بالضجيج في المباني. ينطبق هذا على كل من تصميم الغرف داخل المبنى وموضع المبنى نفسه .
- فيما يتعلق بمصادر الضوضاء الخارجيه يجب تجنب وضع الغرف التي تتطلب الهدوء بمواضع قريبه من مصادر الضجيج، حيث يمكن وضع المساحات التي تحتمل صخبا أكبر مثل دورات المياه وأعمدة 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

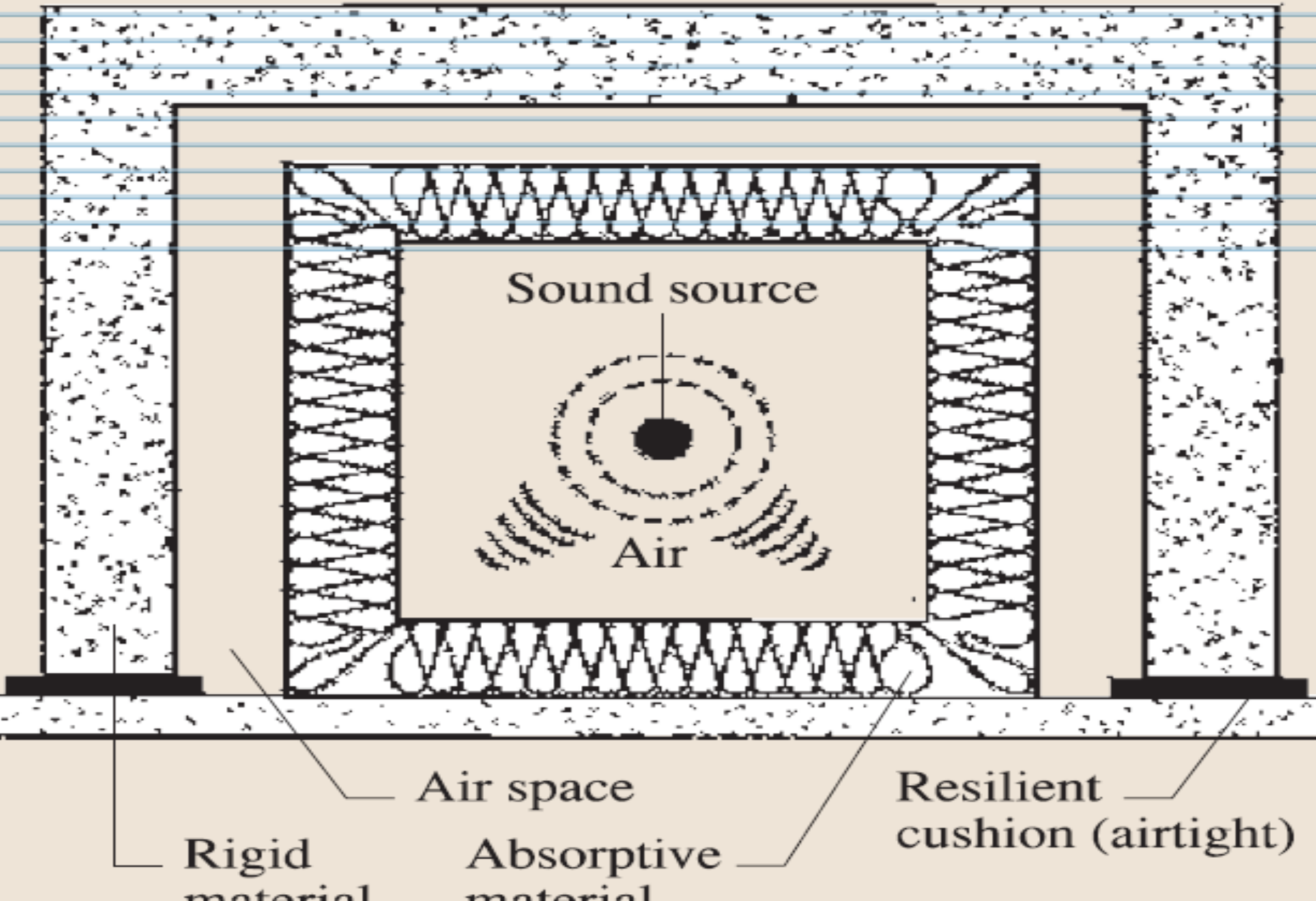
- يمكن للحاويات أن تكون فعاله في تخفيض مستويات الضجيج ولكن يجب التأكد أنها صممت بشكل جيد .
- لدينا عدة نقاط يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم حاويات الضجيج .
- الحاويات يجب أن تكون محيطه بشكل تام لمنبع الضجيج ولا تحوي أي فجوات هواء، التي يمكن أن تؤثر بشكل كبير على فعالية الحاويات.
- يجب عزل الحاوية 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

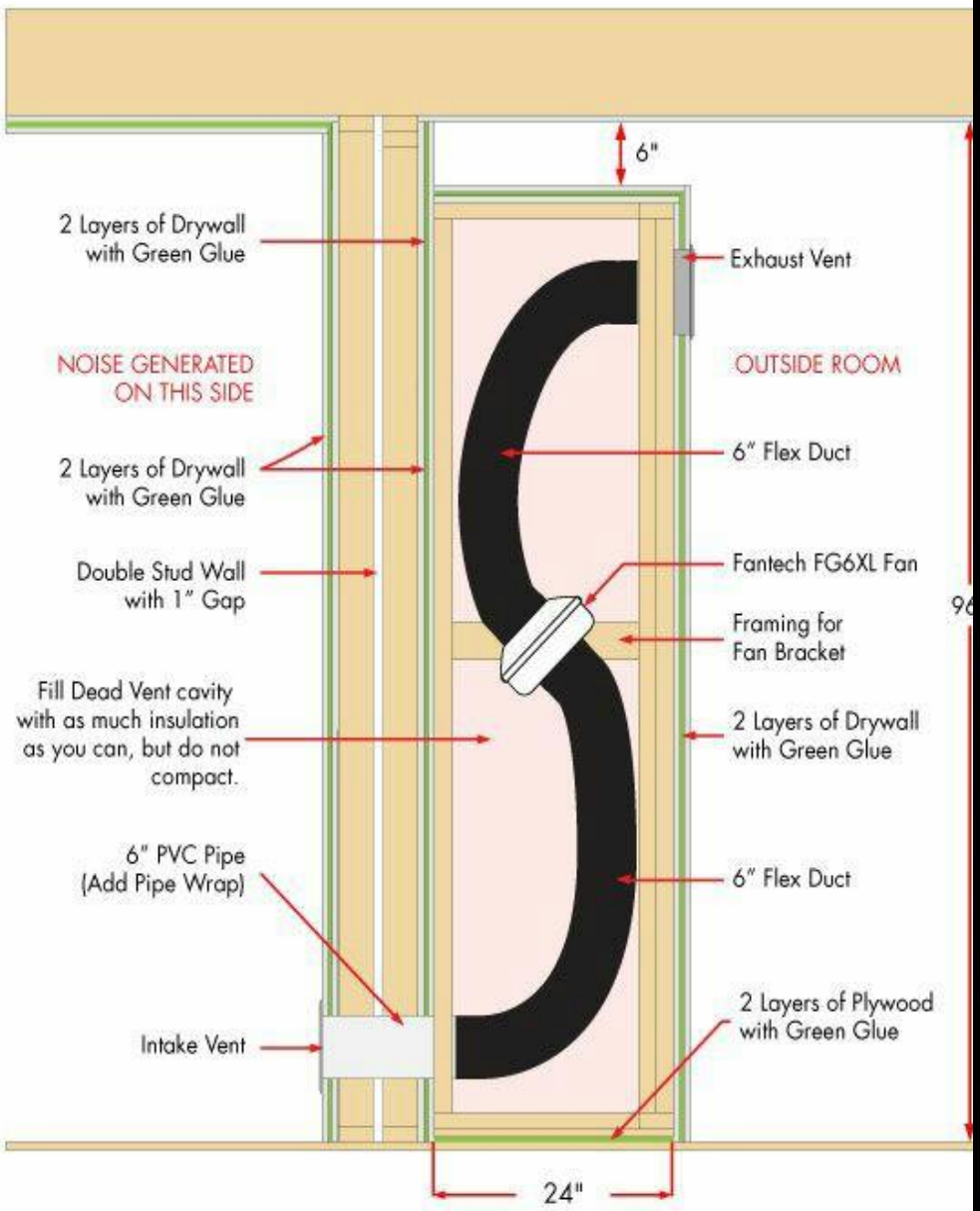
6 to 10 dB reduction



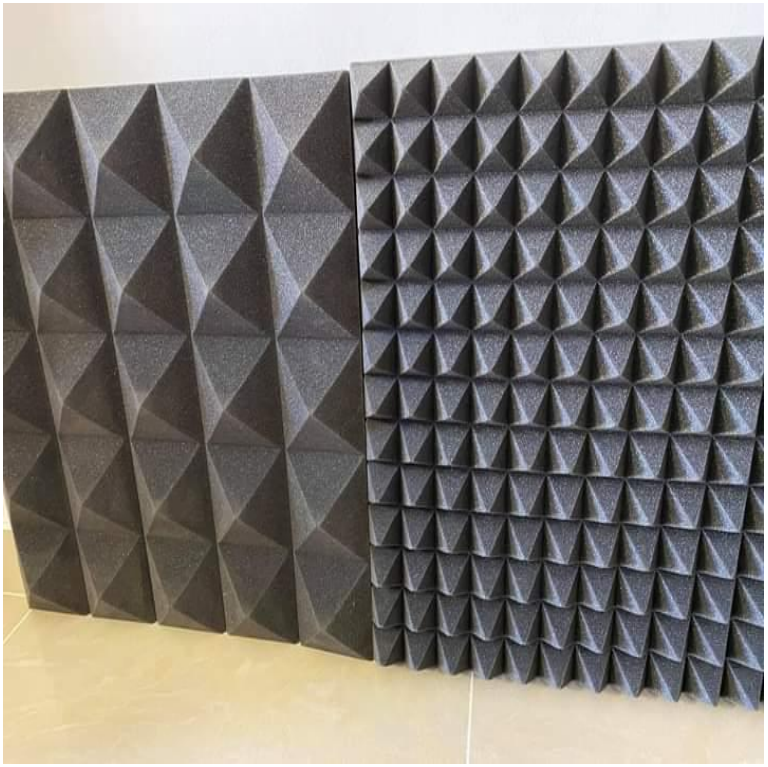
20 or more dB reduction



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؟؟؟