
Lesson 2 了解聲音

基本聲學及聲音心理學

講師：李維國

一、有趣的聲學Acoustics

美是上帝的微笑，音樂是上帝的聲音。

~LouAnne Johnson

什麼是聲學？甚麼是聲音心理學？

- 聲學英文名稱：Acoustics
 - 聲學是研究聲音/聲波傳送的一門科學。
 - 聲音心理學英文名稱：Psychoacoustics
 - 聲音心理學是研究人對聲音感知/生理及心理反應的科學。
-

聲音傳播基本特性

- 聲音經由發聲體的振動所產生，然後再經由空氣所傳導成為聲波。
 - 聲音傳播需靠介質，無空氣或固體作為介質聲波無法傳遞。
 - 聲速： $V=20.06\sqrt{(273+^{\circ}\text{C})}$ ，在常溫下，聲波速度每秒約330公尺。
 - 聲波速度 $V=f\lambda$ ， f 為頻率，單位為赫茲Hertz〈每秒一次稱為一赫茲〉； λ 為波長，單位一般用公尺
-

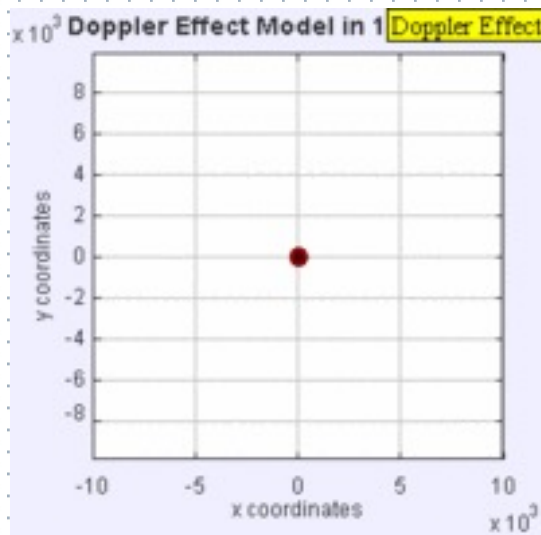
生活中常聽見的都卜勒效應

Q: 為什麼救護車的偶依聲，駛近的時候比較高，開遠的時候比較低？

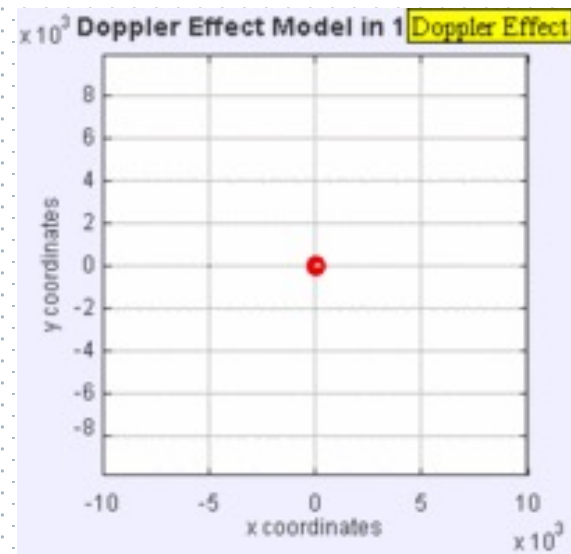
A: 因為駛近的時候邊開邊偶依，波長會變得比較短；用 $V=f\lambda$ 公式計算，可算得聲音頻率 f 會變高；開遠的時候波長會變得比較短，聲音頻率 f 會變低。

這就是有名的都卜勒位移，也稱都卜勒效應。

生活中常聽見的都卜勒效應




<http://aboutdada.com/wp-content/uploads/2015/04/200px-Dopplereffectstationary.gif>



<http://aboutdada.com/wp-content/uploads/2015/04/200px-Dopplereffectsourcemoovingrightatmach0.7.gif>

聲波與聽覺

- 聲波之音壓造成人的聽覺，也就是聲波對人耳產生壓力，所以人可以聽見聲音。
- 人耳所能聽見的聲音範圍：人耳所能聽見的聲音範圍為20Hz-20000Hz，區分如下：
(Psycho-Acoustic Laboratory, Harvard University, 1950)
 - 20-80 Hz: Lower Bass 
 - 80-320 Hz: Upper Bass
 - 〈以上二頻段合稱Bass，也就是低頻〉
 - 320-2560 Hz: Midrange
 - 2560-5120 Hz: Upper Midrange
 - 〈以上二頻段合稱中頻〉
 - 5120-20000 Hz: Treble 〈高頻〉

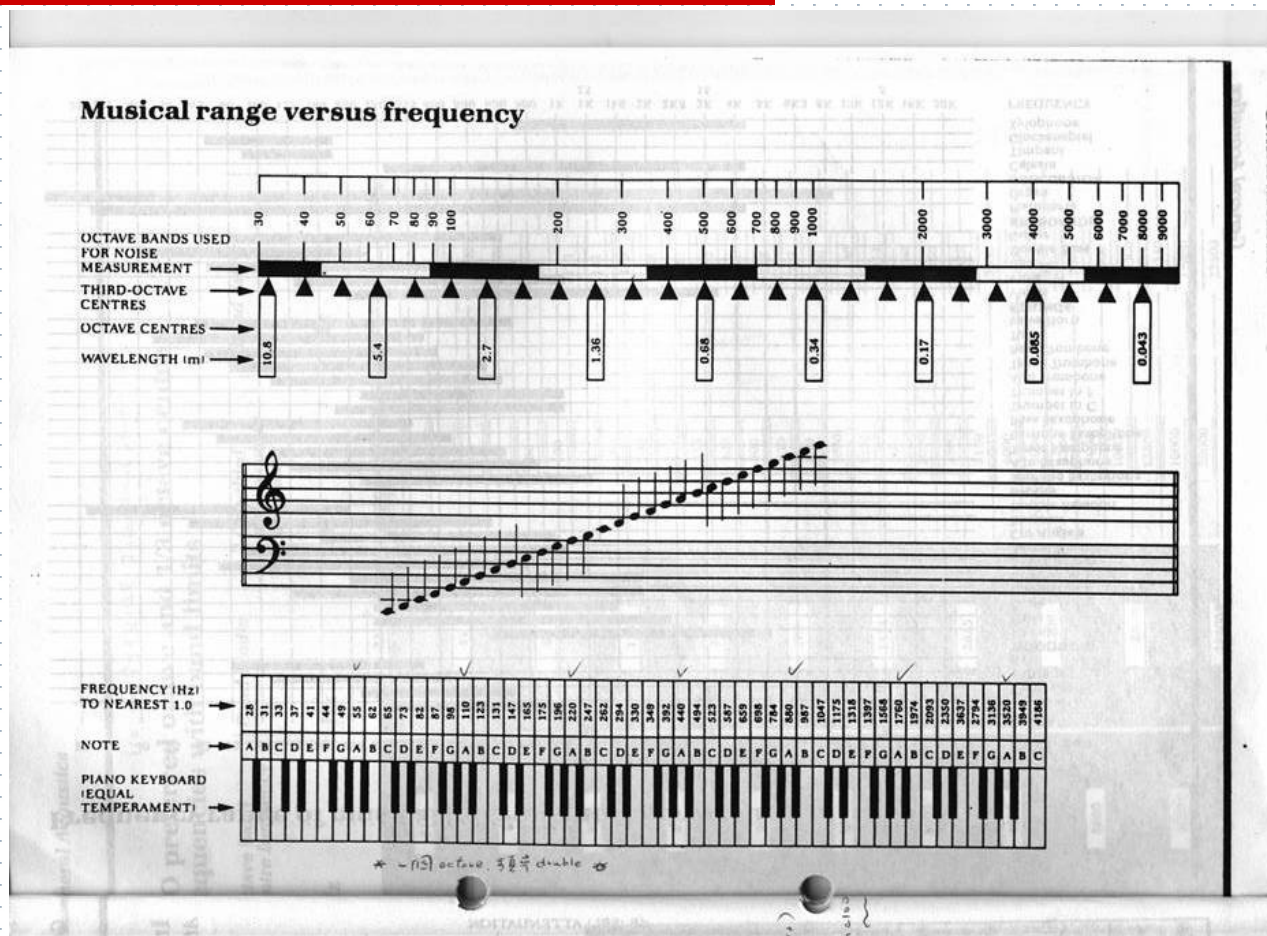
各頻段聲音

- WARNING -

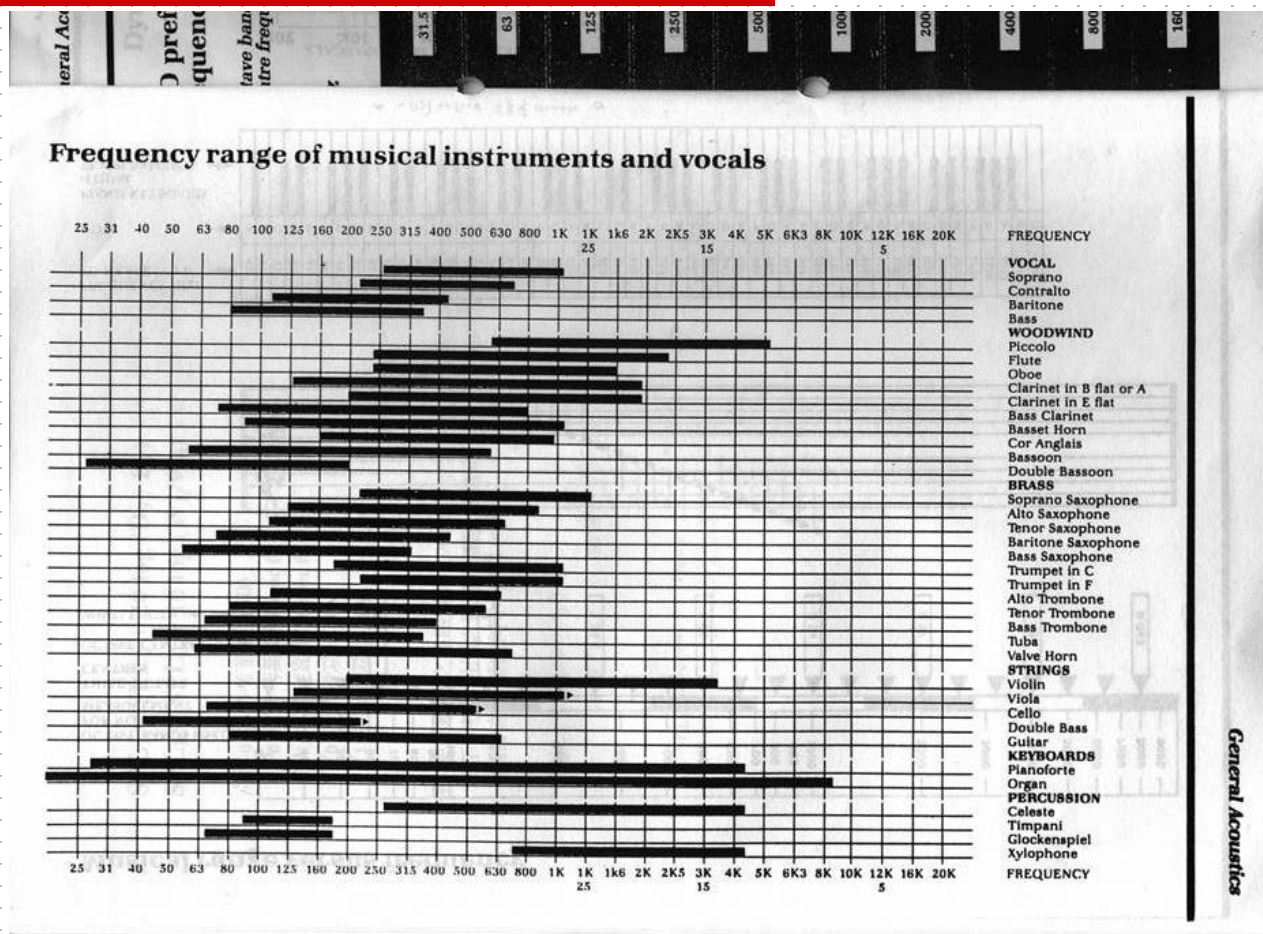
Adjust your volume...



琴鍵與音頻對應圖



各類聲音頻率表



為什麼聲音的音量大小單位用dB來表示？

- 由於人可以聽見的聲波強度由 $20 \mu\text{Pa}$ 〈每平方公尺壓力為一牛頓為一Pa， μ 為百萬分之一〉到 $200,000,000 \mu\text{Pa}$ 左右，若直接以作為單位恐怕相當麻煩，所以我們發明dB SPL。
 - SPL 〈Sound Pressure Level〉：定義人耳能聽見的最小音壓 $20 \mu\text{Pa}$ 為 0dB SPL ，則 $L_p = 20 \log P / P_0$ ， P_0 為人耳能聽見的最小音壓 $= 20 \mu\text{Pa}$ 。
 - 透過這樣的轉換，人耳能聽見的聲波強度就從 $20 \mu\text{Pa}$ 到 $200,000,000 \mu\text{Pa}$ 變成了 0dB SPL 到 140dB SPL ！
-

一些常聽到聲音的SPL

General Acoustics

Typical sound pressure levels

Sound pressure N/m^2	Sound pressure level dB	Typical environment	Average subjective description
200	140	30m from military aircraft at take-off	Intolerable
63	130	Pneumatic chipping and riveting (operator's position)	
20	120	Boiler shop (maximum levels) Ships engine room (full speed)	
6.3	110	Automatic punch press (operator's position) Sheet metal shop - hand grinding Textile weaving room	Very noisy
2	100	Automatic lathe shop Platform of underground station (maximum levels)	
6.3×10^{-1}	90	Printing press room Heavy lorries at 6m Construction site - pneumatic drilling	
2×10^{-1}	80	Kerbside of busy street Office with tabulating machines	Noisy
6.3×10^{-2}	70	Loud radio (in average domestic room)	
2×10^{-2}	60	Restaurant Department Store	
6.3×10^{-3}	50	Conversational speech at 1m General office	Quiet
2×10^{-3}	40	Average suburban area Whispered conversation at 2m Residential area at night	
6.3×10^{-4}	30	Background in TV and recording studios	
2×10^{-4}	20		
6.3×10^{-5}	10		
2×10^{-5}	0	Normal threshold hearing	

$$\text{Sound Pressure level (SPL) or } L_p = 20 \log \frac{P}{P_0} \text{ dB. 此為單位}$$

P = the rms value (unless stated otherwise) of sound pressure in pascals,
 P_0 = the reference pressure of 20 micropascals (μPa) for measurements in air.

一些人耳聽覺的特性

□ Equal Loudness Contours

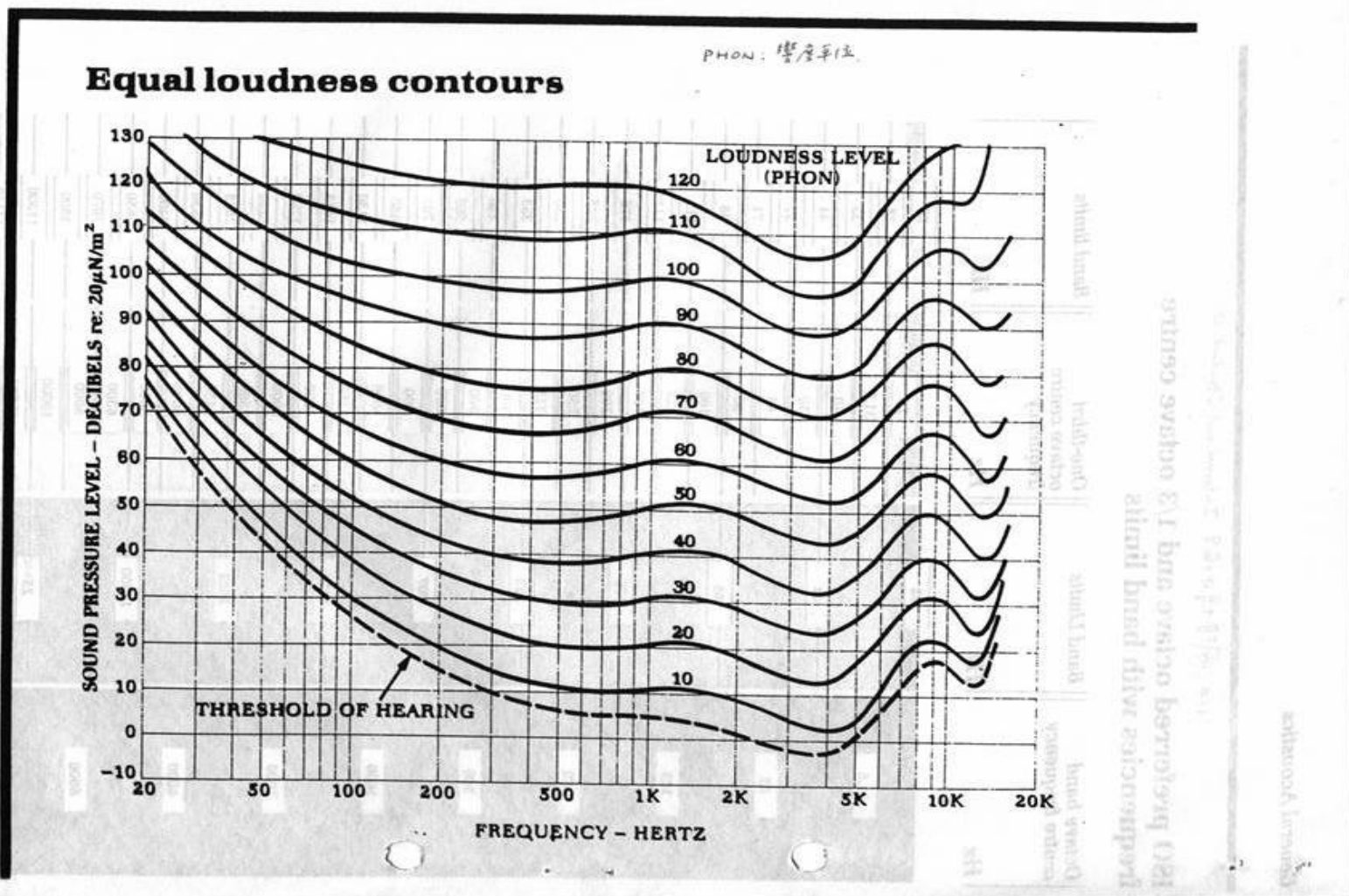
〈等響度曲線〉：

並不是在任何頻段只要有一樣大之音壓都會讓人感覺一樣大聲。人耳天生對低頻及高頻比較不敏感，所以我們繪出了等響度曲線圖。〈響度：Loudness，及人耳感覺聲音大小的程度〉

□ Dynamic Range of Hearing:

人耳可聽見最小聲是0 dBspl，大聲至120 dBspl時則無法忍受，140 dBspl以上將會導致聽覺受損！

等響度曲線

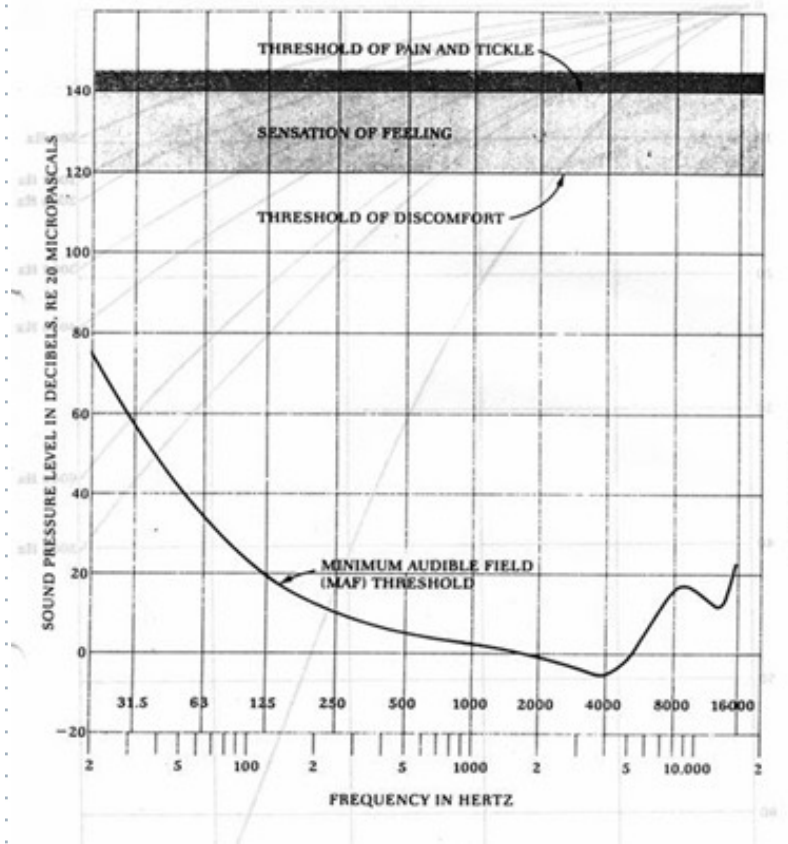


一些人耳聽覺的特性

- 響度（真實聽覺的大小聲）單位phon：定義為一個 1,000 Hz 純音（Pure Tone，係指該頻率的正弦波所發出的聲音），能帶來與該聲音相同響度時，所對應的音壓的數值（以dB SPL 為單位）。舉例來說，一個響度 60 phon 的聲音，和一個 1,000 Hz、60 dB SPL 的純音，有著相同的響度。
 - 由於每個人對於聲音大小的敏感度不同，所以如果播放一個1,000Hz、60dB SPL的聲音，你聽到的響度是60 phon，我聽到的也是60 phon，但是我們感覺到的大小聲不一定一樣。可能我的100 phon音量還可接受，但你覺得已經太大聲。也就是說響度是個人標準，不是60 phon 的聲音，每個人都覺得一樣大聲。
-

聽覺極限圖

Dynamic range of hearing



一些特別的人耳聽覺的特性

□ Haas Effect & Precedence Effect

/哈斯效應和到達效應：聲音的聽覺暫留

是一種雙耳心理聲學效應，聲音延遲對人類方向聽覺的影響要比音量大小的影響大得多。

第一聲發出後在2ms之內發出相同第二聲，聽者會認為只聽到一個聲音，聲音的位置會定位第一個發聲點與第二個發聲點之間。定位點會靠近比較大聲的發聲點。

第一聲發出後在2ms-5ms之內發出相同第二聲，聽者會認為只聽到一個聲音，聲音的位置會定位第一個發聲點。

在50ms以內發出的第二聲，即使比第一聲大聲(大15dB以內)，聽者會認為音量相同。

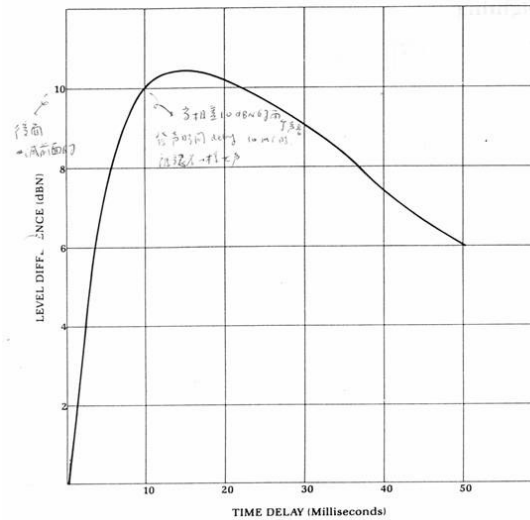
第一聲發出後50ms以上發出相同第二聲，聽者會聽見第二聲。

一些特別的人耳聽覺的特性

- Masking Principle 〈遮蔽原理〉：
相近且不同頻率的聲音同時發出時，人耳只能聽到最大聲的頻率，而會聽不見其它音量較小頻率的聲音，這稱為遮蔽原理Masking Principle。遮蔽原理為MP3壓縮的原理。
-

Haas Effect

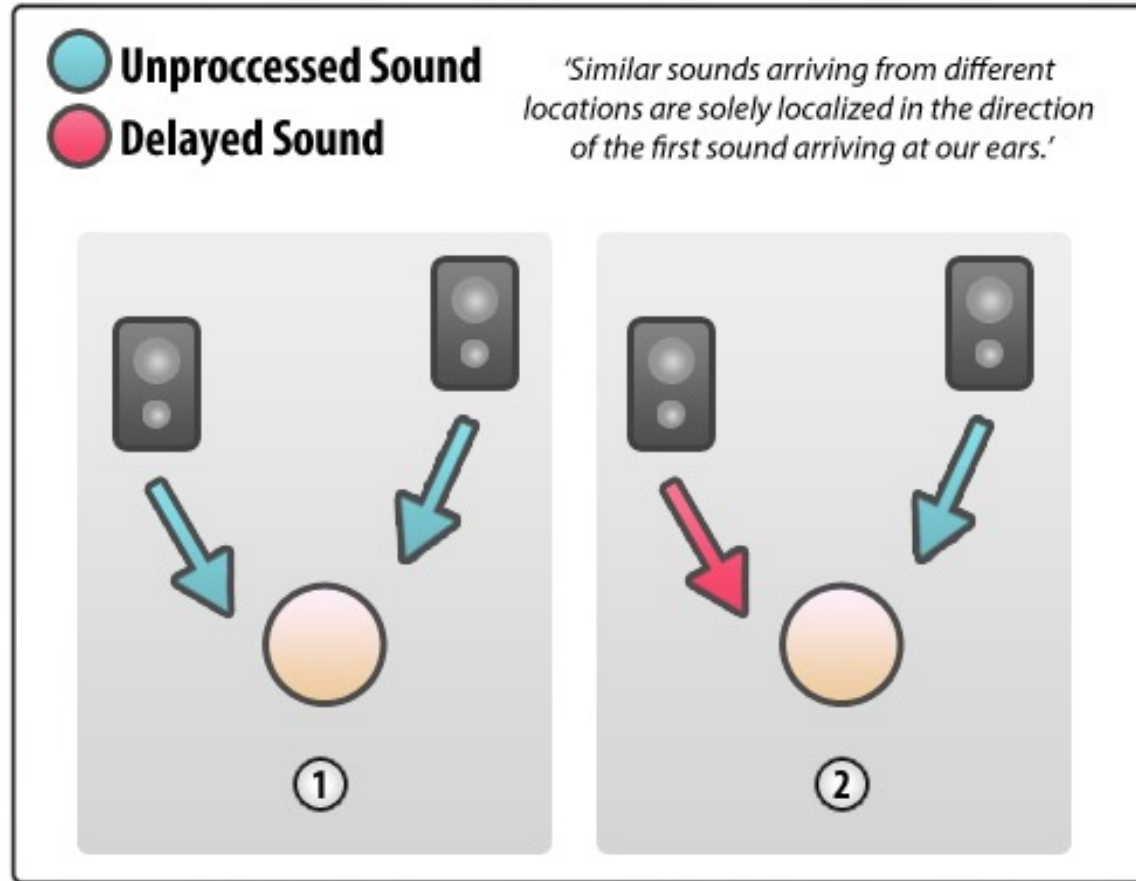
Haas effect 哈斯效应: (50ms以内)



Dependence of the level difference between secondary and primary sound signals upon the time delay, when they are judged to be equally loud

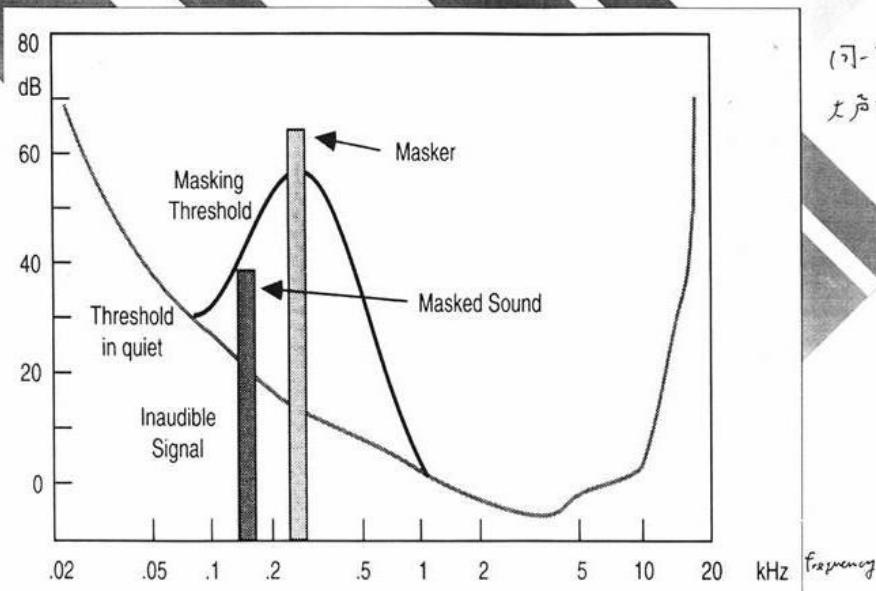
See also Effects of time delay, Percentage disturbance and Speech integration and intelligibility - graphs in the Sound System Engineering section.

Haas Effect



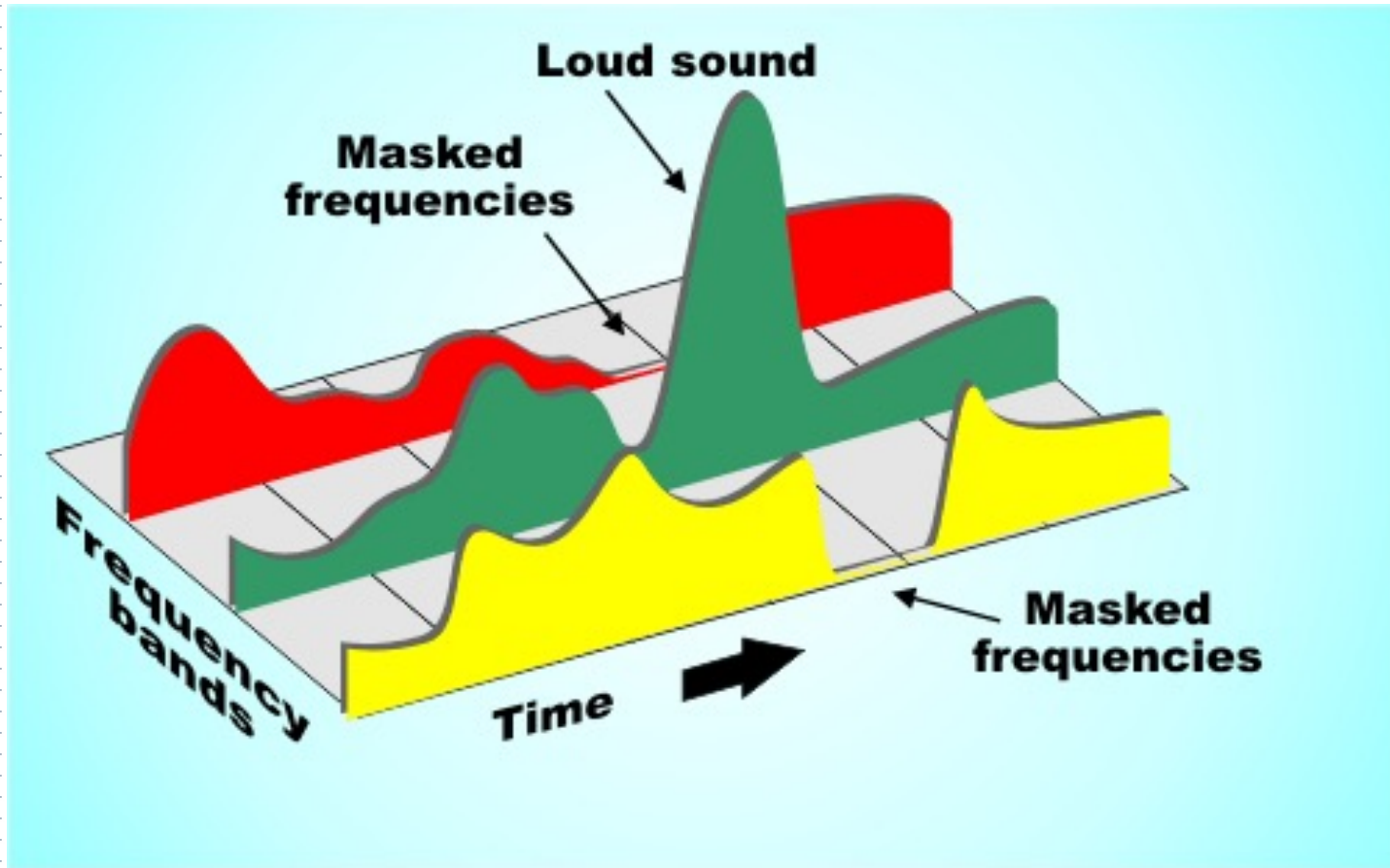
Masking Principle

壓縮曲線 (Frequency Domain)



Steven Cheng Linfair Engineering & Trading Co.

Masking Principle



單音Mono VS 立體聲Stereo

- 單聲道Mono：
僅有一個音源，人耳能分辨遠近大小，但不能分辨左右。
 - 立體聲Stereo：
聲音由左右兩個聲道播出，人耳不只能分辨遠近，也能分辨左右。
人類發明的第一種聲音的沈浸式體驗！
 - 上課講話單聲道就足夠，但是播音樂就至少要立體聲才會好聽。
-

This is MONO...



THIS IS STEREO...



W

Yaangad

Sangpu's
Work 2016
Special Vinyl Edition 2016

爵士 萨克斯
编曲: 桑普
演奏: 桑普
录音: 桑普
混音: 桑普

- 入围第 17 届中国国际爵士乐大赛大奖入围
- 2017 金曲奖
- 第 17 届中国国际爵士乐大赛
- 第 17 届中国国际爵士乐大赛
- 第 17 届中国国际爵士乐大赛

Sangpu
Kambam
Music
桑普
音乐

TIME OUT ^{Featuring} TAKE FIVE

BLUE RONDO A LA TURK

THE DAVE BRUBECK QUARTET

STRANGE MEADOW LARK • THREE TO GET READY • KATHY'S WALTZ • EVERYBODY'S JUMPIN' • PICK UP STICKS

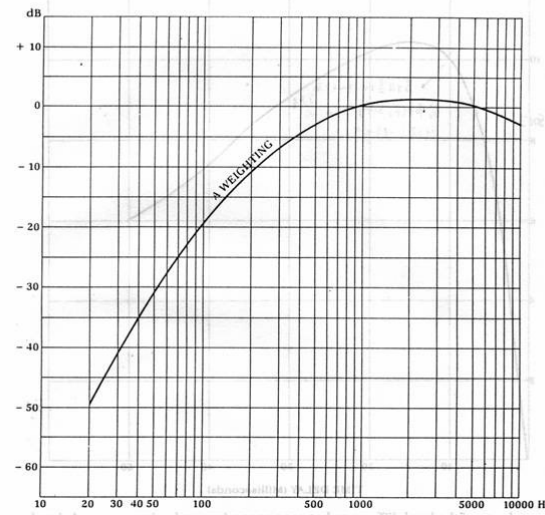


聲音的等響度校正

- A Weighting 〈A加權〉：
由於人耳對各頻段響度敏感度不一致，為了將各頻段聲音的SPL修正成為相當於人耳聽覺的大小聲感受度，發明了A加權曲線A Weighting Curve。經A加權後之dB值稱為dBA。
 - White Noise & Pink Noise：
White Noise 〈白噪〉：即各頻段等音壓之噪音。
Pink Noise 〈粉紅噪〉：即各頻段等響度之噪音。Pink Noise常用於調校等化器。
-

A 權重圖

A weighting



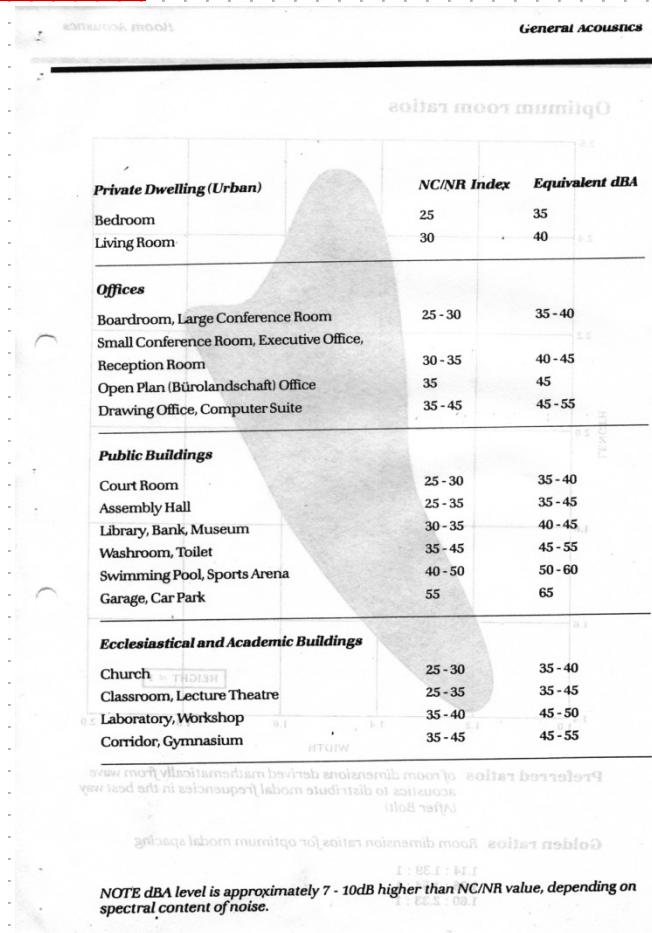
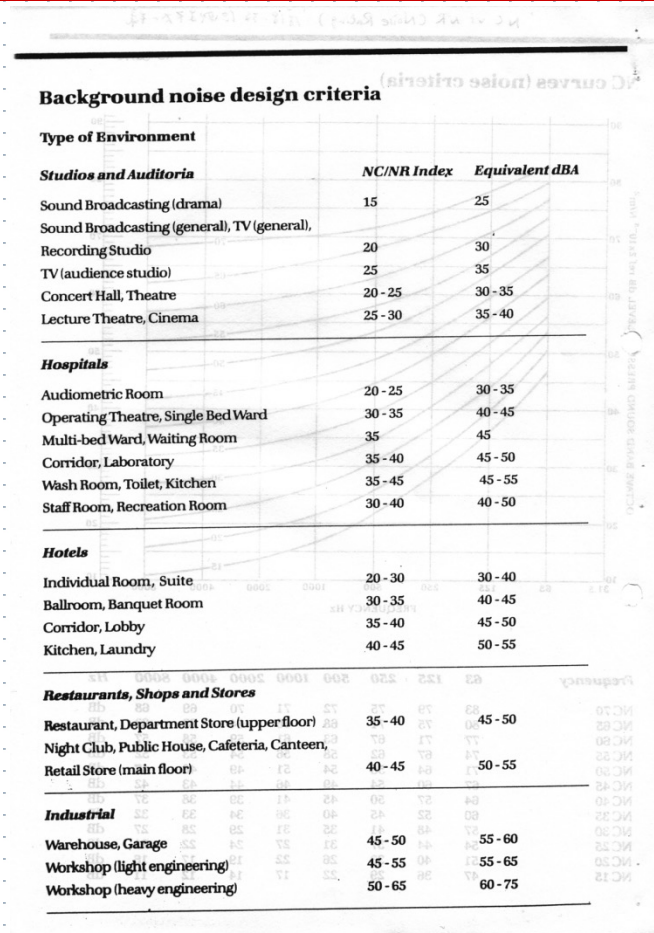
Frequency Hz	A Weighting dB	Frequency Hz	A Weighting dB	Frequency Hz	A Weighting dB
10	-70.4	160	-13.4	2500	+1.3
12.5	-63.4	200	-10.9	3150	+1.2
16	-56.7	250	-8.6	4000	+1.0
20	-50.5	315	-6.6	5000	+0.5
25	-44.7	400	-4.8	6300	-0.1
31.5	-39.4	500	-3.2	8000	-1.1
40	-34.6	630	-1.9	10000	-2.5
50	-30.2	800	-0.8	12500	-4.3
63	-26.2	1000	0	16000	-6.6
80	-22.5	1250	+0.6	20000	-9.3
100	-19.1	1600	+1.0		
125	-16.1	2000	+1.2		

X 註：A 權重係根據一般人的聽覺特性而設計，此圖係根據 ISO 226 標準，單位 dB

噪音的標準

- NC 〈Noise Criteria〉 Curves:
針對人耳對噪音之敏感度及可接受度，制定出噪音標準，
稱為NC。
-

一些常見地點的噪音標準值



聲音的傳遞1

聲音行進時遇到其他介質時之反應：

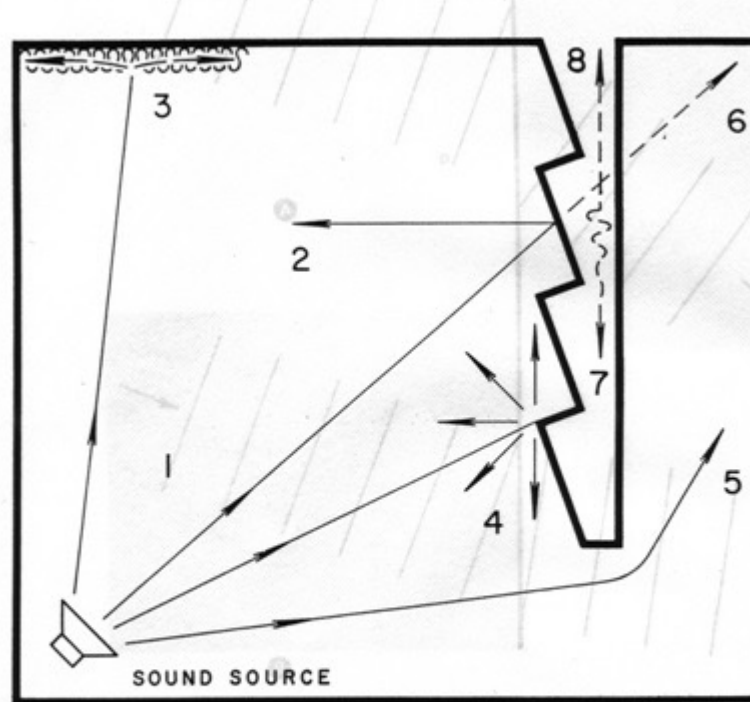
- 折射：頻率不變，波速及波長改變
 - 吸收：遭介質吸收
 - 反射：沿入射角=反射角之路線繼續行進。
 - 擴散：其實是由很多的反射所構成
-

聲音的傳遞2

聲音傳送至人耳的過程：

- ❑ 直接音：Direct Sound
 - ❑ 初期反射音：也就是Echo的部份。
 - ❑ 殘響：無法分辨聲音原貌及是從那裏傳來的部份。
 - ❑ RT60：Reverberation Times to 60-dB decay：聲音減弱60dB所需的時間，一般被認為殘響時間。
-

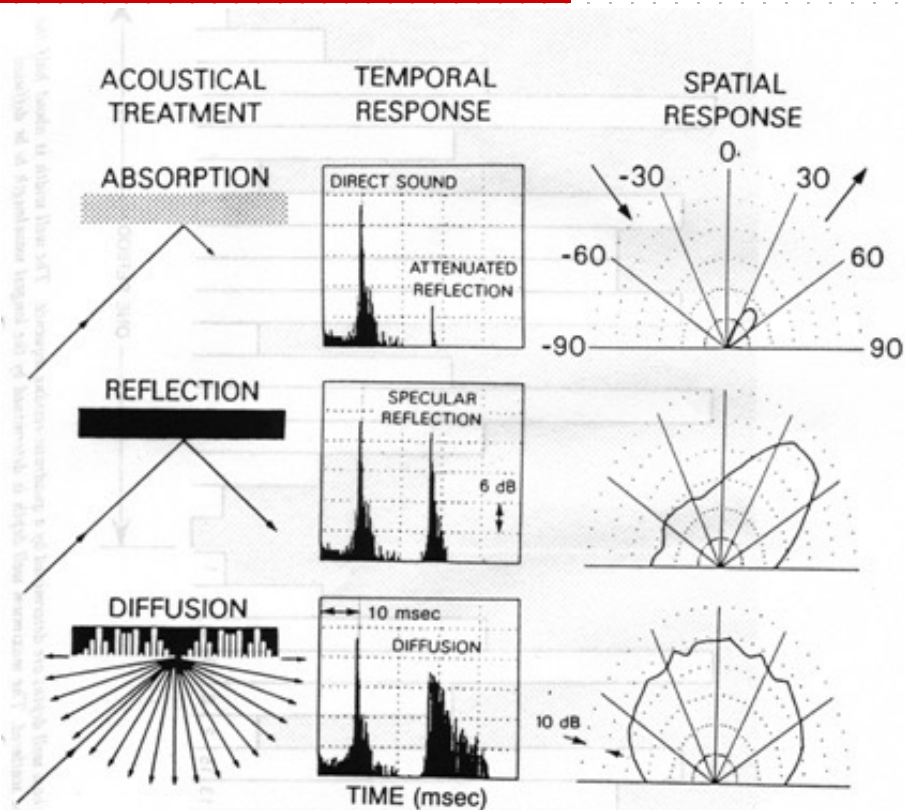
聲音傳播示意圖1



Behavior of sound in an enclosed space: (1) incident or direct sound; (2) reflected sound; (3) sound absorbed by surface treatment; (4) diffused or dispersed sound; (5) diffracted or bent sound; (6) transmitted sound; (7) sound dissipated within the structure; (8) sound conducted by the structure.

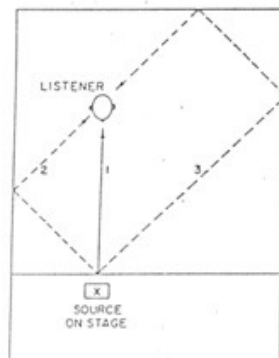
PLAN

聲音傳播示意圖2



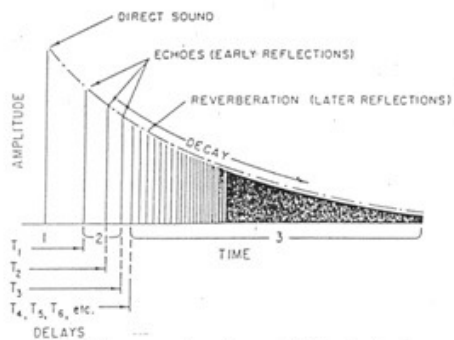
A comparison of the three physical principles of absorption, reflection, and diffusion. Courtesy of Peter D'Antonio, RPG Diffusor Systems, Inc., and the Audio Engineering Society, Inc.

聲音傳播示意圖3



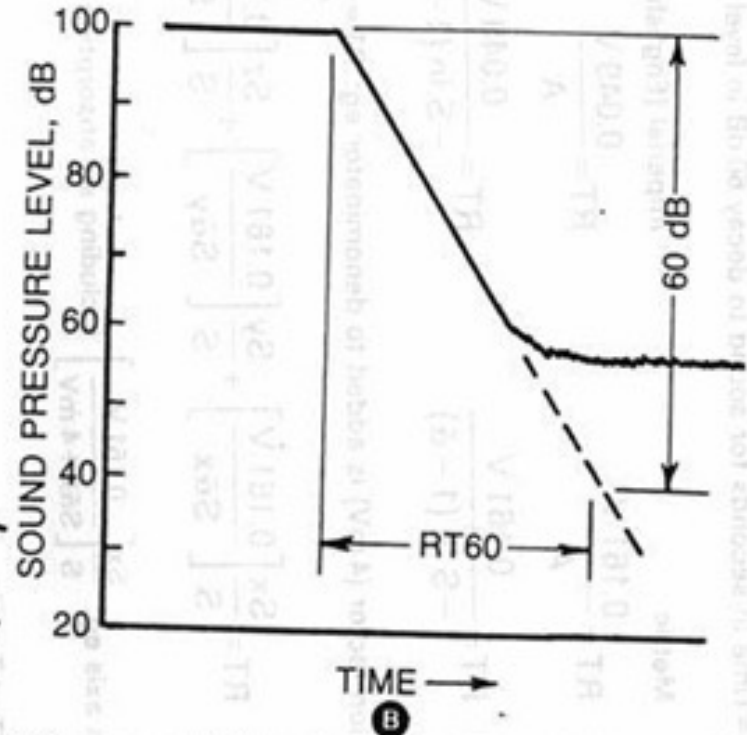
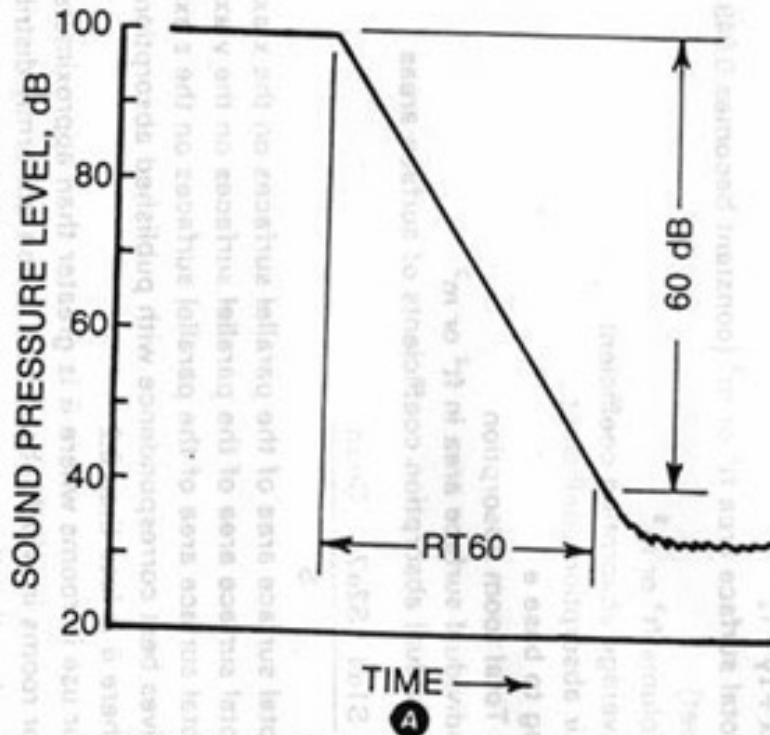
Echo and reverberation within a room. The listener hears a combination of:

1. Direct sound.
2. Early reflections (echoes).
3. Later reflections (reverberation).



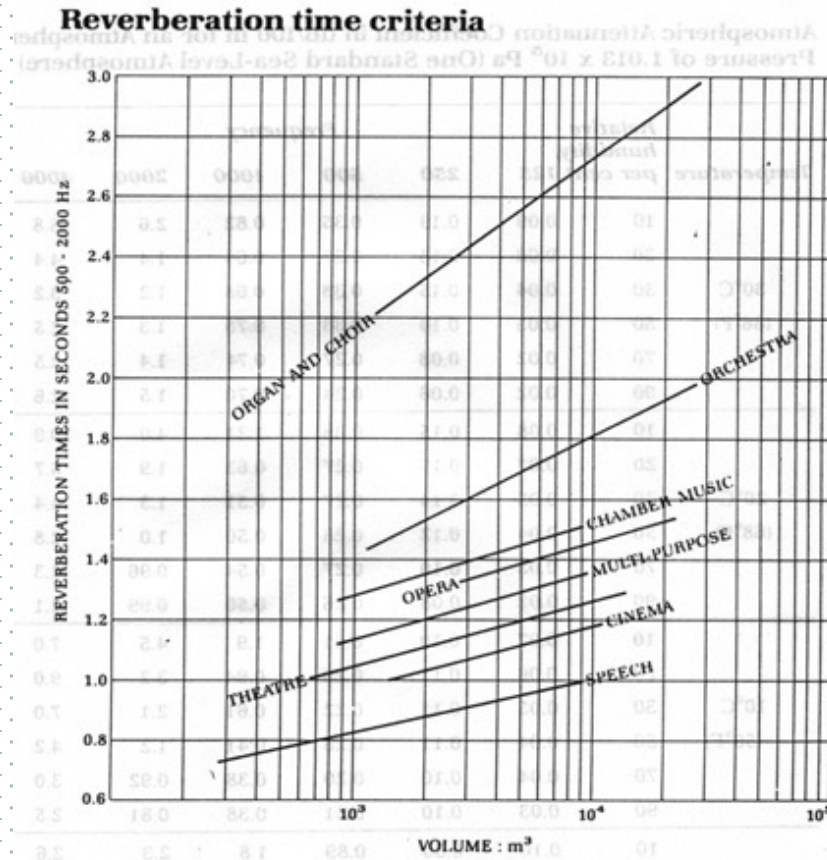
Pictorial representation of a sound field, showing direct sound, echoes, and reverberation.

RT-60示意圖



The length of the decay is dependent on strength of the source and the noise level. (A) Rarely do practical circumstances allow a full 60-dB decay. (B) The slope of the limited decay is extrapolated to determine the reverberation time.

殘響標準圖

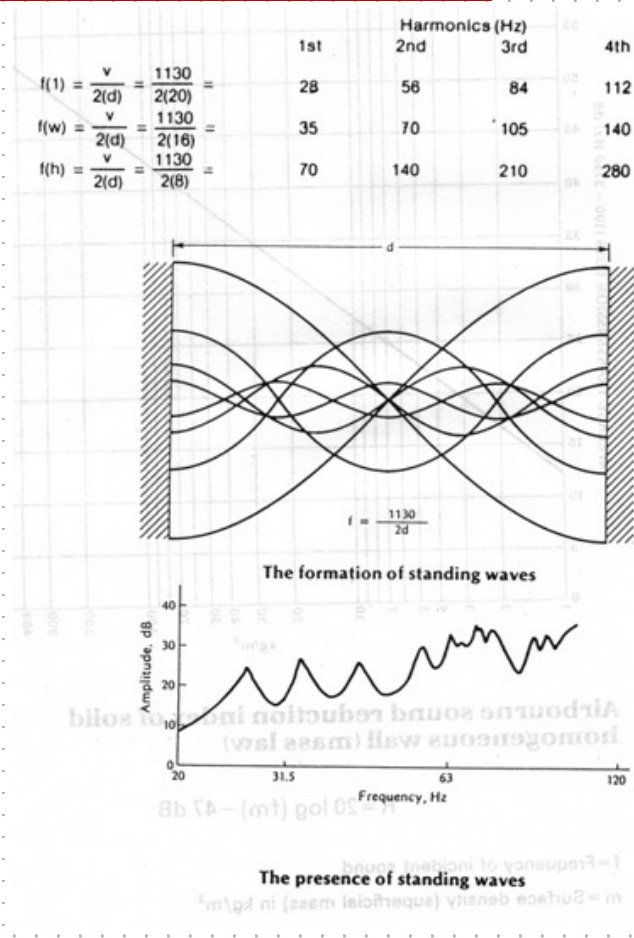


駐波/Standing Wave

駐波〈Standing Waves〉：

當聆聽空間設計不良，會導致某頻率聲波在空間中往復反射而形成駐波。

駐波示意圖



Q & A
