



جمهوری اسلامی ایران
وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی
معاونت روابط کار

عوامل زیان آور فیزیکی در محیط کار (سروصدا)



مرکز تحقیقات و تعلیمات حفاظت فنی و بهداشت کار
نام استاد: دکتر غلام نیا
سال 1392

بسم الله الرحمن الرحيم

No Noise is Good Noise!



تعاریف اساسی

□ موج Wave

موج عبارتند از آشفتگی یا برهم خوردن تعادل بصورت منظم یا نامنظم. راهی برای انتقال انرژی است. امواج بطور کلی به دو دسته هستند:

۱. امواج مکانیکی

۲. امواج الکترومغناطیسی

امواج مکانیکی

□ این امواج از تغییر مکان قسمتی از یک محیط کشسان نسبت به وضعیت تعادل خود ناشی می شود. این امر به نوبه خود سبب نوسان محیط می شود. به علت خواص کشسانی محیط، آشفتگی از لایه ای به لایه دیگر منتقل می شود. نتیجه این عمل آشفتگی محیط است که موج نامیده می شود. در این پدیده کل محیط همراه موج منتقل نمی شود بلکه فقط اجزای محیط در مسیرهای محدود یا در راستای معین نوسان می کند نظیر مشاهده اشیاء کوچک شناور در آب و مشاهده موج آن.

□ برای ایجاد و انتقال امواج مکانیکی نظیر صدا و ارتعاش وجود محیط مادی ضروری است.

اشکال امواج مکانیکی

۱. موج عرضی: حرکت ذرات ماده حامل موج بر راستای انتشار موج عمود باشد نظیر مشاهده یک طناب قائم بصورت کششی به عقب و جلو یا مشاهده امواج آب

۲. موج طولی: حرکت ذرات ماده حامل موج مکانیکی در راستای انتشار موج است. نظیر مشاهده یک فنر قائم بصورت کششی از بالا و پایین و امواج صوتی
۳. امواج پیچشی: ترکیبی از دو شکل امواج طولی و عرضی.

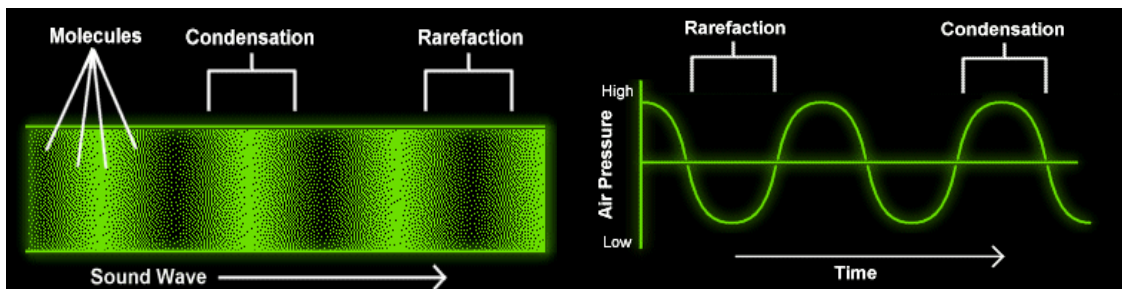
What is 'sound'?

امواج صوتی شکلی از امواج مکانیکی طولی هستند که عموماً در هوا منتشر شده و در برخورد با گوش انسان احساس شنیدن را ایجاد می کنند.

Sound is simply density fluctuations traveling through a substance (air, water, etc.)

Sound - any pressure variation in air or water of other medium

وقتی در طول زمان منحنی آن رسم می شود، این نوسانات چگالی شکل موج را ایجاد می کنند.

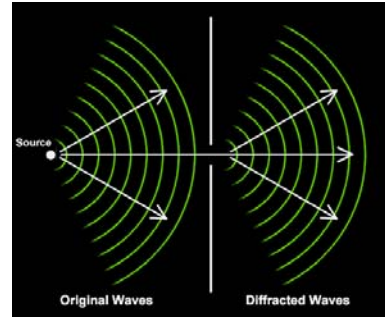


Reflection بازتاب

یک موج صوتی وقتی تحت زاویه ای معینی به یک سطح برخورد می کند قسمتی از انرژی آن انعکاس می یابد. میزان انعکاس بستگی به مشخصات محیط دوم دارد. در محیط های جامد با افزایش چگالی میزان انعکاس افزایش می یابد ولی در اجسام نرم و متخلخل میزان انعکاس کمتر و جذب صوت بیشتر است.

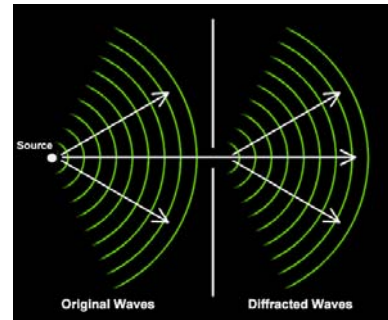
Diffraction تفرق

امواج صوتی در برخورد با لبه های اشیاء منحرف و پخش می شود. این بدان معنی است که مسیر عبور صوت الزاماً مستقیم نیست.



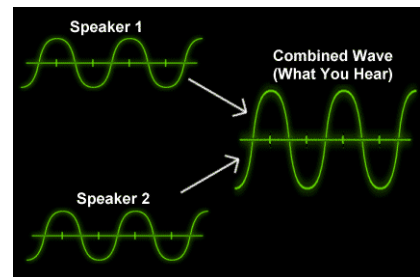
تفرق Diffraction

امواج صوتی در برخورد با لبه های اشیاء منحرف و پخش می شود. این بدان معنی است که مسیر عبور صوت الزاما مستقیم نیست.



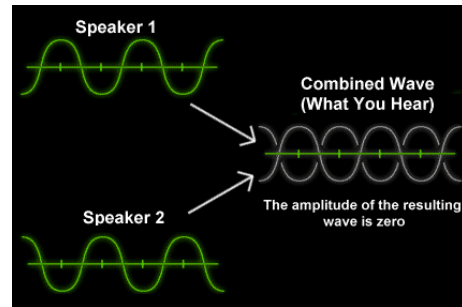
تقویت صوت Amplification

ترکیب دو صدا مشخص و تولید یک صدای با شدت بالاتر از هر دو



کاهش صدا Cancellation

ترکیب دو صدا و ایجاد صوتی با شدت کمتر از آن دو صدا

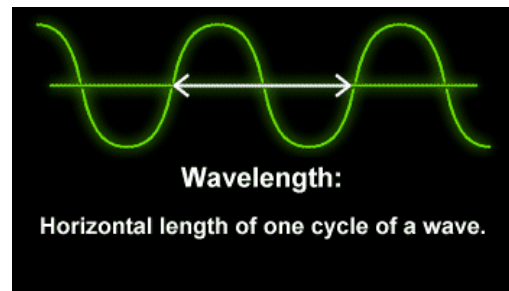


Requirements For Sound...

- ★ Source of vibration
- ★ Source of energy
- ★ A medium
- ★ A receiver

Sound Frequency

بواسطه اینکه سرعت صوت از میان یک ماده مشخص ثابت است، فرکانس صوت معادل تعداد امواج عبوری از یک نقطه در فضا در ثانیه است و بنابراین بطور عکس متناسب با طول موج است. فرکانس صوت به عنوان شدت درک می شود. فرکانس صوت معادل تعداد چرخه های کاملی است که در یک ثانیه رخ می دهد. یک چرخه معادل طول از یک انقباض تا یک انبساط است.



- The frequency of a sound is measure in hertz.
- $1000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$
- Frequency is proportional to perceived pitch. Very low frequency sounds are perceived as vibrations.

- **Human range: 20-20,000 Hz**
- **Human ear is most sensitive in the 1,000 to 4,000 Hz range.**
- **Less sensitive in lower frequencies.**

Sound Intensity

The sound intensity is proportional to the height of the sound wave.

شدت صوت متناسب با بلندی یا ارتفاع امواج صوتی است.

Wavelength

Distance between 2 analogous points in a wave. Indicated as λ & is measured in feet or meters.

- high frequency = short λ = high energy
- low frequency = long λ = low energy
- amplitude is perceived as loudness

Note that as the wavelength increases the frequency decreases and vice versa

- $v = \lambda f$ $\lambda = v/f$
- λ = wavelength , f = frequency, v = speed of sound

$$c = f \lambda \qquad \lambda = \frac{c}{f} \qquad f = \frac{c}{\lambda}$$

Question

1- What is the wavelength in air at 21 °C of a sound with:

- (i) frequency at the lowest end of the range of audibility (i.e. 20 Hz)?
- (ii) frequency at the highest end (i.e.20000 Hz)?

2- what is the frequency of a sound with a wavelength of 5m in air? $c = 355$ m/s

$$i) \lambda = \frac{c}{f} = \frac{344}{20} = 17.2 \text{ m} \quad (ii) \lambda = \frac{c}{f} = \frac{344}{20000} = 0.0172 \text{ m or } 17.2 \text{ mm} \quad f = \frac{c}{\lambda} = \frac{355}{5} = 71 \text{ Hz}$$

Speed of Sound

- سرعت موج صوتی که تابع امواج طولی است در یک محیط مادی بستگی به خاصیت کشسانی محیط دارد و مستقل از فرکانس است.
- در گازهای کامل و هوا خاصیت الاستیکی بستگی به خواص ترمودینامیکی گاز شامل تغییرات حجم و فشار گاز با تغییرات دما در محل انتشار صوت دارد. هرچه دانسیته محیط انتشار بیشتر باشد سرعت موج صوتی نیز بیشتر می شود. بدین ترتیب سرعت صوت در مایعات بیشتر از هوا و در جامدات بیشتر از مایعات است.

□ طبق معادله لاپلاس سرعت موج صوتی در هوا به شرح زیر است:

$$c = \sqrt{\gamma * P_0 / \rho}$$

γ = ضریب اتمیسته و نسبت گرمای ویژه محیط در فشار ثابت به گرمای ویژه در حجم ثابت. مقدار عددی آن برای گاز دو اتمی و هوا برابر ۱,۴ است.

$$P_0 = \text{فشار هوای محیط}$$

$$P = \text{دانسیته یا چگالی}$$

از طرفی بنابر قانون گازهای کامل داریم:

$$PV_m/T = R \quad P = RT/V_m$$

$$V_m = \text{حجم مولی}$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$c = \sqrt{\gamma * R * T / \rho V_m} = \sqrt{\gamma * R * T / M}$$

$$\rho V_m = \text{حاصلضرب چگالی در حجم یک مولکول گرم و برابر جرم مولکولی گاز } M$$

$$R : \text{ثابت گازها معادل } 8.314 \text{ j / mol K}$$

$$T : \text{دمای مطلق گاز یا هوا بر حسب کلوین}$$

M: جرم مولکولی **Kg/mol**

C: سرعت انتشار موج صوتی بر حسب متر بر ثانیه

نکته:

در گاز و هوا با افزایش دما سرعت صوت افزایش می یابد زیرا انرژی جنبشی گاز به انتشار صوت کمک می کند.

معدلات دیگر سرعت صوت:

$$V(ft/s) = 49.03 \sqrt{T(0 R)}$$

$$0 R = 459.7 + t (0 F)$$

$$V(m/s) = 20.05 \sqrt{T(K)}$$

$$0 K = 273.2 + t (0 C)$$

مثال:

سرعت صوت را در هوای صفر و بیست درجه سانتی گراد حساب کنید؟

حل

$$V(m/s) = 20.05 \sqrt{T(K)}$$

$$V(m/s) = 20.05 \sqrt{273.2} = 331.45 \text{ m/s}$$

$$V(m/s) = 20.05 \sqrt{293.2} = 343.3 \text{ m/s}$$

مثال:

طول موج صوت را در درجه حرارت ۳۰ درجه سانتی گراد و فرکانس های ۲۰ و ۲۰۰۰۰ هرتز را

حساب کنید؟

حل

$$V(m/s) = 20.05 \sqrt{T(K)}$$

$$V(m/s) = 20.05 \sqrt{303.2} = 349 \text{ m/s}$$

$$V(m/s) = f * \lambda$$

$$\lambda = V/f = 349/20 = 17.45 \text{ m}$$

$$\lambda = V/f = 349/20000 = 0.17 \text{ m}$$

SPEED OF SOUND

increases with humidity

increases with temperature

increases with density

Example Sound Speeds

Medium	sound speed (m/s)
air (20°C)	343
water	1497
gold	3240
brick	3650
wood	3800–4600
glass	5100
steel	5790
aluminum	6420

Speed Impedance امپدانس صوتی

مقاومت نسبی محیط مادی را نسبت به انتشار موج صوتی امپدانس می گویند.

$$Z = P/U = \rho * C$$

Z: مقاومت صوتی بر حسب **Kg/M².S** یا **MKS. rayls**

P=P_{rms}: فشار موج صوتی **N/M²**

U: سرعت ذره **M/S**

P: چگالی محیط انتشار Kg/m^2

C: سرعت صوت بر حسب متر بر ثانیه

مسئله

امپدانس صوتی هوا در شرایط ۲۰ درجه سانتی گراد و دانسیته هوای معادل ۱/۲۱ کیلوگرم بر متر

مکعب چقدر است؟

جواب

$$V(m/s) = 20.05 \sqrt{293.2} = 343 \text{ m/s}$$

$$Z = \rho * C$$

$$Z = 343.3 * 1.21 = 415.3 \text{ MKS.rayls}$$

What is 'noise'?

Common definition of noise

- any undesirable, unpleasant, disruptive, inappropriate sound
- not just intensity – some noises are not loud

Noise is contextual and subjective

- the measured level of a sound and the effect of that sound on a person is not necessarily directly related
- individuals may respond to the same sound in quite different ways
- The 'appropriateness' of a sound has a cultural basis

Noise Sources

- **Sound Generators:**

- **Vibrating solid bodies** اجسام صلب مرتعش
- **Flow noise** صدای های جریان
- **Interaction of solids and fluids** تداخل جامدات و سیالات

- **Supersonic speed** سرعت فرا صوت
- **Traffic** صدای ترافیک
- **Aircraft** صدای های هواپیما
- **Industrial** صداهای صنعتی
- **Rail** صداهای قطار و راه آهن
- **Construction** صداها در کارهای ساخت و عمرانی
- **Rapid changes in temperature or pressure**
– تغییرات سریع در دما و فشار

انواع صوت از نظر شکل امواج

□ صوت ساده

صوت ساده شامل یک موج سینوسی ساده است. این نوع موج در طبیعت وجود نداشته ولی در آزمایشگاه قابل تولید است.

□ صوت مختلط دوره ای

در این امواج یک فرکانس اصلی و چند فرکانس فرعی وجود دارد که با هم رابطه منظم دارند. معمولاً اثر ناخوشایندی ندارند. اصوات موسیقی، اصوات طبیعت و مکالمه از این دسته هستند.

□ اصوات مختلط غیر دوره ای

در این امواج رابطه معین یا پیش بینی شده ای بین طول موج ها و نیز فرکانس و دامنه امواج وجود ندارد. عموماً ناخواسته، ناخوشایند هستند.

انواع صوت از نظر احساس فیزئولوژیک

□ موسیقی Music

اصوات منظمی هستند که رابطه معین و طراحی شده ای بین تغییرات دامنه فشار، طول موج ها و فرکانس های آنها وجود دارد.

□ صدا Noise

اصوات نامنظمی هستند که ناخوشایند، ناخواسته و عموماً اجتناب ناپذیرند و بین دامنه های فشار، فرکانس و طول موج رابطه معنی وجود ندارد.

انواع صوت از نظر توزیع انرژی

□ اصوات با باند باریک **Narrow Band Noise**

در این دسته حداکثر انرژی صوتی یا فشار صوتی در یک پهنه محدود از فرکانس منتشر می شود نظیر صوت زنگ اخبار و سوت.

□ اصوات با باند پهن **Wide Band Noise**

انرژی صوتی در یک پهنه وسیع فرکانسی توزیع و منتشر می شود نظیر موتورهای درون سوز، آسیاب و میکسر.

انواع صوت از نظر زمان تداوم

۱. اصوات پیوسته **Continuous Noise**

به اصواتی اطلاق می گردد که در طول زمان انتشار خود وقفه نداشته باشد. اصوات مکالمه و صداهای صنعتی از این نوع هستند. این گروه خود به سه گروه تقسیم می شود:

۱. اصوات یکنواخت **Steady Noise**: در این گروه تراز فشار صوت تغییرات قابل

ملاحظه ای نداشته و اغلب کمتر از ۵ دسی بل است.

۲. اصوات متغیر با زمان **Fluctuating Noise**: در این دسته تغییرات تراز فشار در

طول زمان بین ۱۵-۵ دسی بل است.

۳. اصوات منقطع یا نوبتی **Intermittent Noise**: در این دسته تغییرات تراز فشار

صوت بیش از ۱۵ دسی بل است.

۲. اصوات ضربه ای یا کوبه ای **Impact or Impulsive Noise**

به اصواتی اطلاق می گردد که موج فشار صوت در هر ضربه در کسری از زمان (ثانیه) و معمولاً

در کمتر از ۰/۵ ثانیه شروع و خاتمه می یابد نظیر صدای شلیک گلوله، پرس های ضربه ای

بیناب صوتی یا **Sound Spectra**

به دلیل وسیع بودن طیف فرکانس قابل درک برای انسان و همچنین وسیع بودن باند اصوات صنعتی، جهت مطالعه صوت به جای بررسی مقادیر دامنه های فشار (توان و یا شدت) در تک تک فرکانس ها، محدوده فرکانس صوتی قابل درک را به نواحی قراردادی تقسیم می کنند و به هر ناحیه آن یک باند صوتی می گویند. در این حالت مطالعه صوت در هر ناحیه، و بطور قرار دادی در فرکانس مرکزی آن انجام می گیرد. مقادیر دامنه در فرکانس مرکزی نماینده هر ناحیه خواهد بود بطور قراردادی کل محدوده قابل شنیدن را به ۸ یا ۱۰ یا ۳۰ یا ۱۰۰ ناحیه تقسیم می نمایند. در هر باند صوتی سه محدوده در نظر گرفته می شود:

□ فرکانس حد پایین F_n

□ فرکانس مرکزی F_c

□ فرکانس حد بالا F_{n+1}

تفاضل فرکانس حد بالا و حد پایین را پهنای باند می نامند.

$$F_{n+1} - F_n = BW \quad (\text{Band Width})$$

مثال: اگر حد بالا ۲۰۰ و حد پایین ۱۰۰ هرتز باشد پهنای باند چند خواهد بود؟

$$F_{n+1} - F_n = BW$$

$$200 - 100 = 100$$

نسبت حد بالای فرکانس به حد پایین فرکانس مقدار مهمی است که در تعیین تعداد نواحی فرکانسی کاربرد داشته و به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$F_{n+1} / F_n = 2k$$

k عدد پهنای باند است و می توان آن را عدد صحیح یا کسری در نظر گرفت. با در نظر گرفتن

حالات مختلف می توان موارد زیر را داشته باشیم:

اگر $k = 1$ باشد:

$$F_{n+1} / F_n = 2k$$

$$F_{n+1} / F_n = 2^1 \quad F_{n+1} = 2F_n$$

این رابطه نشان می دهد که فرکانس حد بالا دو برابر فرکانس حد پایین است. در این حالت پهنای باند را در تجزیه صوت، یک اکتاو باند شامل ۸ یا ۱۰ باند می نامند. فرکانس های حد مرکزی این محدوده ها برای آنالیز اهمیت بالایی دارد که به شرح زیر می باشد:

۳۱/۵	۶۳	۱۲۵	۲۵۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۴۰۰۰	۸۰۰۰	۱۶۰۰۰
------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------	-------

در تقسیم بندی بر اساس ۸ ناحیه فرکانس های ۳۱/۵ و ۱۶۰۰۰ هرتز در نظر گرفته نمی شود. همانگونه که مشاهده می شود فرکانس های حد مرکزی دو برابر شده است برای پیدا کردن فرکانس مرکزی از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$F_c = \sqrt{F_{n+1} * F_n}$$

$$F_c = \sqrt{2F_{2n}} = F_c = \sqrt{2} F_n$$

با استفاده از رابطه فوق میتوان فرکانسهای حد بالا، حد مرکزی و حد پایین را در صورت داشتن تنها یک فرکانس تعیین نمود

اگر $k = 1/3$ باشد:

$$F_{n+1} / F_n = 2k$$

$$F_{n+1} / F_n = 2/3 \quad F_{n+1} = 3\sqrt{2} F_n$$

$$F_{n+1} = 1.26 F_n$$

محاسبه فرکانس مرکزی در باند یک سوم اکتاو باند به شرح زیر می باشد:

$$F_c = 2/6 F_n$$

$$F_c = 1.12 F_n$$

این تقسیم بندی را یک سوم اکتاو باند می نامند. در این حالت ۳۲ ناحیه وجود خواهد داشت.

اگر $k = 1/10$ باشد:

$$F_{n+1} / F_n = 2k$$

$$F_{n+1} / F_n = 2/10 \quad F_{n+1} = 10\sqrt{2} F_n \quad F_{n+1} = 1.07 F_n$$

محاسبه فرکانس مرکزی در باند یک دهم اکتاو باند به شرح زیر می باشد:

$$F_c = 21/20 F_n$$

$$F_c = 1.04 F_n$$

$$\frac{f_{n+1}}{f_n} = 2^k \quad f_2 = \sqrt{2} f_o \quad f_1 = \frac{f_o}{\sqrt{2}} \quad f_2 = 2 f_1 \quad bw = f_2 - f_1$$

For example, a sound having the following octave-band noise :

Centre Frequency (Hz)	62.5	125	250	500	1K	2K	4K	8K
Band Pressure Level (dB)	41	45	48	50	46	42	40	38

$$f_o = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \quad f_2 = 2f_1 \quad (\text{For 1 octave band})$$

$$f_2 = \sqrt[3]{2} f_1 \quad (\text{For 1/3 octave band})$$

مثال:

اگر فرکانس حد مرکزی ۱۲۵ هرتز و آنالیز فرکانس از نوع یک سوم اکتاو باند باشد، فرکانس حد

پایین و حد بالا چند هرتز خواهد بود؟

اگر $k = 1/3$ باشد:

$$F_c = 21/6 F_n \quad F_c = 1.12 F_n$$

$$F_n = 111.6 \text{ Hz}$$

$$F_{n+1} / F_n = 2^k \quad F_{n+1} / F_n = 2^{1/3}$$

$$F_{n+1} = 3\sqrt[3]{2} F_n \quad F_{n+1} = 1.26 F_n$$

$$F_{n+1} = 1.26 * 111.6 = 140 \text{ Hz}$$

کمیات اندازه گیری صوت

Sound Measurement Scales

برای بیان و اندازه گیری صوت دو گروه از کمیات بکار می رود:

۱. کمیات فیزیکی یا کمیات مطلق شامل فشار، شدت و توان
۲. کمیات لگاریتمی یا تراز شامل تراز فشار، تراز شدت و تراز توان

کمیات فیزیکی

Physical Scales

۱. توان power
۲. شدت Intensity
۳. فشار Pressure

توان صوت Sound power

مقدار انرژی صوتی است که در واحد زمان در منبع صوتی تولید می شود. توان صوت بر حسب وات W بیان می شود.

کمترین توان صوتی که گوش انسان می تواند بشنود یا گوش را تحریک کند $10^{-12} w$ است. این میزان را توان مبنا یا آستانه درک توان صوت می گویند. البته این درک برای فرد جوان با دستگاه شنوایی سالم است.

$$W = J/S$$

شدت صوت Sound Intensity

مقدار انرژی صوتی است که در واحد زمان از واحد سطح عبور می کند. توان صوت بر حسب وات بر متر مربع W/m^2 بیان می شود.

کمترین شدت صوتی که گوش انسان می تواند بشنود یا گوش را تحریک کند 10^{-12} w/m^2 است. این میزان را شدت صوت مبنا یا آستانه درک شدت صوت می گویند. البته این درک برای فرد جوان با دستگاه شنوایی سالم است. بیشترین شدت صوتی که گوش انسان بدون درد قادر به تحمل آن است 100 w/m^2 است

$$I = W/A$$

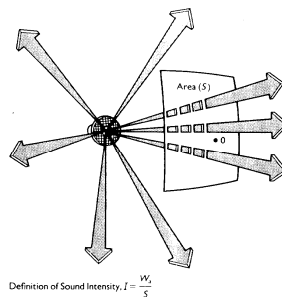
شدت صوت Sound Intensity

اگر در مسیر انتشار صوت مانع یا سطوح بازتابش وجود نداشته باشد صوت در یک سطح کروی منتشر می شود و به چنین میدانی میدان آزاد گفته می شود. در این صورت اگر شعاع را واحد در نظر بگیریم رابطه زیر بدست می آید:

$$I = W/A$$

$$I = W/4\pi r^2$$

$$I = W/12.57 r^2$$



مثال : شدت صوت

شدت صوت منبعی با توان ۱۰۰۰ وات را در فواصل ۱۰ و ۲۰ متری در یک میدان آزاد محاسبه کنید؟

حل

$$I = W/A$$

$$I = W/4\pi r^2$$

$$I = W/12.57 r^2$$

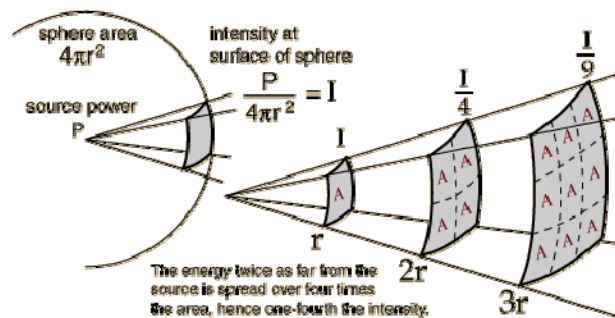
$$I = 1000 / 12.57 * 100 = 0.795 \text{ w/m}^2$$

$$I = 1000 / 12.57 * 400 = 0.199 \text{ w/m}^2$$

ملاحظه می شود که با دو برابر شدن فاصله شدت صوت در میدان آزاد به یک چهارم میزان اولیه کاهش می یابد.

INVERSE SQUARE LAW

- Doubling the distance from the sound source decreases intensity by a factor of 4
- As the distance from the source increases the amount of power is spread over a greater area.



Sound Pressure فشار صوت

فشار صوت بر حسب پاسکال $\text{pa or } N/m^2$ در سیستم MKS و میکروبار $\mu\text{bar or } \text{din}/\text{cm}^3$ در سیستم CGS عبارتند از نیروی وارد بر سطح است.

$$1 \text{ Pa} = 10 \mu\text{bar}$$

کمترین فشار موج صوتی که می تواند گوش انسان را تحریک کند برابر $2 * 10^{-4} \mu\text{bar}$ است که به ان فشار مبنا یا آستانه درک حسی انسان از فشار صوت می گویند. بیشترین فشار صوتی که انسان می تواند بدون درد تحمل کند ۲۰۰ پاسکال یا ۲۰۰۰ میکروبار است. بین فشار و شدت صوت رابطه زیر برقرار است.

$$I = P^2/\rho C$$
$$I = \frac{P_{rms}^2}{\rho C}$$

مثال : فشار صوت

اگر فشار موثر صوت ۲۰۰ پاسکال باشد شدت صوت چه میزان خواهد بود؟
حل

$$I = P^2/\rho C$$

$$I = (200)^2/415 = 96.38 \text{ w}/\text{m}^2$$

کمیات لگاریتمی

بواسطه اینکه محدوده مقیاس های مطلق کمترین مقدار قابل درک (آستانه احساس) با بیشترین مقدار قابل درک بدون درد وسیع است لازم است برای آسانی کار و درک ذهنی از کمیت آن را تبدیل به مقیاس لگاریتمی کنیم جدای از این معلوم شده است که درک شنوایی انسان نسبت به تغییرات مطلق لگاریتمی است. در مقیاس لگاریتمی از یک نسبت (تراز) محاسبه و بر حسب دسی بل (یک دهم بل) بیان می شود.

تراز:

عباتند از نسبت کمیت اندازه گیری شده صوت به کمیت مبنا. این نسب ها به ترتیب برای توان، شدت و فشار عبارتند از P/P_0 , I/I_0 , W/W_0 است. در این نسبت ها صورت کسر مقادیر اندازه گیری شده صوت و مخرج کسرها آستانه درک آنها توسط گوش انسان است.

تراز توان صوت یا **Sound Power Level**

$$L_w = 10 \log_{10} \left(\frac{W}{W_0} \right)$$

$$SWL (dB) = LW = 10 \log W/W_0$$

$$SWL = 10 \log W + 120$$

$$W = \text{anti log } (SWL-120)/10$$

$$W = 10^{(SWL-120)/10}$$

W : توان مطلق منبع صوتی

W_0 : توان مبنا یا آستانه درک فیزیولوژیک توان صوت 10^{-12} w

مثال: تراز توان صوت

اگر توان یک منبع صوتی ۱۰ وات باشد تراز توان صوت ان چند دسی بل است؟

حل

$$SWL (dB) = LW = 10 \log W/W_0$$

$$SWL = 10 \log W + 120$$

$$SWL = 10 \log 10 + 120 = 130 \text{ dB}$$

تراز شدت صوت یا Sound Intensity Level

$$L_i = 10 \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$SIL (dB) = LI = 10 \log I/I_0$$

$$SIL = 10 \log I + 120$$

$$I = \text{anti log } (SIL-120)/10$$

$$I = 10^{(SIL-120)/10}$$

I : شدت مطلق منبع صوتی در نقطه اندازه گیری W/m^2

I_0 : شدت مبنا یا آستانه درک فیزیولوژیک شدت صوت $10^{-12} W/m^2$

مثال : تراز شدت صوت

- ۱- اگر یک منبع صوتی در فاصله معین دارای شدت صوت ۲۰ وات بر مترمربع باشد، تراز شدت صوت را در آن نقطه چقدر است؟
- ۲- اگر در یک فاصله معین از منبع صوت تراز شدت صوت ۱۴۰ دسی بل باشد میزان شدت صوت مطلق صوت چند وات بر مترمربع است؟
- ۳- مشخص کنید با دو برابر شدن شدت صوت مثلاً از ۱۰ به ۲۰ وات بر مربع در یک نقطه، تراز توان آن چند دسی بل افزایش می یابد؟

حل

$$1- SIL (dB) = LI = 10 \log I/I_0$$

$$SIL = 10 \log I + 120 \quad SIL = 10 \log 20 + 120 = 133dB$$

$$2- I = \text{anti log } (SIL-120)/10$$
$$\text{anti log } (140-120)/10 = 100 \text{ w/m}^2$$

$$3- SIL = 10\log I + 120 \quad SIL = 10\log 20 + 120 = 133\text{dB}$$
$$SIL = 10\log I + 120 \quad SIL = 10\log 20 + 120 = 133\text{dB}$$
$$133-130 = 3 \text{ dB}$$

تراز فشار صوت یا Sound Pressure Level

$$SPL \text{ (dB)} = LP = 10 \log P_2/P_20$$

$$SPL = 20\log P + 94$$

$$P = \text{anti log } (SPL-94)/20$$

$$P = 10^{(SPL-94)/20}$$

P : فشار مطلق صوت در نقطه اندازه گیری P_a

P_0 : فشار مبنا یا آستانه درک فیزیولوژیک فشار صوت $2 * 10^{-5} P_a$

$$SPL \text{ (dB)} = LP = 10 \log P_2/P_20$$

$$SPL = 20\log P + 74$$

$$P = \text{anti log } (SPL-74)/20$$

$$P = 10^{(SPL-74)/20}$$

P : فشار مطلق صوت در نقطه اندازه گیری μbar

P_0 : فشار مبنا یا آستانه درک فیزئولوژیک فشار $2 * 10^{-4} \mu\text{bar}$

مثال : تراز فشار صوت

۱- اگر یک منبع صوتی در فاصله معین دارای فشار صوت ۲ پاسکال باشد، تراز فشار صوت را

در آن نقطه حساب کنید؟

۲- در صورتیکه در یک فاصله معین از منبع صوت تراز فشار صوت ۱۴۰ دسی بل باشد میزان

فشار مطلق صوت چند پاسکال است؟

۳- مشخص کنید با دوبرابر شدن فشار صوت مثلاً از ۱۰ به ۲۰ پاسکال در یک نقطه، تراز فشار آن

چند دسی بل افزایش می یابد؟

$$SPL = 20\log P + 94 \quad 1-$$

$$SPL = 20\log 2 + 94 = 100 \text{ dB}$$

$$P = \text{anti log } (SPL-94)/20 \quad 2-$$

$$P = \text{anti log } (140-94)/20 = 199.5 \text{ Pa}$$

$$SPL = 20\log 10 + 94 = 114 \text{ dB} \quad 3 -$$

$$SPL = 20\log 20 + 94 = 120 \text{ dB}$$

$$120 - 114 = 6 \text{ dB}$$

مثال : تراز فشار صوت

۱- ثابت کنید آستانه شنوایی و آستانه دردناکی برای ترازهای توان، شدت و فشار به ترتیب صفر

و ۱۴۰ دسی بل است؟

$$SWL = 10\log 10^{-12} + 120 = 0 \text{ dB} \quad 1-$$

$$SWL = 10\log 100 + 120 = 140 \text{ dB}$$

$$SIL = 10\log 10^{-12} + 120 = 0 \text{ dB} \quad 2-$$

$$SIL = 10\log 100 + 94 = 140 \text{ dB}$$

$$SPL = 20\log 2 * 10^{-2} + 94 = 0 \text{ dB} \quad 3 -$$

$$SPL = 20\log 200 + 94 = 140 \text{ dB}$$

$$120 - 114 = 6 \text{ dB}$$

بلندی صوت

هر چند برای بیان یا اندازه گیری مقادیر صوت از کمیات فیزیکی یا لگاریتمی استفاده می گردد، لیکن احساس شنونده نسبت به مقادیر در فرکانس های مختلف یکسان نبوده و به همین دلیل علاوه بر کمیت صدا، نحوه درک شنوایی آن نیز در فرکانس مربوطه اهمیت دارد. آزمایش ها نشان داده است که ترازهای یکسان در فرکانس های مختلف به یک اندازه درک نمی شود. در حالت یک مشخصه درک صوت بنام بلندی صوت تعریف می گردد. اگرچه بلندی صوت وابسته به تراز صوت است ولی با آن برابر نیست. تنها در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز تراز فشار صوت با تراز بلندی صوت برابر است.

برای بیان بلندی صوت تراز بلندی تعریف می گردد. واحد این تراز فون است. واحد بلندی نیز تحت عنوان سون بیان می گردد.

$$SL = 33.2 \text{ Log } S + 40 \quad \text{phone}$$

SL: تراز بلندی برحسب فون S: واحد مطلق بلندی برحسب سون

$$S = 2^{SL-40/10}$$

سون خود تابعی از منحنی های هم بلندی است که از رابطه زیر بدست می آید:

$$St = \text{Im} (1-K) + K \sum I_i$$

St: بلندی مجموع بر حسب سون Im: بلندی حداکثر

I_i : هر یک از مقادیر بلندی های هم اندازه بدست می آید
K: فاکتور توزین باند صوتی برای یک اکتاو باند ۰/۳ و برای یک سوم باند ۰/۱۵ است.

مثال

آنالیز فرکانس یک اکتاو باند صدای یک منبع به شرح زیر است. بلندی مجموع و تراز بلندی آن را محاسبه نمایید؟

Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
SPL	56	62	65	70	81	75	73	62
I_i	1.2	2.7	4.7	7.5	18	15	15	9

$$S_t = I_m (1-K) + K \sum I_i$$

$$S_t = 18 (1-0.3) + 0.3(1.2 + 2.7 + 4.7 + 7.5 + 18 + 15 + 15 + 9) = 34.5$$

$$SL = 33.2 \text{ Log } S + 40 \quad \text{phone}$$

$$SL = 91.1 \text{ phone}$$

جمع ترازهای صوتی

جمع ترازهای فشار صوتی

هر موج صوتی که به گوش می رسد نتیجه انتشار صوت منابع مختلف و تراز فشار صوت در فرکانس های صوت ناشی از هر منبع است. تعداد منابع یا تعدد مقادیر فشار صوت در فرکانس های مختلف می تواند اثر افزایشی بر هم داشته باشد ولی این معنی جمع جبری نیست. حاصل چند تراز در فرکانس های مختلف و در منابع مختلف یک تراز است که تراز صوت کلی نامیده می شود که عبارتند از:

$$L_{p1} = 10 \log \frac{P_1^2}{P_{ref}^2} \quad \text{and} \quad L_{p2} = 10 \log \frac{P_2^2}{P_{ref}^2}$$

$$L_{pt} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n \log^{-1} (L_{pi}/10) \right]$$

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

مثال

اگر تراز فشار صوت ۳ منبع به ترتیب ۹۰، ۹۵ و دسی بل باشد تراز فشار صوت مجموع سه منبع چند دسی بل است؟

$$L_{pt} = 10 \log_{10} \left[\sum_{i=1}^n \log^{-1} (L_{pi}/10) \right]$$

$$L_{pt} = 10 \log_{10} [\log^{-1}(90/10) +$$

$$\log^{-1}(95/10) + \log^{-1}(88/10)]$$

$$= 10 \log_{10} (109 + 109.5 + 108.8)$$

$$= 96.8 \text{ dB}$$

مثال

اگر تراز فشار صوت ۲ منبع به ترتیب ۹۰ دسی بل باشد تراز فشار صوت مجموع دو منبع چند دسی بل است؟

$$L = 10 \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

$$L_p = 10 \log [1090/10 + 1090/10]$$

$$L_p = 93 \text{ dB}$$