

Ses dalgaları ◇

DERLEYEN :
Nadir SANLI
y. Müh.

Giriş :

Bu yazıya esas konuyu, tiyatro, stüdyo,, ve salon akustiği teşkil edecektir. Ancak bu konulan daha iyi izah edebilmek için ses ve ses dalgalan hakkında kısa bilgi derlemek uygun olur. Bu maksada yardım etmek gayesiile aşağıdaki mfehumlar hazırlanmıştır :

E. M. M. 31-33

1. Ses

Ses, partikül yer değıştirme veya partikül hızı ve basınçtaki- değışmeler veya bunların süperpozelerinm elâstik ortamdaki in- tişarıdır.

(*) Harry P Olson'un «**Mnsical Englneering**» adü kitabından.

Ses aynı zamanda yukardaki değişmelerin kulakta hasıl ettiği bir duyumdur. Buradan anlaşılıyor ki hava veya herhangi ortam nasıl olursa harekete mecbur edildiği zaman ses hasıl olur. Ses, bir kemanın gövdesinin veya bir hoparlörün diyaframının titreşimleri ile meydana gelebilir. Ses, fasılalı hava akımının tesiri ile hasıl olabilir. Meselâ: Siren, insan sesi .trompet ve diğer nefesli sazlar gibi.. Ses dalgalarının meydana gelişi şöyle izah edilebilir:

Z. Ses dalgasının tabiatı:

Sıkıştırılmış hava dolu bir balonun patlaması ses dalgası meydana getirmenin basit şeklidir. Küçük bir balon sıkıştırılmış hava ile doldurulmuştur. Balon patladığı anda, balon içindeki sıkıştırılmış hava bütün istikametlerde basınç darbesi halinde yayılacaktır. İşte bu yayılma esnasında hava veya gaz içindeki partikül veya moleküllerin hareketini temin eden tesirler sesi meydana getirir.

3. Bir ses dalgasının propagasyon (neşir) hızı:

Tecrübeler göstermiştir ki ses dalgaları belirli ve sonlu bir hızla hareket etmektedir. Bir gaz içinde saniyede Cm olarak bir ses dalgasının propagasyon hızı şu şekilde verilmiştir:

$$c = y \quad (1)$$

Burada Y

Gazlar için spesifik sıcaklık oranıdır, hava için 1,4.

^{PO} Gaz içindeki statik basınç dyne/cm²
3 Gazın yoğunluğu gram/cm³. Eğer basınç artarsa yoğunlukta yükselecektir. Bu

yüzden basınçtaki değişme hızda bir değişme meydana getirmez. Bu ancak sıcaklık sabit kaldığı müddetçe doğrudur. Onun için hız sıcaklıkla alâkalı olarak ifade edilmelidir. Havada ve cm/sn olarak bir sesin hızı şu şekilde verilir:

$$C = 33,100 \sqrt{1 + 0,003661 t} \quad (2)$$

Burada:

t : Santigrad derecesi olarak sıcaklıktır.

4. Bir Ses dalgasının frekansı:

Bütün ses generatörleri birbirine benzer devamlı dalgalar meydana getirirler. Bu devamlı dalgalar belirli bir hızla neşredilmiştir. Bu devamlı dalgaların bir devirlerinin müşahade noktasından saniyede geçiş sayısı sesin frekansı olarak adlandırılır.

5. Ses dalgasının dalga boyu :

Ses dalgasının dalga uzunluğu, tam bir devir boyunca sesin katettiği mesafedir. Sesin frekansı, titreşimlerin saniyedeki miktarı olduğuna göre, buradan hemen görülür ki ses

dalgasının propagasyon hızı dalga boyu ve frekansla alâkalıdır ve şu şekilde ifade edilir:

$$C = f \cdot X \quad (3)$$

Burada:

C Propogasyon hızı cm/sn

X Dalga boyu cm.

f Frekansı c/s (Hz).

6. Bir ses dalgasında basınç :

Bir ses dalgası, gaz içinde normal sükûnet basıncının altında ve üstünde basınçlardan ibarettir.

Bir noktadaki efektif ses basıncı, o nokta toplam anı ses basınçları ve statik basıncın toplamıdır, statik basınç, ses yokkenki normal atmosferik basınçtır.

Bir noktadaki efektif ses basıncı, o noktada tam bir çevre üzerindeki anı ses basıncının karekökü kıymetindedir. Birinci dyne/cm² dir. «Efektiv ses basıncı» terimi ekseriya ses basıncı olarak kısaltılır.

Küresel dalgalarda ses basıncı kaynaktan olan uzaklığın tersiyle alâkalı olarak azalır.

7. Bir ses dalgasında partiküler yer değiştirme ve partiküler hız :

Bir ses dalgası bir gaz içinden geçerken moleküllerin veya partiküllerin pozisyonlarını değiştirir. Partikül yer değiştirmesi konuşma ve müzikteki normal ses dalgalarında milimetrenin çok küçük bir kesridir Meselâ, normal karşılıklı konuşmada konuşandan 3 m. uzakta, partiküler yer değiştirme genişliği bir inch'in milyonda biri kadardır.

Partiküller veya moleküller ortamda ses dalgası frekansında titreşirler, bir partikülün veya molekülün o ses frekansında yer değiştirmesine «partikül hızı» adı verilmiştir.

Partikül hızı ile ses- basıncı arasındaki bağıntı şu şekilde verilmiştir :

$$p = T \cdot c \cdot u \quad (4)$$

Burada :

p : Ses basıncı dyne/cm² S : Hava yoğunluğu gr/cm³ c : Ses hızı cm/sn u : Partikül hızı cm/sn. Partikül yer değiştirmesi (ses dalgası olmadığı zamanki konumundan itibaren) şu şekilde verilmiştir :

$$d = \frac{u}{2\pi f} \quad (5)$$

Burada:

d : Partikül yer değiştirmesi veya genişliği cm.

u : Partikül hızı cm/sn, f

: Frekans c/sn (Hz).

8. Bir ses dalgasında şiddet veya güç :

İlerdeki bahislerden de görüleceği gibi ses dalgasında enerji nakledilmektedir. Bu

nakledilen ses enerjisine ses dalgasının şiddeti denir.

Bir ses alanının şiddeti, belirtilmiş bir doğrultudaki noktada birim zamanda, belirli doğrultu boyunca bu doğrultuya o noktada normal, birim alandan geçen ses enerjisidir. Birimi: Cm^2 ye saniyede erg tır. erg/sn/cm^2

Düzgün bir ses dalgasının erg/sn/cm^2 olarak şiddeti:

$$I = \frac{P^2}{3 \cdot c} = p, \quad u = p \cdot c \cdot u^2 \quad \text{erg/sn} \cdot \text{Cm}^2 \quad (6)$$

Burada :

P

u

c

Ses basıncı dyne/ Cm^2 Partikül

hızı Cm/sn . Sesin

propogasyon hızı Cm/sn .

Ortamin yoğunluğu gr/Cm^3

Bir sesin desibel olarak şiddeti, bu sesin referans şiddete oranının 10 tabanına göre logaritmasının on katıdır. Desibel bundan sonraki kısımda izah edilmiştir.

9. Desibel (db) :

Akustikte, şiddetlerin, basınçların ve partikül hızlarının kademeleri okadar geniştir ki desibel denilen küçültücü numaraların sıkıştı, rılmış skalasını kullanmak uygundur. Kısaltılmış olarak db desibel terimi yerne kullanılır. Bel, iki güç miktarının oranını izahı için logaritmik skaladaki temel bölümleridir, bel numaralan bu oranın 10 tabanına göre logaritmasıdır. Desibel ise bel'in onda biridir. Meselâ P_1 ve P_2 , iki güç miktarını belirtse, n desibel olarak şu şekilde ifade edilir:

$$n = 10 \cdot \log_{10} \quad \text{desibel} \quad (7)$$

Şartlar, akımlann, gerilimlerin (veya benzer değerler, basınçlar, kuvvetler, partikül hızlan, hacim akımları gibi) oranları gibi olunca, bunlar güç oranlarının karekökü gibidirler, bu halde desibel miktarı bu mefhumlar için şu şekilde ifade edilir:

$$n = 20 \log_{10} \frac{i_1}{i_2} \quad \text{desibel} \quad (8)$$

$$n = 20 \log_{10} \frac{V_1}{V_2} \quad \text{desibel} \quad (9)$$

Burada iyi,, e_1/e_2 verilen akım ve gerilim oranlarıdır. Güç,, akım ve gerilimle desibel arasındaki bağıntı tablo 1 de görülmektedir. 10. Ses dalgasında Doppler olayı: Doppler olayı, bir transmisyon sisteminde, kaynakla, müşahede noktasının uzaklığının zamanla değişmesi neticesi ses dalgası frekansında görülen değişmedir. Doppler olayının en basit misâli müşahit ile kaynağın rö-latif hareketlerinde görülür. Bunun için, otomobil ve lokomotiflerin geçerken borular ve düdüklere vasıtası ile çıkardıkları ses perdele-

TABLO : 1

Güç oranı	Desibel	Akım veya gerilim	
		oranı	Desibel
1	0	1	0
2	3	2	6
3	4,8	3	9<5
4	6	4	12
5	7	5	14
6	7,8	6	15,8
7	8,5	7	16,9
8	9	8	18,1
9	9,5	9	19,1
10	10	10	20
100	20	100	40
1.000	30	1.000	60
10.000	40	10.000	80
100.000	5	100.000	100
1.000.000	0	1.000.000	120

rinin frekanslarının değişmelerini misâl olarak gösterebiliriz.

Kaynak ile müşahit birbirine yaklaştıkça, dinleyici ses kaynağının hakikî frekansından daha yüksek frekansta ses müşahade edecek-tir. Eğer kaynak ve müşahit birbirinden uzaklaşırsa frekans düşer.

Müşahede noktasındaki frekans :

$$f_n = \frac{v - v_n}{v} \cdot f_B \quad \text{dir.} \quad (10)$$

Burada:

v Ortamdaki ses hızı

Müşahidin hızı

Kaynak hızı

f~ Kaynak frekansı.

Bütün hızlar aynı birim sisteminde ifade edilmelidir.

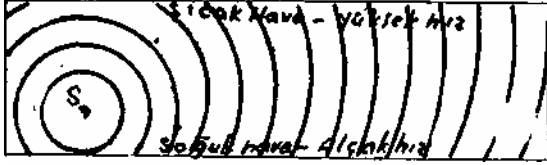
Burada ortamın hareketinin veya rüzgâr hızının 'tesiri nazıan itibara alınmamıştır. Rüzgârın tesirini dikkate aldığımızda,, ortamdaki hız v, v + w olmalıdır, burada w sesle aynı doğrultuda olduğu haldeki rüzgâr hızıdır. Bu düzeltmeyi yaparak : $v + w - v_n$

$$f_n = \frac{v + w - v_n}{v} \cdot f_s \quad \text{bulunur.} \quad (11)$$

Eşitlik (11) den görülürki eğer kaynak ve müşahitte rölatif yer değiştirme yoksa, rüzgâr herhangi bir değişme icra etmez.

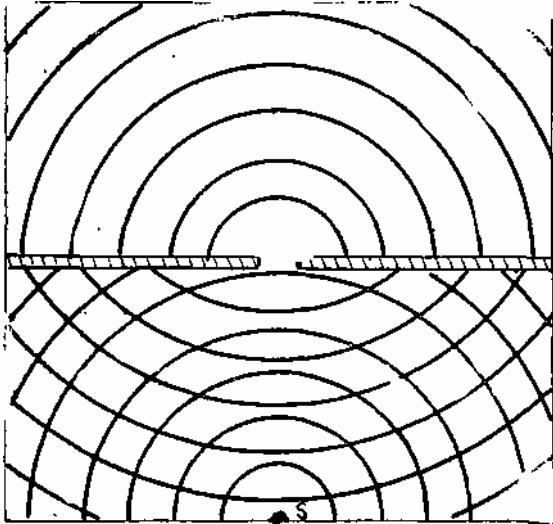
11. Ses dalgasının kırılması (Refraction) :

Bir ses dalgasının kırılması, yönündeki değişmelerdir ki, bu ortamdaki ses transmisyon hızının değişmeleri ile alâkalıdır. Sesin hızı değiştiğinde dalga önlerden itibaren kırılır. Bir ses dalgası satıh boyunca giderken, değişik tabakalardaki sıcaklık farklarından dolayı havadaki rölatif hızları sebebiyle aşağıya veya yukarıya doğru eğilir. Şekil (1) de



ŞEKİL : 1

kırılma şekilleri gösterilmiştir. İşitilebilen ses mesafesi aşağıya doğru eğilen dalgalarca, yukarı doğru kırıldan daha büyüktür. Birinci şart daha ziyade sabahın erken saatleri için, çuha sonraki şart ise gündüz boyunca caridir. Kırılma kaybı, ortamın üniform olmamasının neticesi olarak kırılmayla alâkalı transmisyon kaybının bir kısmıdır. 12. Ses dalgasının Difraksiyon'u : Difraksiyon, bir sesin yolu üzerindeki mania etrafında propogasyon yönünü değiştirir-



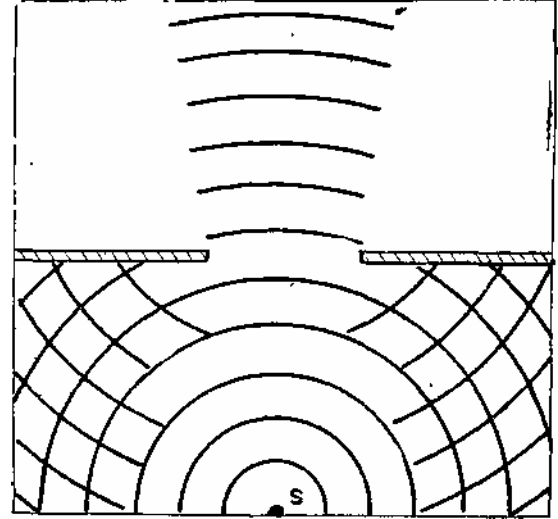
ŞEKİL : 2

mesidir. Ses bir binanın köşesinden, duvarın üstünden, ve açık bir pencereden geçer.

Bir şans eseri olarak İşitilebilen frekans kademesinde bulunan ses dalgasının dalga boylarının birçok mania boyutlarına oranı oldukça büyüktür; yoksa günlük işlerimizi bile idare etmek mümkün olmayacaktı.. Herkes bilir ki sesi duyurmak için kaynağı görmek şart değildir. Bu mülâhazalardan sonra, maniaların etrafındaki eğilmelere alçak frekanslardaki seslerin yüksek frekanslı seslerden daha müsait olduğu müşahade edilir. Yani dalga

boyunun mania boyutlarına oranı ne kadar büyükse difraksiyon okadar büyüktür. Difraksiyon hâdisesinin temel karakteristikleri aşağıdaki misallerle izah edilecektir.

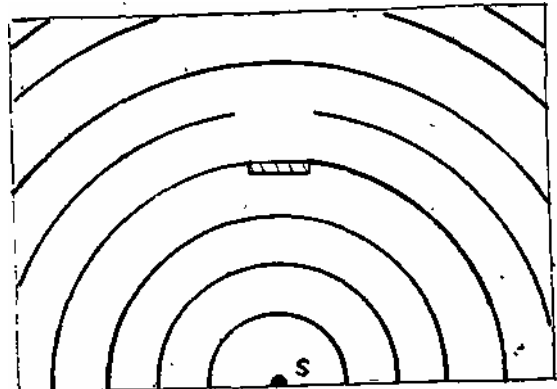
(Şekil: 2) Yansıtıcı bir duvardaki küçük delikten sesin geçişini göstermektedir. Delik boyutları dalga boyuna nazaran çok küçüktür. Delikten geçen sesin bütün doğrultulara yayılacağı görülecektir. Bu şekilde geçen sesin şiddeti, delikten geçebilen enerji miktarının az olmasından dolayı küçüktür. Bu yüzden pratikte bütün hasıl olmuş ses duvar tarafından yansıtılır.



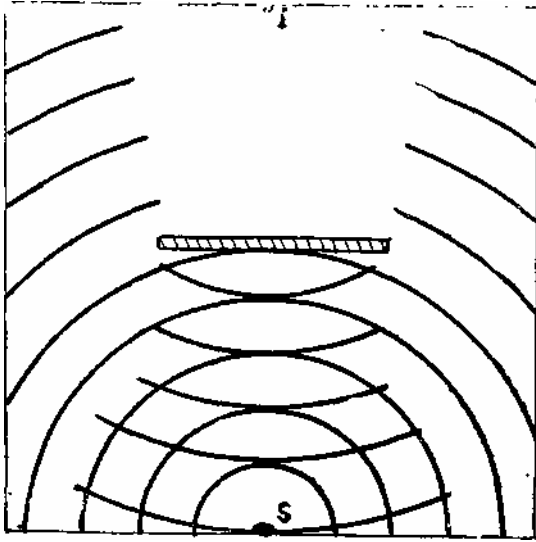
ŞEKİL : 3

(Şekil: 3), dalga boyuna nazaran büyükçe olan bir delikten sesin geçişini göstermektedir. Burada delik vasıtasıyla tarif edilmiş ses dalgası, delikten, şiddetinden hiç kaybetmeden geçer. Görülecektir ki, geçen ses huzmesi geometrik olarak delik tarafından belirtilir. Duvara çarpan ses dalgaları yansımaktadır.

Boyutları dalga boyuna göre küçük olan bir mania etrafında ses dalgasının difraksiyonunu (Şekil: 4) te görülmektedir. Bu şartlar al-



ŞEKİL : 4

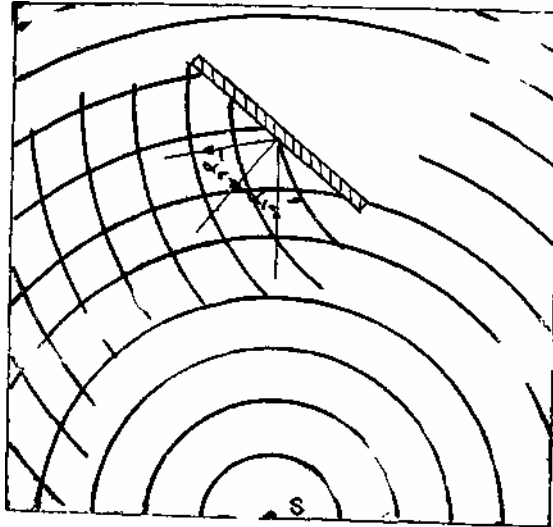


ŞEKİL: 5

tında ses dalgası mania civarında eğilir ve mania vasıtası ile hasıl olan ses gölgesi ihmâl edilir. Mania boyutları, dalga boyuna nazaran küçük kaldığı müddetçe yansıyan ses miktarı ihmâl edilebilir. Boyutları dalga boyuna nazaran büyük olan manialarda sesin difraksiyonu (Şekil 5) te gösterilmiştir. Manianın arkasındaki ses şiddeti küçüktür. Diğer bir deyişle mania bir ses gölgesi hasıl eder. Manianın boyutları dalga boyuna nazaran büyük olduğu halde pratik olarak maniaya gelen bütün sesler yansıtılır.

13. Ses dalgasının yansıması (refleksiyon) :

Eğer ses havada, kuvvetli, rijit ve geniş bir duvara raslarsa geriye yansıtılacaktır. Yansıyan ses tıpkı hayali bir ses kaynağından hasıl oluyormuş gibidir (Şekil: 5). Ses havada, boyutlan dalga boyuna nazaran bü-



ŞEKİL : 6

yük olan rijit ve massif bir yüzeyden yansıtılacaktır (Şekil: 5). Eğer yüzeyin boyutlan dalga boyuna nazaran küçükse, yansıyan ses dalgası ihmâl edilebilir. (Şekil: 6) Reflektörün boyutlan dalga boyuna nazaran büyük olduğu halde pratik olarak bütün ses yansır. Görülür ki, gelen dalga doğrultusunun reflektör normal'i ile yaptığı açı ite; yansıyan dalganın normalle yaptığı açı birbirine eşittir. Yansıyan ses dalgası; hayali (imaj) ses kaynağından hasıl edilmiş ses gibidir.

Eko, yansıtılmış veya herhangi şekilde geri çevrilmiş sesin kâfi genlikte ve gecikmeyle, direkt dalgadan farklı yolda gelmesidir. Devamlı eko'lar tek kaynaktan hasıl olan ayrı ayn ekoların arka arkaya gelmeleridir. Titrek eko tek başlangıç darbesinin neticesi olarak yansımış darbelerin sür'atlı olarak ard arda gelmesidir.

14. Ses dalgasının absorpsiyonu (Absorption) :

Sesin absorpsiyonu, ses enerjisinin bir ortamdan veya yol üstündeki sathıtan geçerken azaltılmasıdır. Sesin absorpsiyonunda ses enerjisi ısıya çevrilebilir. Mesamattı cisimler sesin absorpsiyonunda kullanılır, ses enerjisini ısı enerjisine çevirmek için de ses dar geçitlerden geçmeye mecbur edilir.

Havanın dar geçitten geçerken partikül hızı veya hareketi, hava tabakalarında sürtünmeler hasıl eder. Bu sürtünme hava viskozitesi ile alâkalı olarak ısınma hasıl eder. Bu havada bir nevi dahilî sıkışmadır. Kumaşla kaplamalar, halılar, kaplamalı tefris, at iyi absorbe edici malzemedir. Çünkü, bu materiallerde çok küçük sayısız delikler mevcuttur.

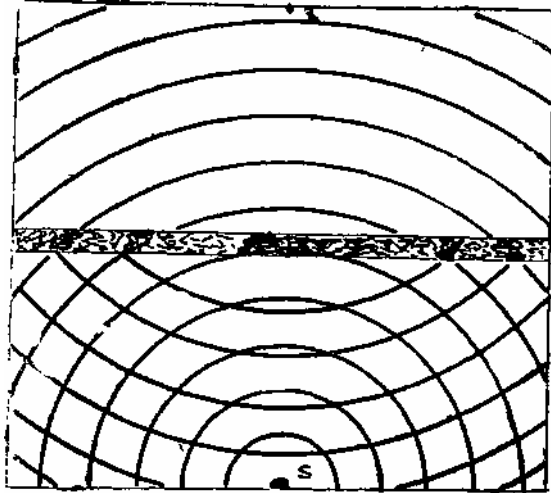
Sesin absorpsiyonu için, ses absorbe edici materyal deliklerin ebatları ve uzunluğu maksimum ses absorpsiyonu olacak şekilde tasarlanır. Transmisyon kaybının bir kısmını teşkil eden absorpsiyon kaybı, ses enerjisinin ortamda diğer enerji şekillerine (umumiyetle ısı) dönüşmesi ile alâkalıdır.

15. Ses dalgasının Transmisyonu :

Ses dalgalan, transmisyon için uygun ortam veya sistemde nakledilir.

Pratikte bütün reflektör veya absorbe edicilerde, ses enerjisinin bir kısmı yansıtma, absorbe etme ve duvarların arasından geçmektedir.

Refleksiyon, absorpsiyon ve transmisyon hâdiselen bütün duvarlarda, kısımlarda veya sınırlarda bir arada yer alır. (Şekil: 7) de bu üç hâdise bir arada gösterilmiştir. Bu misalde, gelen ses enerjisinin bir kısmı, yansıtılmış, bir kısmı absorbe edilmiş ve bir kısmı da nakledilmiştir. Transmisyon kaybı, bir noktadan bir noktaya transmisyonda güç azalmasının ifadesinin genel terimidir. Transmisyon kaybı ekseriya desibel olarak ifade edilir.



ŞEKİL: 7

16. Sabit (Stationary) ses dalgaları :

Sabit dalgalar, titreşim genliğinin ortamdaki bazı nokta veya yerlerde sıfır olması ile karakterize edilen ve iki eşit dalganın ters yönde hareketinden dolayı hasil olan interferansın neticesidir. Bu, sıfır genlikli noktalara düğüm noktaları denir. Karnın noktaları ise duran dalga sisteminde maksimum genliğe sahiptirler. Titreşimlerin genliği, ya basınç veya partikül - hız genliğine göre düşünülür. Basit sabit dalga sistemi, ters yönde hareket eden iki eşit düzlem dalga ile elde edilebilir. (Şekil: 8). (Şekil: 9) (bk. Şekil: 4 ve 5) da basit bir duran - dalga sistemi için sıkışma ve genişleme gösterilmiştir. Görülür ki, sıkışma veya genişleme mekandaki durumu değiştirmez, bu sabit dalga teriminin izahıdır. (Şekil: 9) (bk. Şekil 5) dan görüldüğü gibi basınç ve partikül hızın maksimum genlikleri, yer ve zaman bakımından 90°'lik açılarla yer değiştirirler, ilerleyen bir düzlem dalga halinde, basınç ve partikül hızın fazı zaman ve yer bakımından uyur.

Sabit - dalga sistemi yukarıda basit olarak izah edilmiştir. Bu tip sabit dalga sistemi, •düzlem dalganın, propogasyon doğrultusuna dik iyi yansıtıcı duvardan yansımaları ile elde edilebilir. Karışık duran - dalga sistemi, kaynak birçok reflektör duvar olan bir odada çalışırsa elde edilebilir. Duran - dalga terimi, boşlukta sabit dağılışı ihtiva eden, ve ilerleyen ses dalgasının aynı frekans ve çeşidinin enterferansı neticesi hasil olan ses dalgasına denir. Böyle bir ses dalgası, sabit düğüm,, ve karn noktalarının varlığı ile karakterize edilir.

17. Ses dalgasının dağılması:

Akustik dağılma, ortamın ses hızının, frekans veya onun eşdeğeri ile değişimine bağlı olarak kompleks ses dalgasının değişik frekans bileşenlerin ayrılmasıdır. Kompleks ses dalgası ışık prizmalarında olduğu gibi benzer

akustik prizmalarla değişik bileşenlerine ayrılabilir.

18. Ses dalgalarının eşitlikleri:

A) Düzlem ses dalgaları:

Pozitif x doğrultusunda ilerleyen basit harmonik düzlem ses dalgasının dyne/cm² olarak basınç eşitliği:

$$p = a \cdot k \cdot c^2 \cdot S \cdot \sin k (et - x) \text{ tir. (12)}$$

Burada:

>a : Partikül yer değiştirme genliği (cm)

k : 2π / λ

X : Dalga boyu (cm) c : Ses hızı

17.1 cm/sn. H : Hava yoğunluğu

(gr/cm³) t : Zaman sn.

x : x eksenini boyunca x = 0 dan itibaren müşahade noktasının uzaklığı (cm.) Partikül hızı u yu aynı dalga için yazalım :

$$u = a \cdot k \cdot c \cdot \sin k (et - x) \text{ cm/sn (13)}$$

12 ü 13 ü nispetliye rek düzlem dalgaları, basınç ile partikül hızının aynı boyda olduğu görülür.

$$\frac{p}{u} = 3 \cdot c \quad (14)$$

3 . c muttan ortamın karakteristik akustik rezistansıdır.

B) Küresel ses dalgaları :

Küçük bir kaynak tarafından hasil edilmiş küresel dalgada dyne/cm² olarak basınç eşitliği şu şekilde verilmiştir.

SSk

$$p = \frac{S \cdot k}{4\pi r} \sin k (et - r) \quad (15)$$

P =

4πr

Burada :

S : Kuvvet kaynağı ki, küçük kaynağın emiyonunun maksimum hızıdır. cm³/sn.

r : O(riginden itibaren mesafedir cm. diğer miktarlar evvelkilerin aynıdır.

(15) Eşitliğinden görülür ki, basınç mesafe ü ters orantılıdır. Bu hal için partikül' hız u, cm/sn olarak;

$$u = \frac{S \cdot k}{4\pi r} \left[\cos k (et - r) - \sin k (et - r) \right] \quad (16)$$

(16) Eşitliğinden görülür ki küresel dalga partikül hızı r ve r² nin ters fonksiyonu olarak değişir.

C) Sabit ses dalgaları:

Basit duran - dalga sistemi iki eşit ve ters yönde hareket eden düzlem dalgadan ibarettir.

Böyle bir sistemde dyne/cm² olarak basınç :

$$p = 2akc^2S [\sin (ket) \cdot \cos (kx)] \quad (17)$$

cm/sn olarak partikül hızı