

# İŞİTME BİYOFİZİĞİ

*Biyofizik Anabilim Dalı*

# SUNUM İÇERİKLERİ

- ❑ SES (ŞİDDET, GÜRLÜK, TON VB.) VE SES DALGALARININ (DALGA, KIRILMA, TİTREŞİM VB.) ÖZELLİKLERİ
- ❑ SES DALGALARI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR
- ❑ REZONANS, KARARLI DALGALAR VE DIŞ KOLAK YOLU
- ❑ HAVA VE KEMİK İLETİMİ
- ❑ OODYOMETRİ

# SES VE İŞİTME

**Verici** → **Aracı** → **Alıcı**

*Konuşan*

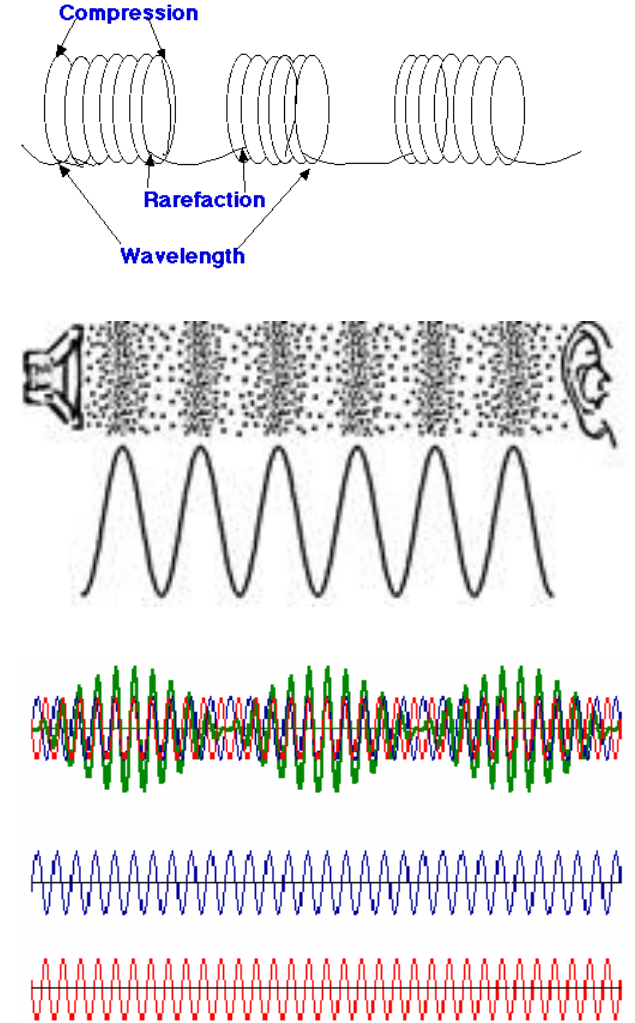
*Ses Dalgaları*

*Dinleyen*



# SES VE İŞİTME

- Kulağın ses dalgalarını alması,
- Ses dalgalarının kulak tarafından frekanslarının ayırt edilmesi (frekans, şiddet, ton, tını...),
- Ses bilgilerinin anlamlarını çözümlenmesi (Fourier analizi) ve MSS' ne iletme.

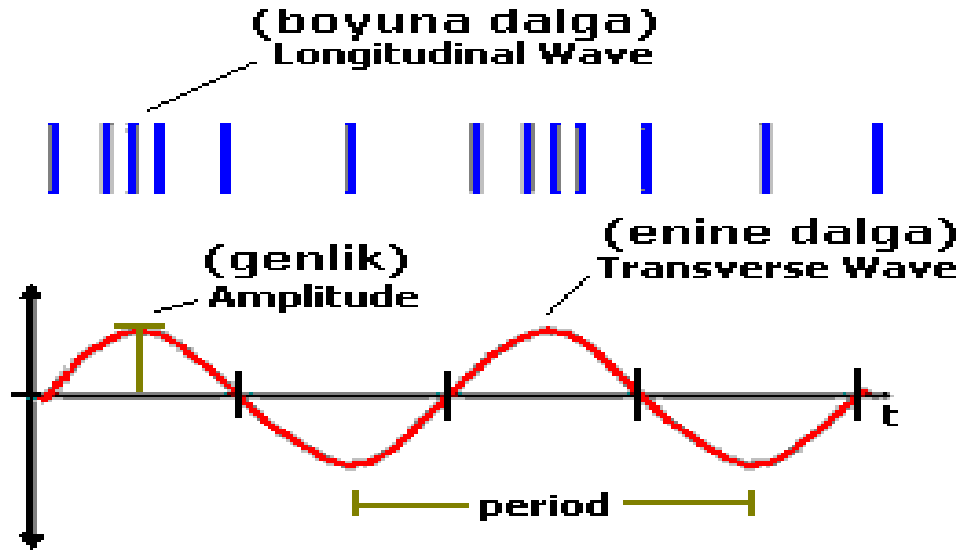


Fourier Analizi

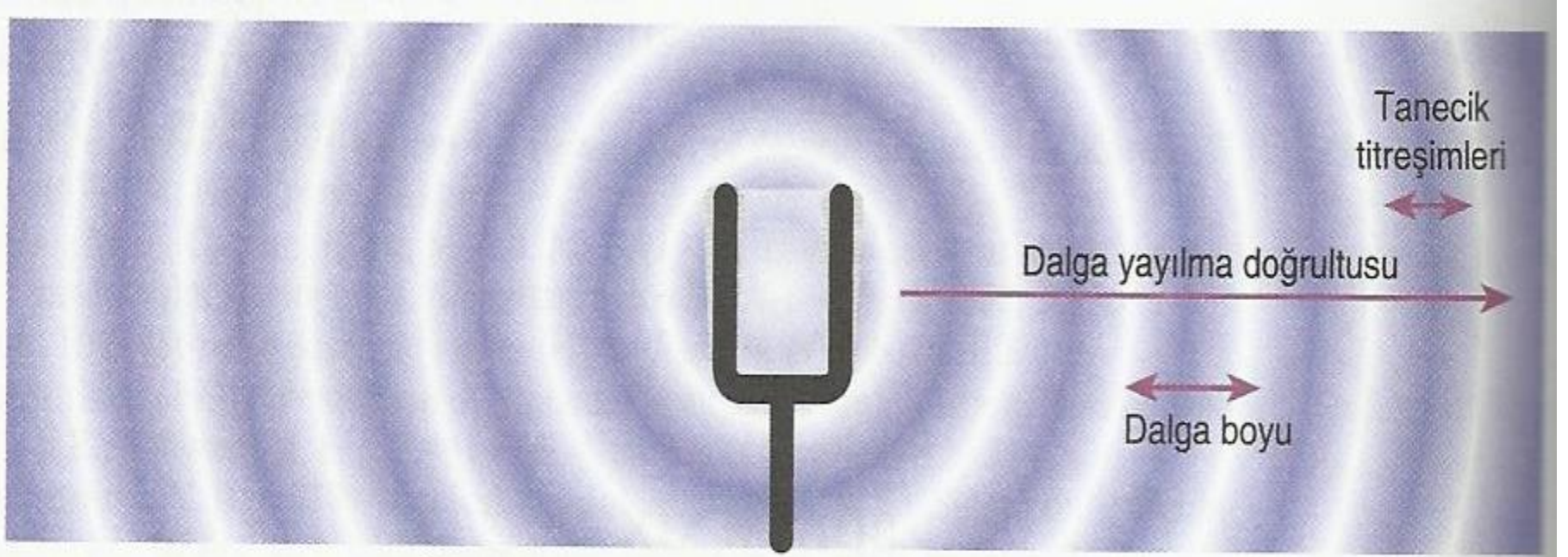
# DALGA NEDİR?

- **Elektromanyetik Dalga;**
  - Radyodalgaları, mikrodalga ve görünür ışık dalgaları ...gibi
- **Mekanik Dalga;**
  - **Ses dalgaları gibi**

**Dalga boyuna ve enine dalga olabilir;**



Ses dalgaları boyuna dalga hareketi ile yayılır.



Ses dalgaları, bir ortam içerisinde sabit hızla yayılır.  
Havada: 340m/s, suda ve birçok biyolojik ortamlarda  
1500m/s olabilir

# SES VE İŞİTME

Tüm mekanik titreşimler işitme duyusu oluşturmaz, işitilebilmeleri için **şiddet** ve **frekans** bakımından belirli aralıklarda olmaları gerekir.

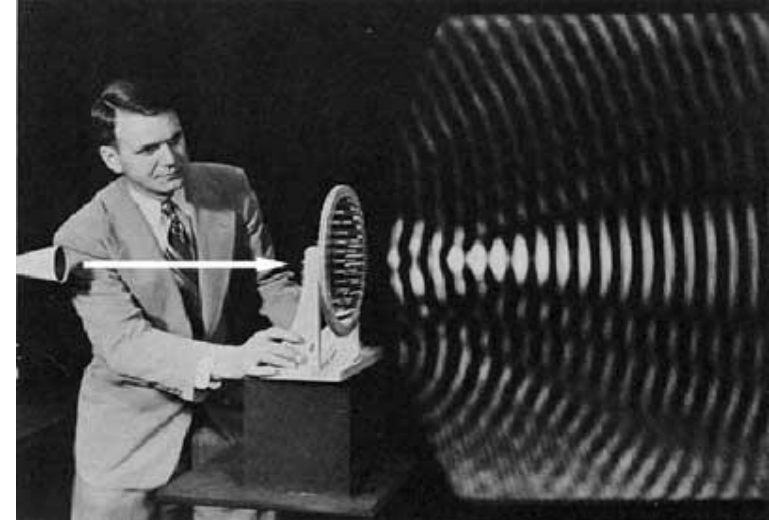
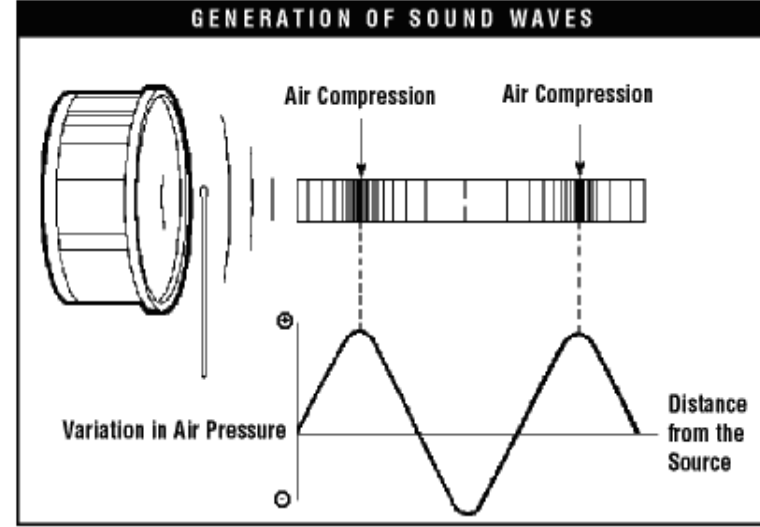
**Ses dalgalarını frekanslarına göre,**

- 16 Hz. 'den düşük sesleri *infrases*,
- 16 Hz – 20 kHz arasındaki sesleri *işitilebilir ses*,
- 20 kHz – 30 MHz arasındaki sesleri *ultrases (ultrason)* olarak sınıflandırabiliriz.



# SES NEDİR?

- Akustik sinirimizi uyaran hava basıncı dalgalarıdır.
- Katı, sıvı, gaz durumundaki moleküllerin titreşimlerinden kaynaklanan, sıkışma ve genleşme şeklinde ilerleyen mekanik enerji türüdür.



*Bell Telephone Laboratory, 1960  
özel bir ses merceği ve özel bir görüntüleme yöntemi kullanılarak, sol tarafta görülen kornadan çıkan ses dalgalarının görüntüsü elde edilebilmiştir.*



# Ses dalgalarının fiziksel özellikleri

Fiziksel Nicelik	Fiziksel Tanımı	SI Birimi	Simge
<b>Yayılma hızı</b>	<b>C=Dalgaboyu x frekans (hava, sıvı, katıda farklıdır.)</b>	m/s	<b>c</b>
<b>Genlik</b>	Uzanımın maksimum değeri	-	<b>A</b>
<b>Frekans</b>	Birim zamandaki titreşim sayısı	Hz	<b>f</b>
<b>Periyot</b>	Dalgaların bir tam titreşim süresi	sn	<b>T</b>
<b>Dalga Boyu</b>	Bir periyotta alınan yol	m, A°	<b>λ</b>
<b>Ses şiddeti</b>	Ses dalgalarının, birim zamanda, birim alandan geçirdiği enerji miktarı	Watt/m <sup>2</sup>	<b>I</b>
<b>Karakteristik akustik empedans</b>	<b>Ortamın ses hızı ile ortamın öz kütlesinin çarpımı- Z=c.ρ</b>	kg/m <sup>2</sup> s	<b>Z</b>
<b>Desibel</b>	Ses şiddet düzeyi veya basınç düzeyi: db=10log(I/I <sub>0</sub> ) veya db=20log(P/P <sub>0</sub> )	dB	<b>L</b>

# Dalga hareketi nedir?

Hava ve sıvılarda boyuna dalgaların yayılma hızı

$$c = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

E.M dalgaların yayılma hızı

$$c = \lambda \cdot f = \frac{\lambda}{T}$$

Material	Young's modulus (N m <sup>-2</sup> )	Density (kg m <sup>-3</sup> )	Speed of sound (ms <sup>-1</sup> )
Steel	$2.10 \times 10^{11}$	7800	5189
Aluminium	$6.90 \times 10^{10}$	2720	5037
Lead	$1.70 \times 10^{10}$	11400	1221
Glass	$6.00 \times 10^{10}$	2400	5000
Concrete	$3.00 \times 10^{10}$	2400	3536
Water	$2.30 \times 10^9$	1000	1517
Air (at 20°C)	$1.43 \times 10^5$	1.21	344

# Ses Şiddeti

- Ses şiddeti, birim alandaki ses gücü olarak tanımlanır,
- Temel birimi, watt/m<sup>2</sup> veya watt/cm<sup>2</sup> dir.
- Ses şiddet ölçümleri, standart bir işitme eşiği şiddeti  $I_0$  ile bağlantılı hesaplanır:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ watts / m}^2 = 10^{-16} \text{ watts / cm}^2$$

- Ses şiddet düzeyi desibel birimi ile ifade edilir
- Duyum şiddet düzeyi: 0-160dB

$$I(dB) = 10 \log_{10} \left[ \frac{I}{I_0} \right] \quad \text{Intensity in decibels}$$

$$P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ Newtons} / \text{m}^2$$

$$I(dB) = 10 \log_{10} \left[ \frac{I}{I_0} \right] = 10 \log_{10} \left[ \frac{P^2}{P_0^2} \right] = 20 \log_{10} \left[ \frac{P}{P_0} \right]$$

**Tablo 19-1.**

Doğada rastladığımız çeşitli seslerin fiziksel şiddetleri, etkin basınçlar ve şiddet düzeyleri.

p (N/m <sup>2</sup> )	I (W/m <sup>2</sup> )	L dB	Ses niteliği
2.10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-12</sup>	0	Eşik
	10 <sup>-11</sup>	10	Yaprak hışırtısı
2.10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-10</sup>	20	Fısıltı (1 m den)
2.10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-8</sup>	40	Orta gürültülü oda
2.10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-6</sup>	60	Konuşma, trafik
2.10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-4</sup>	80	Yoğun trafik
2.10 <sup>0</sup>	10 <sup>-2</sup>	100	Makina dairesi
2.10 <sup>1</sup>	10 <sup>0</sup>	120	Ağrı
2.10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup>	140	Jet motoru (30 m)
2.10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	160	Kulak zarı patlatıcı

# Sesin Yüksekliği ve FON

Kulak farklı frekanslardaki sesleri, farklı algılar,  
-şiddetleri veya basınçları aynı olsa bile...

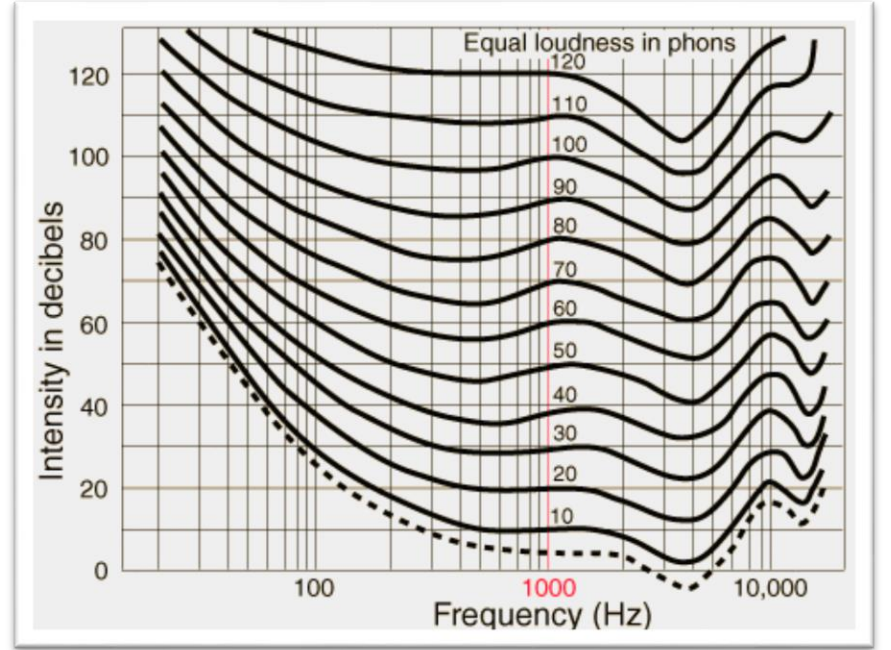
## Ses Yüksekliği:

Her kulağa göre değişen öznel  
(sübjektif) ses algılamasına sesin  
yüksekliği denir.

## FON:

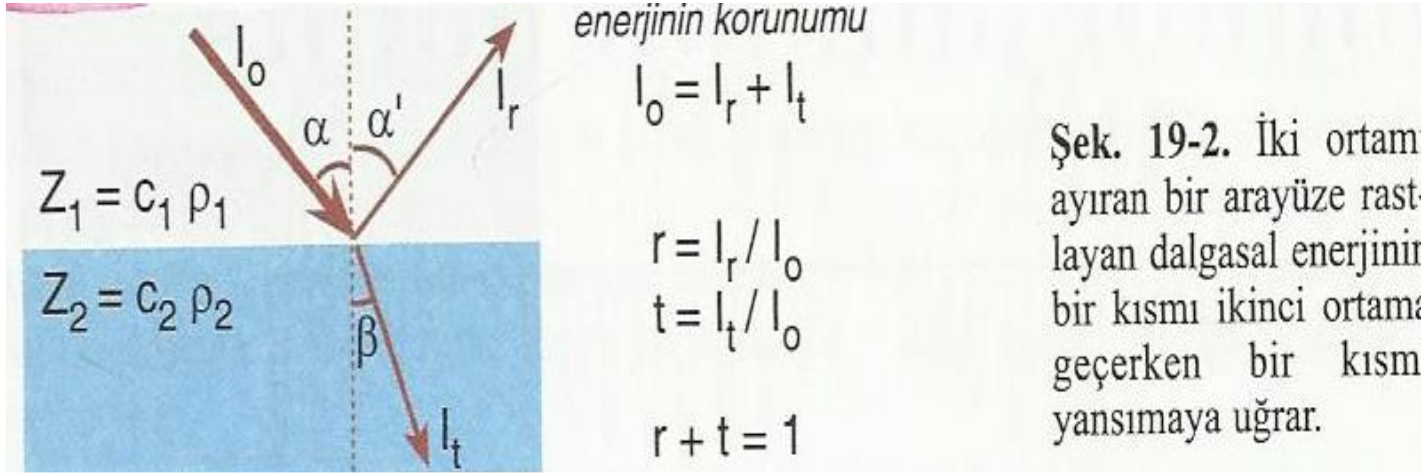
1000 Hz lik ses tonunun şiddet veya  
basınç düzeyine eşit (dB olarak)  
değerdeki ses yüksekliğidir.

$$A(\text{fon})=I(\text{dB})$$



Fon Eğrileri

# KAREKTERİSTİK AKUSTİK EMPEDANS



$z_1 \approx z_2$  ise enerjinin çoğu ikinci ortama girer

$$r = \frac{I_r}{I_0} = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

$$t = \frac{I_t}{I_0} = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

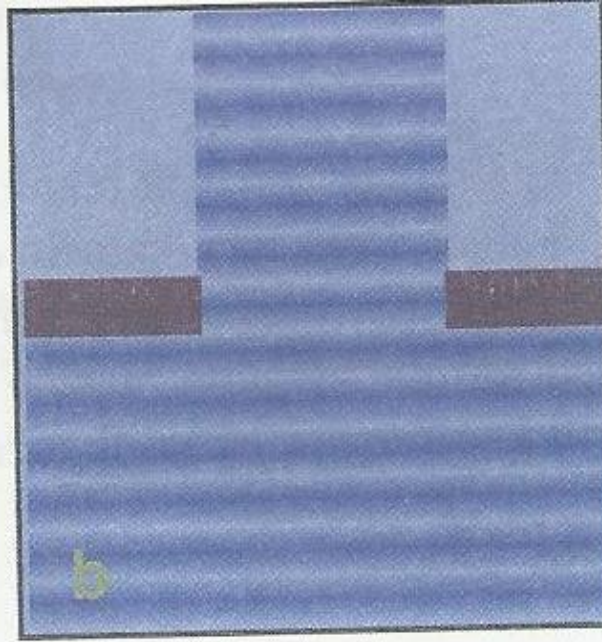
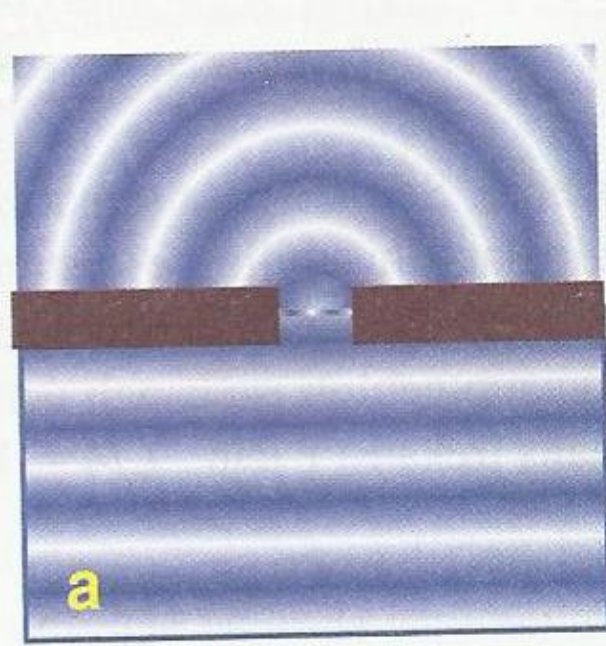
□ İki ortamın akustik impedansı farklı ise gelen enerjinin %99 u yansırken ancak % 1 i sıvı ortama geçer.

**O halde nasıl işitiriz?**



# KIRINIM VE GİRİŞİM OLAYLARI

Ses dalgaları kırınım ve girişim olaylarını gösterirler



Şek. 19-3. Ses dalgalarının kırınımı. a) Dalgalar, dalga boyuna göre dar bir aralıktan geçince, aralık yeni bir kaynakmış gibi, şiddeti zayıflamış da olsa, ana kaynakla aynı frekanslı bir dalga yaymaktadır. b) Dalga boyuna göre geniş bir aralığı geçen ses dalgalarında kırınım gözlenmez, engellerin arkasında akustik bir gölge oluşur.

**Küresel dalgalar**

**İlerleyen dalgalar**

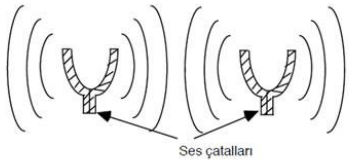


# SES DALGALARI İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

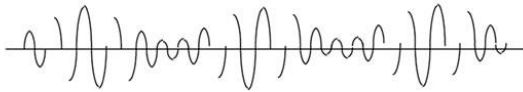
## GİRİŞİM ve -VURU OLAYI

Genlikleri eşit, frekansları biraz farklı iki dalganın girişimi sonucu ses sürekli vurular halinde duyulur,

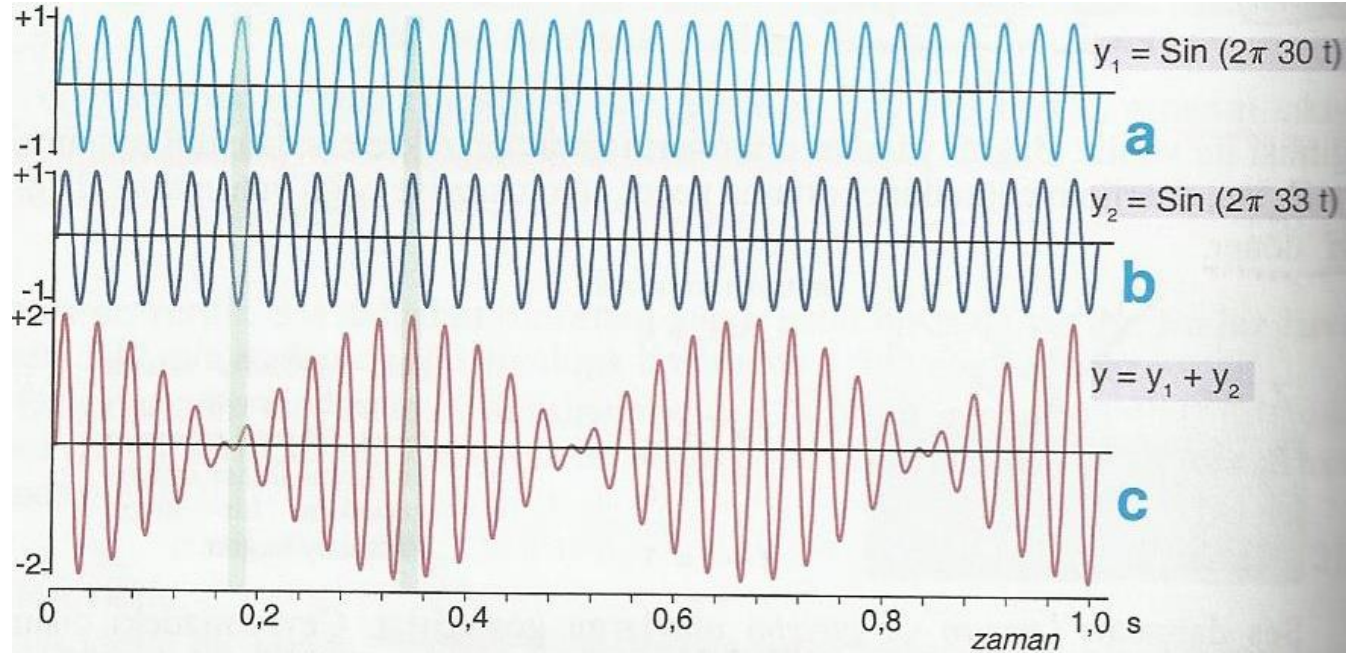
$$fv = f_2 - f_1$$



Ses çataları



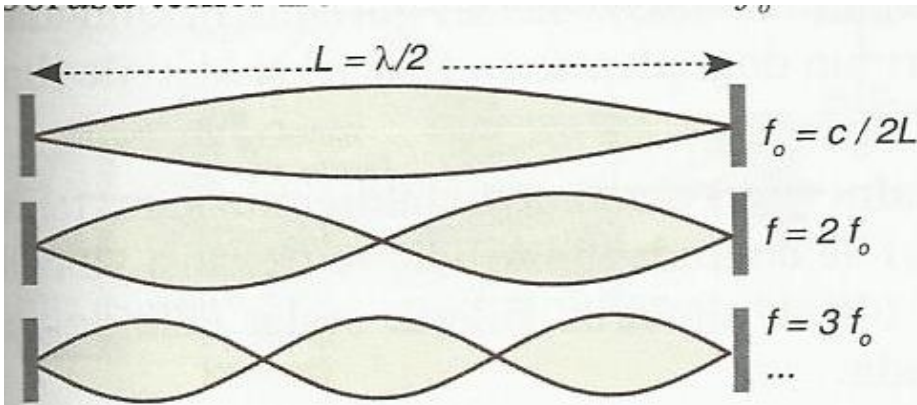
Vuru deseni



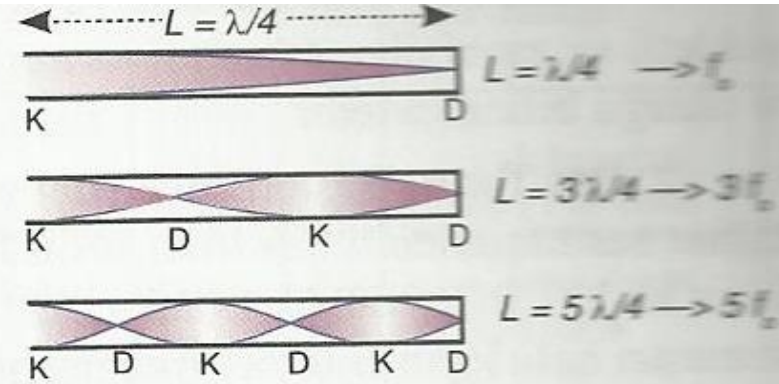
Şek. 19-4. Vurulu titreşimler. Genlikleri aynı, frekansları 30 Hz ve 33 Hz olan iki ses dalgasının girişimi sonucu, genliği saniyede 3 kez maksimum ve minimumlardan geçen bir ses duyulur.

# REZONANS, KARARLI DALGALAR VE DIŞ KULAK YOLU

Kaynaktan çıkan dalgaların bir engele çarpması ve yansıyan dalgaların girişimi sonucu kararlı dalgalar oluşur



Şek. 19-5. Titreşen bir telin bazı titreşim modları. Üstte temel titreşim modu, altta ise ikinci ve üçüncü armonikleri görülmektedir.

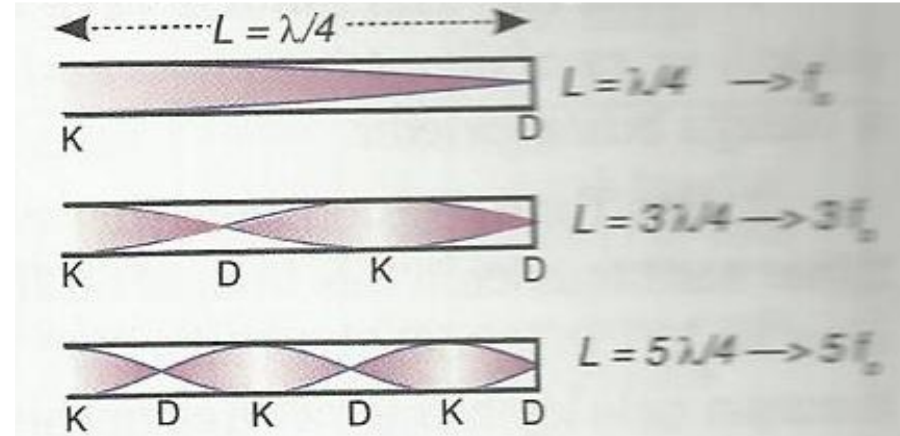


Şek. 19-6. Bir ucu kapalı borada rezonans ve kararlı dalga modları. **K**: karın noktası, **D**: düğüm noktası.

# REZONANS, KARARLI DALGALAR VE DIŞ KULAK YOLU

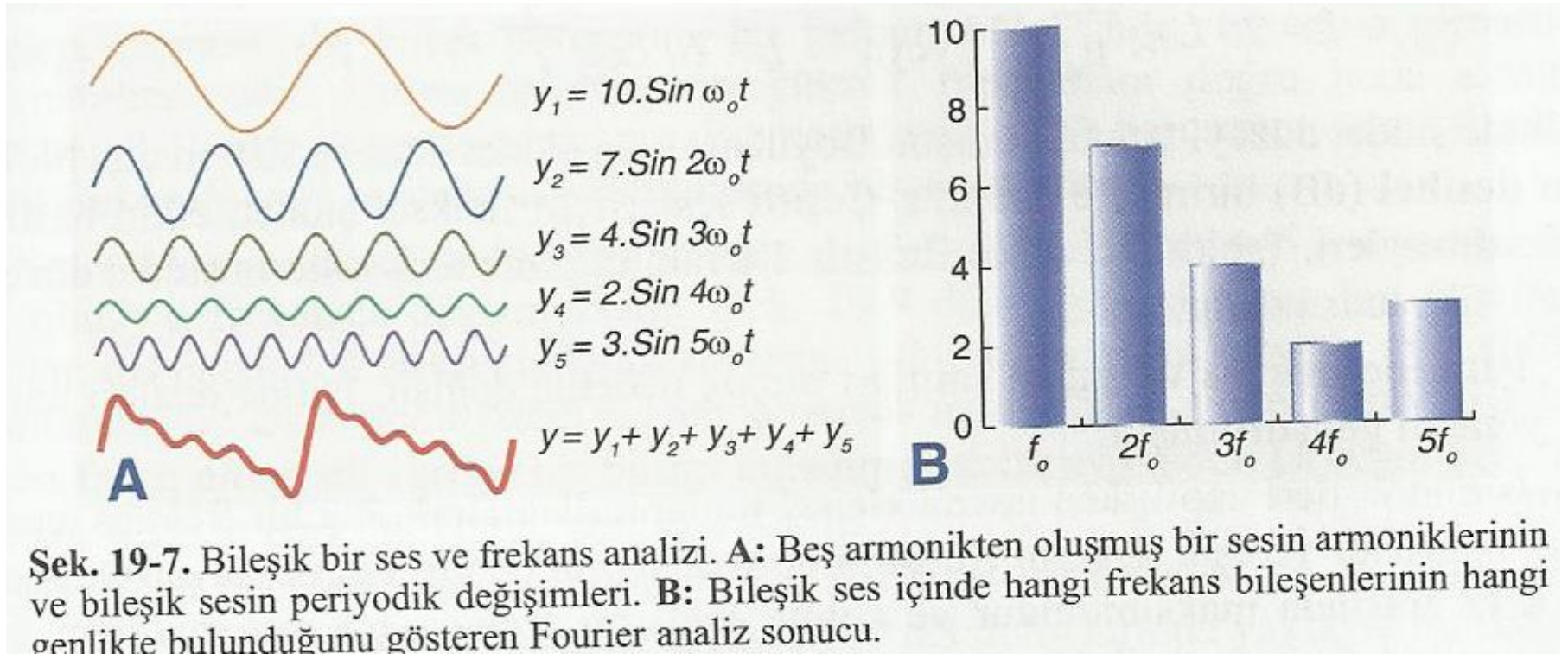
- İnsan dış kulak kanalının rezonans frekansı  $f_0=3150\text{Hz}$
- İşitme eşiği (Minimum 1-4kHz ve maksimum 7-10kHz) dir

**Rezonans**, [fizikte](#) bir sistemin bazı frekanslarda diğerlerine nazaran daha büyük genliklerde salınması eğilimidir. Bunlar, o sistemin rezonans (tınlaşım) frekansları olarak adlandırılır.



Şek. 19-6. Bir ucu kapalı boruda rezonans ve kararlı dalga modları. **K**: karın noktası, **D**: düğüm noktası.

# BİLEŞİK SESLER VE FOURIER ANALİZİ





# Sesin Duyusal Özellikleri

- **Ses tonu:**

İnce (tiz): yüksek frekanslı sesler  
veya Kalın (pes): düşük frekanslı sesler

- **Sesin duyusal şiddeti veya gürlüğü (loudness):**

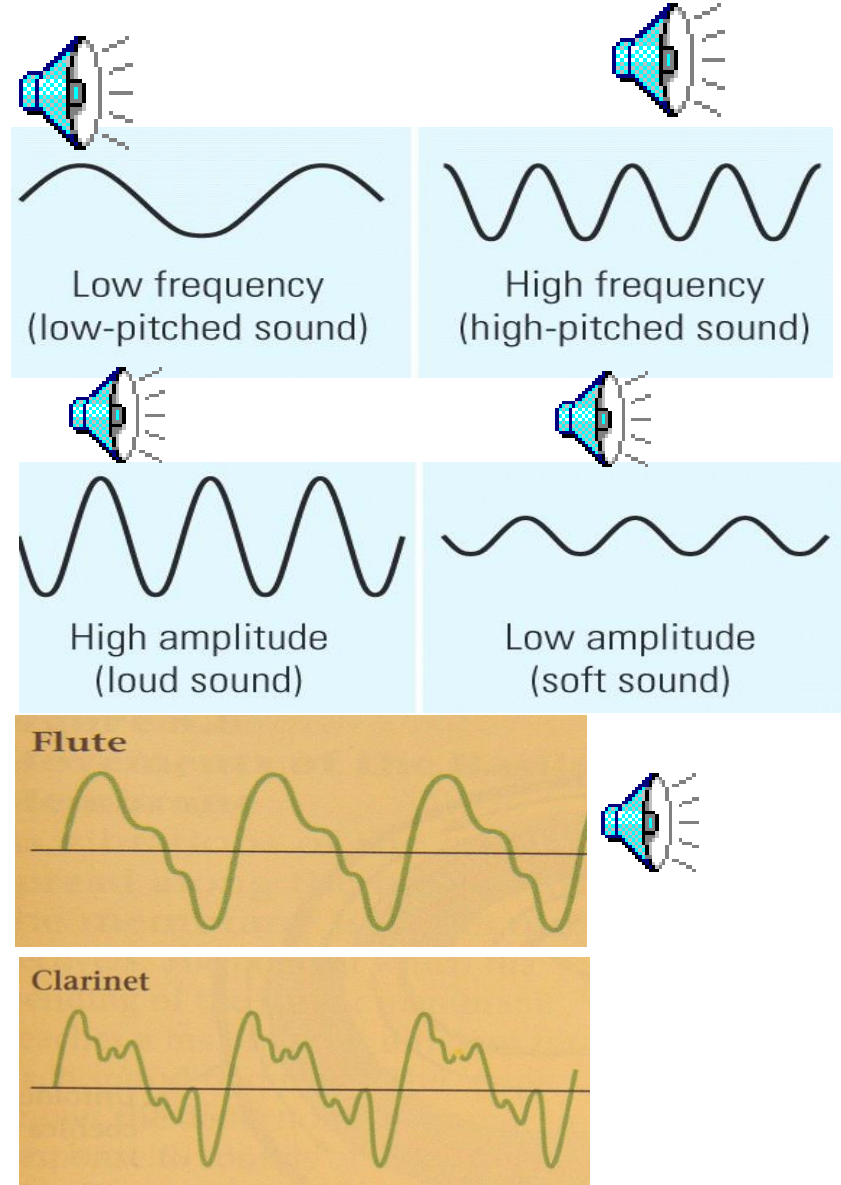
-Şiddetli veya zayıf  
- Sesin şiddeti ses kaynağına olan uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak azalır (ters kare kanunu)

- saf ses (örneğin do sesi)

- **Ses niteliği** (Kalite, tını):

- İki sesin I ve f aynı fakat armoniklerin sayısı ve genlikleri farklı

- Tını: ses rengi (örneğin farklı müzik aletlerindeki alınan sesler gibi)



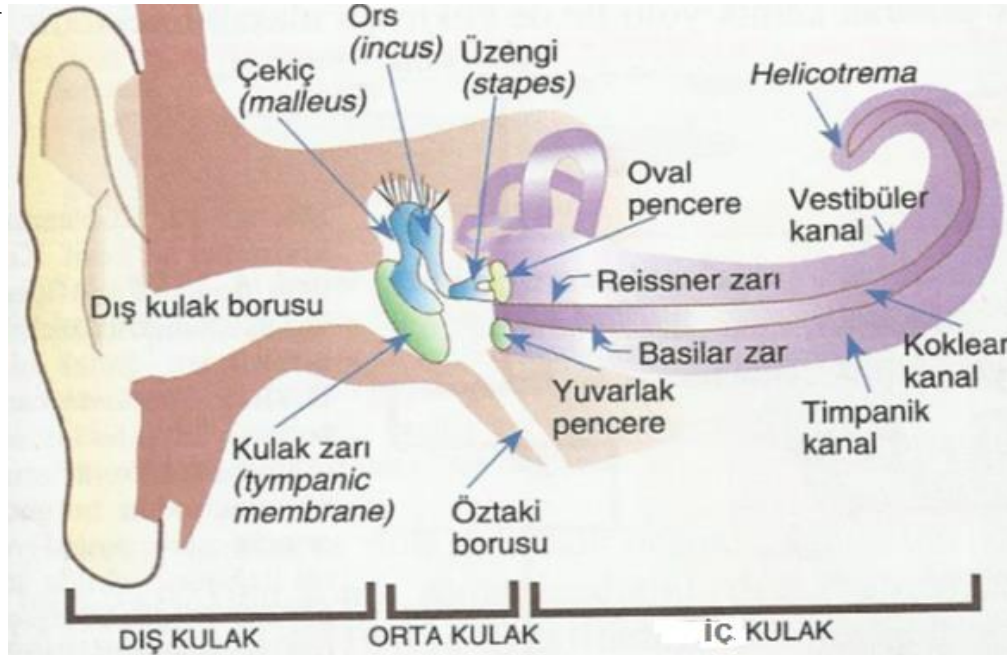
# **İŞİTMENİN BİYOFİZİKSEL MEKANİZMA**

# SES DALGALARININ KULAKTA İŞLENMESİ

Dış ve orta kulaktaki anatomik yapıların temel işlevleri;

1- Ses enerjisini algılamada özelleşmiş hücrelere kadar ulaştırmak ve hücrelerin verimli çalışmasını sağlamak,

2-Hücreleri zararlı düzeydeki ses uyaranlarına karşı korumak



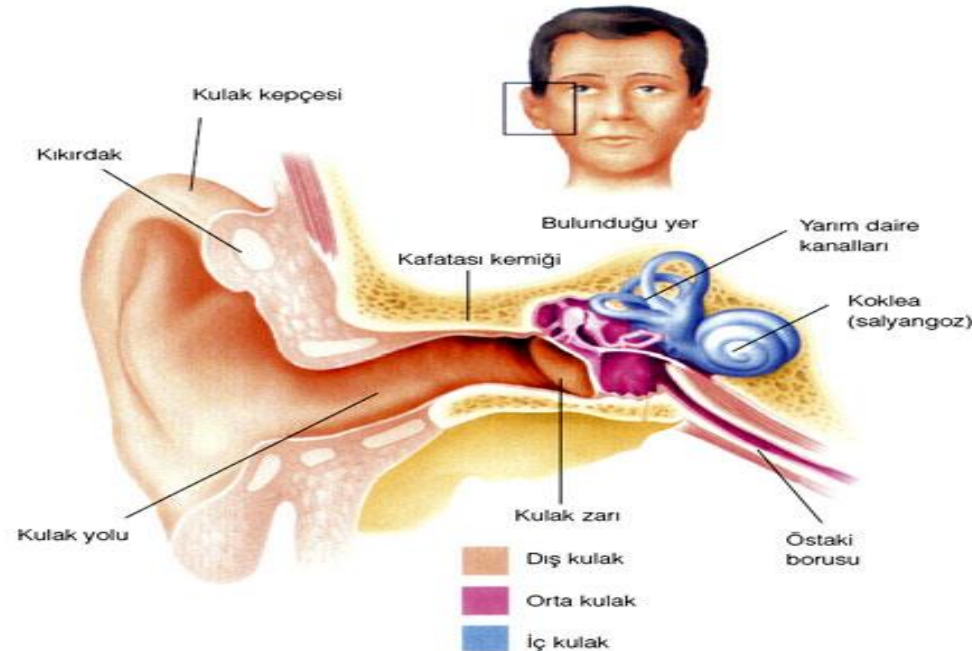
Şek. 19-10. Kulağın şematik yapısı.



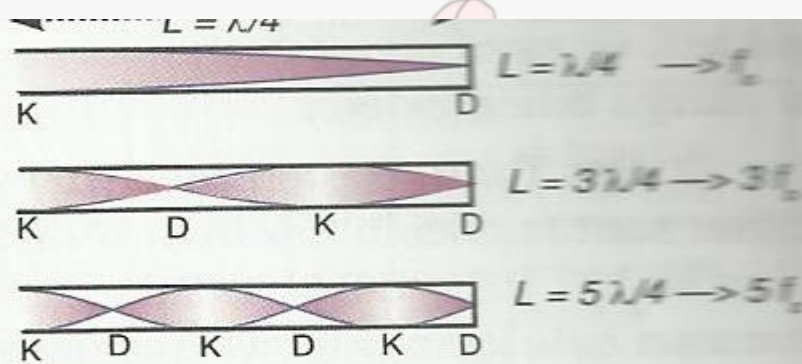
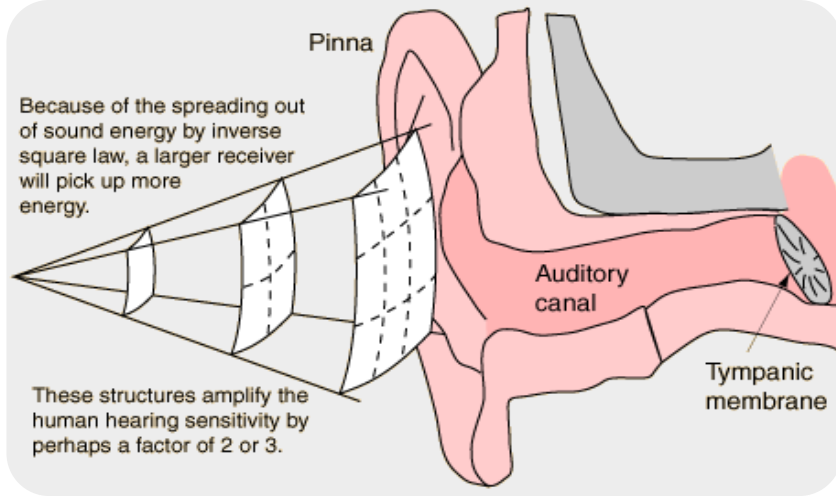
# Dış Kulağın İşitme Mekanizmasındaki Rolü

1-Ses dalgalarının kulak zarına (timpanik membran) iletimi,

2-Rezonans frekansına uygun sesleri amplifiye ederek şiddetini artırır veya bariyer oluşturarak şiddetini azaltır.



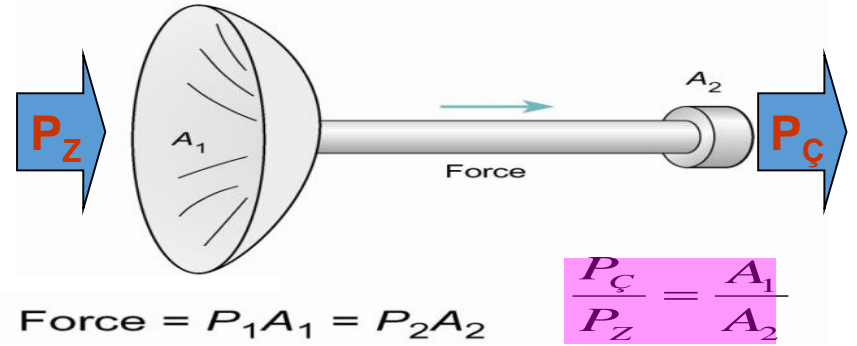
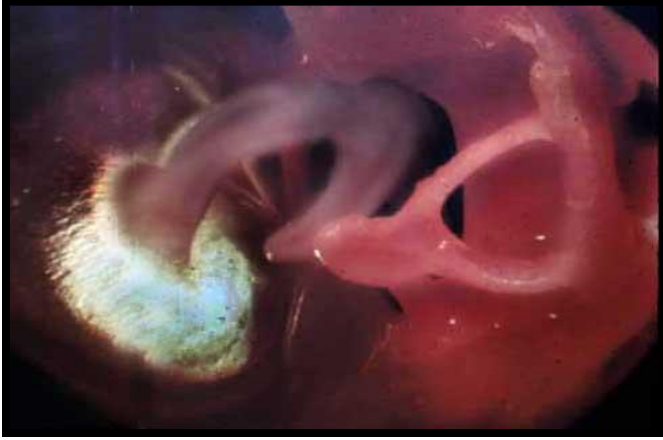
# 1. Dış kulak yolunun işitmedeki rolü ve Biyofiziksel Mekanizma



Şek. 19-6. Bir ucu kapalı boruda rezonans ve kararlı dalgalar. K: karın noktası, D: düğüm noktası.

- Ses enerjisi kendi kaynağından ileriye doğru ters kare kanununa göre yayılır.
- Kanala giren ses dalgaları ile kanalın tabanından yansıyan dalgaların girişimi sonucu kanalda kararlı dalgalar oluşur. Rezonans olayı dış kulak kanalında kararlı dalgaların oluşmasının temel nedenidir.
- İşitme eşik şiddeti 1-4kHz dolayında minimum ve eşikteki yükselme eğilimi 7-10kHz de yavaşlar.
- 10 dB lik amplifiye edilir

# Orta Kulak Biyofiziksel Mekanizma



□ Orta Kulak, ses enerjisinin havadan sıvı ortamına aktarılması işlevini yürütür.

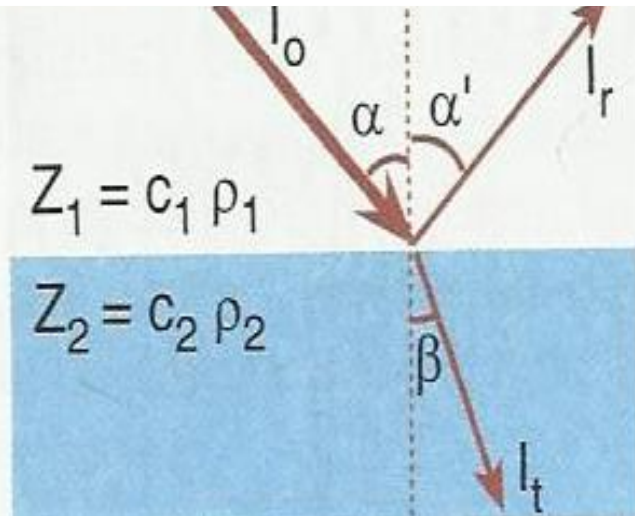
## 1- Empedans uyum mekanizması,

- S (kulak zarı)/S (Oval pencere) =17 (Yüzey alanı oranları)
- Kemikçikler kaldıraç benzeri hareketle (1kHz kaldıraç,) A=1.3 çarpanı kadar büyütürler,

## 2-Ses basıncı büyütülmesini kontrol etmek (akustik refleks)-refleks mekanizma,

- Tensor tympany ve stapedius kasları ile kontrol edilir

# Orta kulak işitme mekanizması



$$I_0 = I_r + I_t$$

$$r = I_r / I_0$$

$$t = I_t / I_0$$

$$r + t = 1$$

$$r = \frac{I_r}{I_0} = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

$$t = \frac{I_t}{I_0} = \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

$$r + t = 1$$

□ Gelen enerjinin %99 u yansırken ancak % 1 i sıvı ortama geçer.

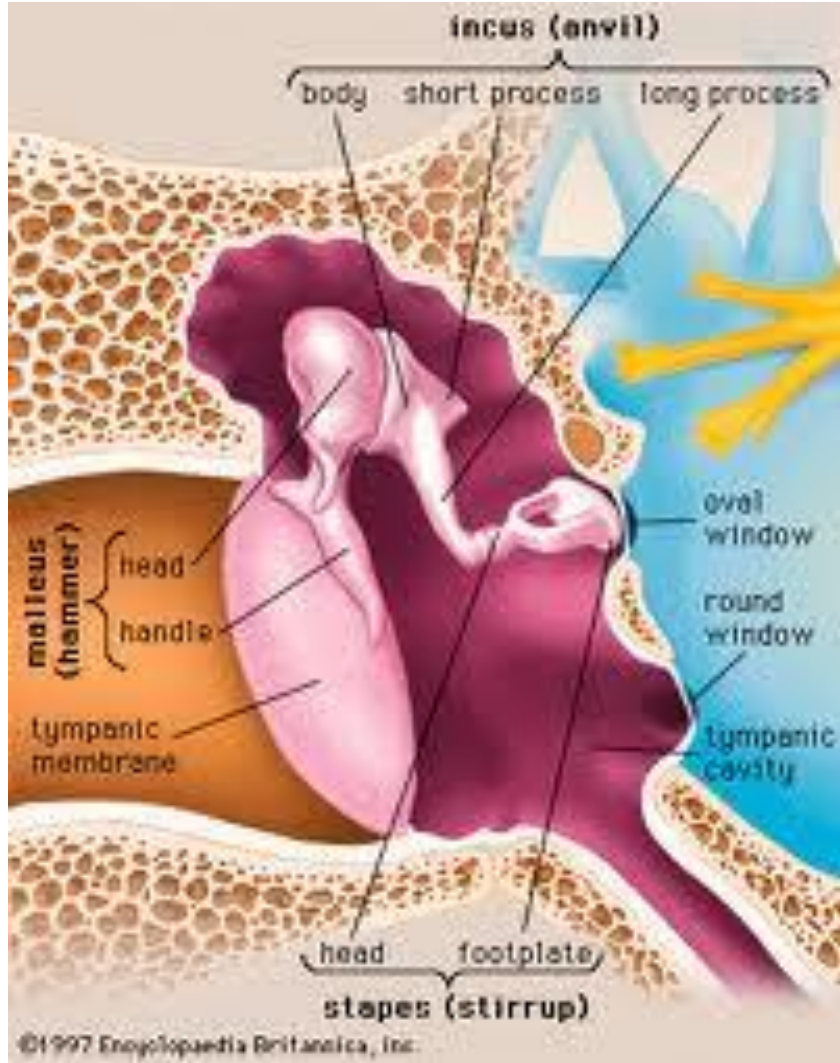
$I_0$ ; incident intensity

$I_r$ ; reflected intensity

$I_t$ ; transmitted intensity

$Z = \rho c$ ; impedance of the medium.

# Orta Kulak Biyofiziksel Mekanizma

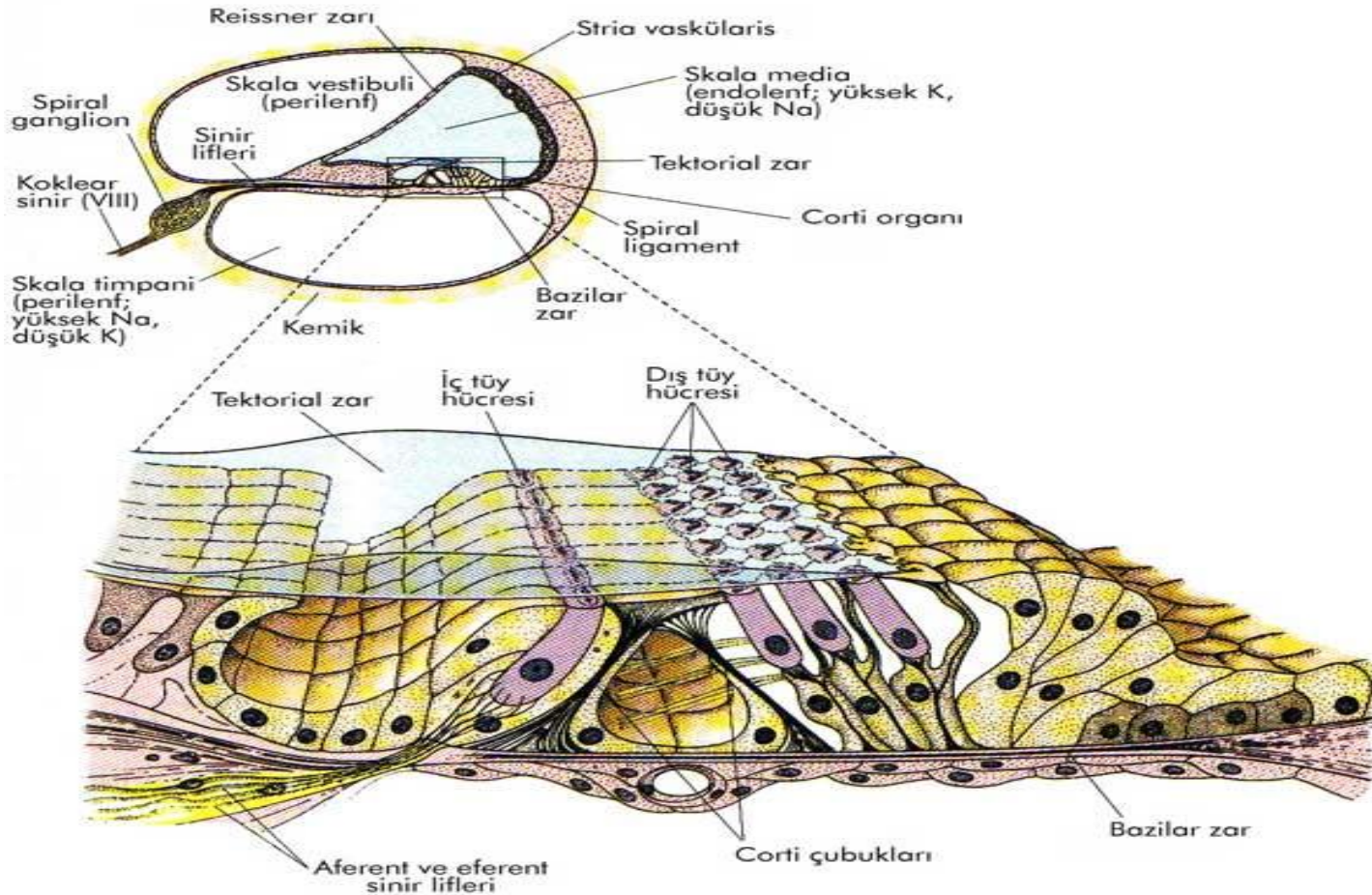


- Empedans uyum mekanizması  
Kulak zarı alanı 55 mm<sup>2</sup> ve 3.2 mm<sup>2</sup> (17 kat daha büyük)  
Kemikler, yaklaşık 1.3'lük bir mekanik avantajı olan bir kaldıraç sistemi olarak işlev görür.
- Genel olarak, kokleaya ulaşan ses enerjisindeki artış yaklaşık  $17 \times 1.3 = 22$  kat daha fazladır.
- Yaklaşık 20 dB kazanç sağlar

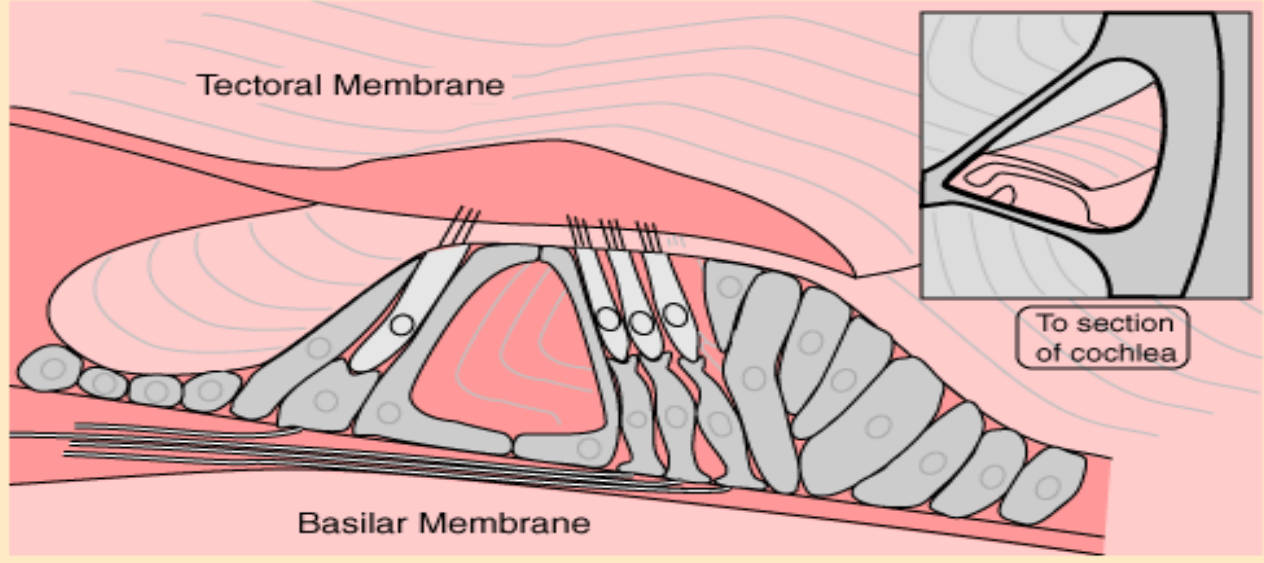


# İç Kulak ve İşitme Mekanizmasındaki Rolü

İç kulak mekanik enerjinin elektriksel enerjiye dönüştüğü yerdir.



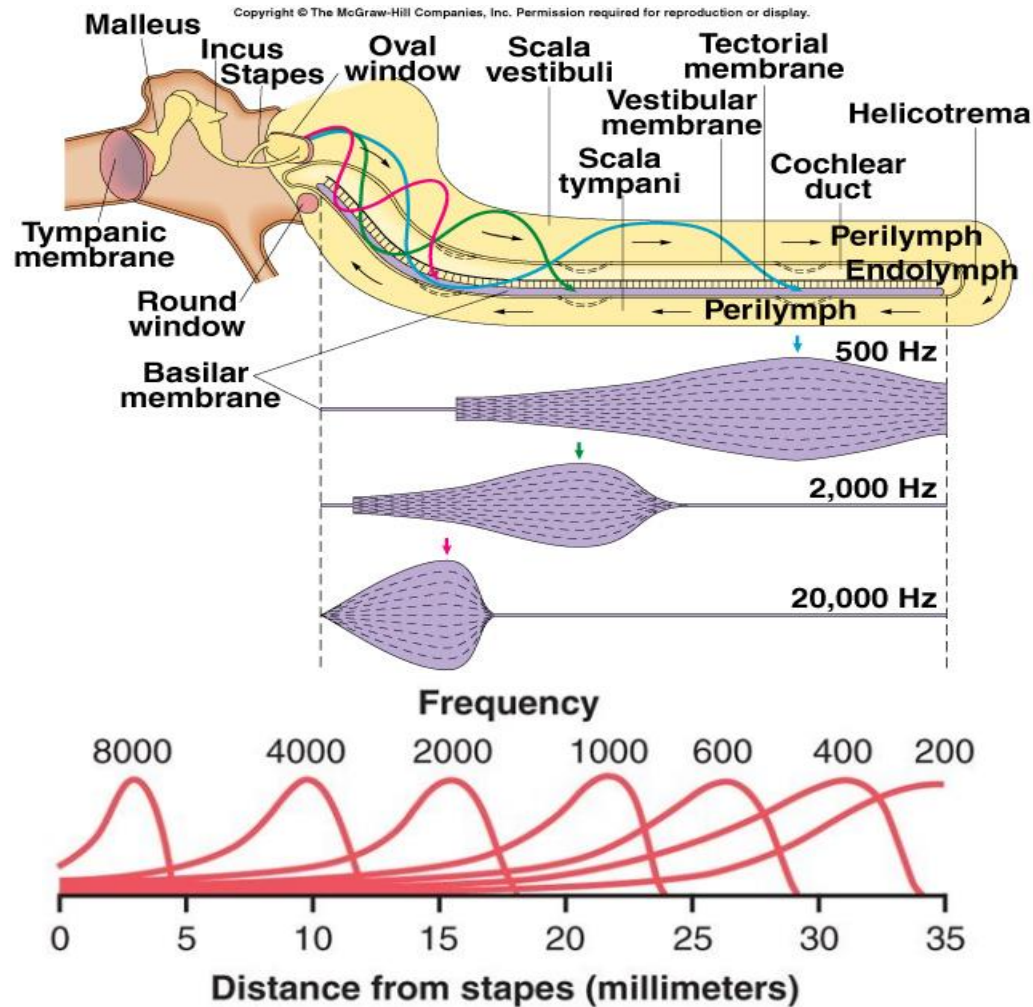
# Vücutun Mikrofonu Corti Organı

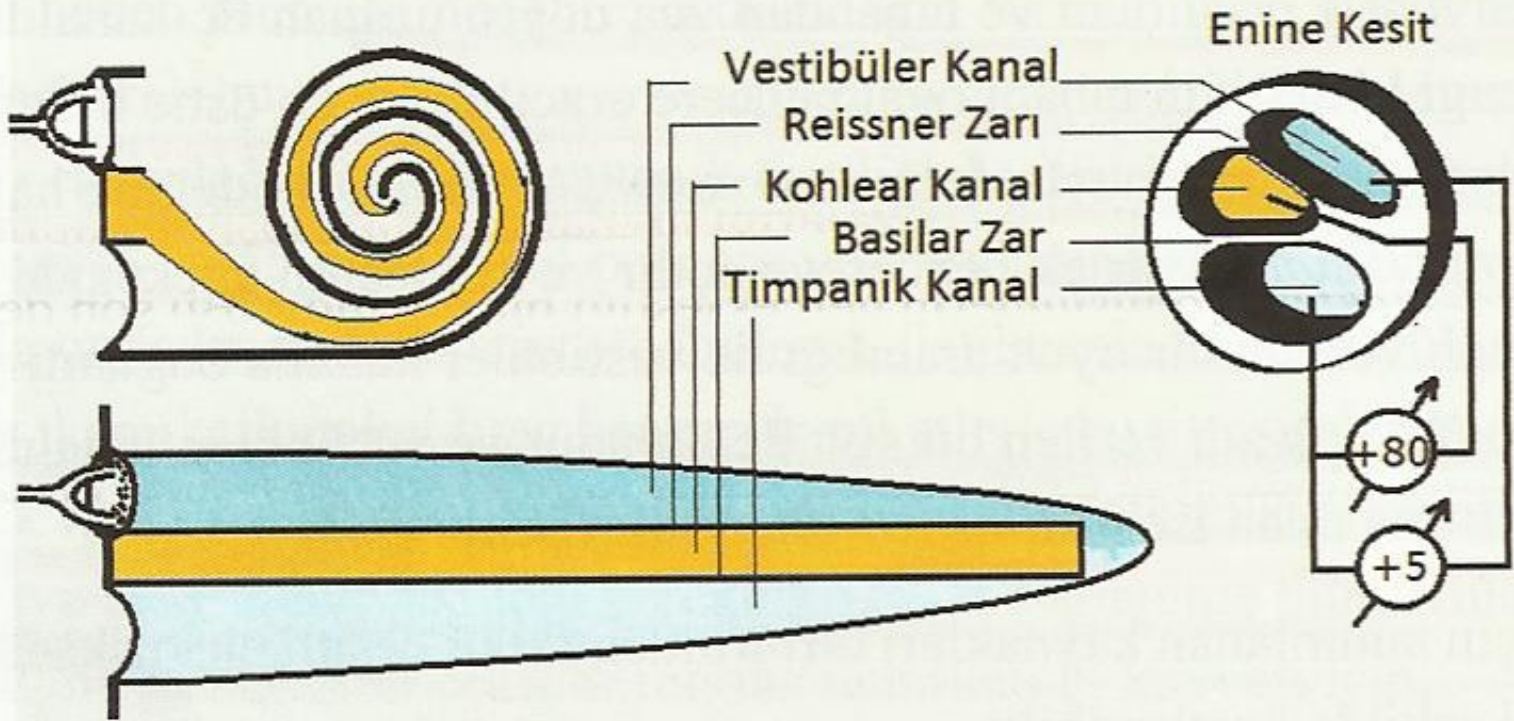


- Baziler membranın üstüne yerleşmiştir.
- Baziler membran boyunca 6,000 -20,000 tüy hücrelerinden oluşur(İç ve Dış tüy hücreleri).



# Farklı ses frekansları, baziler membranın farklı yerlerinde titreşir (Yer prensibi)





Vestibüler Kanal

Reissner Zarı

Kohlear Kanal

Basilar Zar

Timpanik Kanal

Enine Kesit

+80

+5

Taban

Basilar Zar

Apex

20 000 Hz

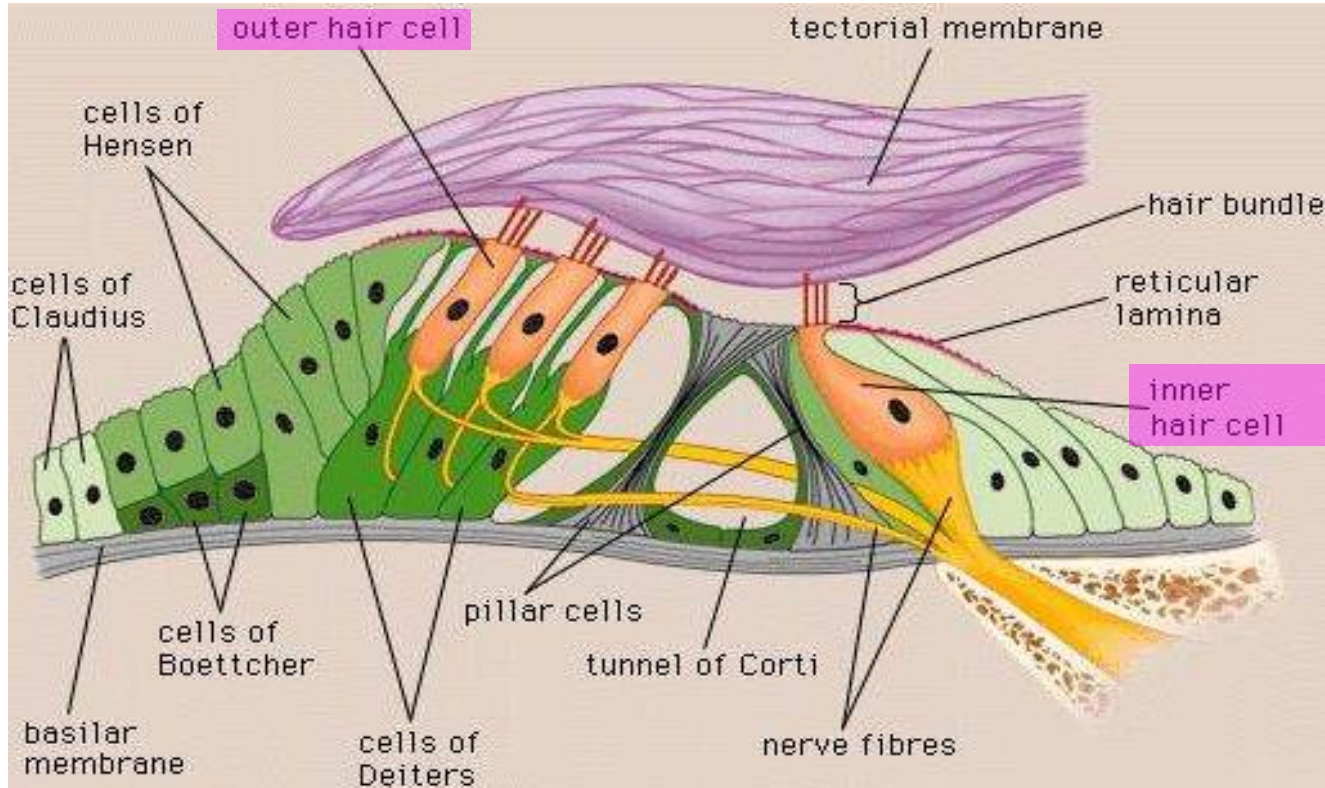
2000 Hz

200 Hz

20 Hz

Basilar zarda maksimum genlikle titreşen noktanın konumu sesin frekansı ile değişir.

# Kohlea

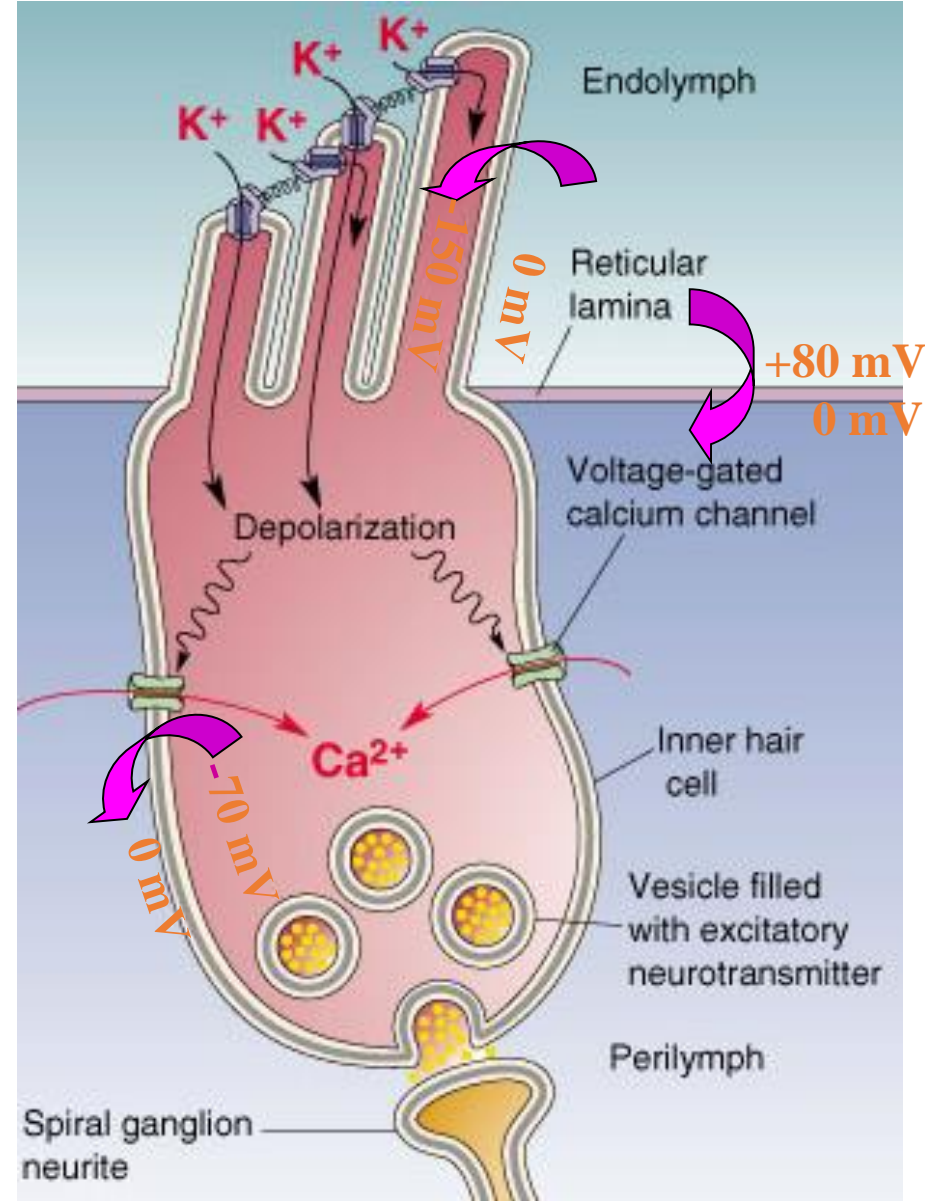


- Baziler membran yer deđiřtirirken, sađ hücresinin tepesindeki stereocilia bükülür.
- Bu, bazal ucuna iletilen sađ hücresinin membran potansiyelinde bir deđiřikliğe neden olur



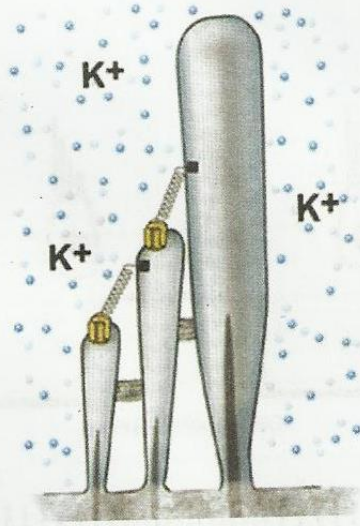
# Kohlea

- İşitsel sinire ait bir dendrit ile bir sinaps oluşur.
- Tüy hücre zarı potansiyel değişikliği, sinir lifinin depolarizasyonuna yol açan bu sinaps boyunca iletilir.
- Bu sinirsel impuls daha sonra beynin işitme merkezlerine yayılır.

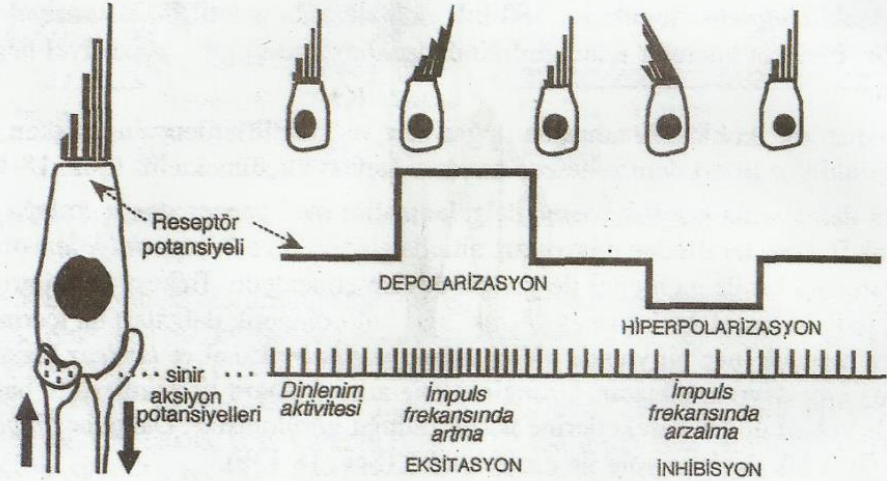
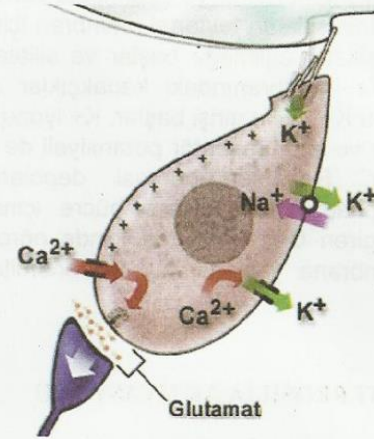


# Tüy hücrelerinin uyarılması

## STEREOSİLİA AKTİVASYONU



## MEKANOELEKTRİKSEL DÖNÜŞÜM



# Odyometri Çalışma Prensipleri

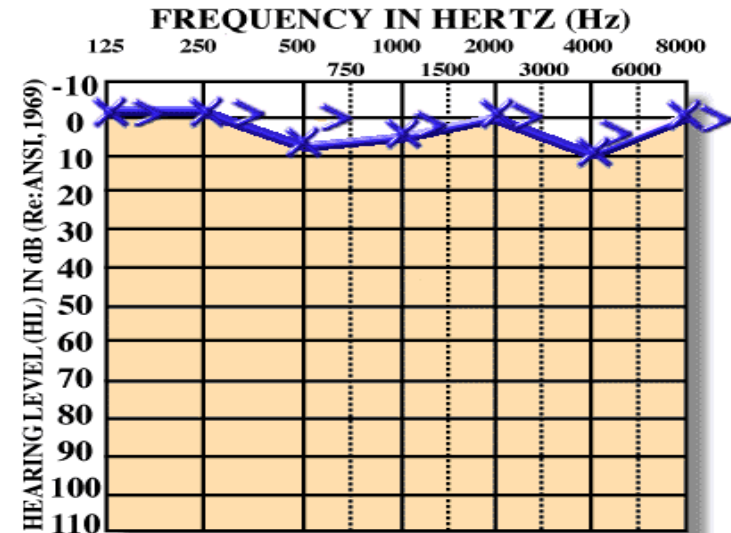
İşitme testleri yapmak üzere geliştirilmiş sistemlere denir.

■İşitme bozukluklarının ayrıntılı özelliklerini saptamada odyometre sıklıkla kullanılır.

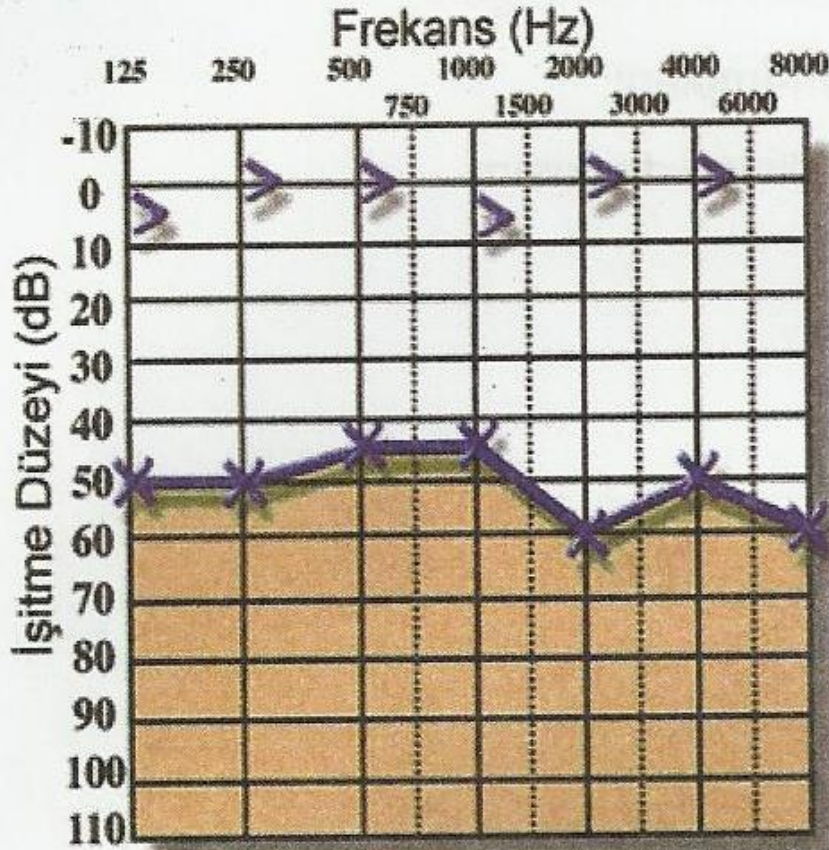
■Sesten yalıtılmış bir odada, düşük frekanstan yüksek frekansa doğru sesler hem hava hem de kemik iletimini incelemek üzere deneklere verilir.

■Frekansların her biri için işitme kayıpları saptanır ve “odiyogram” adı verilen grafikte işaretlenir

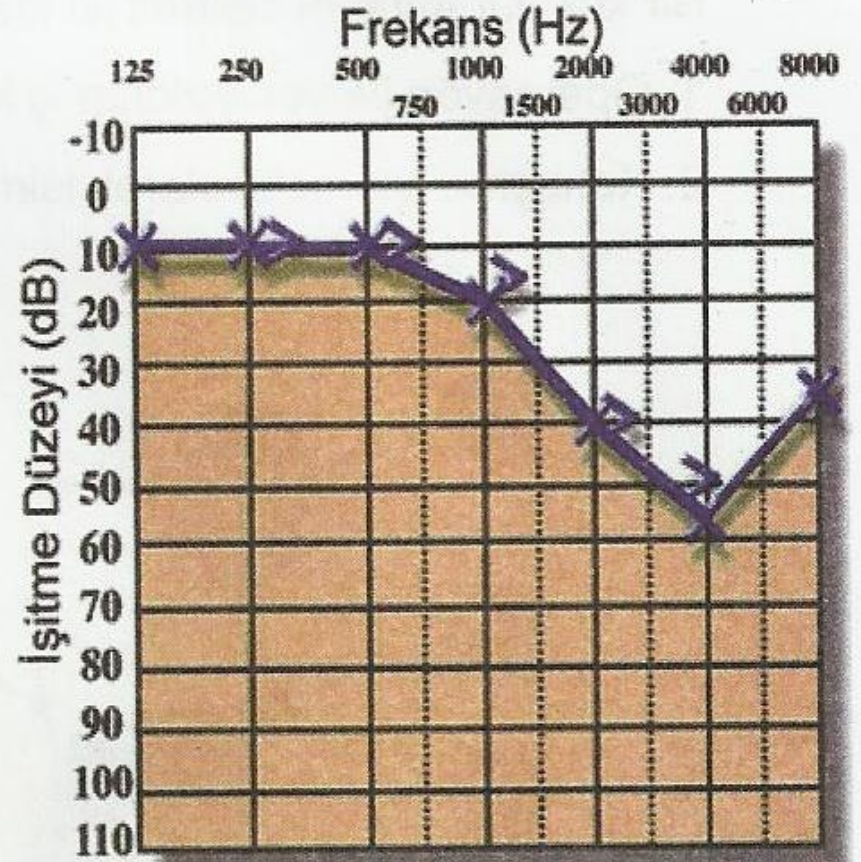
■İşitme kaybı olan kişilerle hazırlanan odiyogramlara göre kişideki kaybın iletim ya da sinir tipi olduğu belirlenebilir.







**İletim tipi işitme kaybı**



**Sinirsel tip işitme kaybı**



# KAYNAKLAR

1. BİYOFİZİK, Nörobiyofizik, Prof. Dr. Ferhan Esen ve Prof. Dr. Hamza Esen, Ankara Nobel Tıp Kitabevleri Ltd.Şti., 2016
2. Biyofizik, Prof. Dr. Ferit Pehlivan. Pelikan Yayınları 2015