

# SES DALGALARI, REZONANS OLAYI, BİLEŞİK SESLER, SES DALGALARININ KULAKTA İŞLENMESİ

DOÇ. DR. ERKAN TUNCAY

# Ders İşleyiŒi

- Ses ve iŒitme
- Dalgalar ve dalgaların özellikleri
- Ses dalgaları
- Rezonansın tanımı
- Kulakta rezonans olayı ve dıŒ kulak borusu
- BileŒik sesler ve fourier analizi
- Sesin duyusal özellikleri
- Ses Œiddet düzeyi ve Œiddet ayrımı
- Ses dalgalarının kulakta iŒlenmesi
- İç kulakta evirim ve iç kulak potansiyelleri
- Tüy hücrelerinde evirim ve iŒitme teorileri

# Ses ve işitme

- İşitme duyusu, ses olarak adlandırdığımız maddesel titreşim dalgalarının insan ve hayvanlarda özelleşmiş bazı reseptörlerce detekte edilmesine dayalıdır.
- İnsanın, frekans bakımından işitme aralığı, yaklaşık olarak 16Hz-20000Hz aralığındadır. 16Hz den düşük olan sesler infrases, 20000Hz den yüksek olan sesler ultrases olarak adlandırılır.

# Dalga nedir ?

- Enerjinin madde aktarımı olmaksızın geniş bir alanda yayılması Dalga olarak adlandırılır. Dalgalar titreşim doğrultusuna ve Taşıdığı enerjiye göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır.
- Dalgalar taşıdıkları enerjiye göre iki çeşittir.
  - 1) Mekanik dalgalar (Yayılmaları için ortam gerekli)
    - Ses, su ve deprem dalgaları gibi
  - 2) Elektromagnetik dalgalar ( Yayılmaları için ortam gerekmez)
    - yüklü parçacıklar tarafından, elektrik ve manyetik alanların periyodik titreşimlerinden meydana gelirler. Mikrodalga, X ışınları gibi

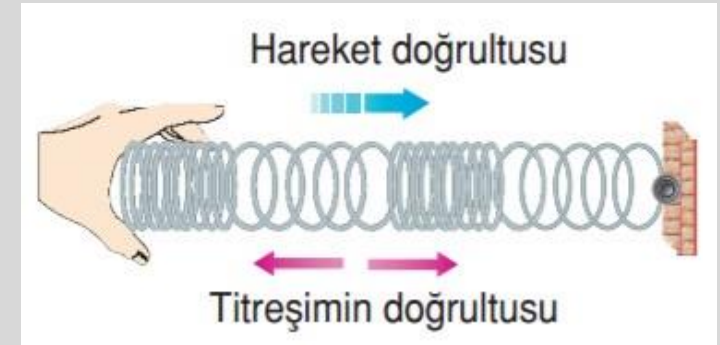


# Dalga nedir ?

Enine dalgalar: Titreşim doğrultusu yayılma doğrultusuna dik olan dalgalara enine dalgalar denir. Deprem dalgaları, Su dalgaları, elektromagnetik dalgalar gibi

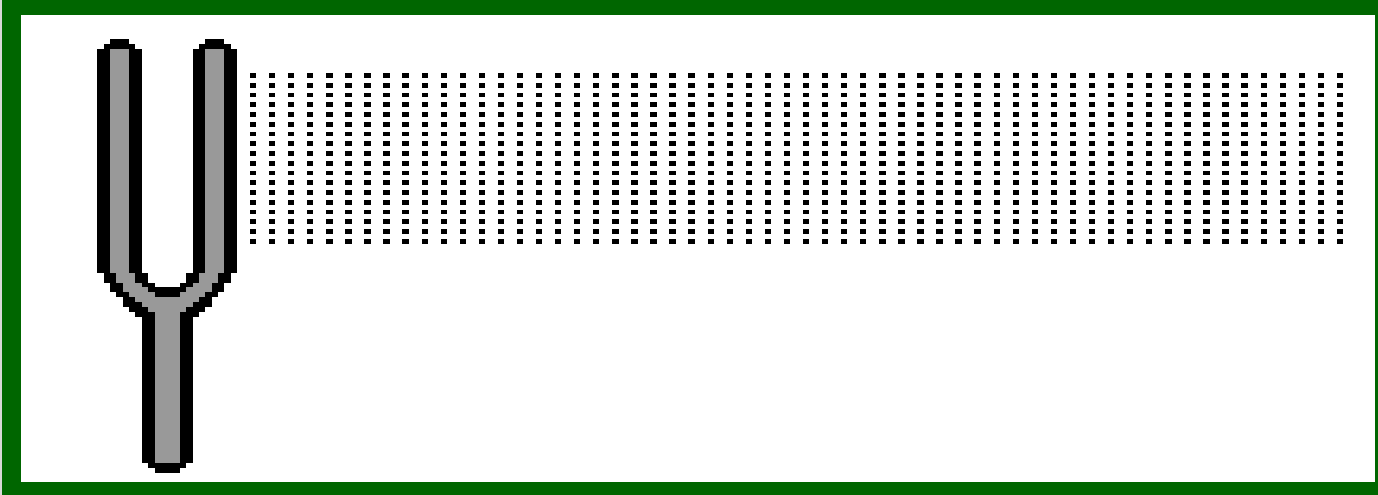
Boyuna dalgalar: Titreşim doğrultusu yayılma doğrultusuna paralel olan bu dalgalara da boyuna dalgalar denir. Ses dalgaları gibi..

Deprem, Yay ve Su dalgaları hem enine dalga hem de boyuna dalga sınıfına girer.



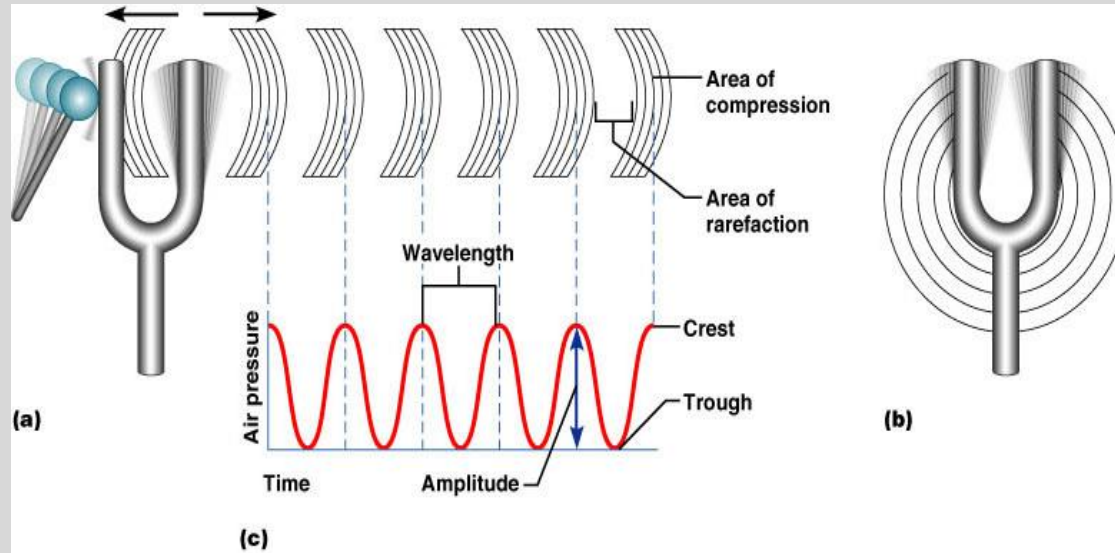
# SES DALGALARI

- **Mekanik dalgalardır.**
- **Mekanik dalgalar boşlukta yayılamaz.**
- **Titreşim enerjisi ortam içinde yayılır.**
- **Mekanik titreşimler işitme duyusu oluşturur.**
- **Ses titreşen cisimler tarafından oluşturulur. (diyapazonun titreşmesi, diyaframın titreşmesi)**



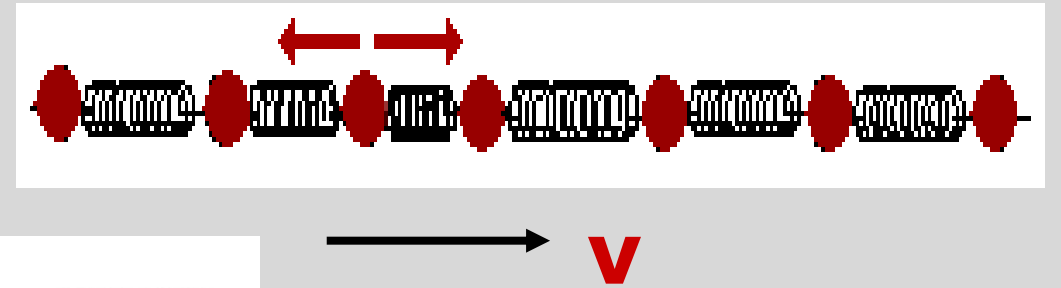
# SES DALGALARI

- Ses dalgaları boyuna dalgardır.
- Ses havada sabit bir hızla yayılır  $V_{ses} = 340 \text{ m/s}$
- Suda veya çoğu biyolojik dokularda  $V_{ses} = 1500 \text{ m/s}$



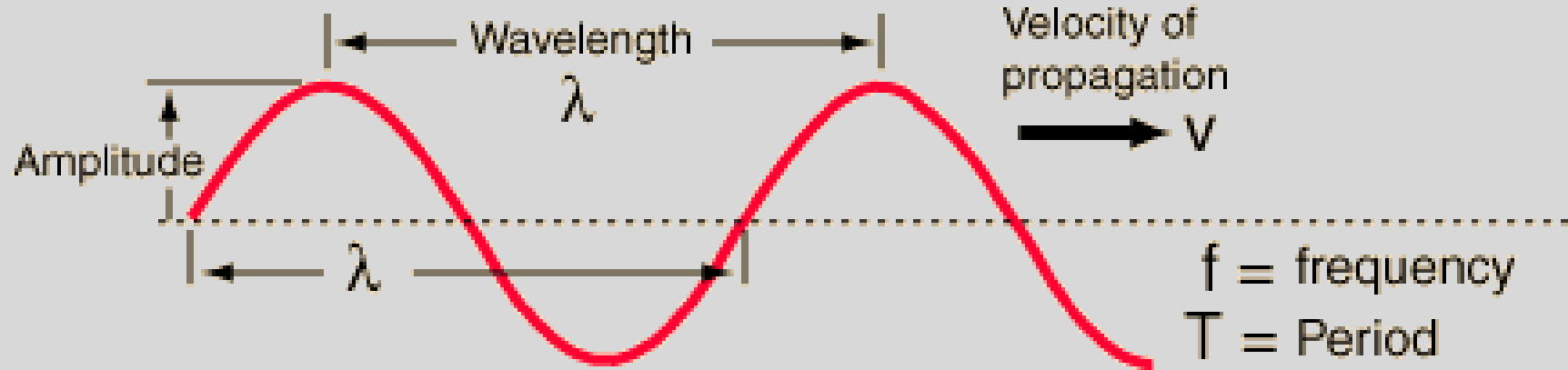
**Ses dalgalarına basınç dalgaları da denir.**

## Titreşim doğrultusu



# Dalgaların özellikleri

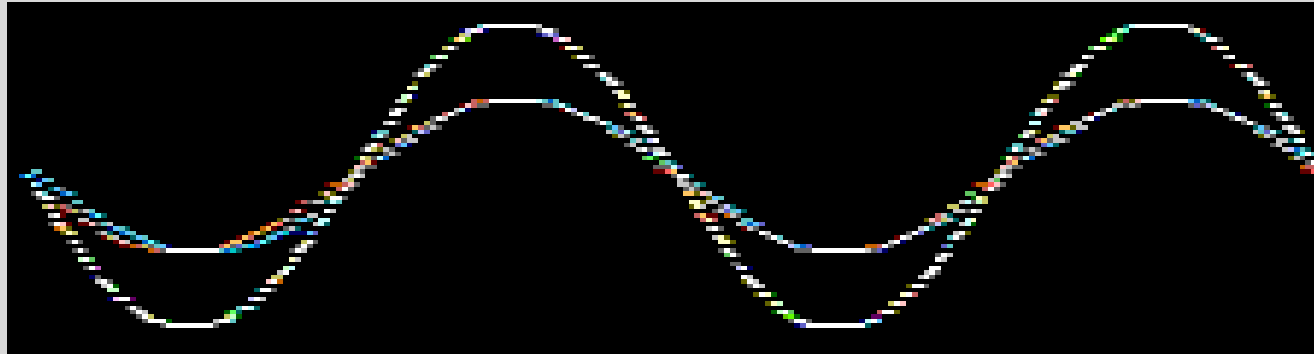
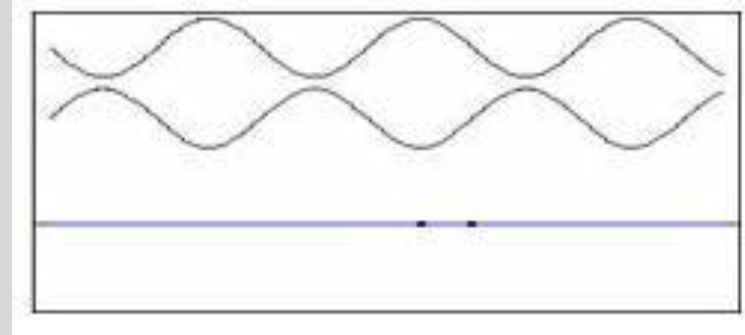
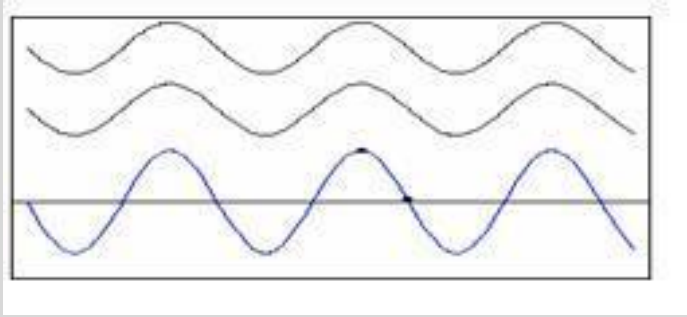
- Periyot: Bir tam dalga oluşması için geçen süreye denir. Birimi saniyedir. Periyot dalgayı oluşturan kaynağa bağlıdır. "T" ile gösterilir.
- Frekans : Birim zamanda oluşan dalga sayısına frekans denir. Frekans birimi Hertz(Hz) veya 1/s dir. Frekans dalgayı oluşturan kaynağa bağlıdır. "F" ile gösterilir





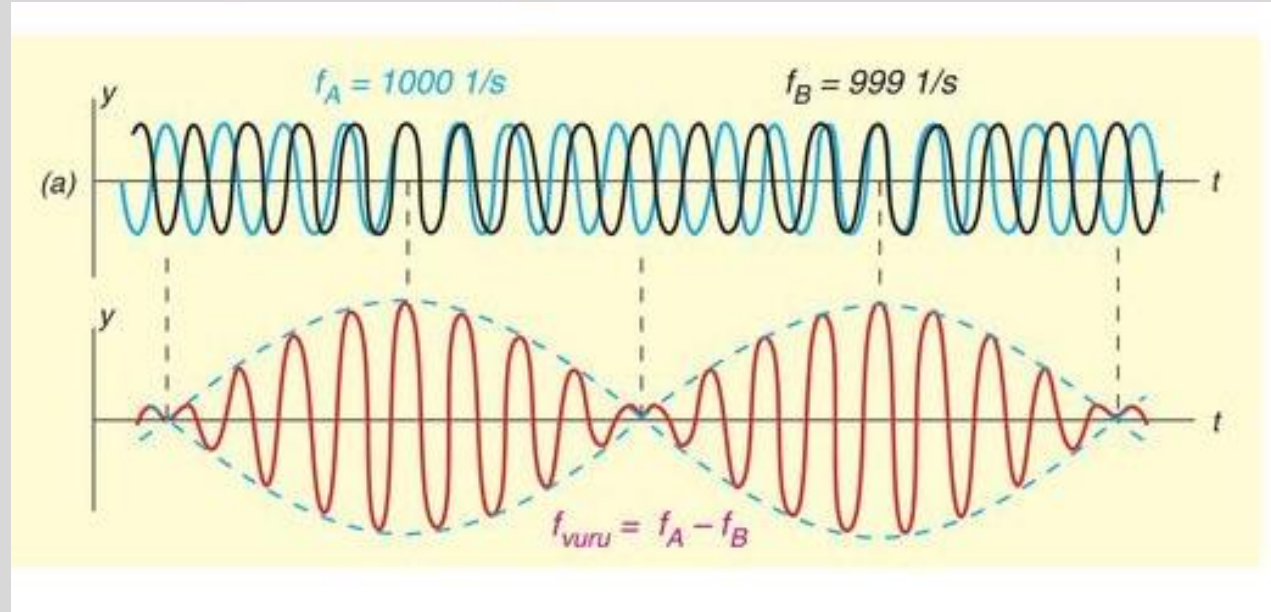
# Dalgaların özellikleri

- İki veya daha fazla dalganın super pozisyonu sonucu Girişim ortaya çıkar.



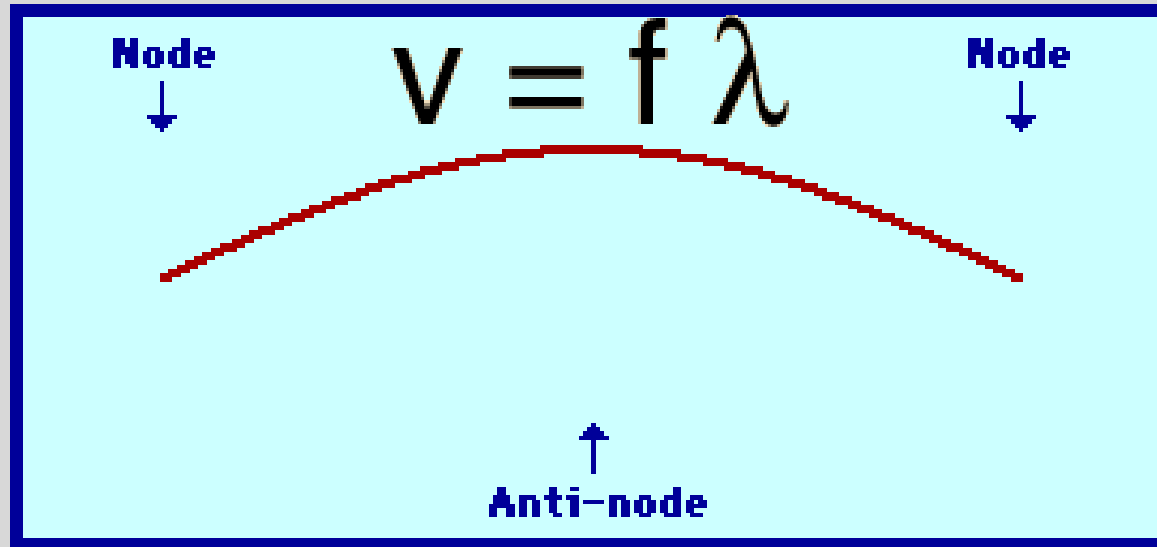
# Vurular: Zaman içinde girişim

- Vuru, verilen bir noktada biraz farklı frekanslara sahip olan iki dalganın üst-üste binmesi ile şiddette meydana gelen periyodik değişim olarak ifade edilir.



# İki ucu kapalı tüpte ses dalgalarının davranışı

- **Temel frekans (birinci harmonik)**

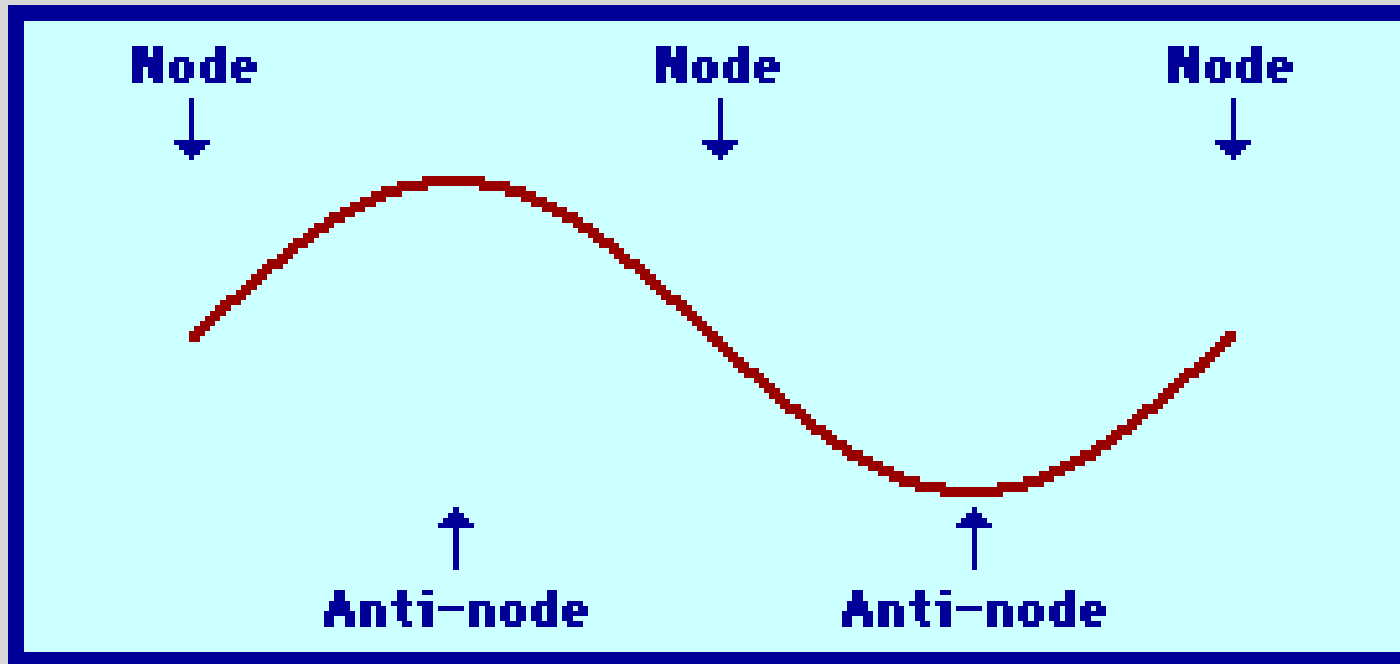


$$L = \lambda/2$$

$$f_1 = v/2L$$

# İki ucu kapalı tüpte ses dalgalarının davranışı

- **İkinci harmonik**



$$v = f \lambda$$

$$\lambda = L$$

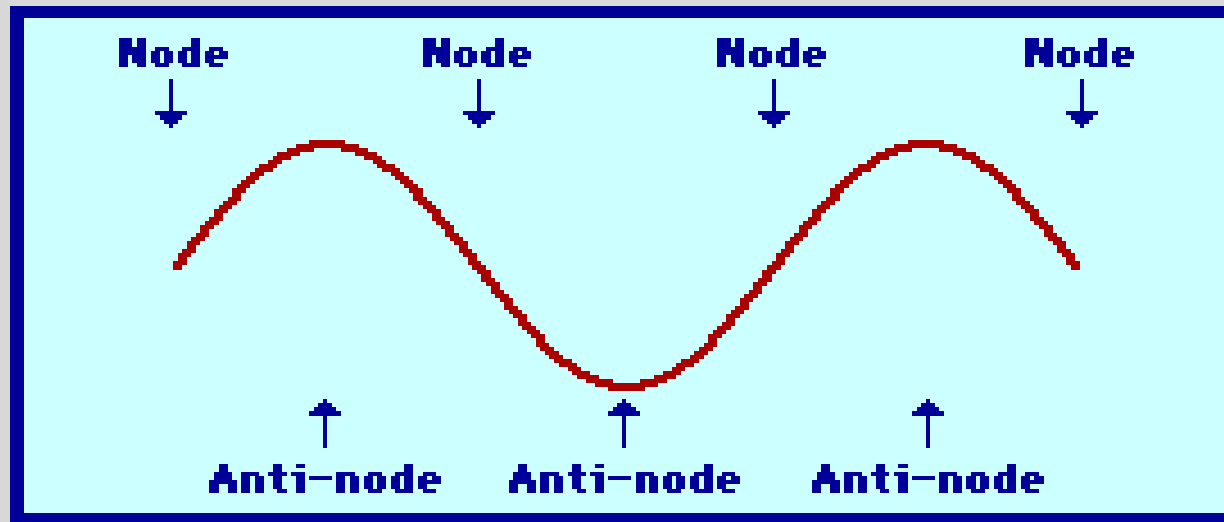
$$f = v/L$$

$$f = 2f_1$$

$$f_1 = v/2L$$

# İki ucu kapalı tüpte ses dalgalarının davranışı

- Üçüncü harmonik

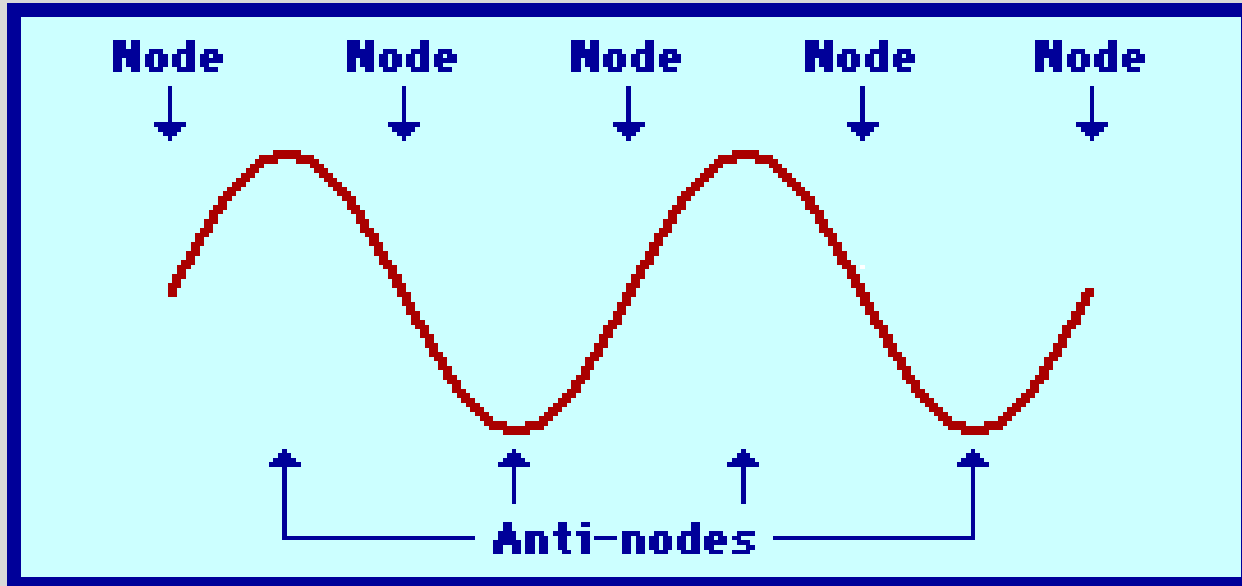


$$L = 3\lambda/2$$
$$f = v/(2L/3)$$
$$f_1 = v/2L$$
$$f = 3f_1$$

$$\lambda = 2L/3$$
$$f = 3v/2L$$

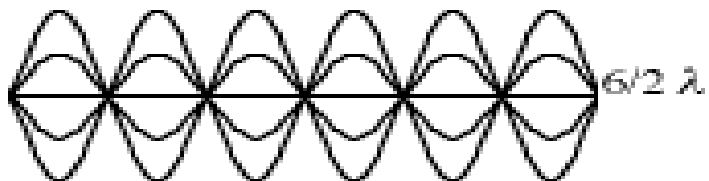
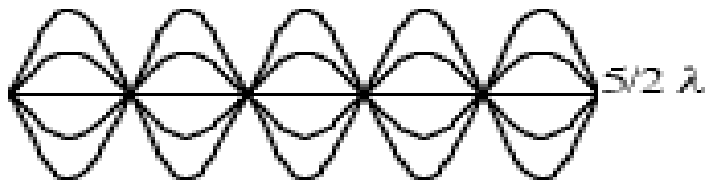
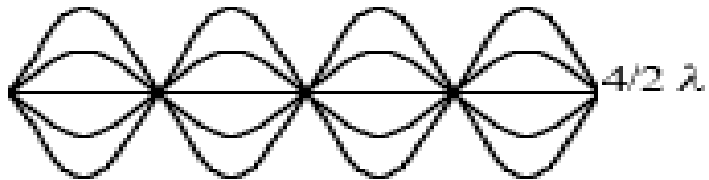
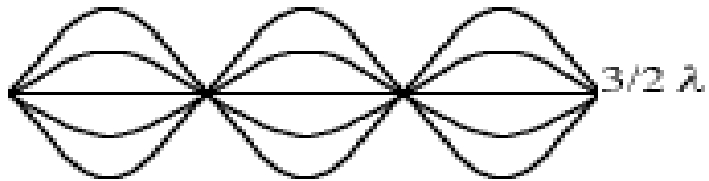
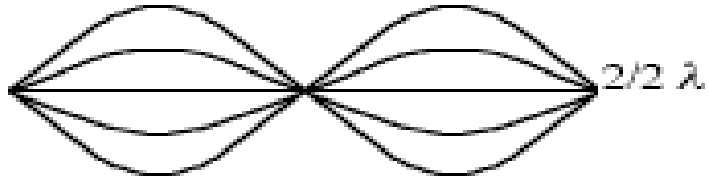
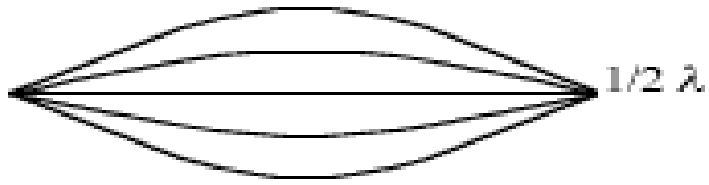
# İki ucu kapalı tüpte ses dalgalarının davranışı

- **Dördüncü harmonik**



$$L = 2\lambda$$
$$f = v/(L/2)$$
$$f_1 = v/2L$$
$$f = 4f_1$$

$$\lambda = L/2$$
$$f = 2v/L$$



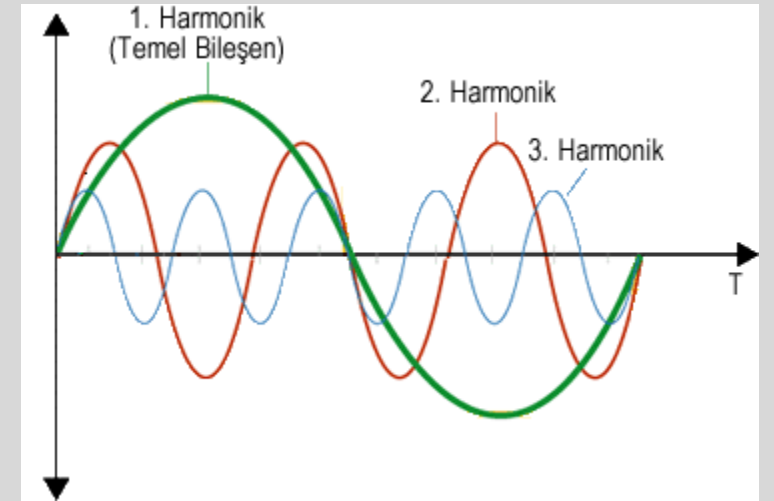
**Her iki ucu kapalı boruda**

**$L = n \cdot \lambda/2$  olmalıdır.  
 $n=1, 2, 3$**

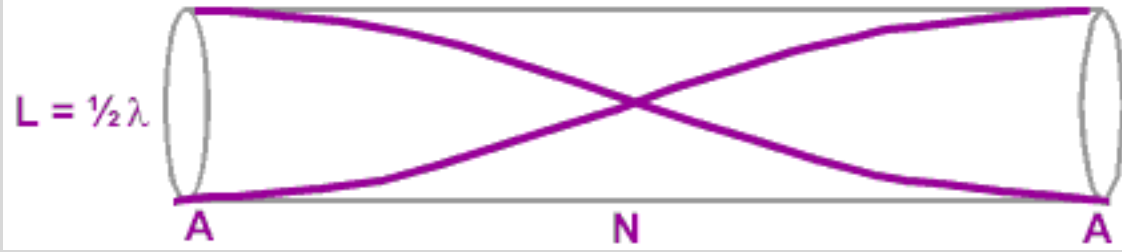
**$f_n = v/\lambda_n = n v / 2 \cdot L$**

**Temel frekans  $n=1$   
 $f_1 = v/2L$**

**Diğer frekanslar  
 $2f_1, 3f_1, 4f_1$**



# İki ucu açık tüpte ses dalgalarının davranışı



Temel frekans  $f_1$  1. harmonik



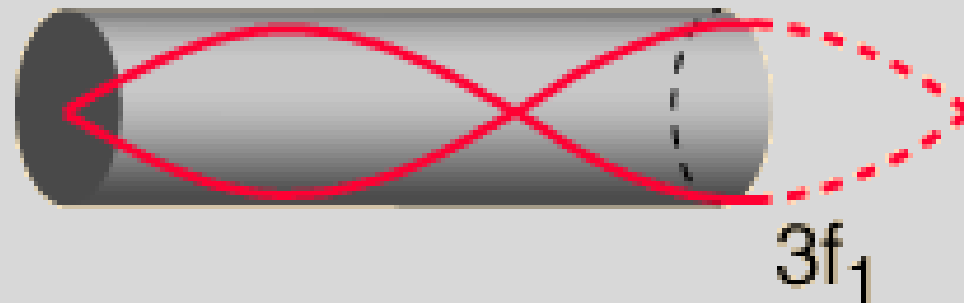
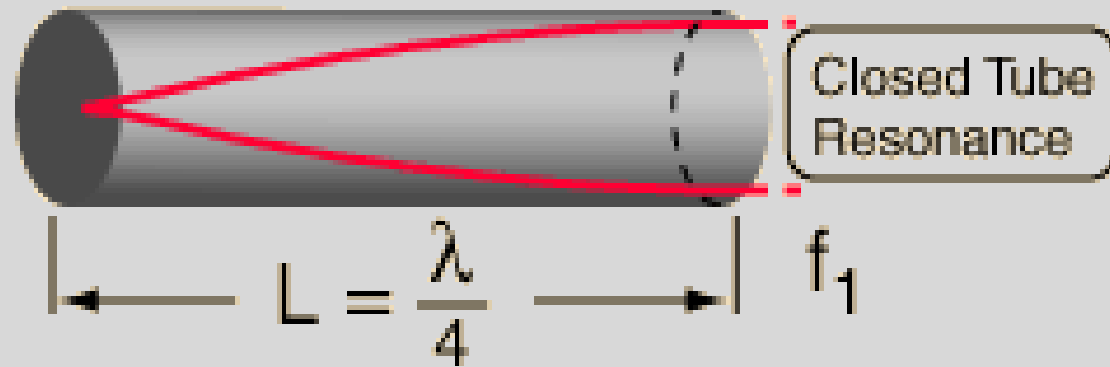
2. harmonik  $f_2 = 2f_1$



3. harmonik  $f_3 = 3f_1$



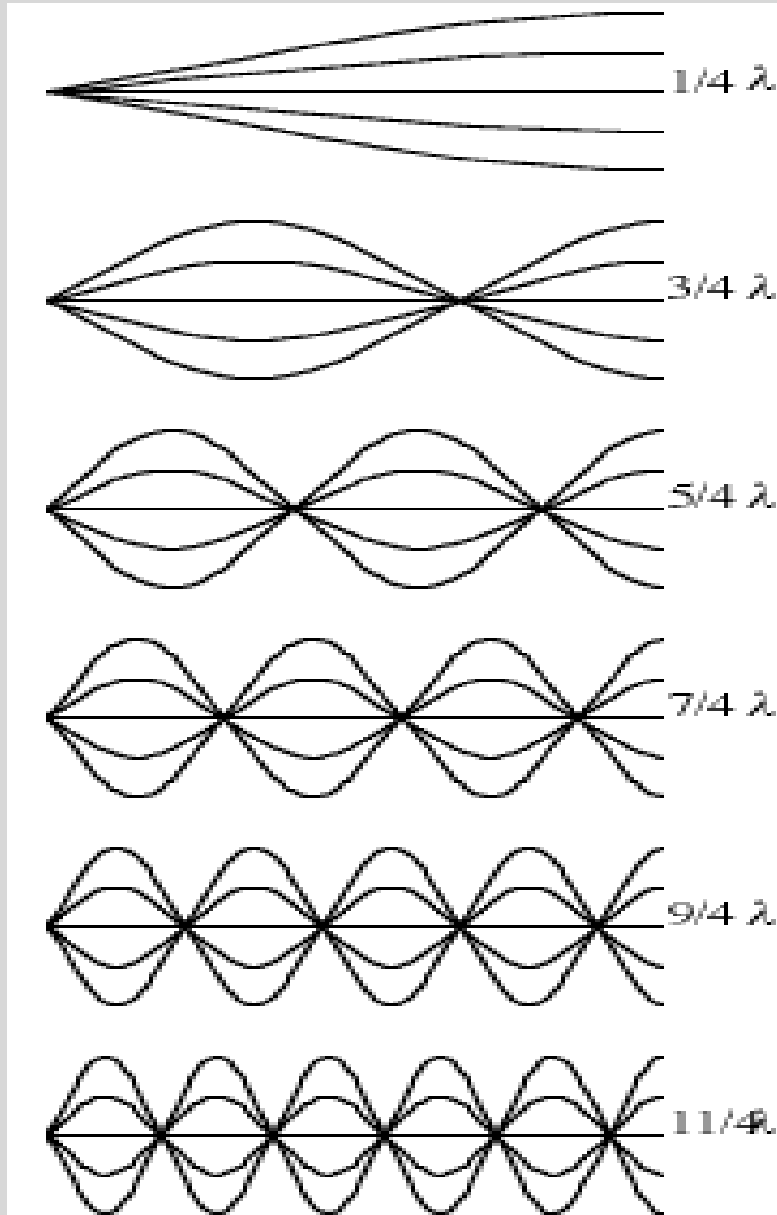
# Bir ucu açık bir ucu kapalı sistemlerde dalgaların davranışı



**Temel frekans:**

$$L = \frac{\lambda}{4}$$

$$f_1 = v/4L$$



**Bir ucu açık boruda**  
 **$L = n \cdot \lambda / 4 \quad n = 1, 3, 5, \dots$**

$$f_n = v / \lambda_n = n v / 4L$$

**Temel frekans:**

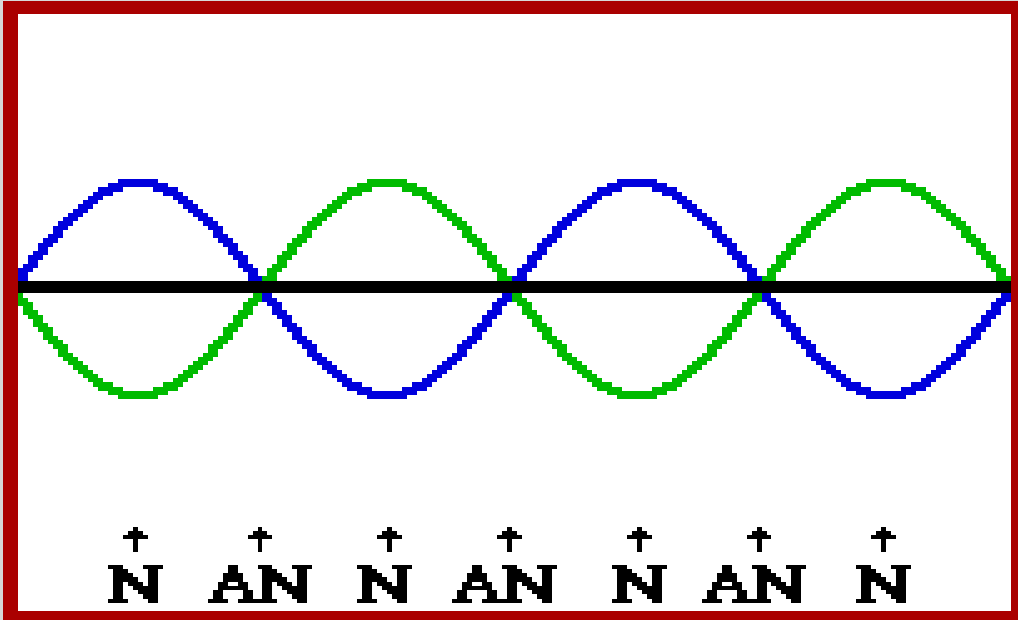
$$f_1 = v / 4L$$

**Temel frekansın tek katları  
 olacak şekilde harmonikler  
 vardır.**

$$f_1, 3f_1, 5f_1$$

# Rezonans

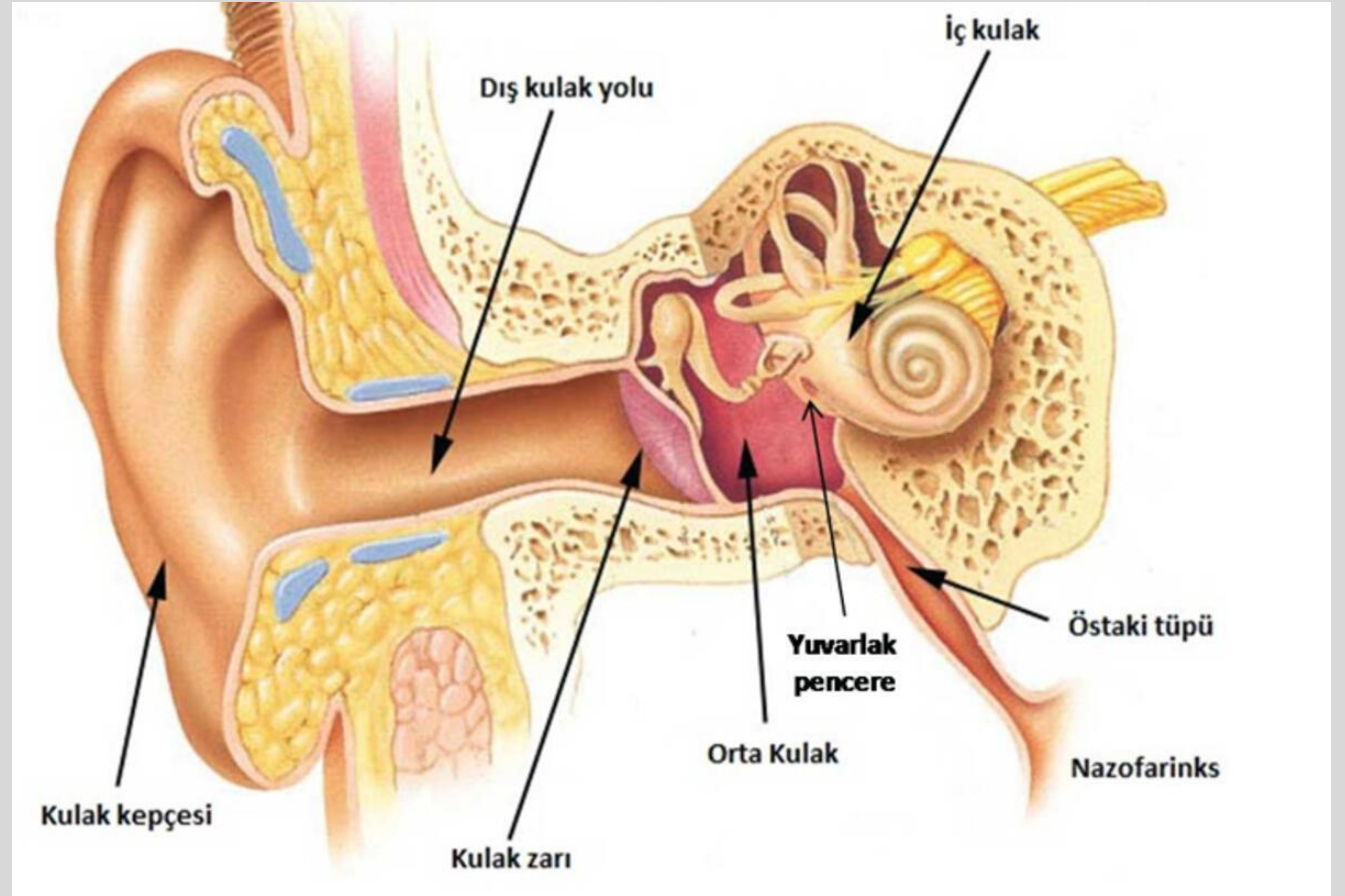
- Salınım yapan bir sistemin doğal frekansı ile aynı frekansta kuvvet uygulanarak salınımın genliğinin artması olayına **rezonans** denir.



# Dış Kulakta Rezonans Olayı

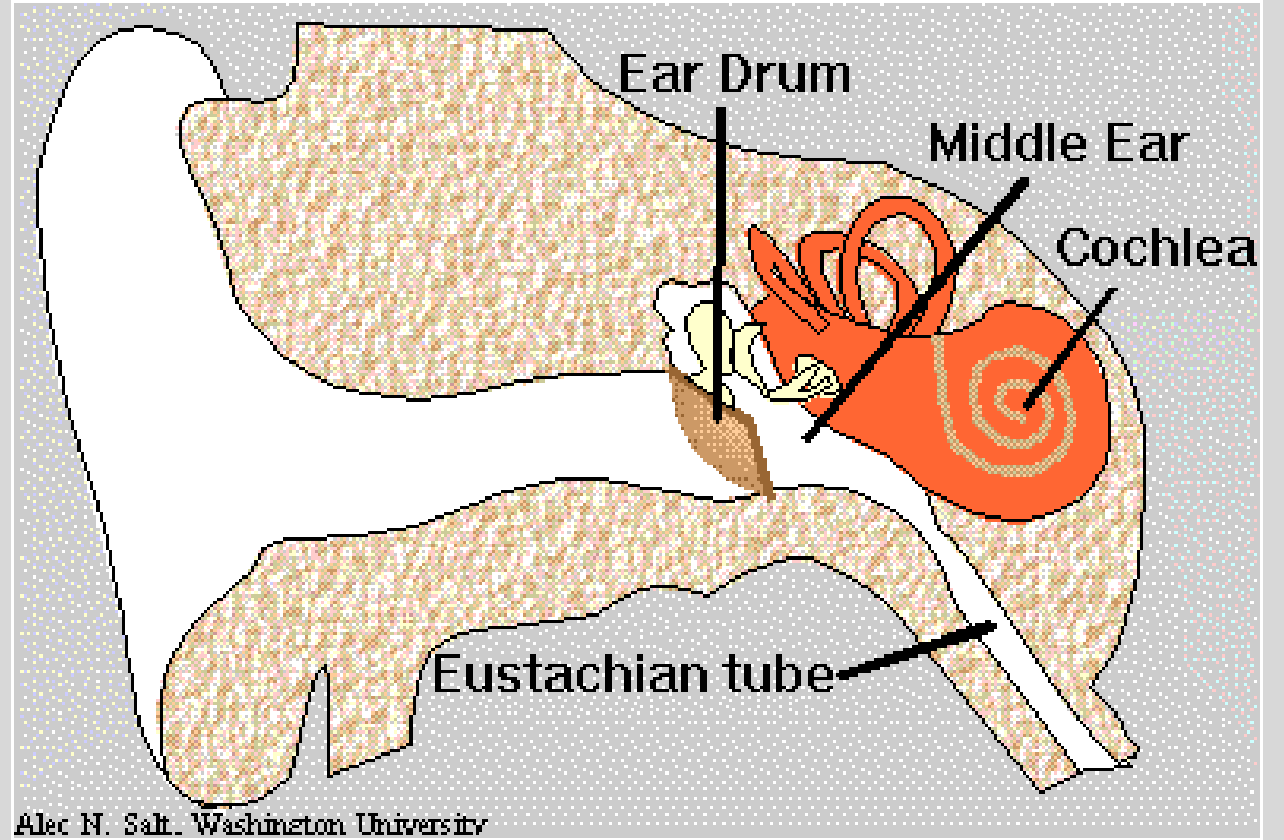
İnsan dış kulak kanalı, 0,5cm çaplı, 2.7 cm uzunluklu, bir ucu kapalı silindirik bir boruya benzetilebilir.

İşitme eşiğinin 1-4 kHz arasında minimumdan (duyarlılığımızın ise maksimumdan ) geçmesi bu rezonans olayı ile açıklanır.



# Dış Kulakta Rezonans Olayı

Dış kulağın rezonansa girdiği frekanslarda ses dalgaları **10 dB** amplifiye edilir.



**Problem:** İnsan dış kulak kanalı uzunluğunu 2.5 cm, sesin havadaki yayılma hızını 346 m/s olarak alırsak temel rezonans frekansı nedir?

$$f = v/4L$$

$$f_1 = 346 / 4 \times 0,025 = 3460 \text{ Hz. (Birinci harmonik)}$$

$$f_3 = 3v/4L = 3 \times 346 / 4 \times 0.025 = 10380 \text{ Hz.}$$

- **ÖRNEK :** Yeni doğanda dış kulak kanalı 17mm uzunlukta bir ucu açık boru olarak düşünülebilir. Sesin havada yayılma hızı 340m/s olduğuna göre sesin harmoniklerini hesaplayınız?

$$L=17\text{mm}=0.017\text{m}$$

$$f=V/4L$$

$$f=340/4 \times 0.017$$

$$f=5000\text{Hz}$$

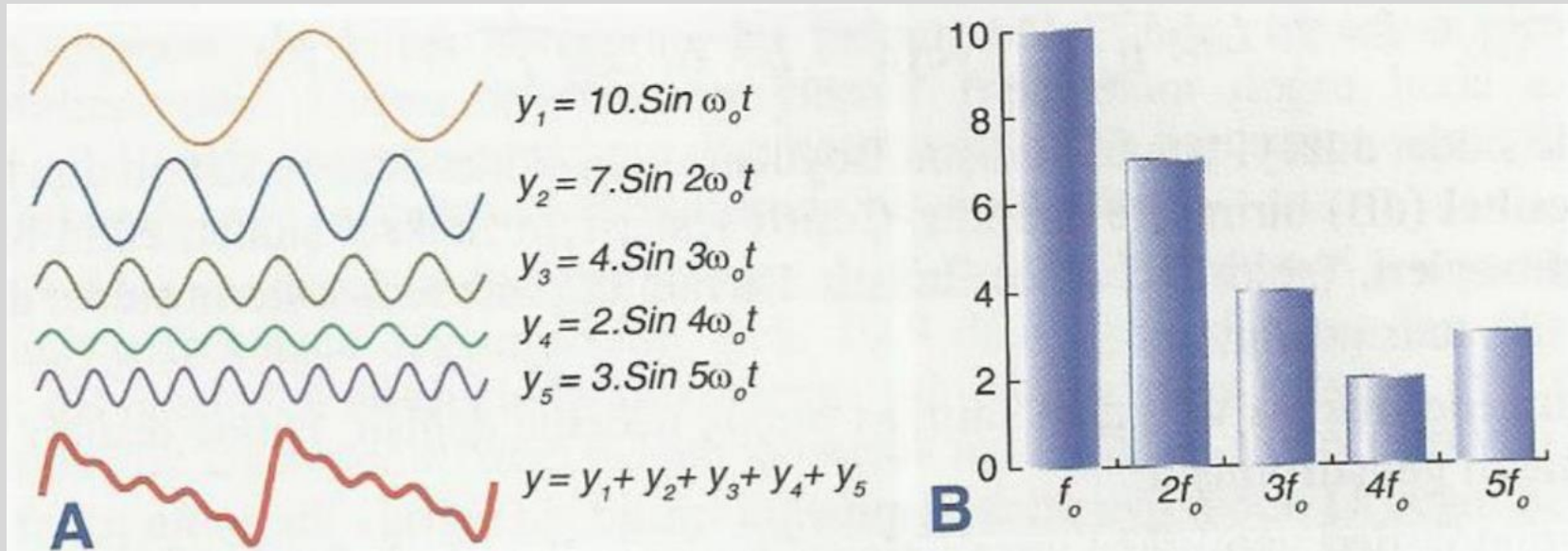
$$\text{Temel frekans}=5000 \text{ Hz}$$

$$\text{İkinci harmonik}=3f_1=3 \times 5000=15000$$

$$\text{Üçüncü harmonik}=5f_1=5 \times 5000=25000$$

# Bileşik sesler ve Fourier analizi

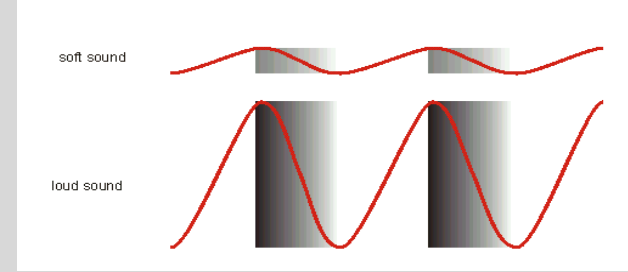
- Titreşimleri basit sinüzoidal biçimde olan bir sese basit ses adı verilir. Ancak doğada karşılaştığımız çoğu sesin bileşimi basit olmayıp karışıktır. Bileşik ses olarak tanımlanan sesler periyodik olup sinüzoidal değildir ve temel bir  $f_0$  frekansı yanında birçok harmonikler içerir.



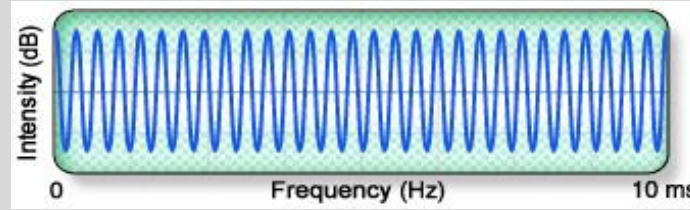


# Sesin duyusal özellikleri

◦ Sesin duyusal şiddeti veya gürlüğü



◦ Ses tonu

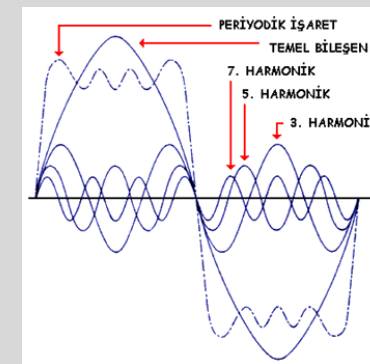
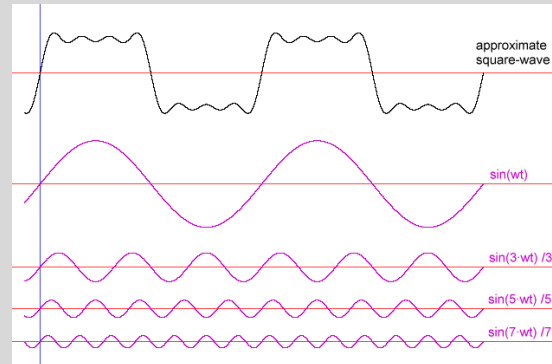


**TİZ (ince)**



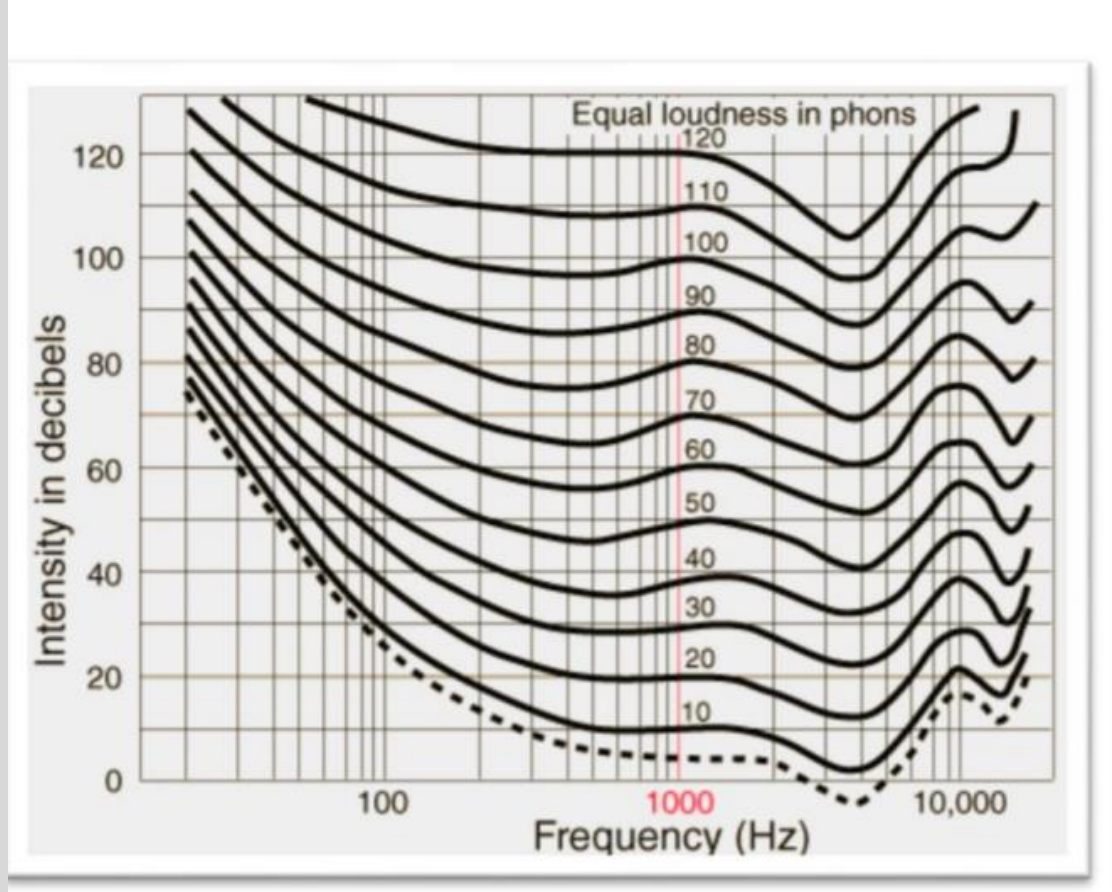
**PES (kalın)**

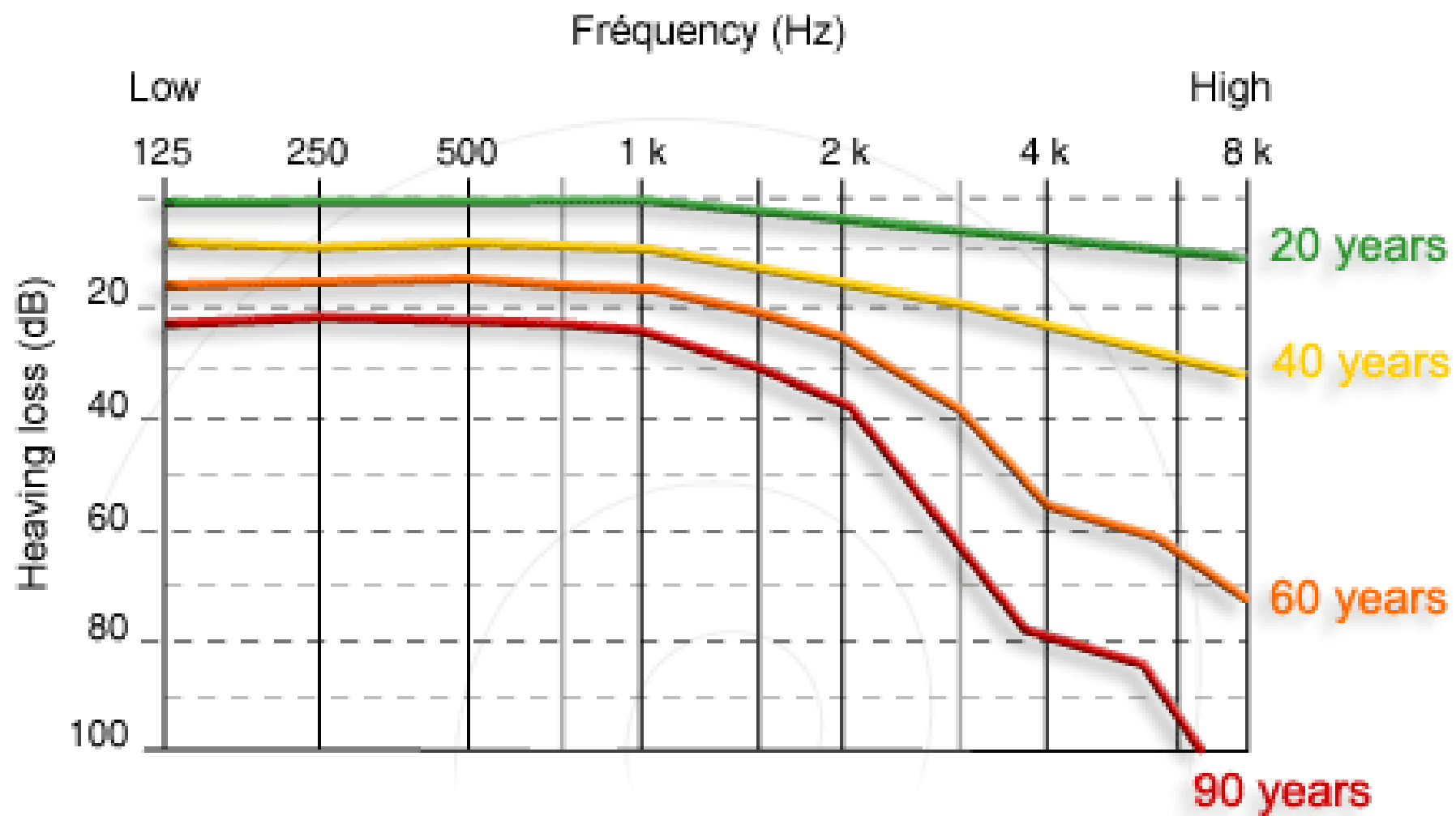
◦ Sesin niteliği



# Ses şiddet düzeyi ve şiddet ayrımı

- Normal bir bireyde, eşik şiddetin frekansla değişimi yandaki grafikteki gibidir.
- Sesin şiddet düzeyi desibel (dB) birimi ile anlatılır.  $L=10\log I/I_0$
- Öznel şiddeti anlatmak için, fiziksel şiddet düzeyini anlatan dB den farklı phon olarak adlandırılan bir birim kullanılır.

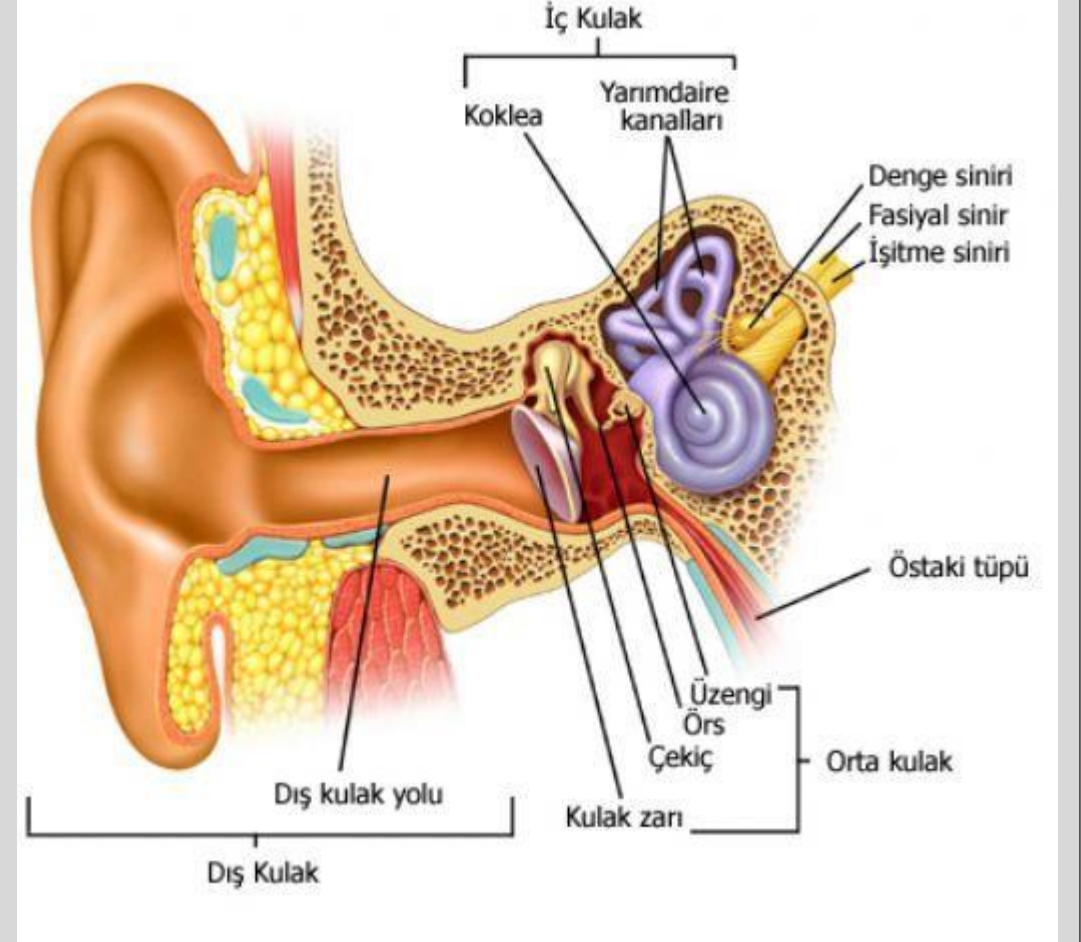




# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

## o **DIŞ KULAK**

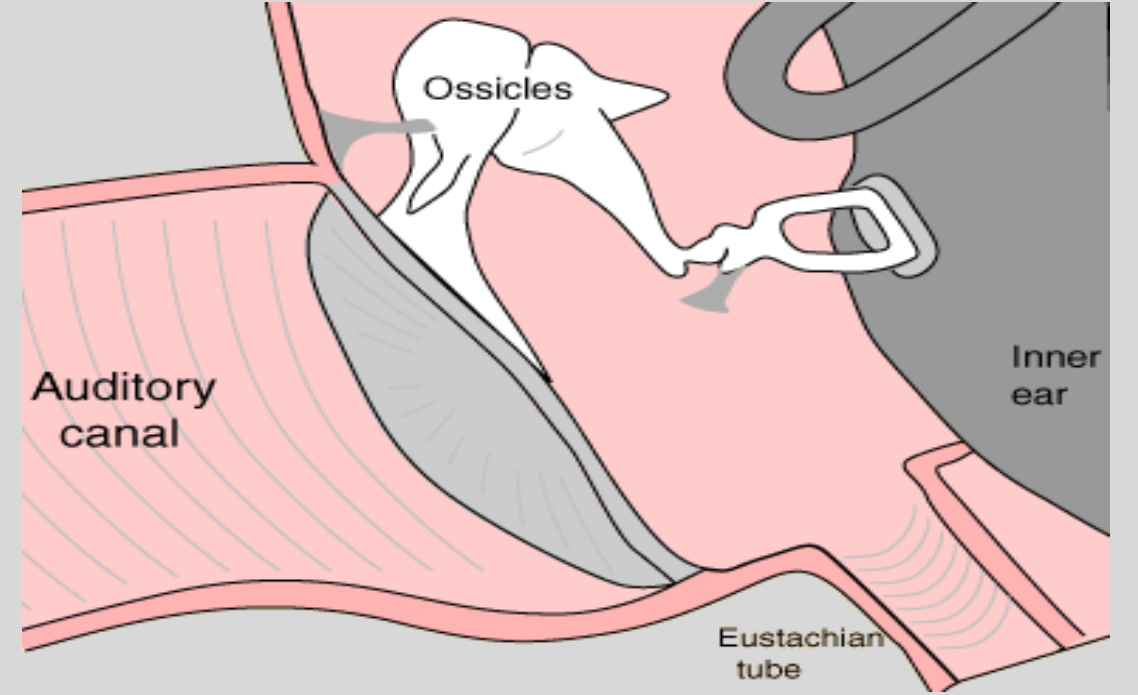
- o Dış kulak yolu, ses dalgalarını iletirken bazı frekanslarda rezonansa girebilir.
- o Dış kulağın rezonansa girdiği frekanslarda ses dalgaları 10 dB amplifiye edilir.



# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

## o **ORTA KULAK**

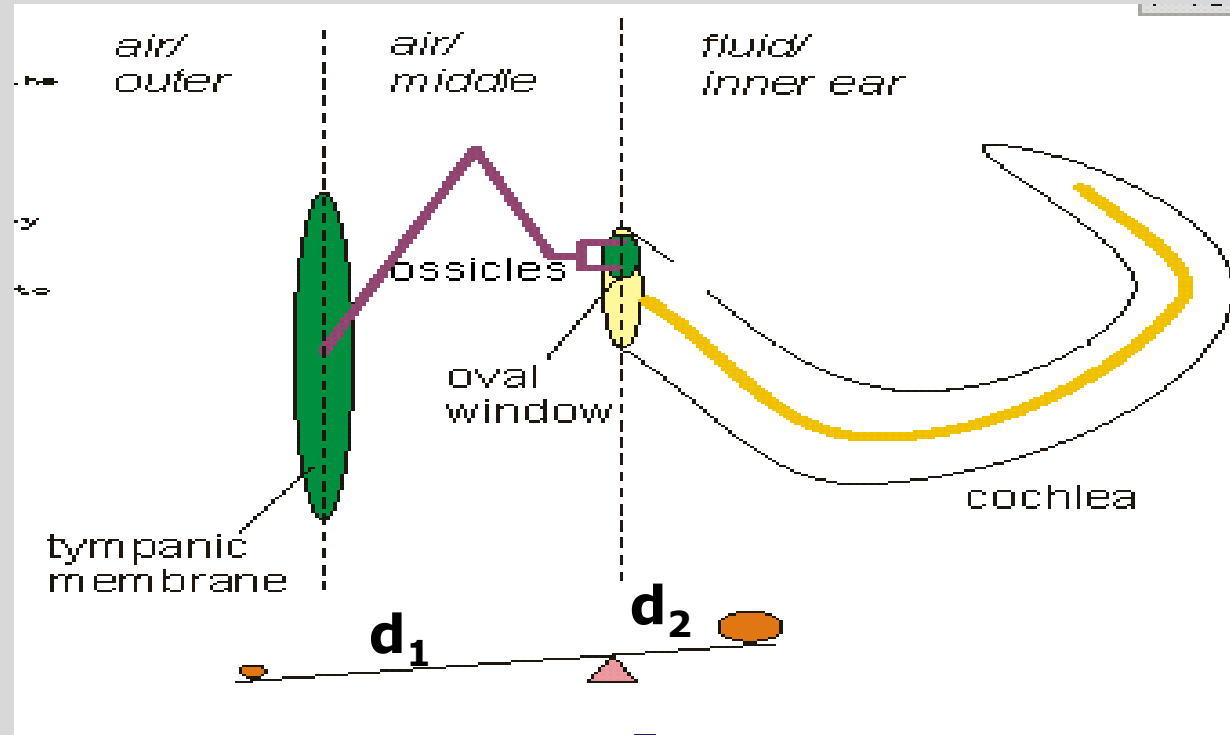
- o Orta kulağın temel işlevi, hava ortamı ile iç kulak arasındaki uyumu sağlamaktır.
- o Orta kulakta, sese karşılık basınç dalgaları bir miktar amplifiye edilir.
- o Ligament ve kaslar sayesinde, orta kulak kemikleri sıkıca temporal kemiğe tutunur.
- o Orta kulak kemikleri timpanik membran ve oval pencere arasında bir köprü görevi görür.



# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

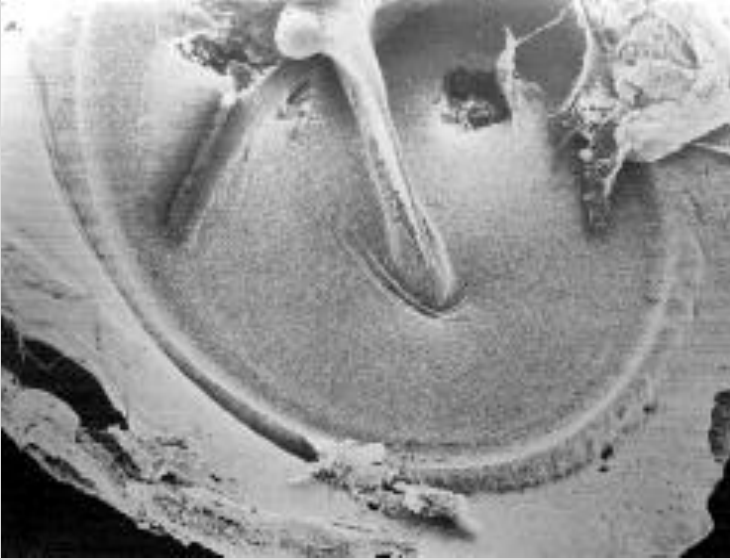
- **ORTA KULAKTA AMPLIFIKASYON**

- Katılar genel olarak kuvveti, akışkanlar ise basıncı olduğu gibi iletirler.

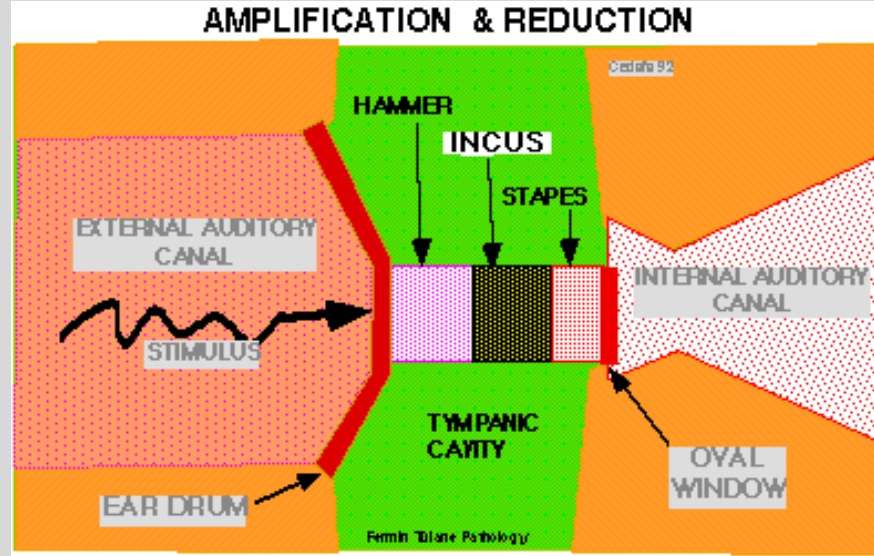


# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

- **ORTA KULAKTA AMPLIFİKASYON**
- Yapılan hesaplamalara göre, orta kulak kemikçiklerinin kaldıraçsal kazancı 1.3 dolaylarındadır



Timpan zarın yüzeyi  $64 \text{ mm}^2$  , malleusa temas eden kısmı  $55 \text{ mm}^2$



Timpan zar oval pencereden 15-30 kez daha büyüktür. Çünkü oval pencerenin yüzeyi  $3.2 \text{ mm}^2$

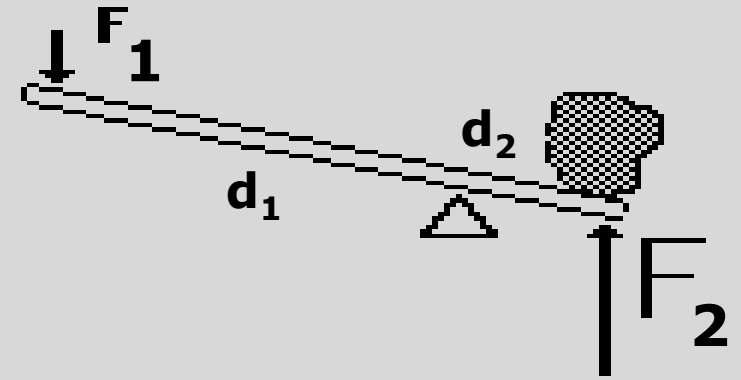
# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

- **ORTA KULAKTA AMPLIFIKASYON**
- Kaldıraç yöntemine benzer olarak hesaplama yapıldığında;

$$F_{st} \times d_2 = F_{mal} \times d_1$$

$$F_{st} \times 1 = 1.3 \times F_{mal}$$

$$F_{st} = 1.3 \times F_{mal}$$



$$F_1 d_1 = F_2 d_2$$



# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

Basınç kuvveti de bir yüzeye uygulanan basınçla yüzey alanının çarpımına eşittir:  $F = P \times A$

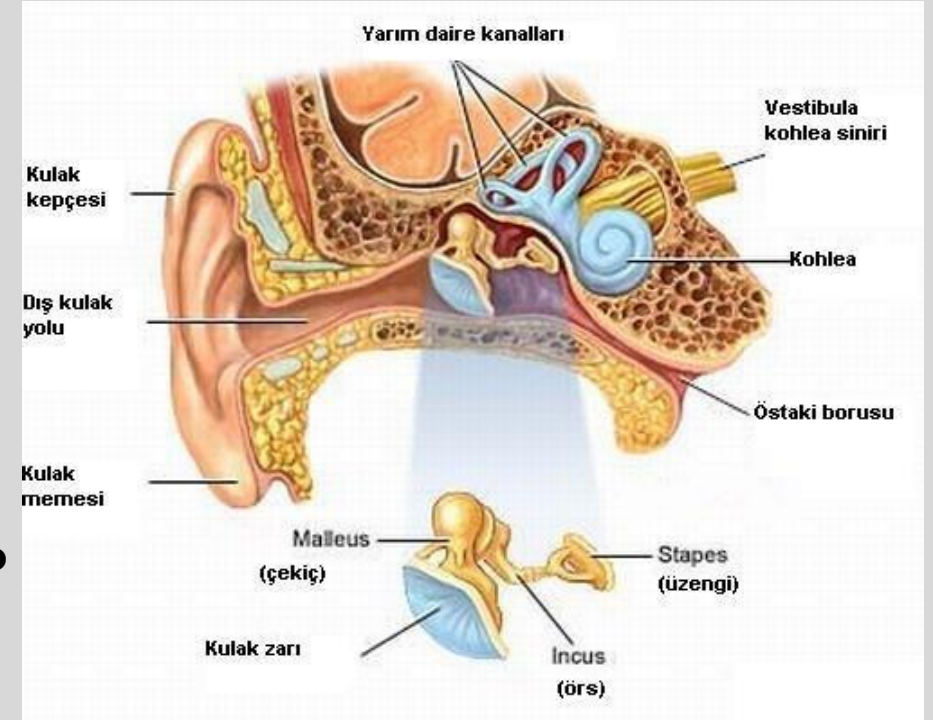
$$F_{\text{mal}} = 55 \times P_z$$

$$F_{\text{st}} = 1.3 \times F_{\text{mal}} \longrightarrow F_{\text{st}} = 1.3 \times 55 \times P_z$$

$$F_{\text{st}} = 3.2 \times P_o \longrightarrow 1.3 \times 55 \times P_z = 3.2 \times P_o$$

$$\frac{P_o}{P_z} = \frac{1.3 \times 55}{3.2}$$

$$P_o/P_z = 22.3$$



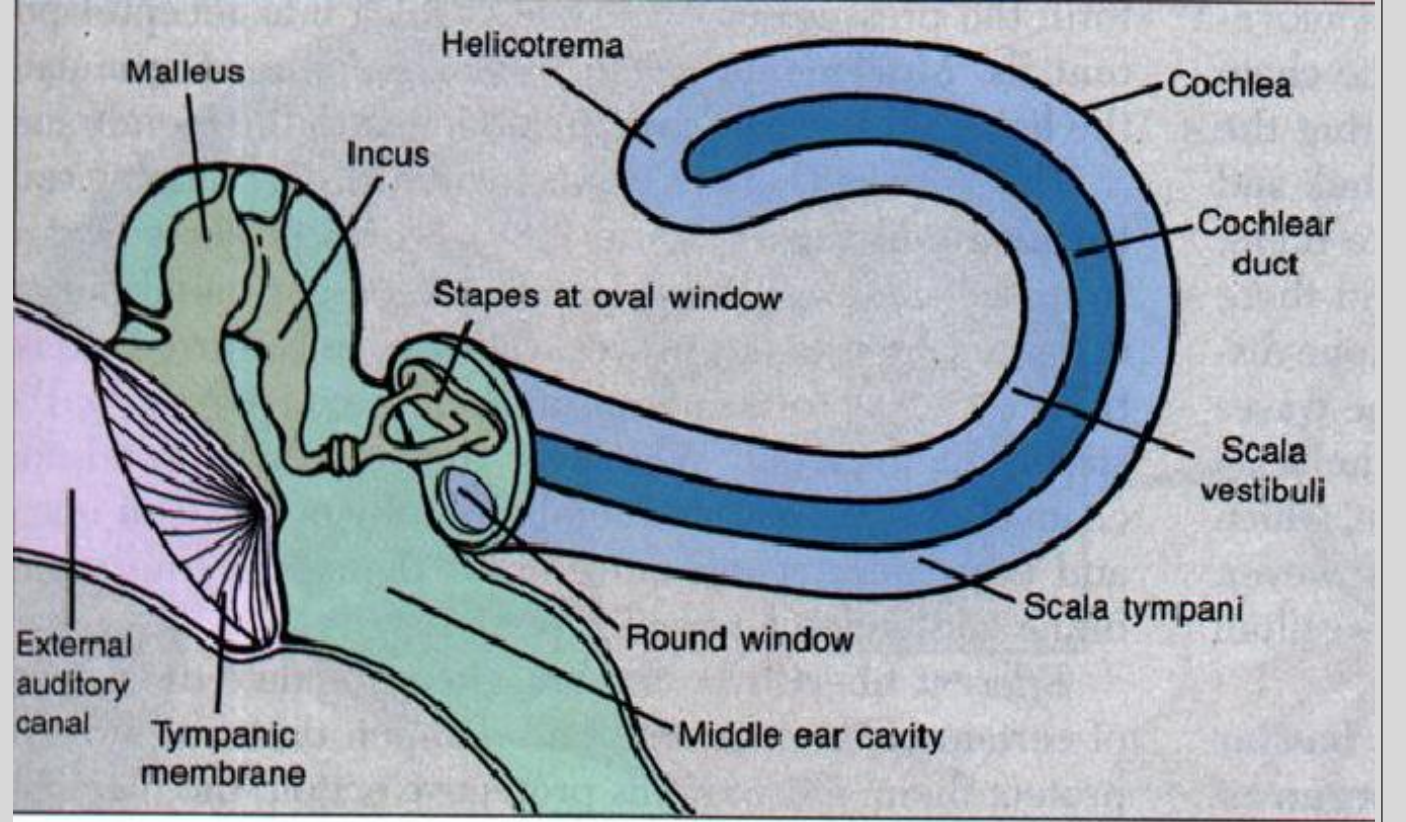
# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

$$\begin{array}{l} \mathbf{A_{tim} = 55 \text{ mm}^2} \\ \mathbf{A_{oval} = 3.2 \text{ mm}^2} \end{array} \quad \longrightarrow \quad \frac{\mathbf{P_{oval}}}{\mathbf{P_{tim}}} = \frac{\mathbf{A_{tim}}}{\mathbf{A_{oval}}} \quad \longrightarrow \quad \frac{\mathbf{55}}{\mathbf{3.2}} = \mathbf{17.2}$$

**Amp 17.2**

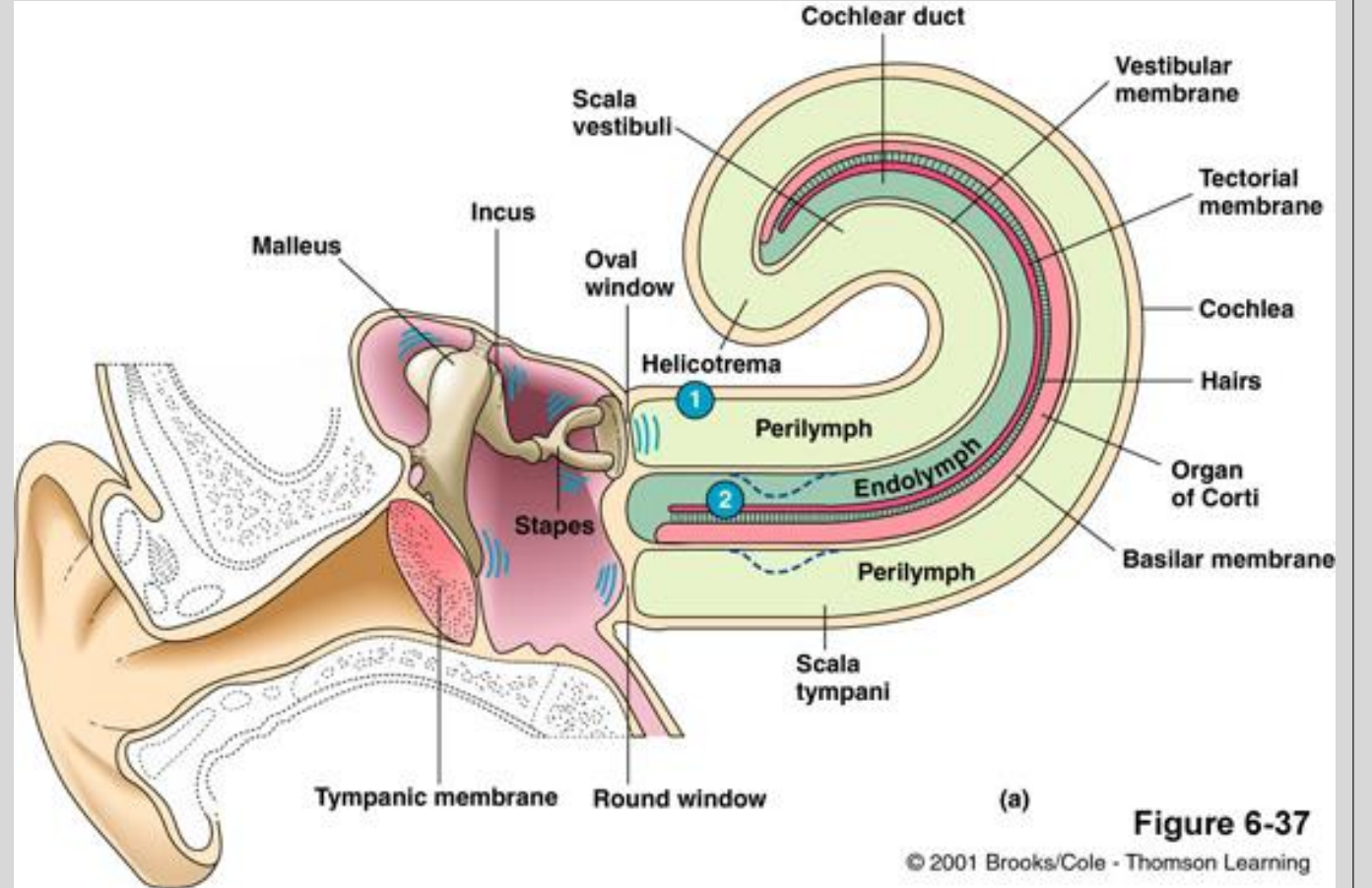
# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

- **İÇ KULAK**
- **İç kulak mekanik enerjinin elektriksel enerjiye dönüştüğü yerdir.**
- **Çevrimin asıl gerçekleştiği yer kokleadır.**



# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

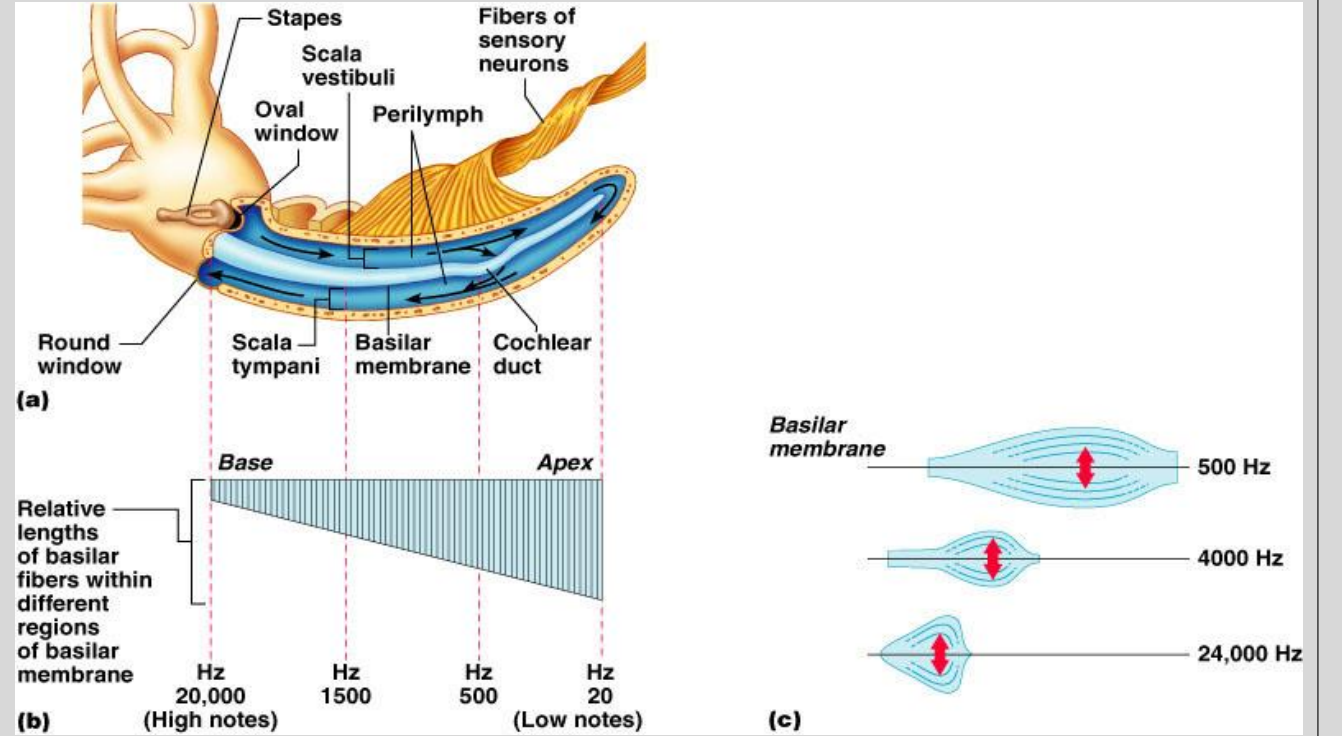
- **İÇ KULAK**
- İç kulak mekanik enerjinin elektriksel enerjiye dönüştüğü yerdir.
- Çevrimin asıl gerçekleştiği yer kokleadır.
- Timpanik kanaldaki akışkanların potansiyeli referans seçildiğinde vestibüler kanalda perilymfada +5mV kadar pozitif, koklear kanaldaki endolenfa içerisinde ise +80mV pozitif bir potansiyel gözlenmektedir.

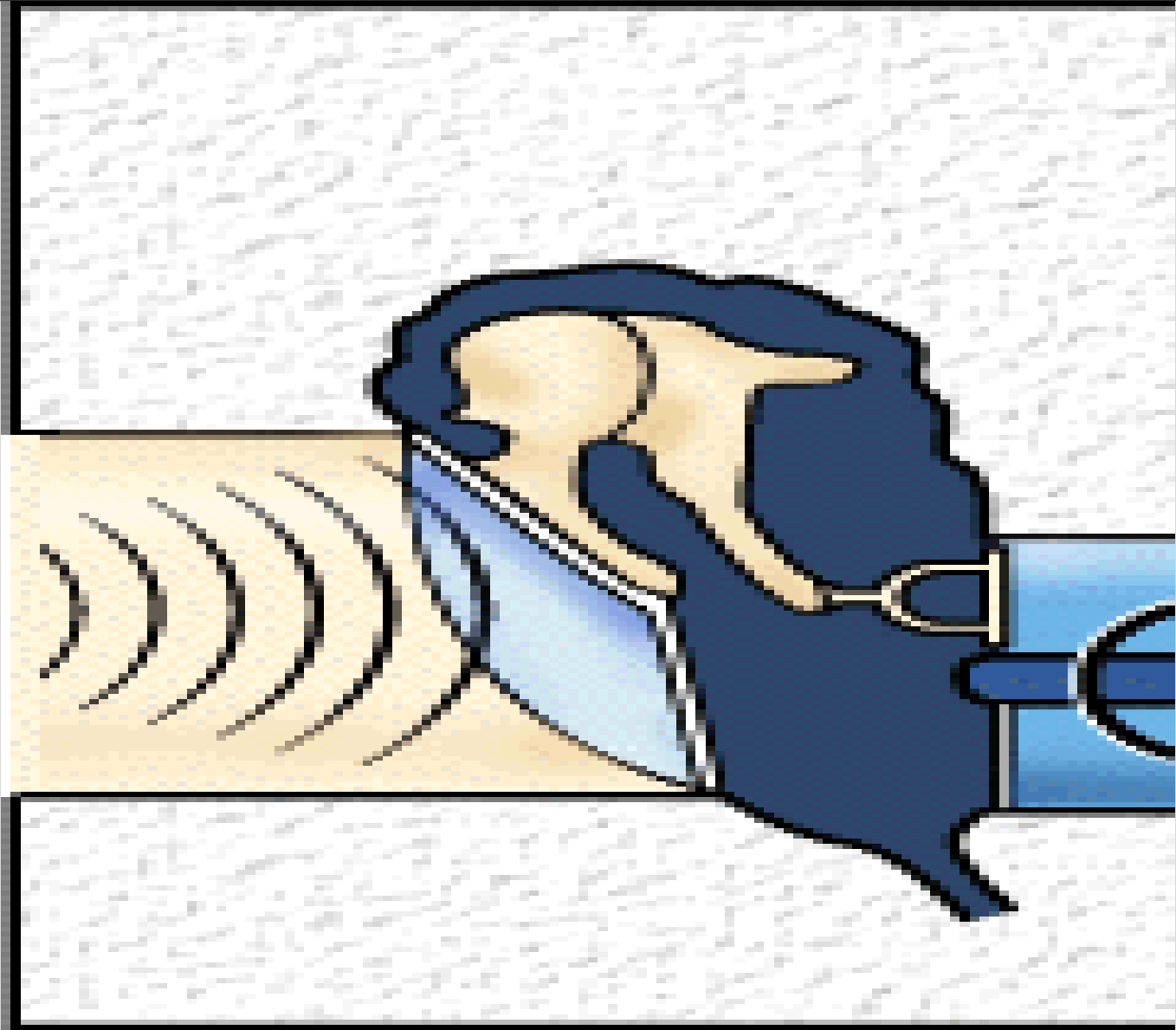


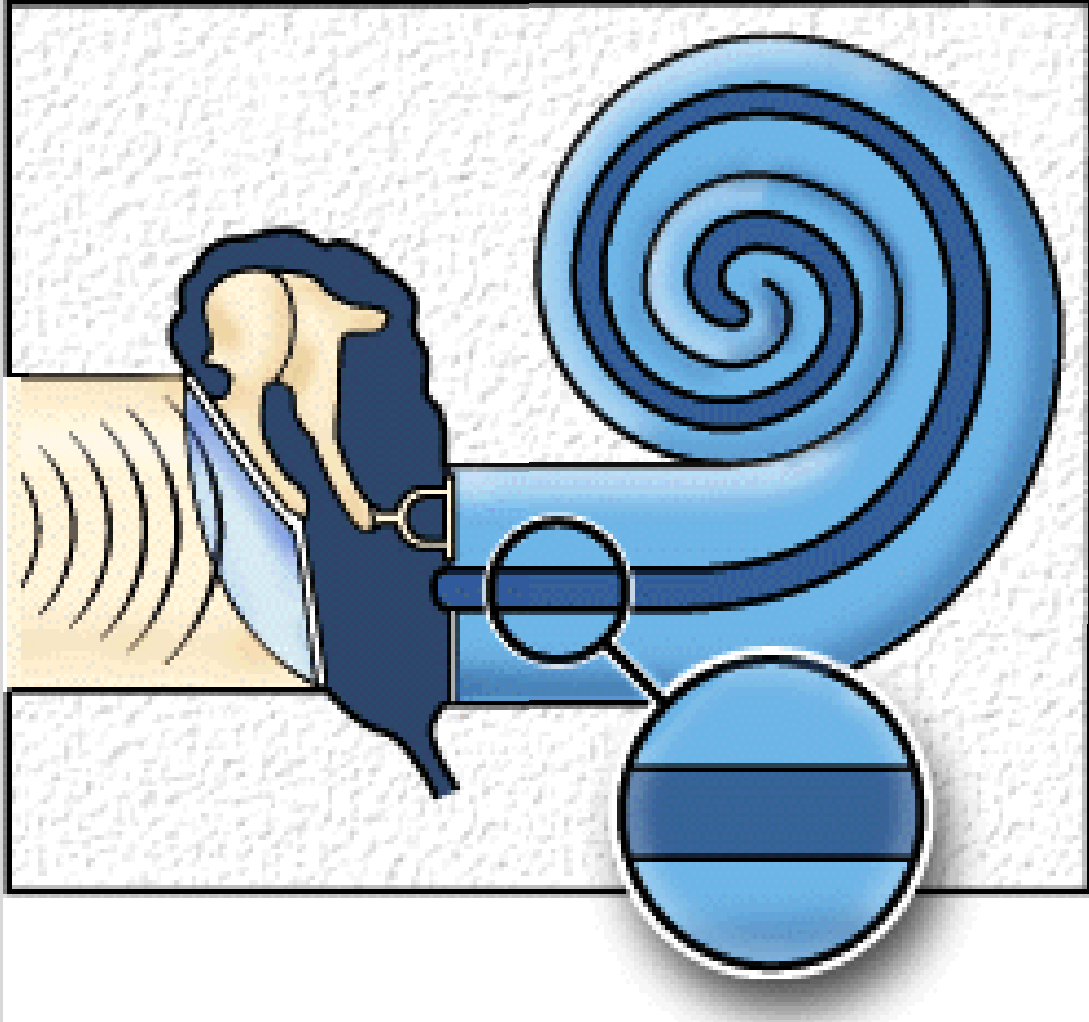
# Ses dalgalarının kulakta işlenmesi

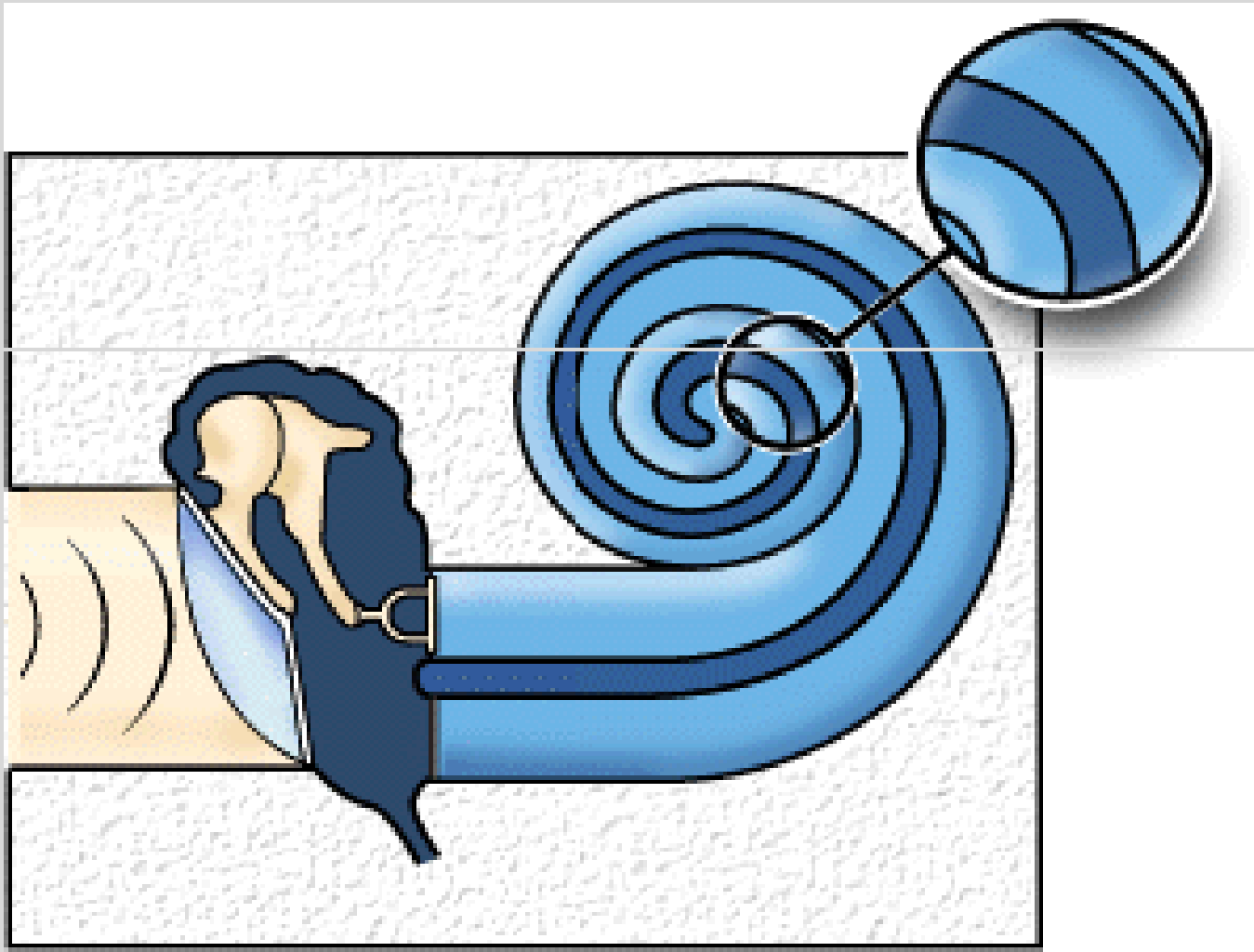
## İÇ KULAK

- Basiler zar, kokleanın tabanına doğru sert ve kısa liflerden oluşmuşken, apekse doğru gidildikçe lifleri derece derece uzayarak çapları küçülmektedir.







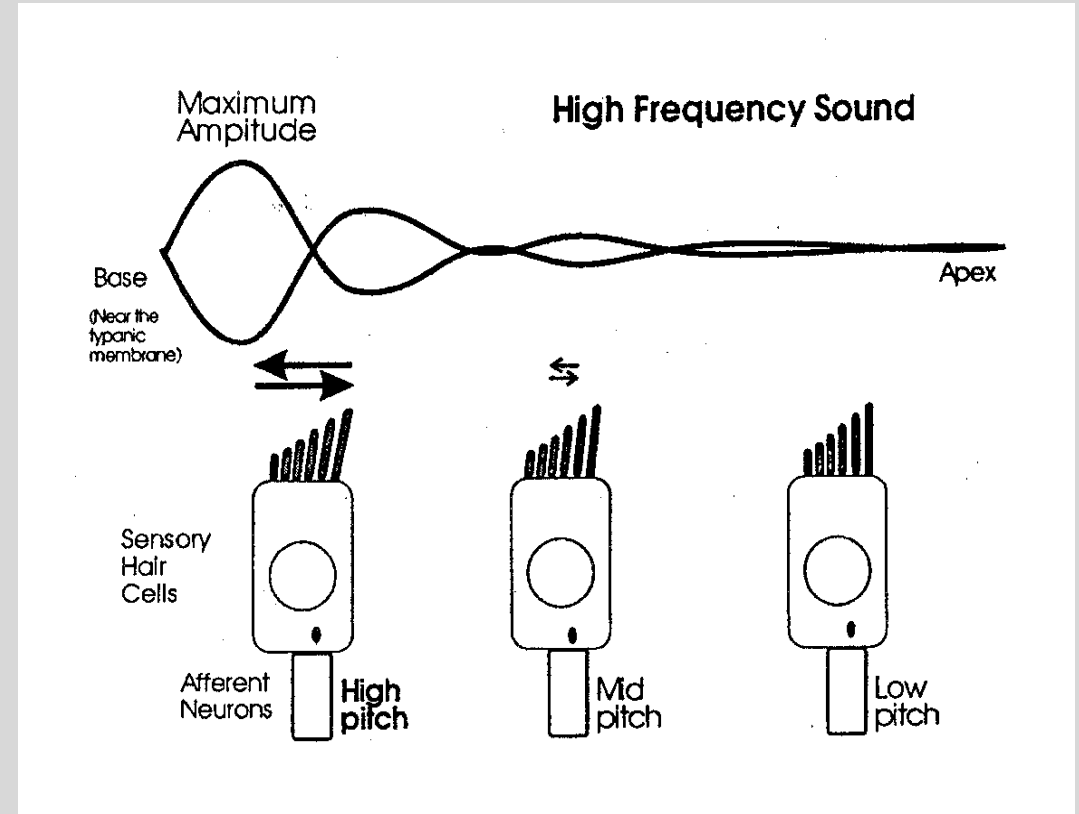
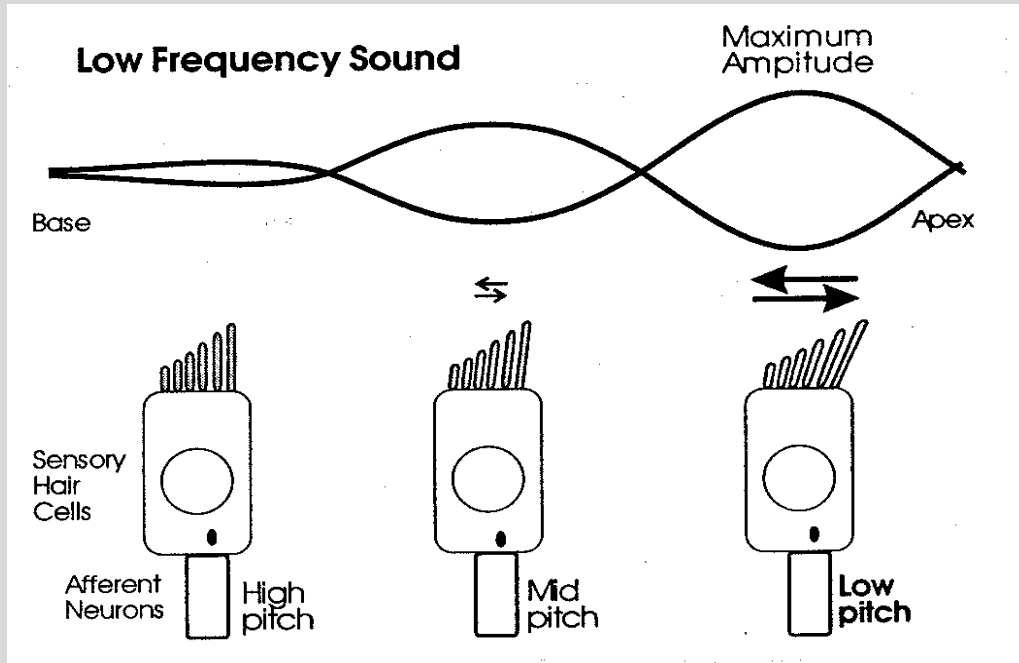




# İşitme teorileri

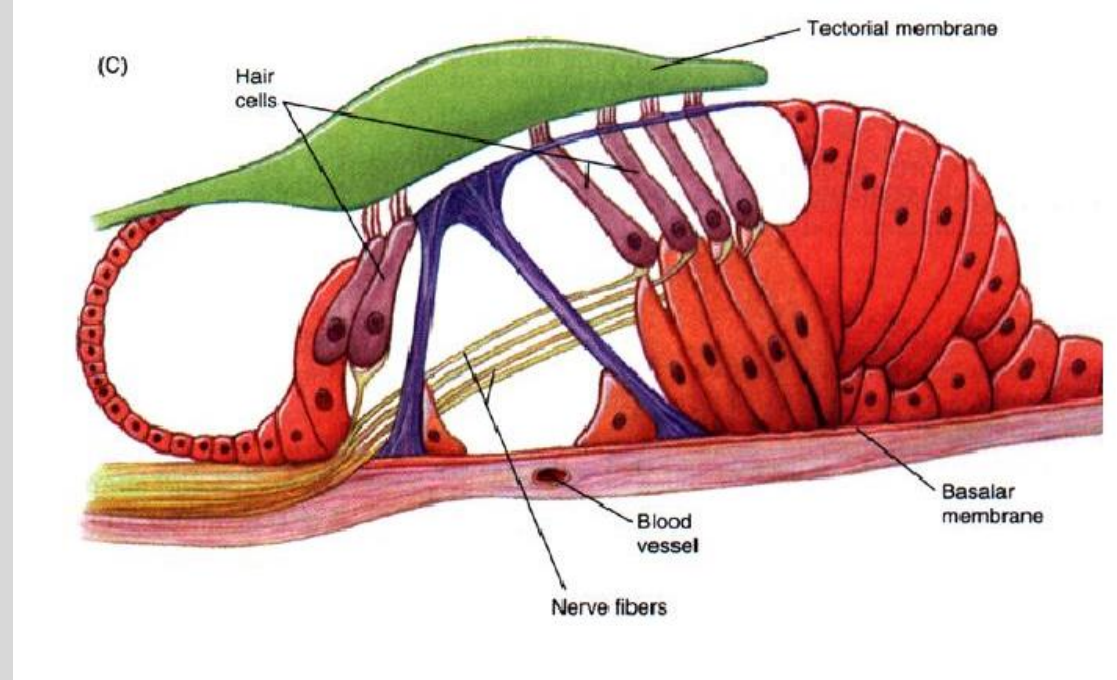
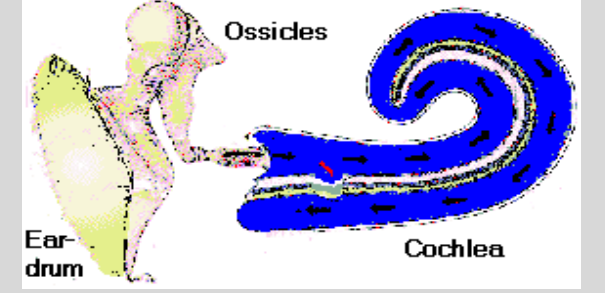
- Helmholtz'un rezonatör teorisi: Baziller zarın farklı kalınlık, uzunluk ve sertliğe sahip lifleri farklı frekanslardaki sesler karşısında rezonansa girer.
- Bekesy'nin bulguları: Tek bir frekanstaki ses baziller zarın geniş bir kesimini titreştirir, bu nedenle ses frekanslarının ayırımı tek başına baziller zar titreşimleri ile açıklanamaz.
- Diğer teori: Elektriksel çevirim önemlidir.

# İç kulakta çevirim ve iç kulak potansiyelleri



# İç kulakta çevirim ve iç kulak potansiyelleri

- Baziller membranın hareketlerine bağlı olarak baziller membranın üzerine yerleşmiş korti organında yer alan tüy hücreleri harekete geçmektedir



# Perilenf ve endolenf'in karşılaştırılması

## Perilenf

- \* Kemik labirentte bulunur
- \* Fazla Na içerir  
(Plazmaya benzer)

## İyon miktarları (mM)

	Perilenf	Endolenf
Na+	154	1
K+	3	161
Cl-	128	131

## Endolenf

- \* Membranöz labirentte bulunur
- \* Fazla K içerir
- \* Stria vaskülaris tarafından salgılanır
- \* Endolenfatik keseye emilir

# Tüy hücreleri;

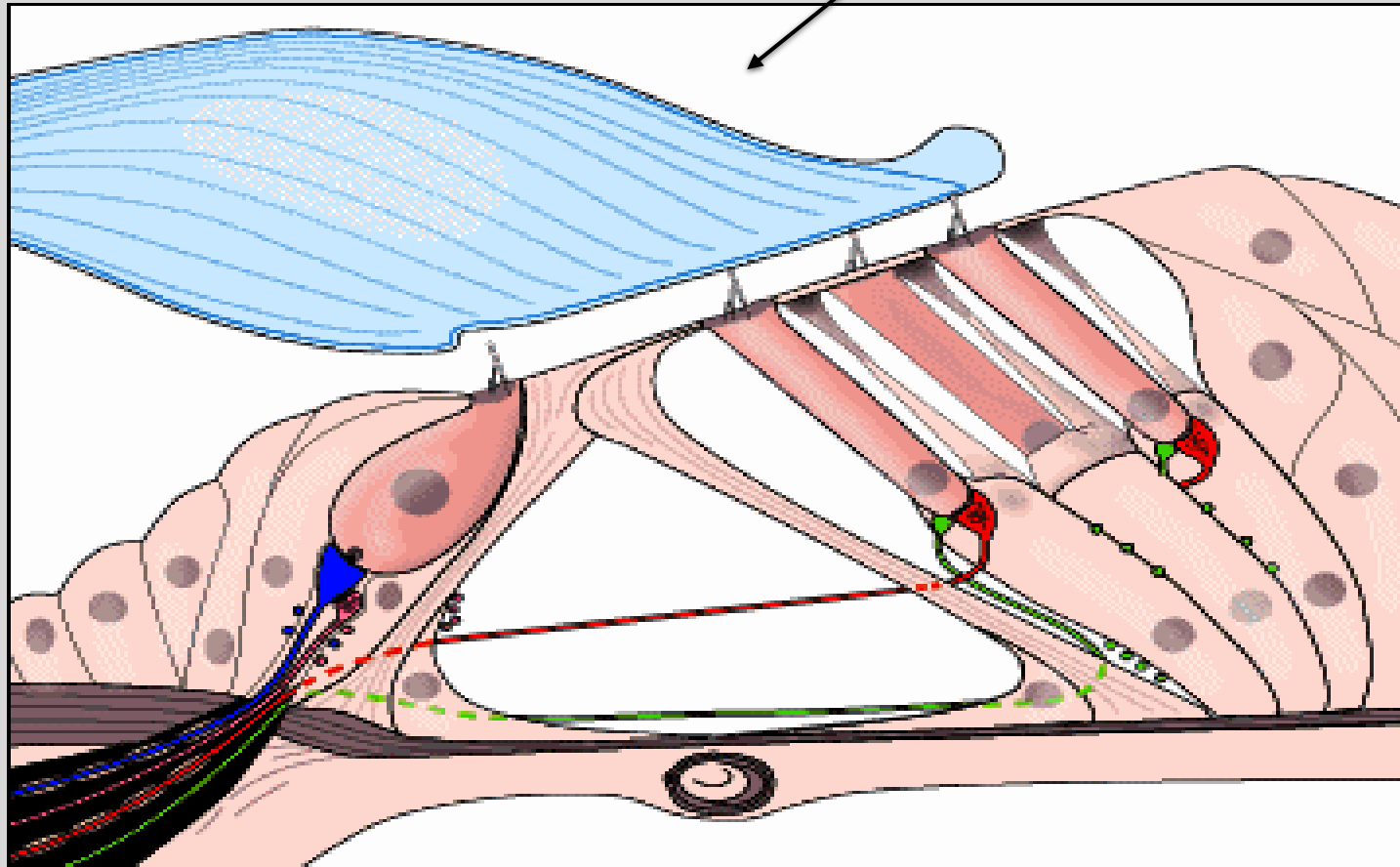
## Fonksiyonel benzerlikleri;

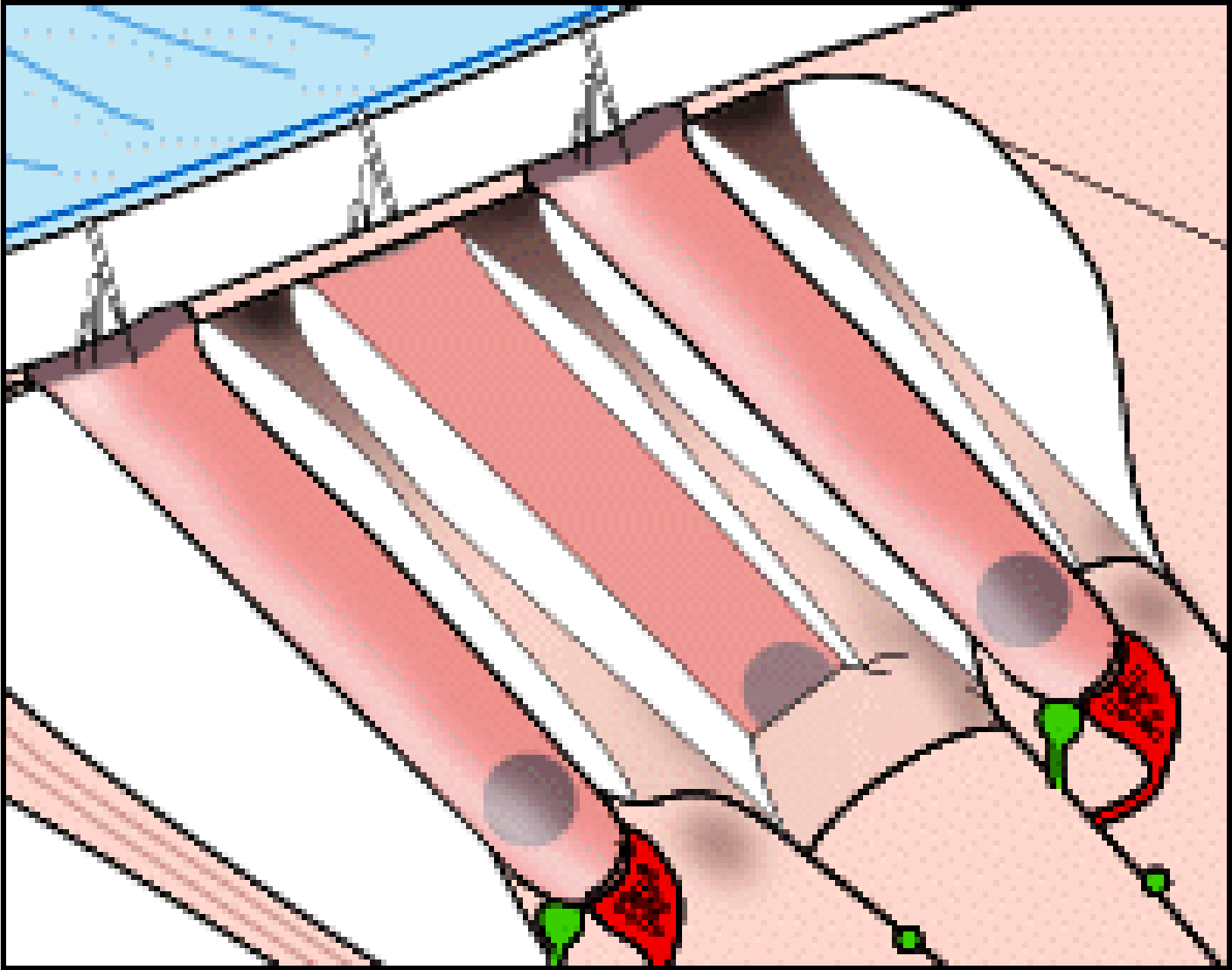
- \* Stereosilya mekanikleri
- \* Reseptör potansiyelleri

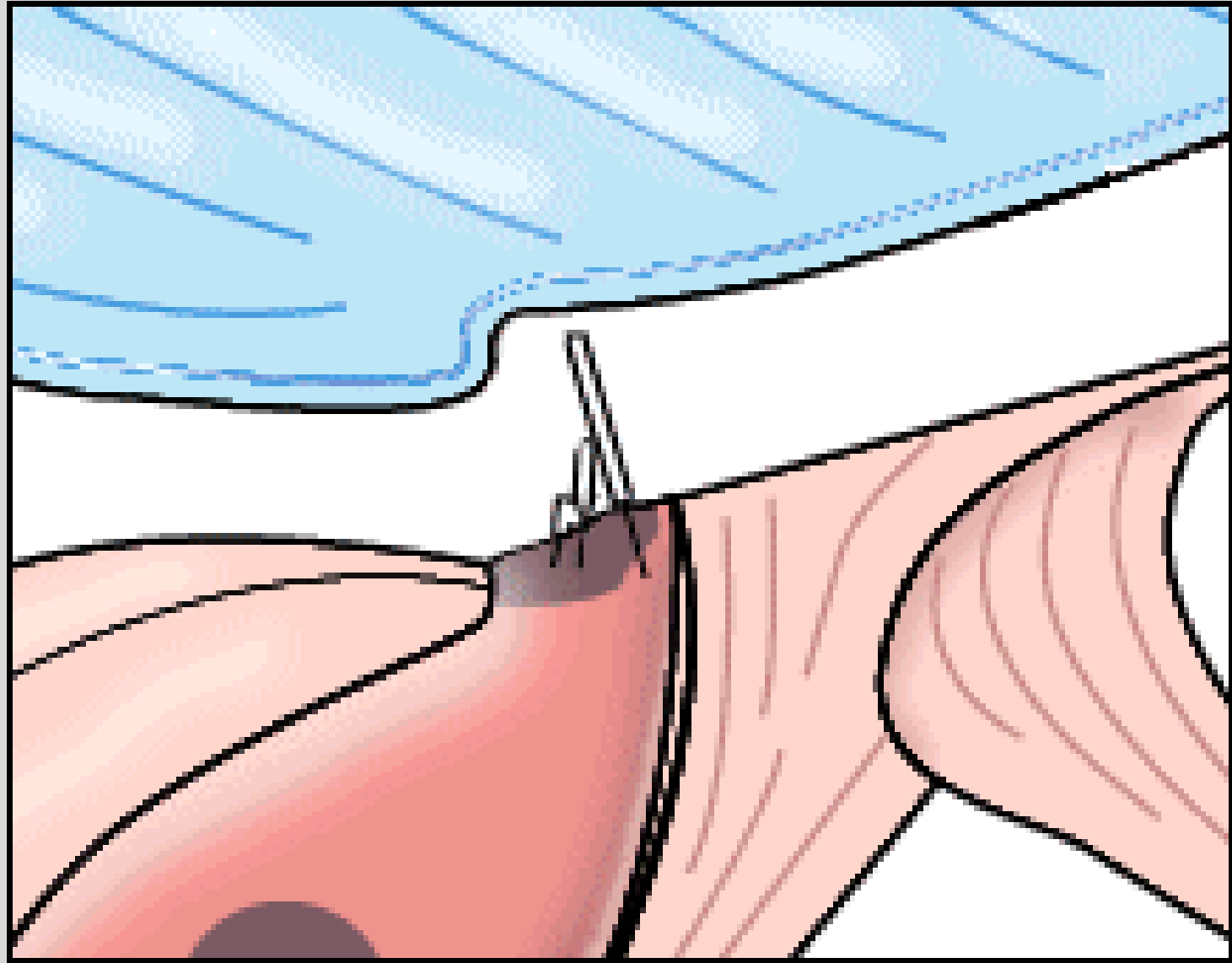
## Fonksiyonel farklılıkları;

- \* İnnervasyon -Afferent (cochleadan beyine giden - duysal)  
-Efferent (beyinden cochleaya giden - motor)

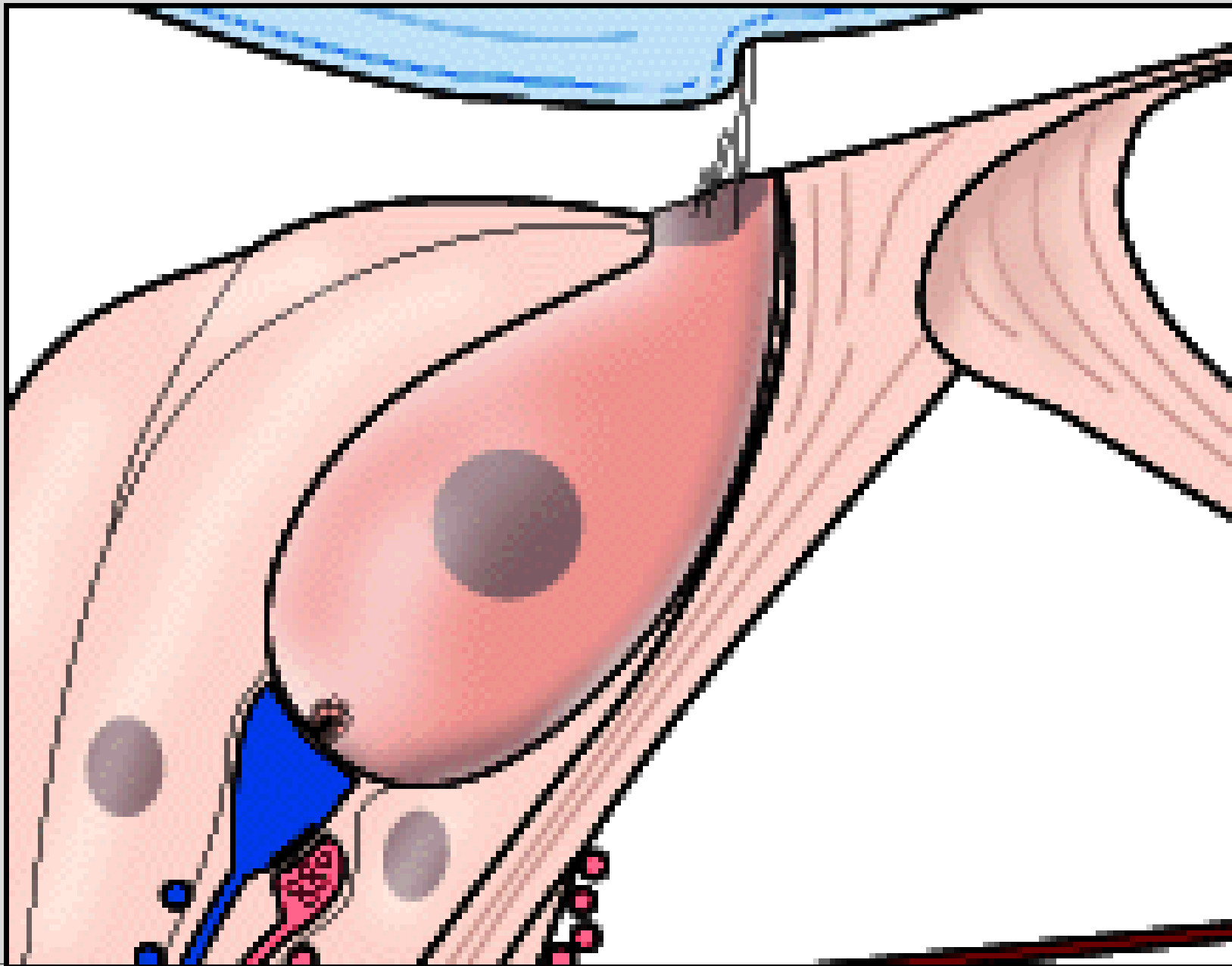
**Tektorial zar**

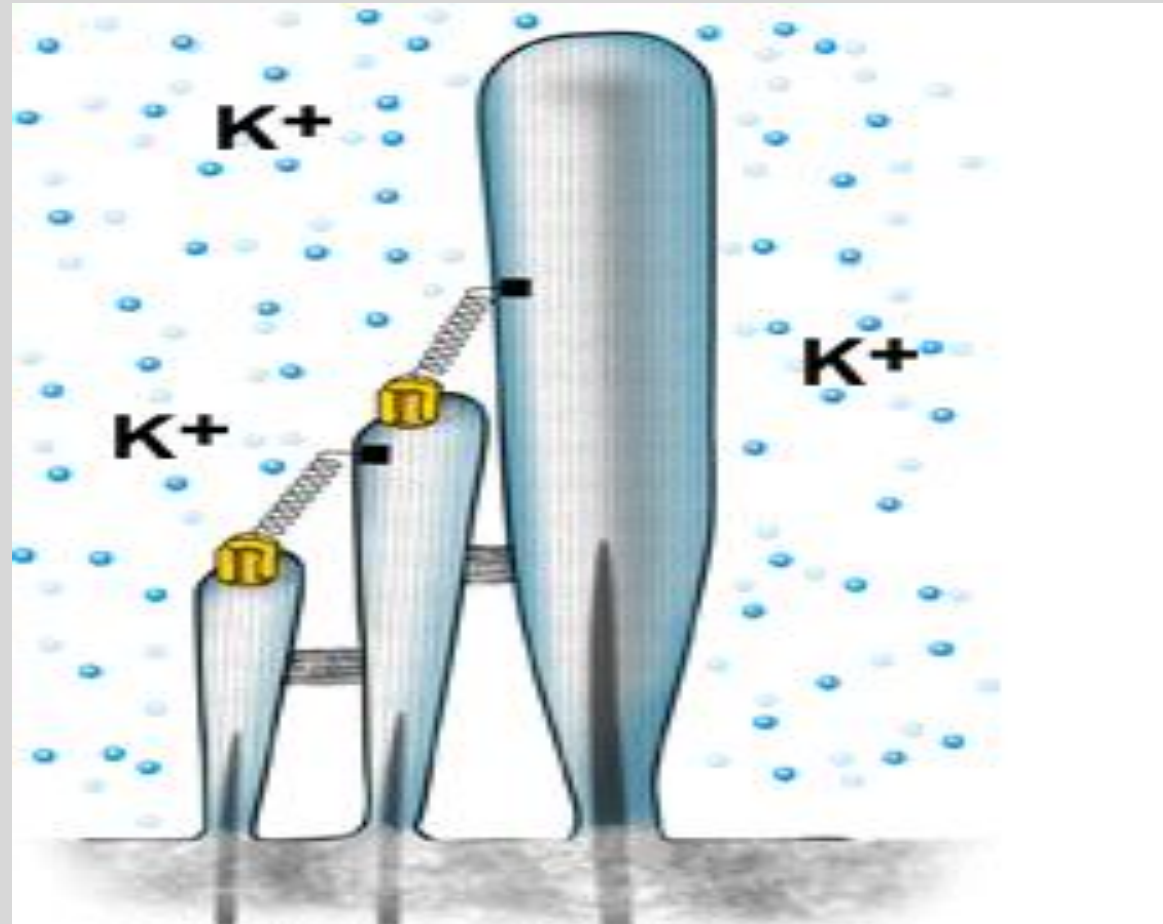


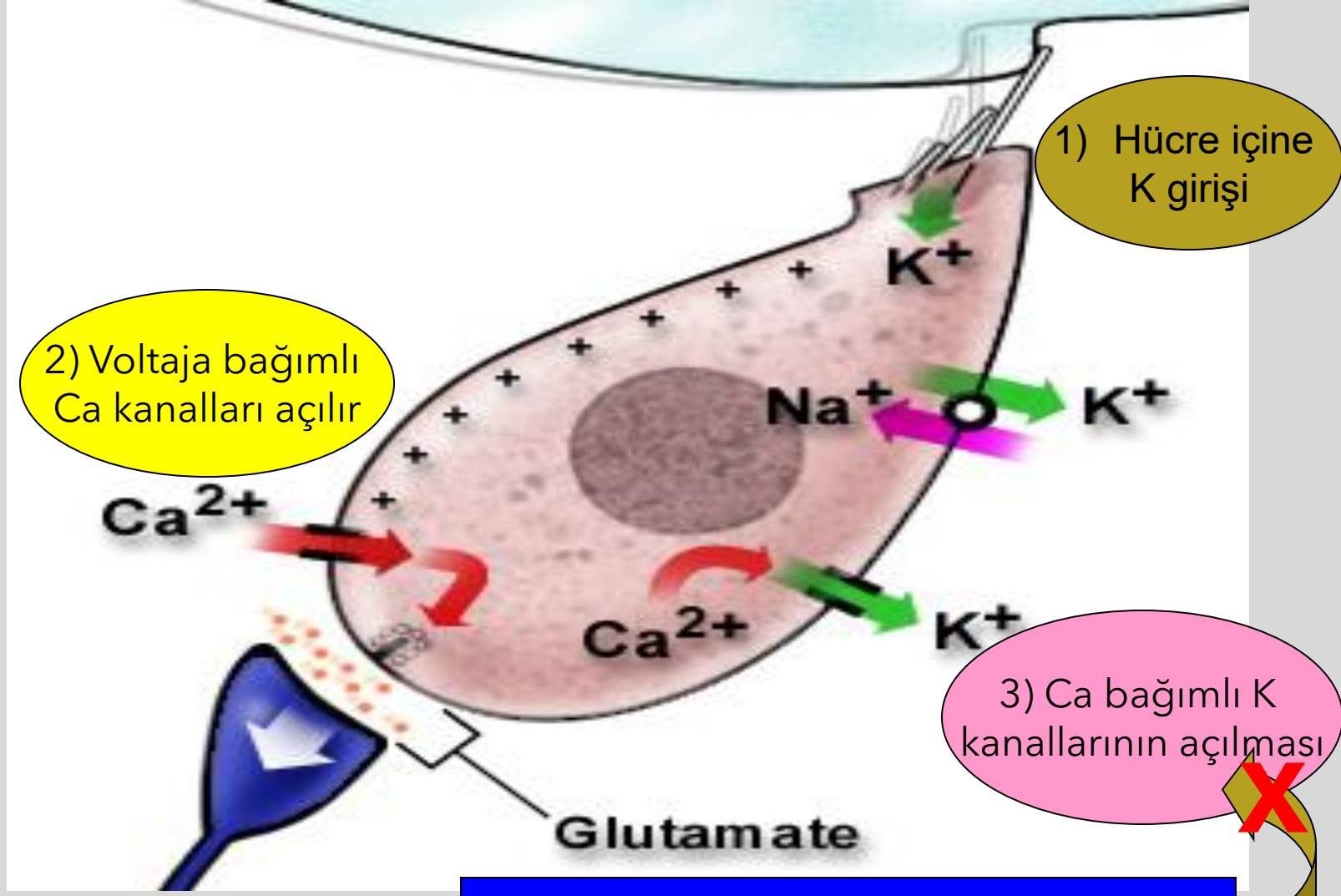












DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜRLER