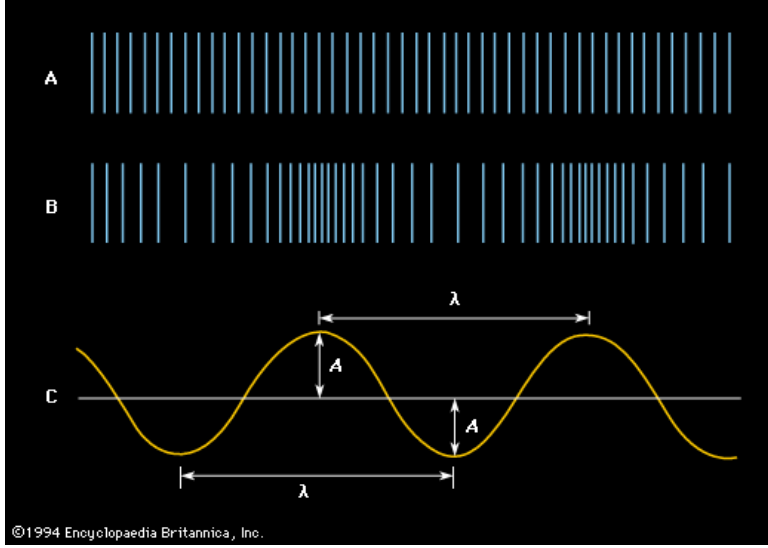


# İŞİTME İLE İLGİLİ TEMEL KAVRAMLAR

## SES DALGALARI



### Temel Biyofizik Kavramlar

Genel bir tanım olarak herhangi bir yoldan bir ortam içinde oluşturulan bir sarsıntının bu ortam içinde yayılması olayına ***dalga olayı*** denir. Bir ortamda sarsıntı yayılmasının taşıdığı özellikler incelendiğinde, sarsıntının sabit hızla yayıldığı ve sarsıntıyı alan her noktanın sarsıntı kaynağının hareketini bir faz ve genlik farkı ile tekrarladığı anlaşılır. Bu tüm dalga olayında geçerli bir temel özelliktir.

Enerji yönünden inceleme, bir dalga olayında etrafa yayılan biçim değişikliği eşliğinde enerji yayılması olduğunu kesinlikle kanıtlamaktadır. Dalga olayı maddesel ortamlarda madde aktarımı olmaksızın enerji yayılmasıdır. Dalga olayı şeklinde enerji yayılması bir molekül grubunun titreşim enerjisini komşu molekül grubuna aktarması şeklinde olmaktadır. Dalga olayının kavranmasındaki zorluk, olayın uzaysal ve zamansal periyodik değişimi birlikte içermesidir.

Titreşim doğrultusunun enerji yayılma doğrultusuna daima dik olması halinde enine dalgalar (ışık), paralel olması halinde boyuna dalgalar (ses) olayından bahsedilir.

Dalga olayında yayılan dalgalar, genliği, frekans (tersi periyot) ve dalga boyu gibi kavramlarla karakterizedirler. Ortam içinde titreşim hareketi yapan bir noktanın uzanımını veren ifadeye ***dalga denklemi*** denir ve,

$$\Psi = A \sin 2\Pi ( t / T - r / \lambda )$$

bağıntısı ile gösterilir. Burada *A dalganın genliği*, *T (=1/f) periyot*, *λ ise dalganın dalga boyunu* ifade eder. Ayrıca, yayılma doğrultusuna dik birim yüzeyden birim zamanda geçen dalgalı enerji miktarına *dalganın şiddeti* denir.

Bir dalga olayında gözlenen *temel olaylar*; 1- soğrulma, 2- yansıma, 3- kırılma, 4- kırınım, 5- girişim olarak sıralanabilir. *Soğrulma*, dalganın şiddetinin ortamın özelliklerine ve kalınlığına bağlı olarak azalması olayı olarak kısaca tanımlanır ve değişim biçimi *üssel olarak azalan* bir fonksiyonun değişimine uyar. Yansıma gelen dalgaların tamamının geldiği ortama geri dönmesi, kırılma dalgaların ikinci ortamda farklı bir yol takip ederek yayılması, ve kırınım-girişim olayları ise dalgaların bir engelle karşılaştığında engelin arkasında dalgaların gözlenmesi ve ikiden fazla aynı ortamda yayılan dalgaların frekansına bağlı olarak yeni özellikte dalganın yayılma durumları olarak tanımlanabilir.

Ses terimi öznel anlamda uyanık insanın işitme sınırı uyarıldığında algıladığı duyumu tanımlamak için kullanılır. Nesnel anlamda ise ses akustik sinirimizi uyaran havadaki basınç değişim dalgalarıdır. Bu dalgalar hava ortamında titreşen cisimlerden kaynaklanır. Frekans ve şiddet bakımından belirli aralıklara düşen esneklik titreşim dalgalarını ses olarak algılarız.

Kulağımız 16 Hz ( $s^{-1}$ ) ile 16000 Hz frekans aralığındaki seslere duyar olup duyarlığı sesin frekansına bağlı değişim göstermektedir. Kulağımızın 3000 Hz frekanslı ses için duyarlığı en büyüktür (dış kulak boyu ile orantılı olarak rezonans-maksimum genlikle titreşim durumu). İnsan kulağının algılayabildiği en küçük enerji miktarı  $10^{-12} W/m^2$ , ve dayanabildiği ve duyum yapabildiği en yüksek şiddet ise  $1 W/m^2$  lik bir şiddete karşılık gelmektedir. Ses titreşim enerjisinin anlatımında oranlama ile log olarak ve *desibel* cinsinden şiddet seviyesi kullanılmaktadır.

Duyusal olarak sesleri birbirinden üç ayrı karakteristiği ile ayırt edebiliriz. 1- Sesin duyuşal şiddeti veya gürültülük oranı (fiziksel şiddet), 2- Ses tonu; ince veya kalın gibi (frekans ayrımı), 3- Sesin niteliği, kalitesi (armonik içeriği).

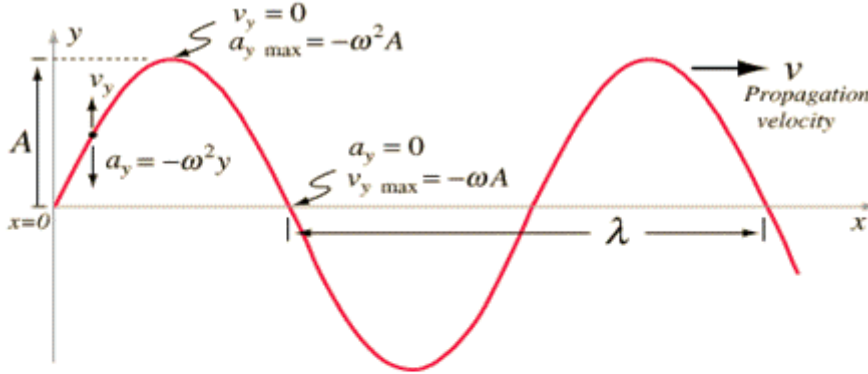
Titreşimleri basit sinüzoidal biçimde olan bir sese *basit ses* denir. Doğada karşılaşılan birçok sesin bileşimi basit olmayıp karmaşıktır. Bunlara *bileşik sesler* denir ve zaman desenleri saf sinüzoidallere benzemez. *Fourier analizi* ile bileşik sesler analiz edilerek içinde bulunan temel frekans ve armoniklerinin hangi genliklerde bulunduğu ayrıştırılabilir.

Çeşitli doğal ve deneysel gözlemler ışığın dalga-tanecik ikili karakterine sahip bir enerji yayılması olduğunu ortaya koymuştur. Işık dalgalarının elektriksel ve magnetik alan titreşimlerinin yayılması şeklinde ifade edilebileceği Maxwell tarafından gösterilmiştir. Bu tip dalgalara elektromagnetik

dalgalar denir. Bütün elektromagnetik dalgaların boşlukta yayılma hızı aynı olup ışık hızı ( $3 \times 10^8$  m/s) adı verilir. Yayılma hızı ( $c$ ), dalga boyu ( $\lambda$ ), ve frekans ( $f$ ) arasında,

$$c = \lambda \times f$$

şeklinde bir ilişki vardır.



Description of the transverse motion.

$$\frac{2\pi v}{\lambda} = 2\pi f = \omega$$

$$v = f\lambda$$

$$y(x,t) = A \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt)$$

$$v_y(x,t) = \frac{dy}{dt} = \omega A \cos \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt)$$

$$a_y(x,t) = \frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 y = -\omega^2 A \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt)$$

**GENLİK:** A (dalgasının en yüksek, tepe noktası ve en düşük, çukur noktası arasındaki uzaklık)

**A;** sesin duyuşal şiddeti veya gürlük ölçüsüdür

**Dalga boyu:** İki tepe noktası arası uzaklık

**Frekans:** 1 saniyede oluşun ses dalgası sayısına denir, Sesin tonunu belirler. Frekans yüksek ise tiz ses, düşük ise kalın ses adı verilir

**Sesin Niteliği (Kalite veya Tınısı):** armonik sayısı ve bağıl oranı

$$s(x,t) = A \sin(kx - \omega t)$$

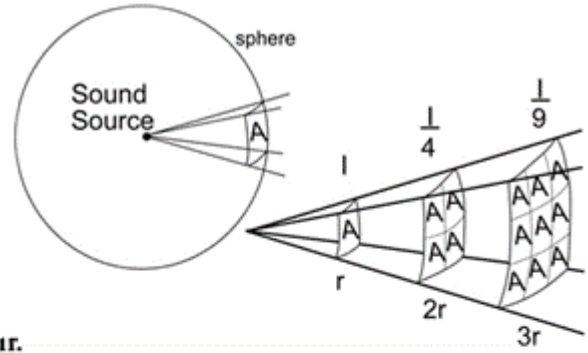
$$c = \sqrt{\frac{C}{\rho}} \quad f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

C: katılık katsayısı ([coefficient of stiffness](#) veya [bulk modulus](#))  
 ρ: yoğunluk

Ortama göre sesin yayılma hızı

$$V_{\text{Kati}} > V_{\text{Sıvı}} > V_{\text{Gaz}}$$

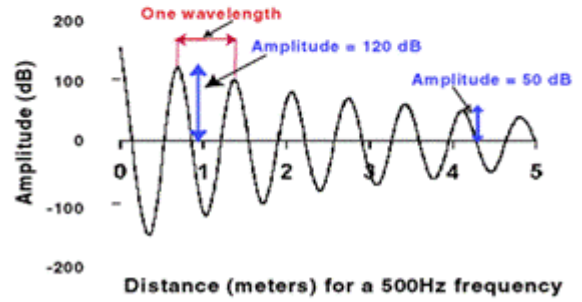
Şiddet, I kaynaktan  
uzaklaştıkça azalır



Düzlem dalgalar yayılma doğrultusunda  
Soğrulmaları nedeniyle de şiddetleri azalır.

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad \alpha' \text{ ya ortamın}$$

soğrulma katsayısı adı verilir



## SESİN ŞİDDET DÜZEYİ

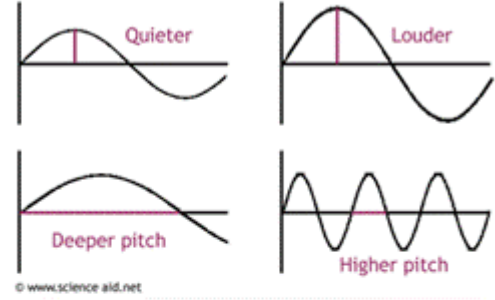
Ses dalgalarının duyulabilmesinde Eşik fiziksel şiddet, frekansa da bağlıdır

Standart seçilen 1 kHz işitebildiğimiz en düşük ses şiddeti;

$$I = 10^{-12} \text{ W/m}^2,$$

Etkin basınç değeri;

$$p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

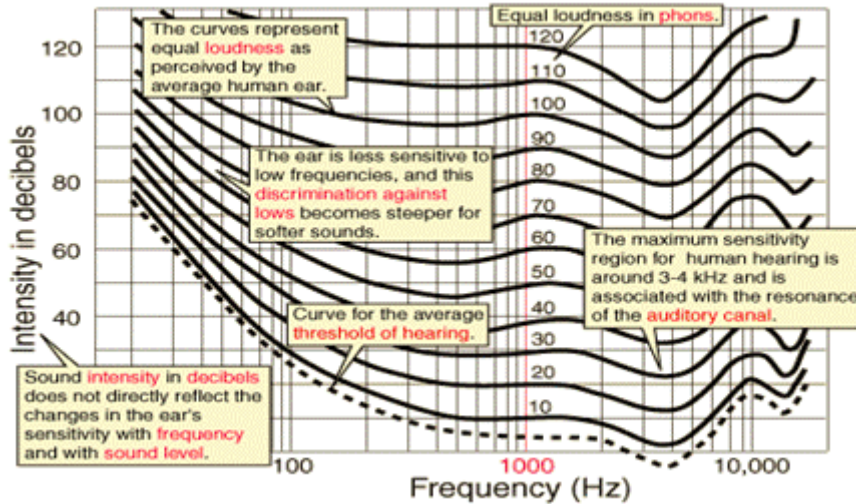


Weber-Fecner yasasına göre, ses şiddetinin ayrımlanmasında şiddet değil oranların önemli olduğu ileri sürülmüş

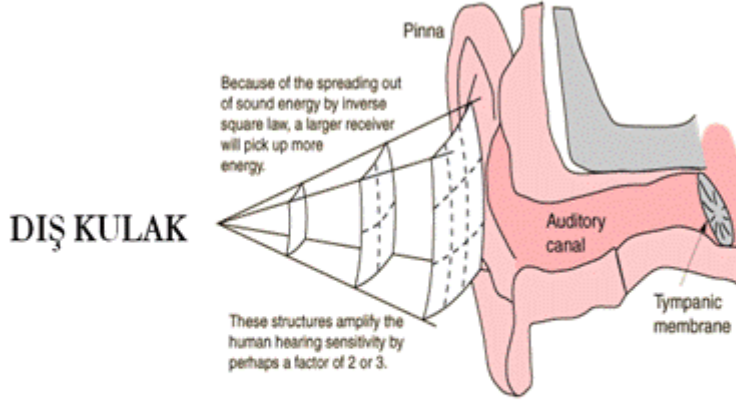
$$I_{dB} = 20 \log_{10} (P_e / P_0) \quad \text{veya} \quad I_{dB} = 10 \log_{10} (I_e / I_0)$$

Duyabildiğimiz tüm seslerin dB aralığı: 0 – 160 dB

Ses şiddetinin subjektif yorumu ile fiziksel ses şiddeti düzeyi arasındaki ilişki PHON adı verilen bir birimle ifade edilmektedir.



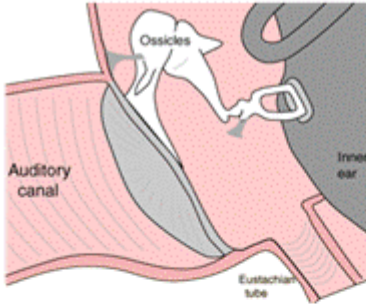
## KULAKTA SES DALGALARI ile İŞLEMLER



Dış kulak bir ucu kapalı rezonans borusuna benzer.  $L=2,7$  cm  $c=340$  m/s

$f_0 = c/4L \Rightarrow =340/4 \times 2.7 \times 10^{-2} = 3150$  Hz ; işitme eşiği 1 -4 kHz' minimumdan geçer

Bu durumda, dış kulakta rezonans oluyor ve böylece şiddet **10 dB** artırıyor



## KULAKTA SES DALGALARI ile İŞLEMLER

### ORTA KULAK

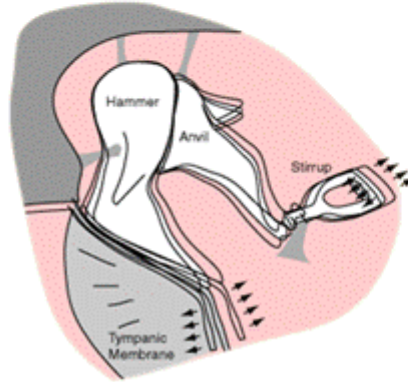
Timpanik zar =  $55 \text{ mm}^2$   
Oval pencere =  $3,2 \text{ mm}^2$

1 kHz titreşimlerde kaldıraç davranışı

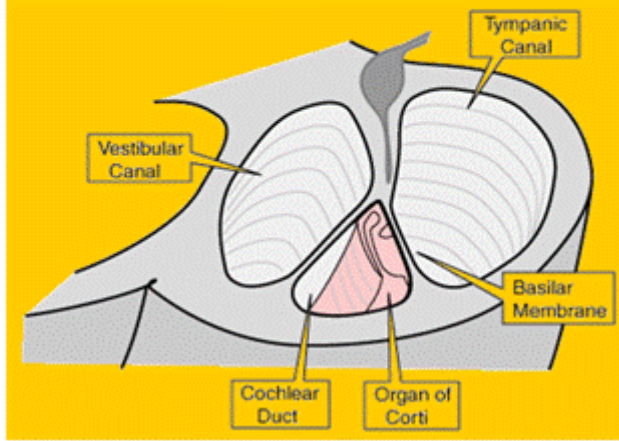
Kazanç = 1,3  $\Rightarrow F' = 1,3 \times 55 = 71,5$

$\Rightarrow F'' = 1,3 \times 55 / 3,2 = 22,3$  kat amplifikasyon

Şiddet düzeyi = 25 dB kazanç



## İÇ KULAK



**Koklea 2,5 devirlik bir kıvrım**

**3 kanal:**

**-üstte vestibular kanal**

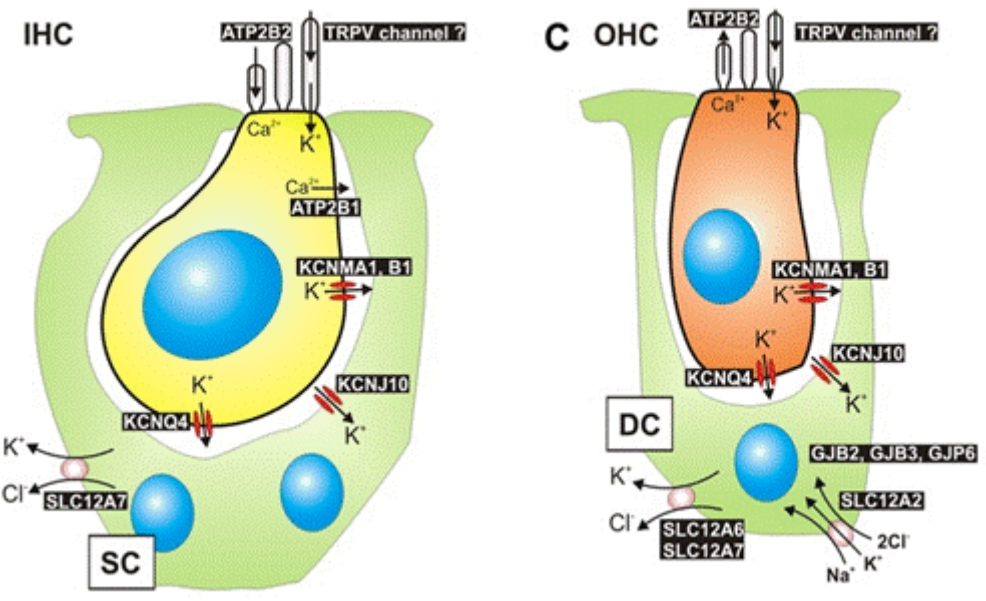
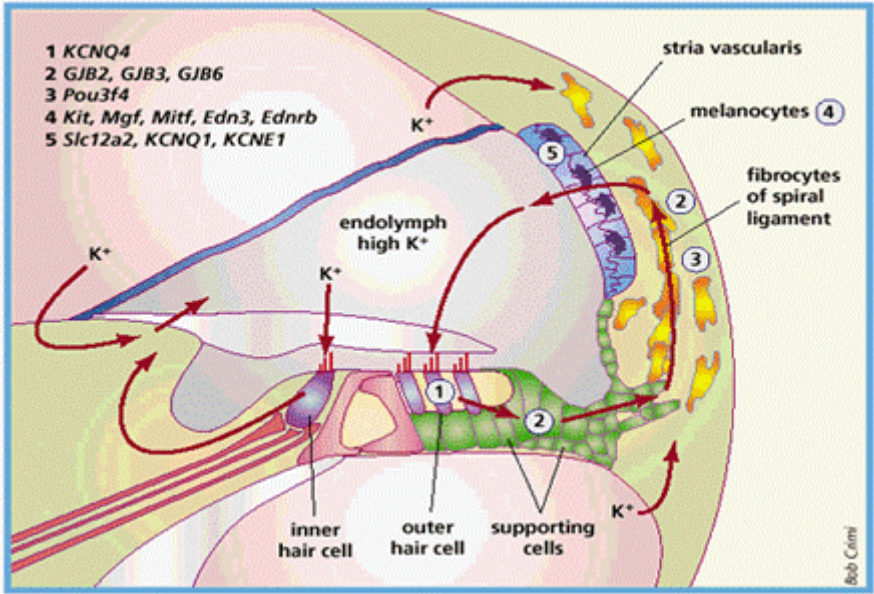
**(perilenfa) kokleadan Reissner zarı ile ayrılır**

**-ortada koklear kanal (endolenfa)**

**Timpanik kanaldan Basilar zar ile ayrılır**

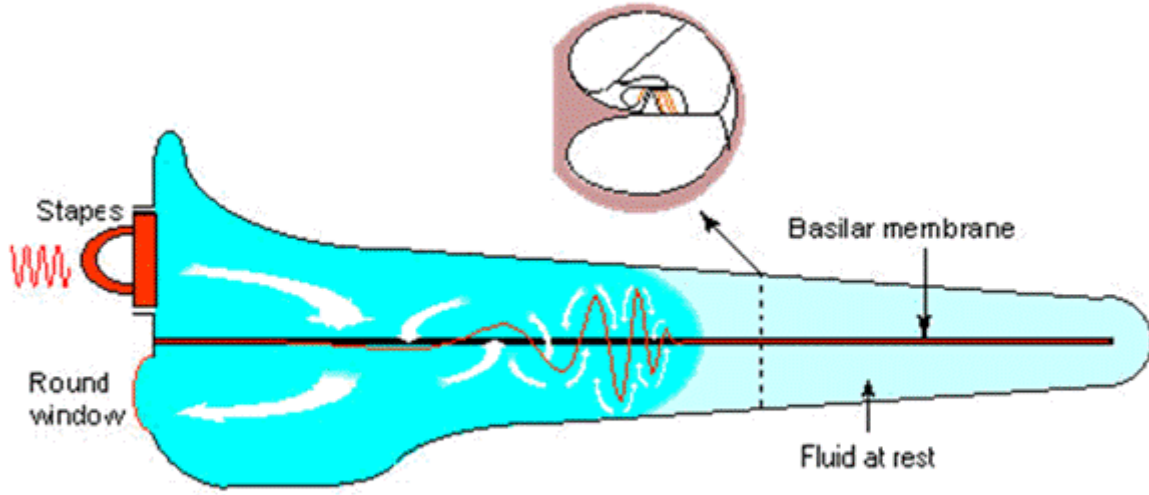
**-altta timpanik kanal (perilenfa)**

**Koklear kanal timpanik kanaldan basilar zar ile ayrılır**

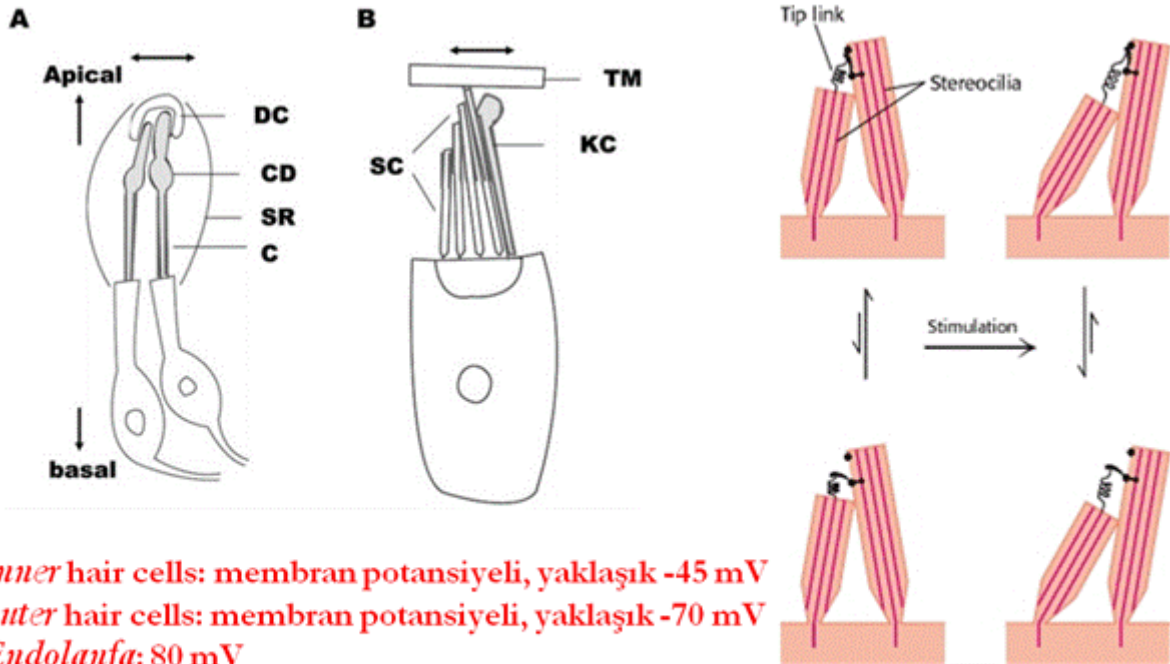




**Basilar zar: kokleanın tabanına yakın bölgelerde sert, kısa ve kalın lifler, apekse doğru ise lifler daha ince (çapları küçük), daha uzun ve daha az sert yapıda**



**Ses dalgalarının karşılık olan basınç dalgalanmaları oval pencereden girdikten sonra ilk olarak Bekesy tarafından gözlenen dalgalar (özel bir dalga biçimi) şeklinde koklea akışkanı içinde devam ederken bu dalgalara ağır hidrodinamik dalgalarda eşlik eder. Dalgalar timpanik kanaldan yuvarlak pencereye doğru hareket ederler (vestibular ve koklear kanal tek bir kanal gibi davranır)**



**inner hair cells: membran potansiyeli, yaklaşık -45 mV**

**outer hair cells: membran potansiyeli, yaklaşık -70 mV**

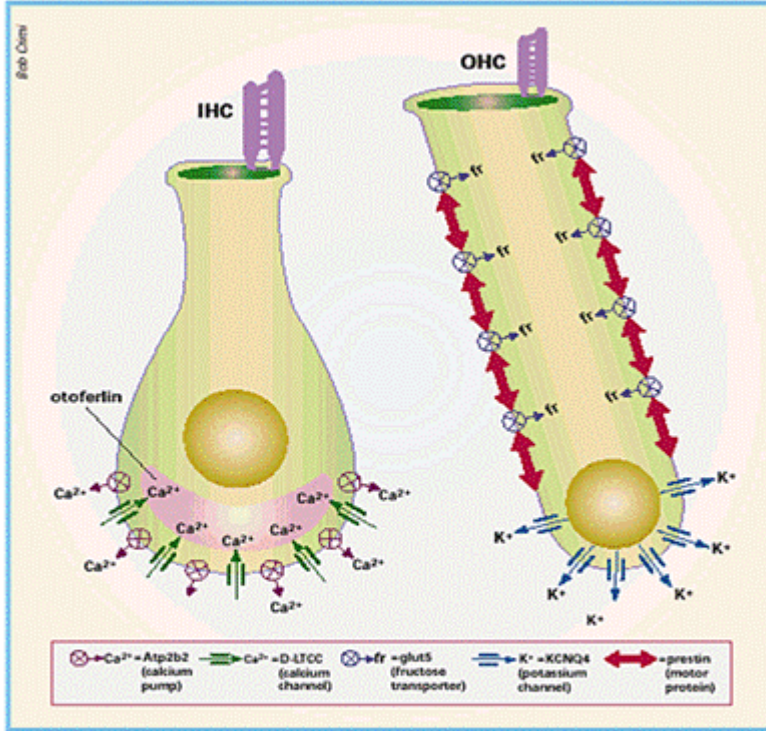
**Endolanfa: 80 mV**

**Böylece akım için sürdürücü kuvvet (pot. farkı)**

**125 mV ve 150 mV olur**

**NOT: siliolar 1-2° veya 100-200 nm hareket ediyorlar**

## Tüy hücrelerine potansiyel çevrimi



- Silioların tepeleri  $K^+$  zengin ortamda gövdeleri ise  $K^+$  fakir ortamda bulunuyor
- Silioların bareketi mekanoreseptörler aracılığı ile  $K^+$  içeri girmesini ve zarın depolarize olmasını sağlıyor
- Gövdede bulunan voltaj-kapılı  $Ca^{2+}$  kanalları açılıyor (daha fazla depolarizasyon)
- Hem  $Ca^{2+}$ -duyarlı  $K^+$  kanalları hem de voltaj-duyarlı  $K^+$  kanalları ile zar tekrar dinlenim değerine dönüyor