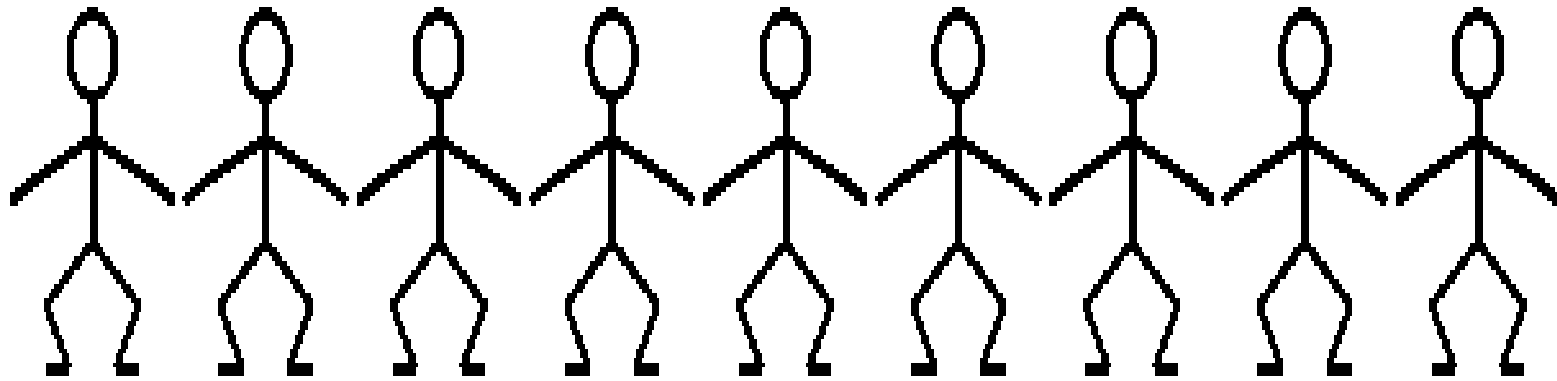


Hullámstan, hullámoptika

Szabó Gábor

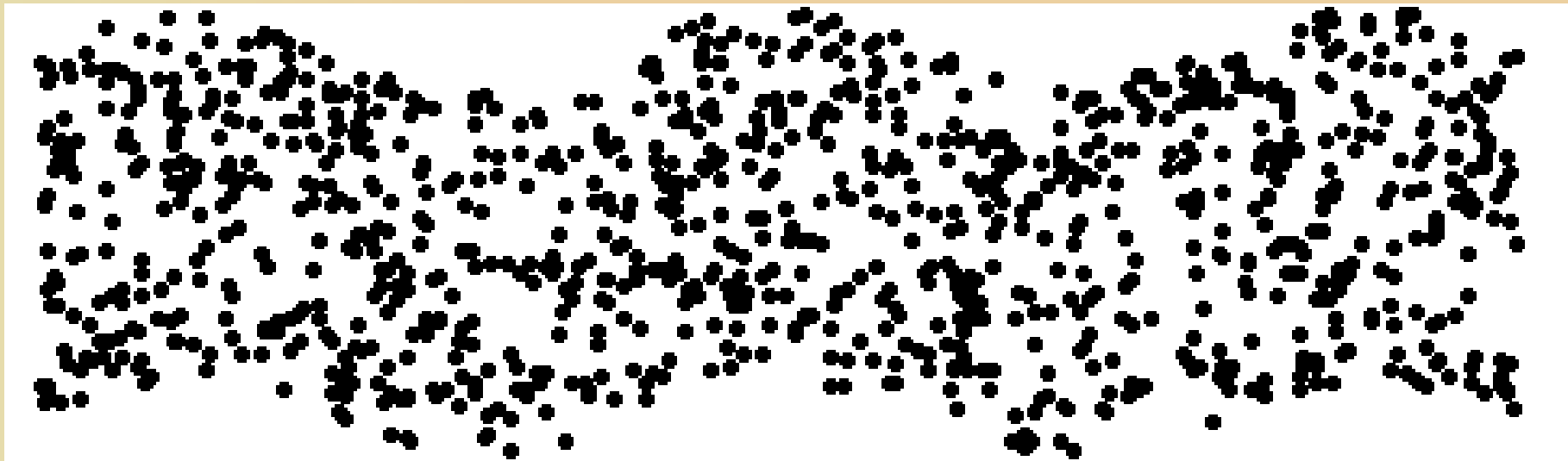
egyetemi tanár, SZTE Optikai Tanszék

Hullámok

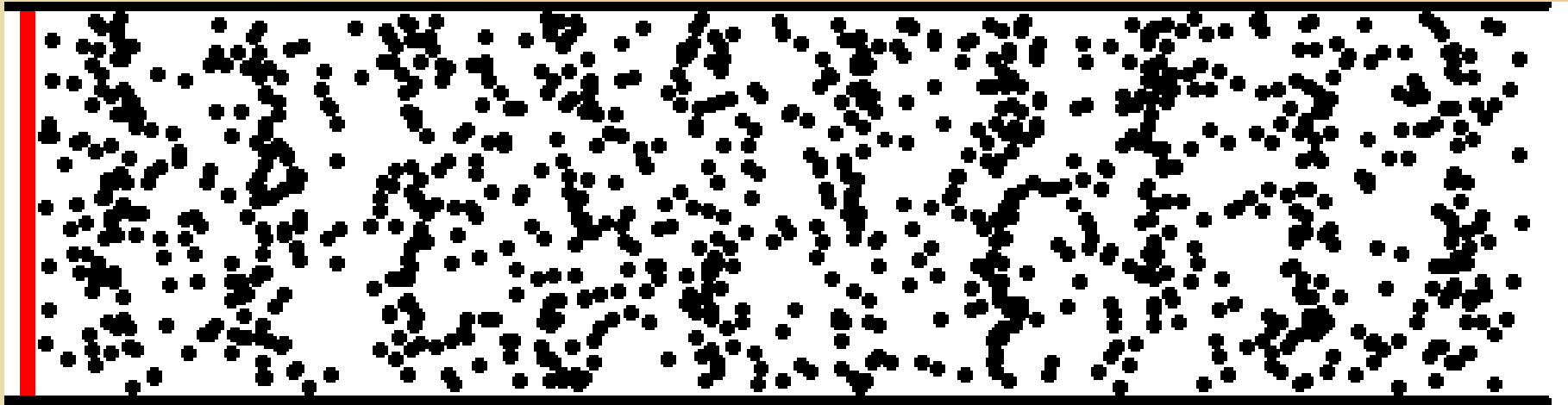


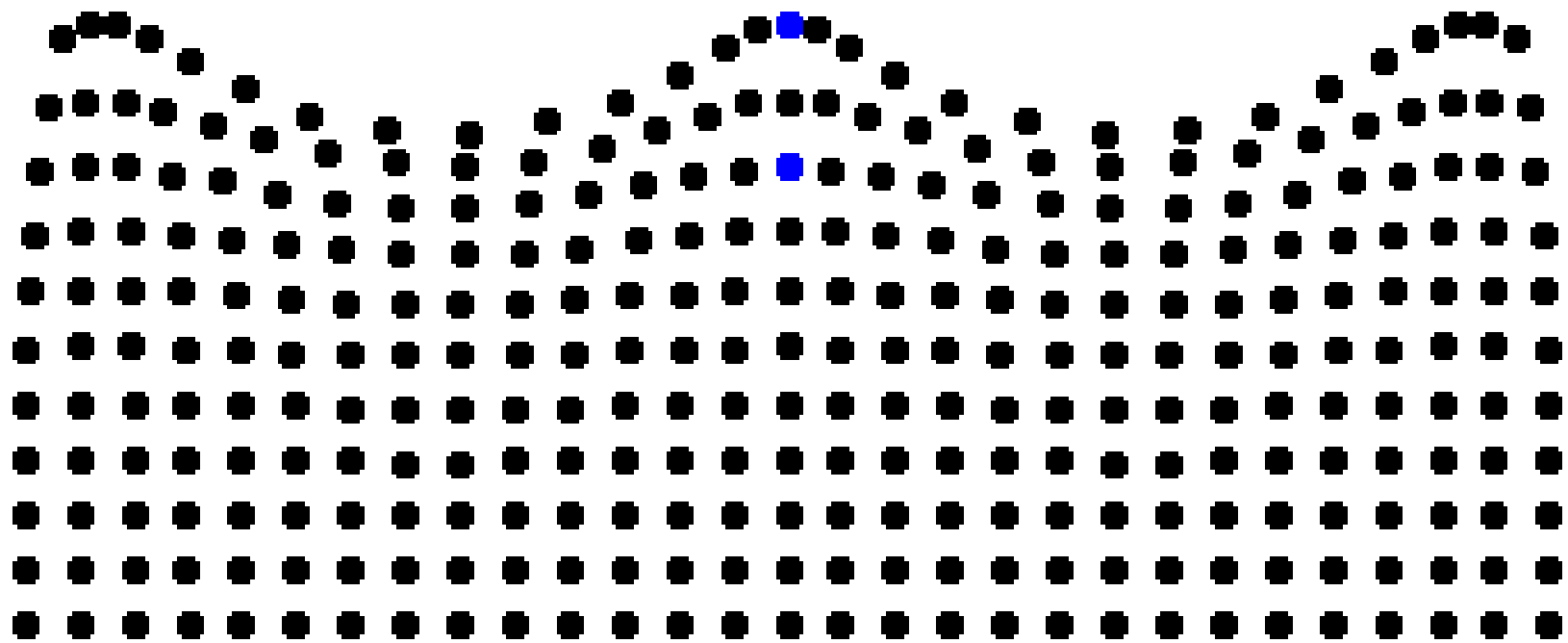
© 2002, Dan Russell

Transzverzális hullám



Longitudinális hullám





©1999, Daniel A. Russell

Síkhullám matematikai alakja

Tekintsünk egy, az x tengely mentén haladó síkhullámot. A matematikai leíráshoz olyan szinuszfüggvényre van szükségünk, amelynek argumentuma függ az időtől, és az x koordinátától (egy x és egy t függő tag összege).

Tekintsük először az x függő részt. Ennek a hullámhossz szerint kell periodikusnak lennie. Ez azt jelenti, hogy ha megnöveljük x -et a hullámhossz (λ) egész számú többszörösével, akkor az argumentum számértékének 2π -vel kell nőnie. Ez nyilván teljesül, ha az argumentumot a következő alakban vesszük fel:

$$\frac{x}{\lambda} 2\pi$$

Síkhullám matematikai alakja

A t függő résznek T szerint kell periodikusnak lennie. Azaz, ha megnöveljük t -t a periódusidő egész számú többszörösével, akkor az argumentum számértékének 2π -vel kell nőnie. Ez teljesül ha:

$$\frac{t}{T} 2\pi$$

Ebben a kifejezésben felismerjük az $\omega=2\pi/T$ körfrekvenciát. Ezzel időfüggő rész egyszerűen ωt

Írjuk be ezeket a tagokat a sin-függvénybe:

$$y = A_0 \sin\left(\omega t - 2\pi \frac{x}{\lambda}\right)$$

Síkhullám matematikai alakja

A $2\pi/\lambda$ kifejezést hullámszámnak nevezzük és k -val jelöljük. Ezzel a végeredmény:

$$y = A_0 \sin(\omega t - kx)$$

Vizsgáljuk meg, hogy ez a hullám milyen sebességgel terjed! Ezt úgy tehetjük meg, hogy követjük a hullám egy adott pontját. A hullám egy adott pontja megfelel az argumentum egy rögzített értékének. Ez azt jelenti, hogy az x -et Δx -el, t -t Δt -vel megnövelve ugyanazt a számot kell kapnunk, azaz:

$$\omega t - kx = \omega(t + \Delta t) - k(x + \Delta x)$$

Síkhullám matematikai alakja

Felbontva a zárójeleket:

$$\omega t - kx = \omega t + \omega \Delta t - kx - k \Delta x$$

A terjedési sebesség nyilván a $\Delta x / \Delta t$, tehát

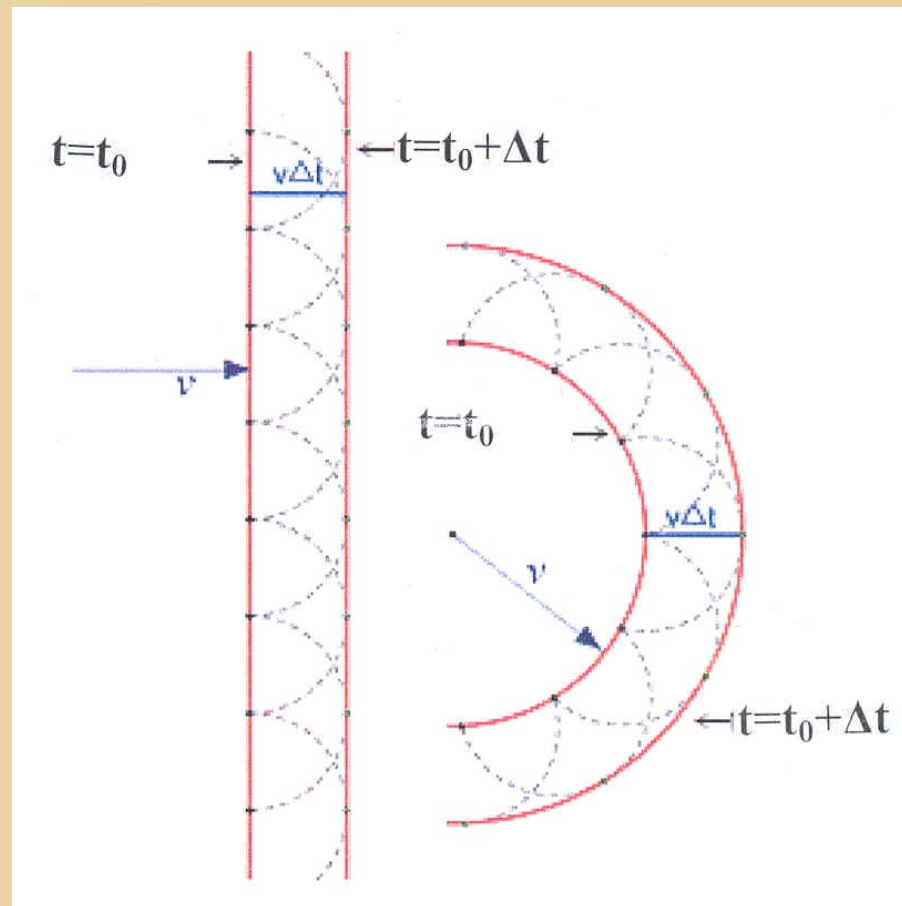
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\omega}{k} \quad \text{v az adott fázisú pont sebessége, vagy röviden fázissebesség.}$$

Az eredményünk ellenőrzésére helyettesítsük be ω -t és k -t:

$$v = \frac{2\pi}{T} \frac{\lambda}{2\pi} \Rightarrow \lambda = vT \quad \text{ami nyilván helyes.}$$

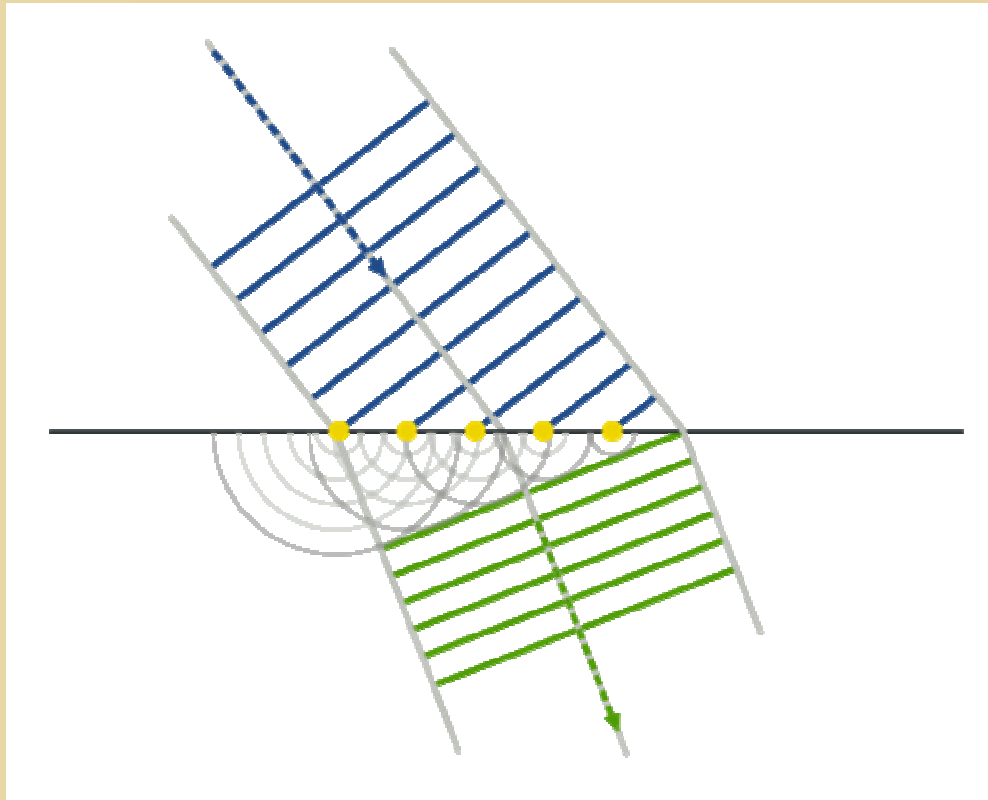
Hullámterjedés, Huygens elv

Huygens elv: egy hullámfront minden pontjából elemi hullámok indulnak ki, a hullámfrontot egy későbbi időpontban ezen elemi hullámok burkolója adja.



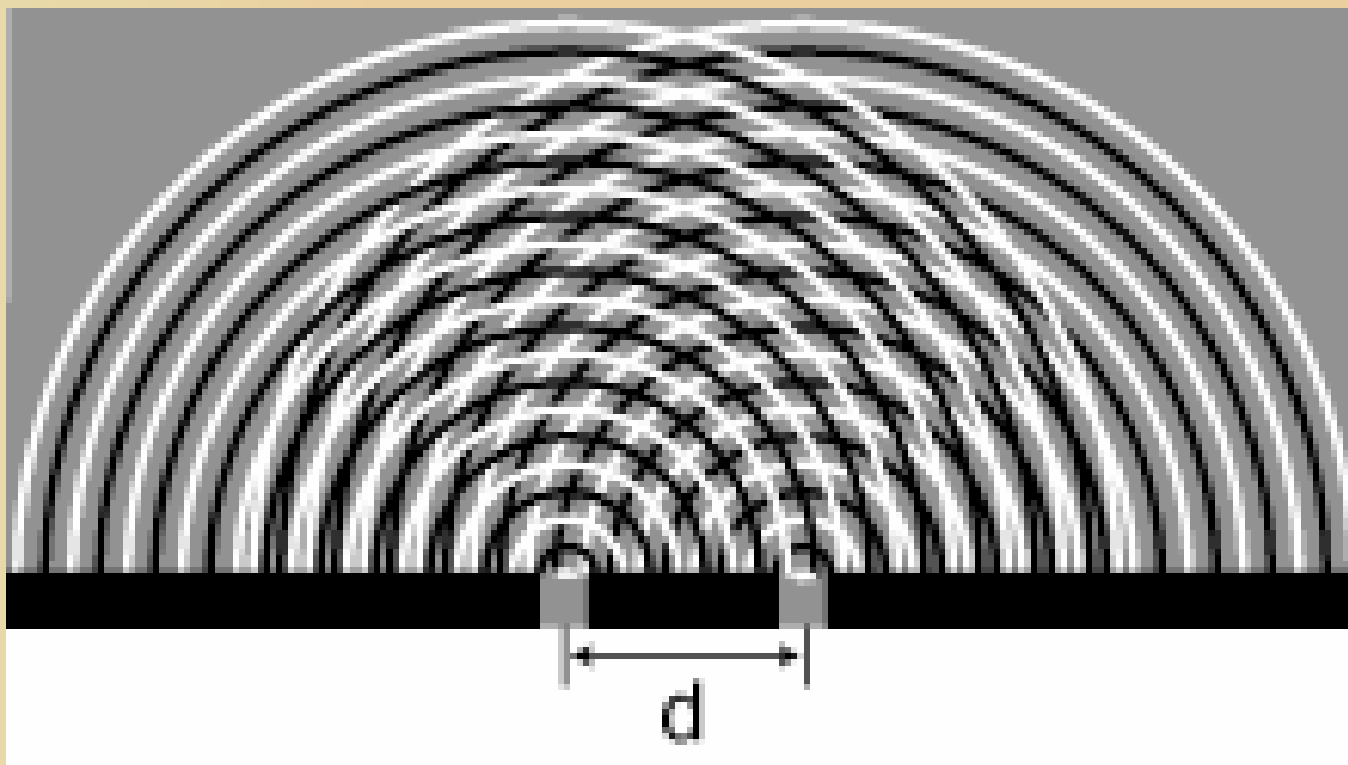
Hullámterjedés, Huygens elv

Hullámok törésének magyarázata:



Hullámterjedés, Huygens elv

Hiba: a burkoló mindig pozitív, ugyanakkor a valóságban hullámmentes zónák figyelhetők meg. Pl. kettősrés kísérlet.



Továbbfejlesztés: Huygens-Fresnel elv

Huygens elv: egy hullámfront minden pontjából elemi hullámok indulnak ki, a hullámfrontot egy későbbi időpontban ezen elemi hullámok **interferenciája** adja.

Hangtan

Hangtan

Hang(hullám) intenzitása: a felületegységen áthaladó hangteljesítmény. Mértékegysége: (W/m²)

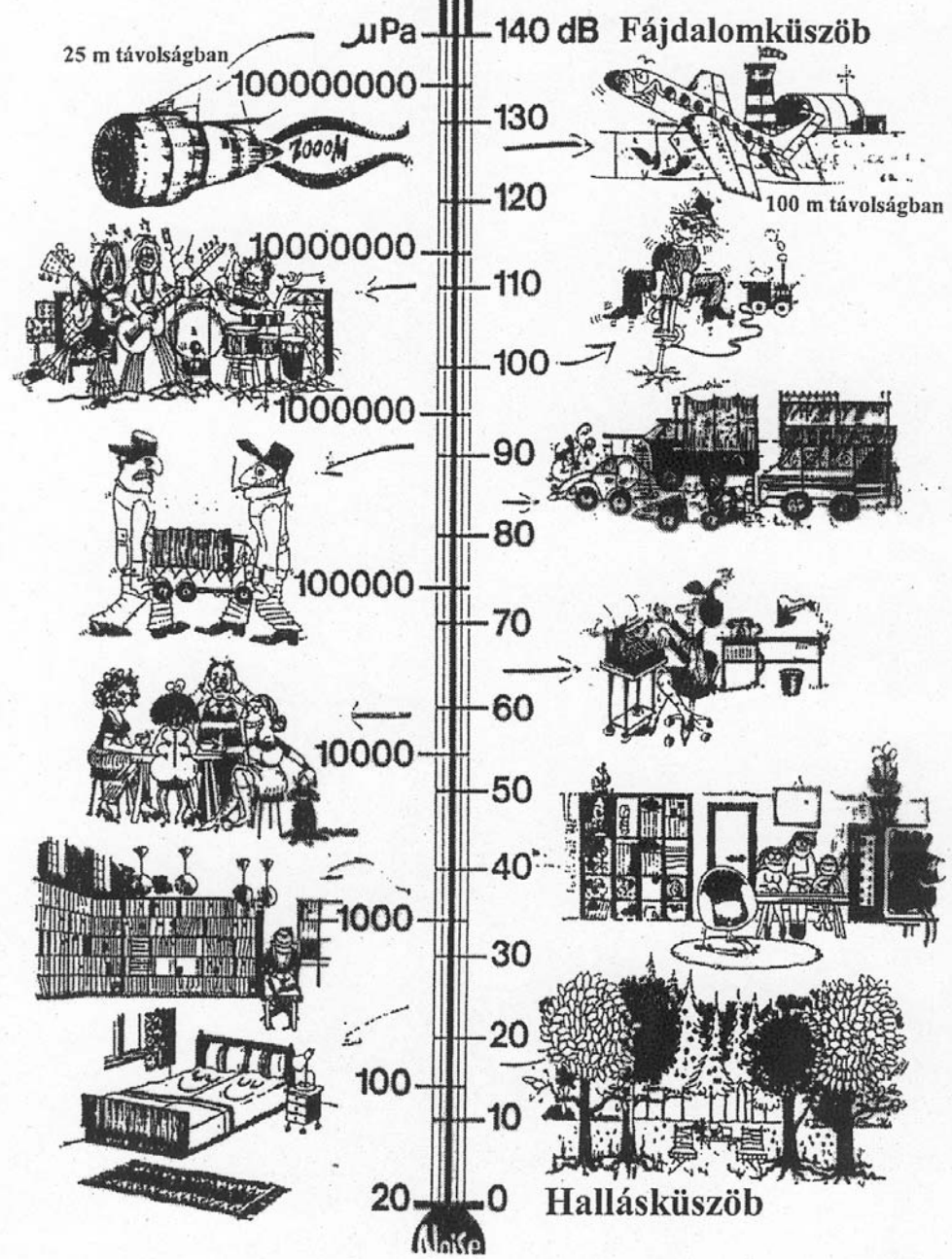
Szokásos megadása: decibel skála segítségével.

$$L = \left(10 \lg \frac{I}{I_0} \right) dB$$

Ahol I_0 a hallásküszöb (=10⁻¹² W/m²).

Hangnyomás

Hangnyomásszint



Hangsebesség szilárd anyagokban

A hőmérséklet és sűrűség mellett függ a „geometriától”.

Kerámiák: 5000-6000 m/s

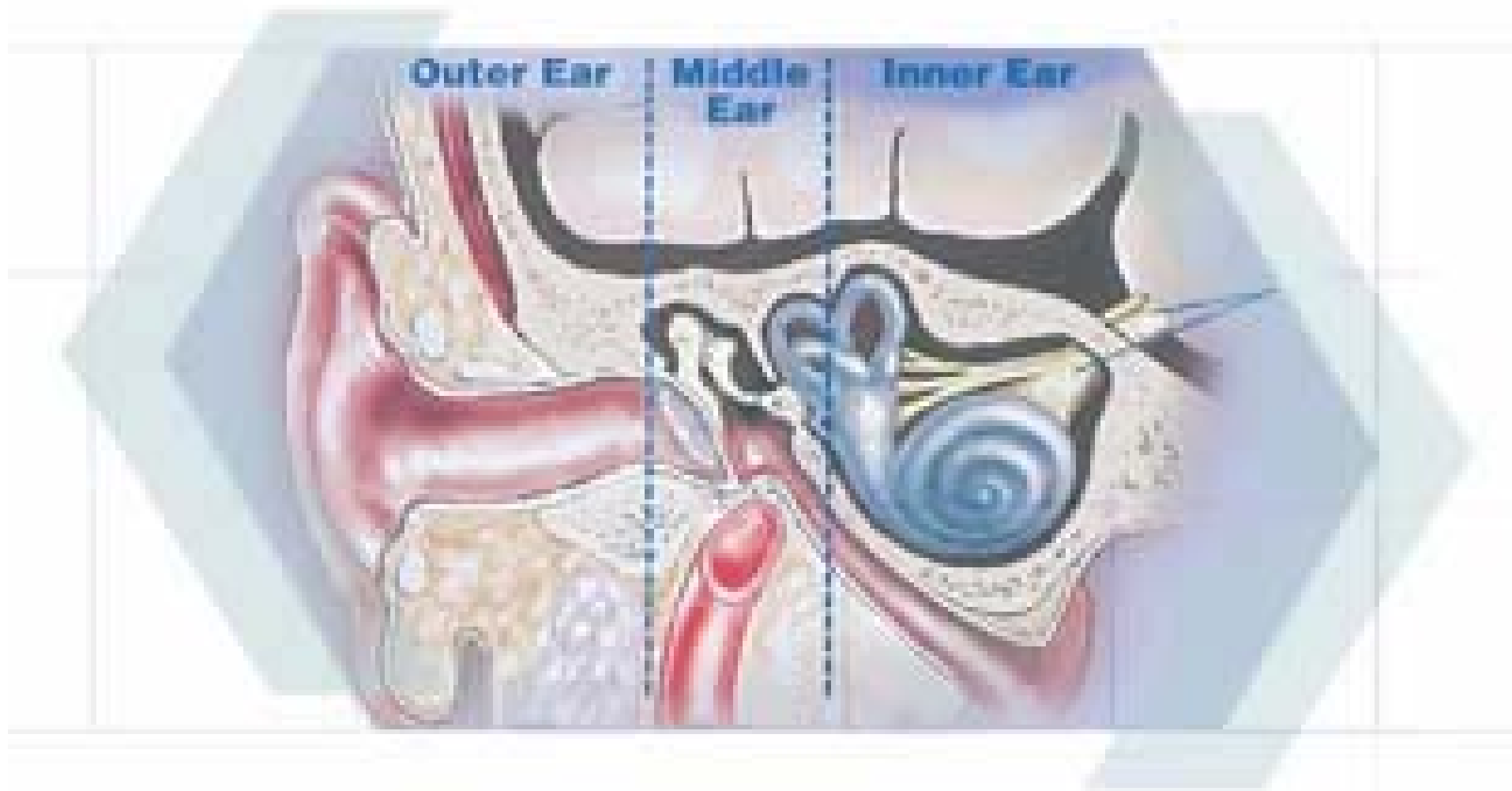
Fémek: 2000-6000 m/s (ólom-aluminium)

Fa anyagok: 4000-5000 m/s

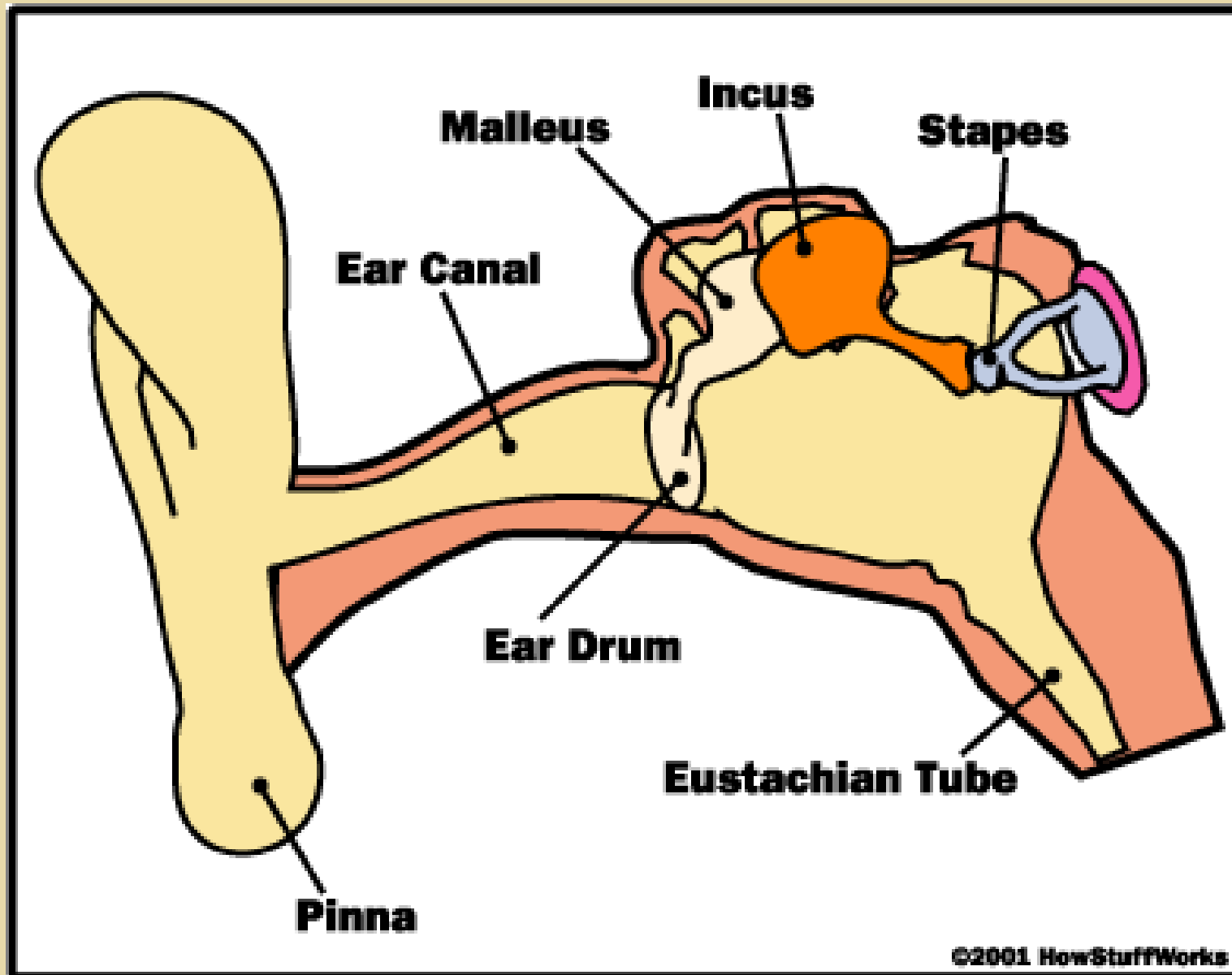
**A terjedési sebesség értékének közvetlen „hatása”:
a hangszerek mérete.**

Pł.: levegőben - fafúvósok,
húrok - hegedő, stb.

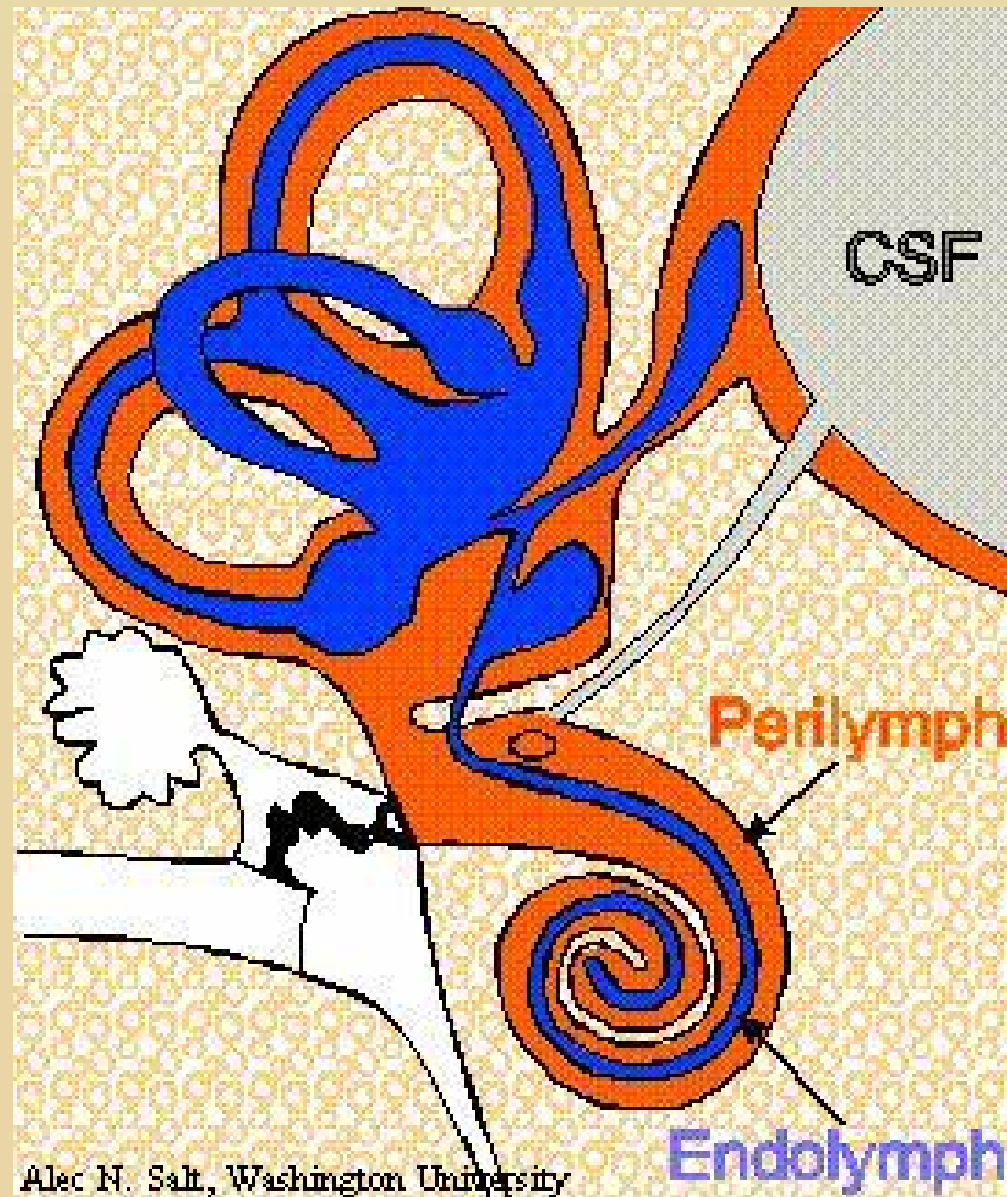
Az emberi fül felépítése



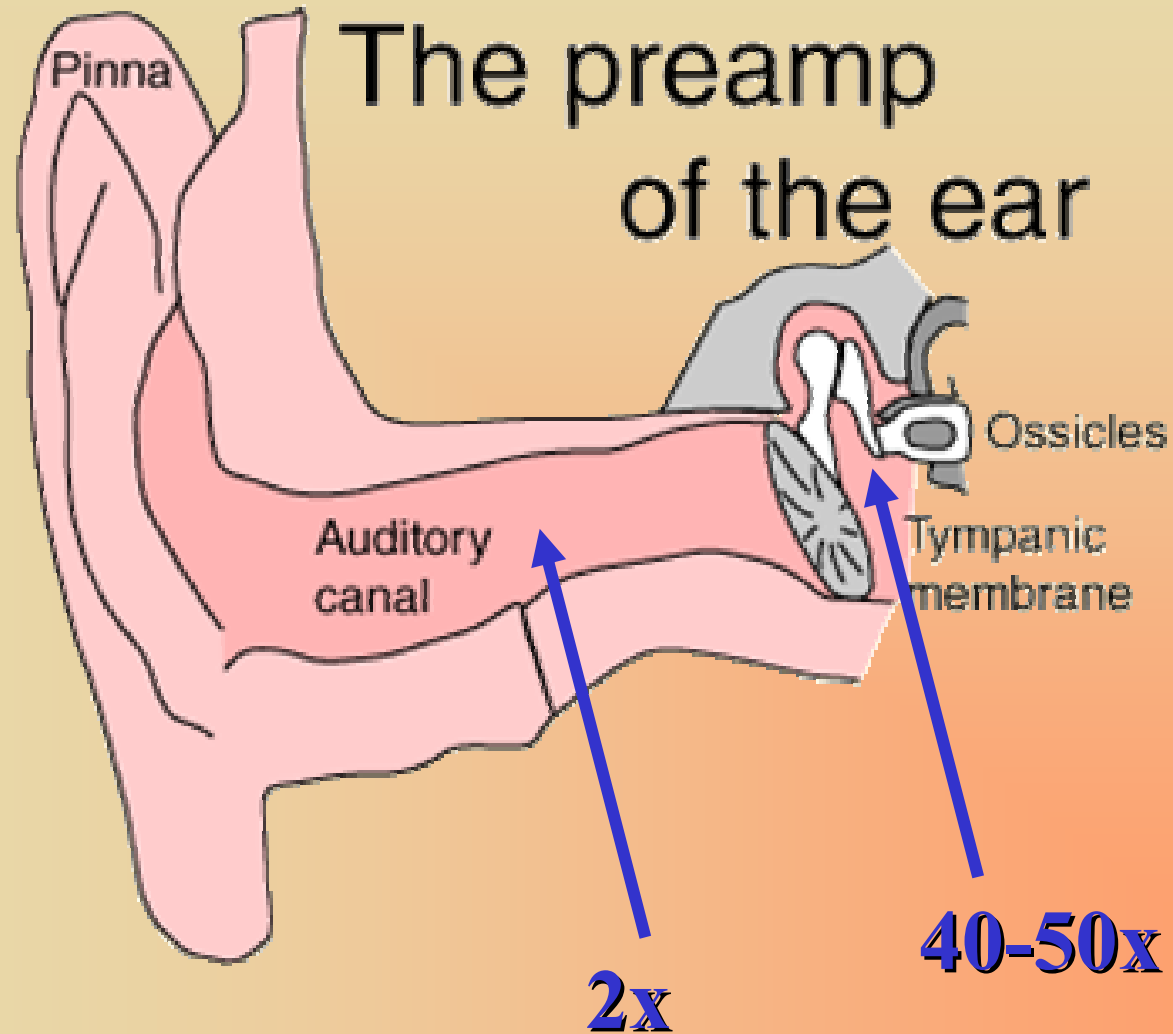
Az emberi fül felépítése



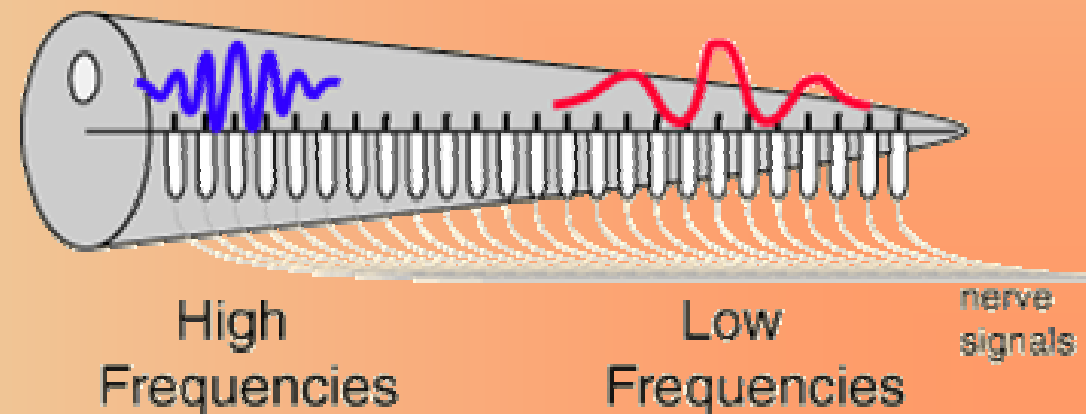
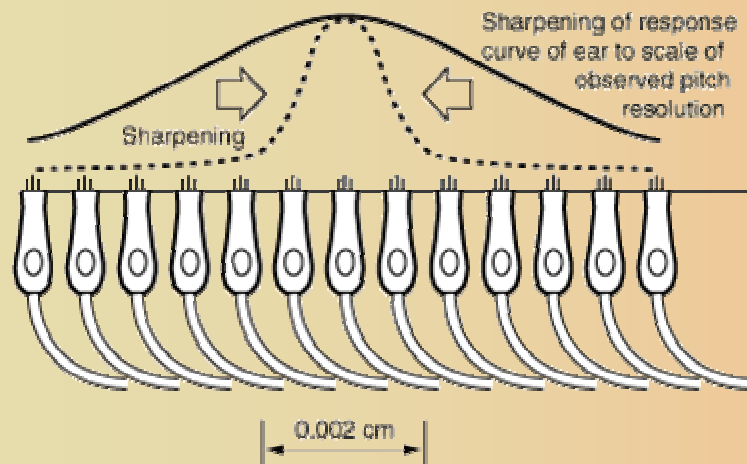
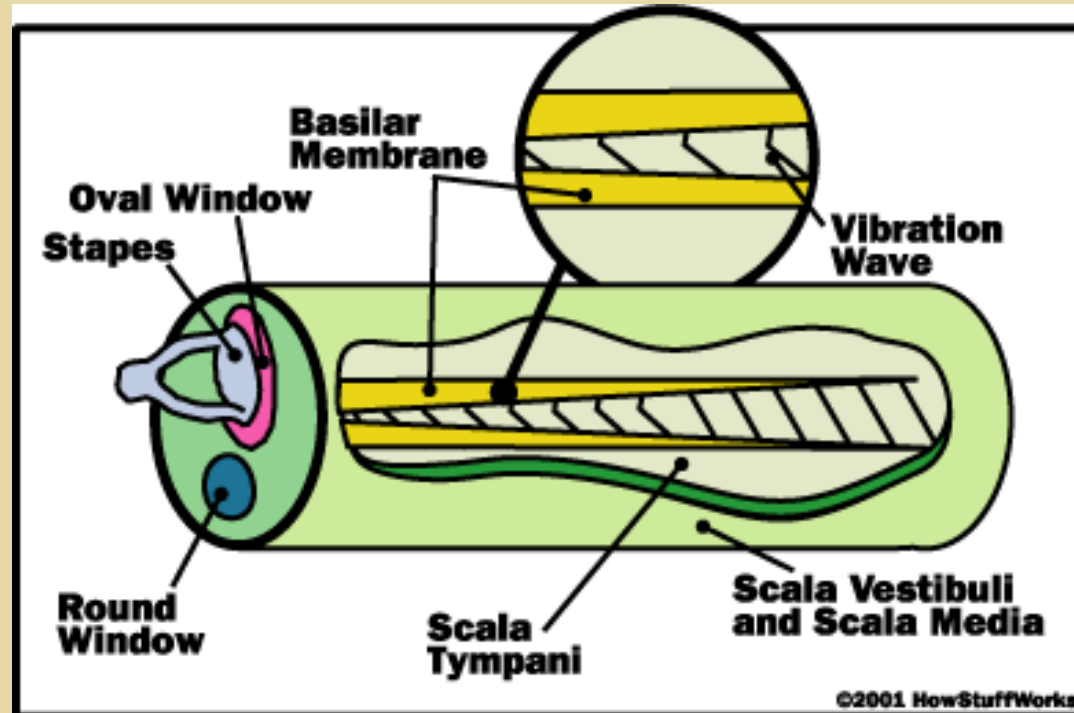
Az emberi fül felépítése



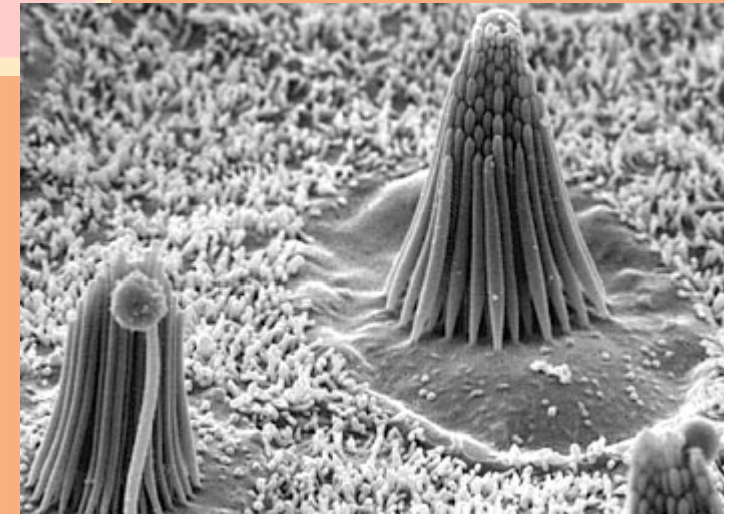
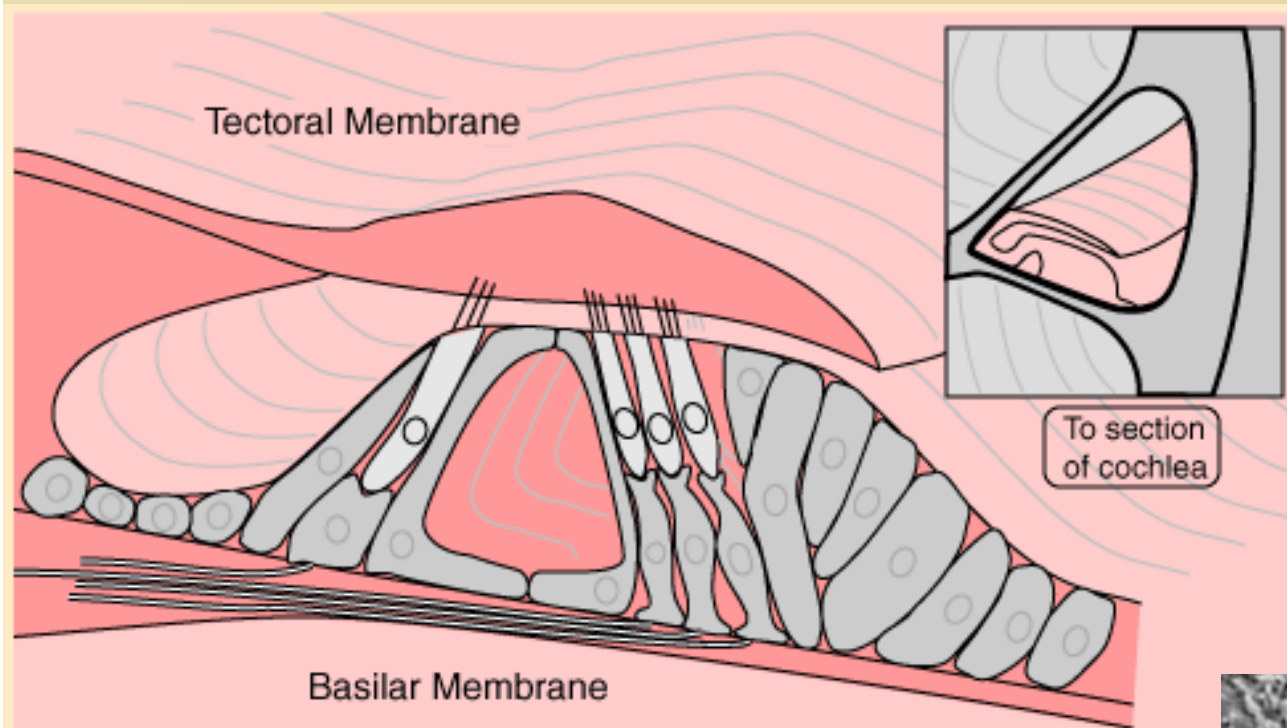
Az emberi fül felépítése



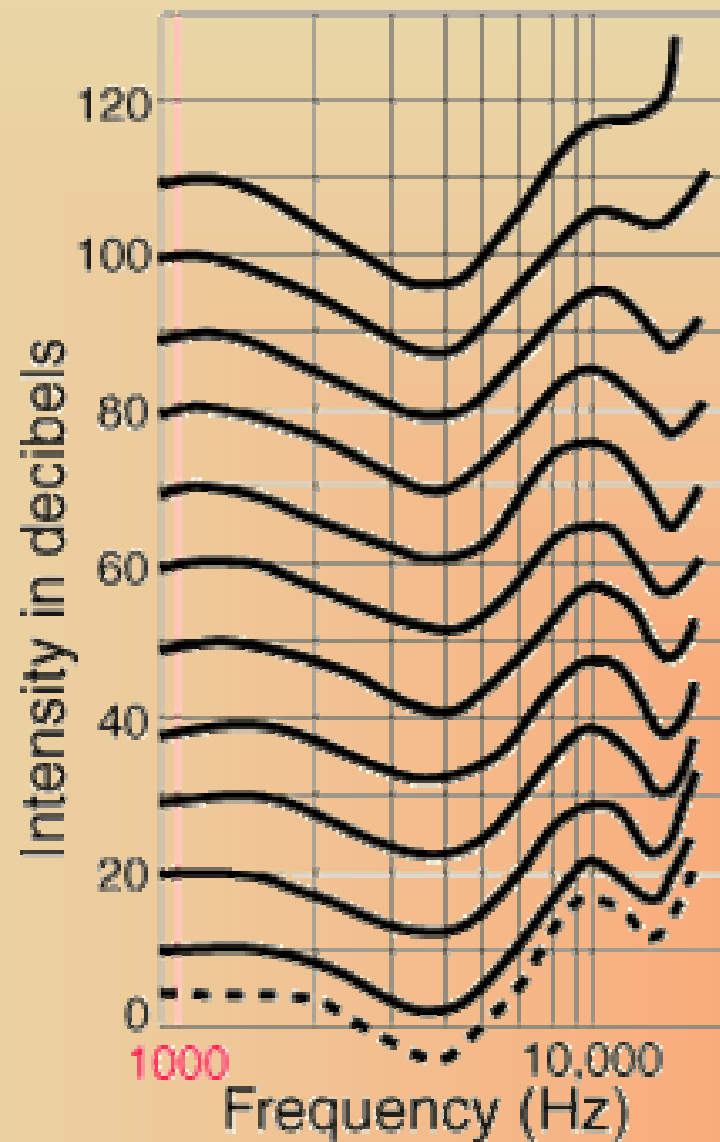
Az emberi fül felépítése



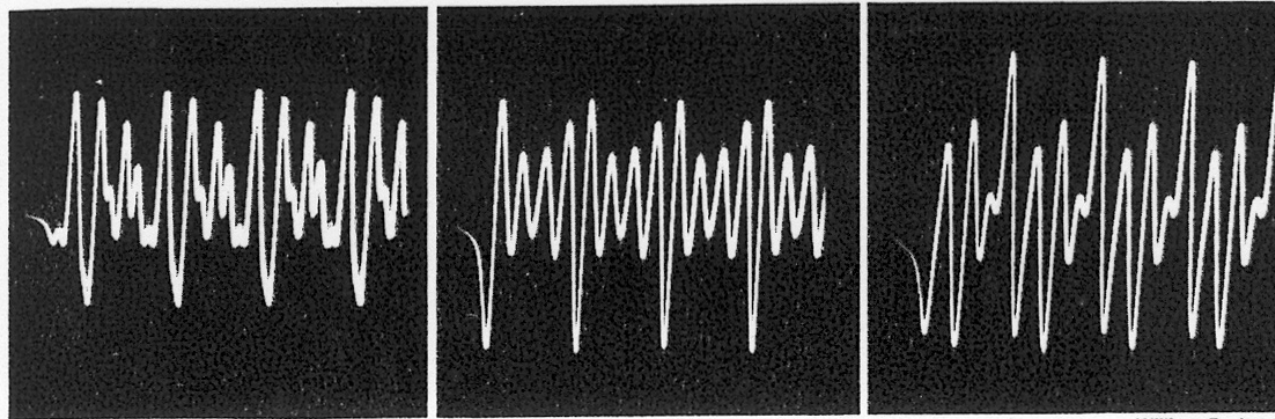
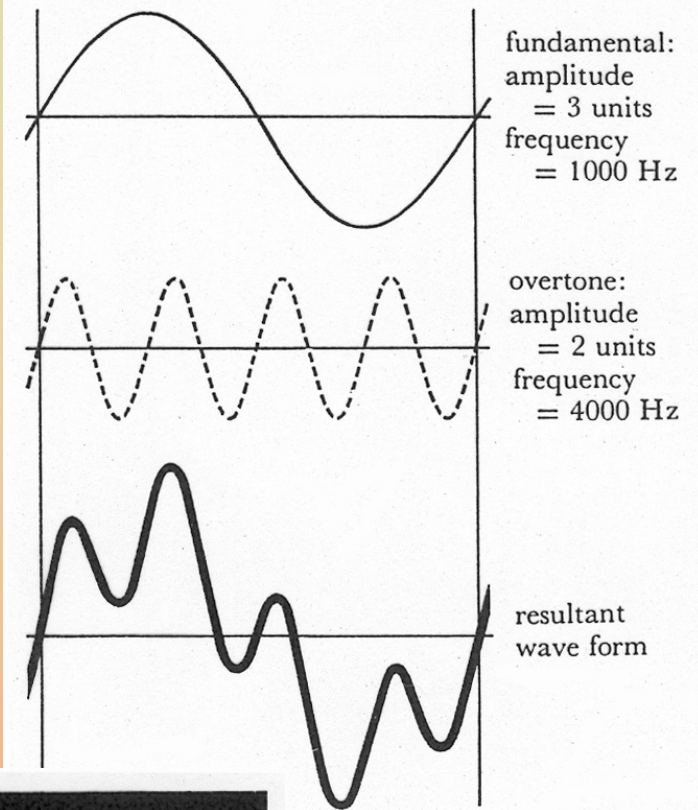
Az emberi fül felépítése



Az emberi fül felépítése



Hangmagasság és hangszín



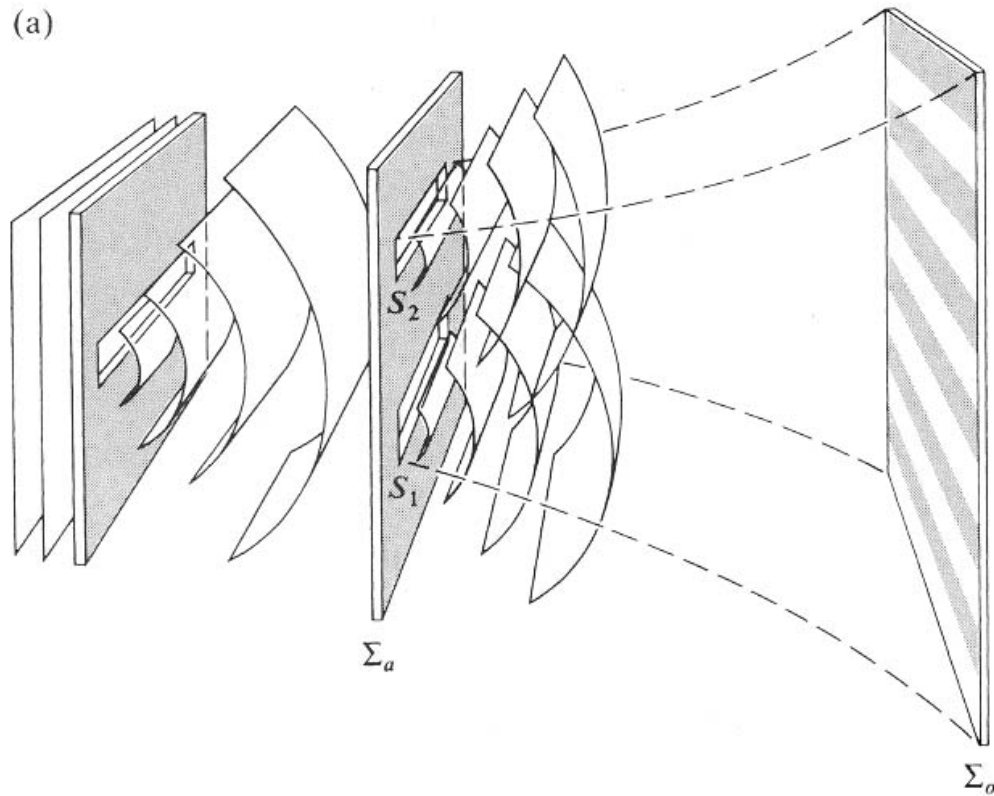
William B. Joyce

FIGURE 11-13 Wave forms of musical sounds. Left: violin; center: trumpet; right: clarinet.

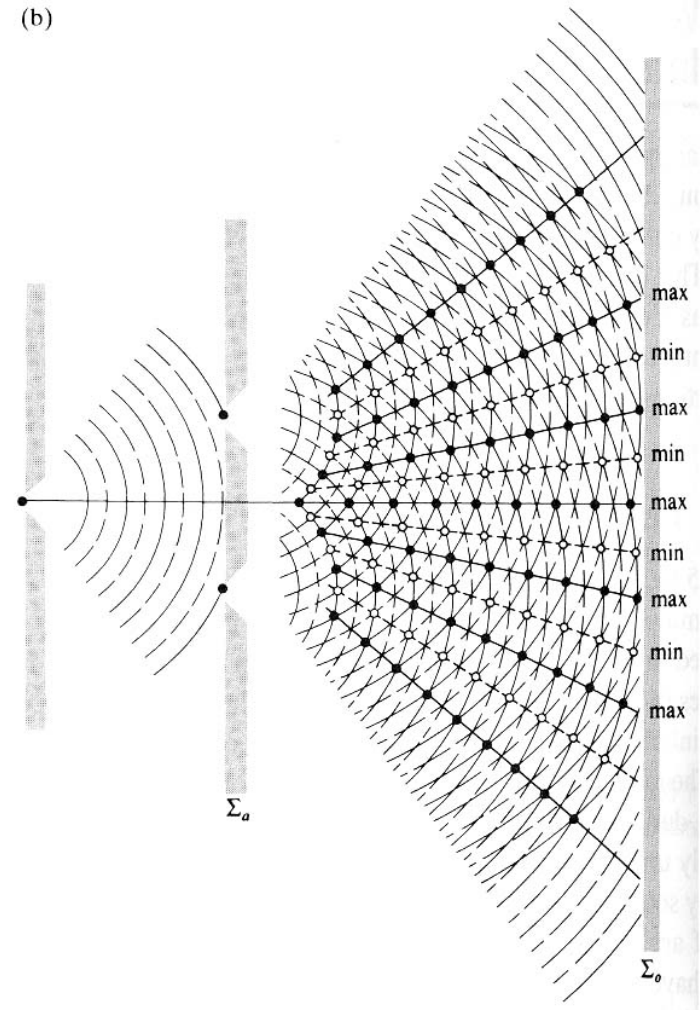
Hullámoptika

Young interferencia

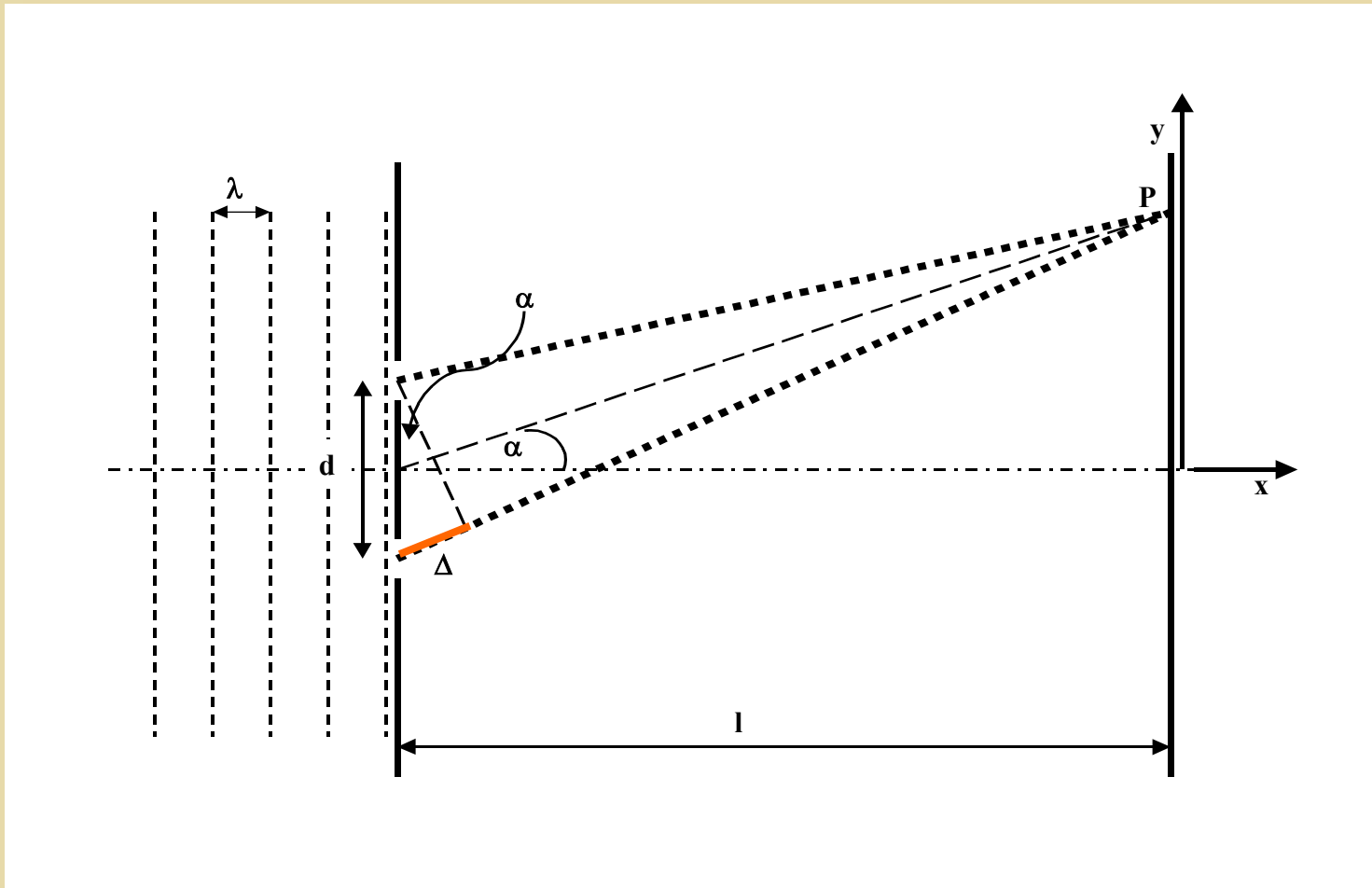
(a)



(b)



Young interferencia



$l \gg y, d \Rightarrow \sin \alpha, \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ (paraxiális közelítés)

Young interferencia

A Δ útkülönbség az $\alpha=0$ irányban (ez egyben az x tengely) nyilván 0. Egy adott α irányban (ami megfelel annak, hogy az ernyőn elmozdulunk valamekkora Δy -al) az útkülönbségre írhatjuk:

$$\Delta = \sin \alpha d \approx \alpha d$$

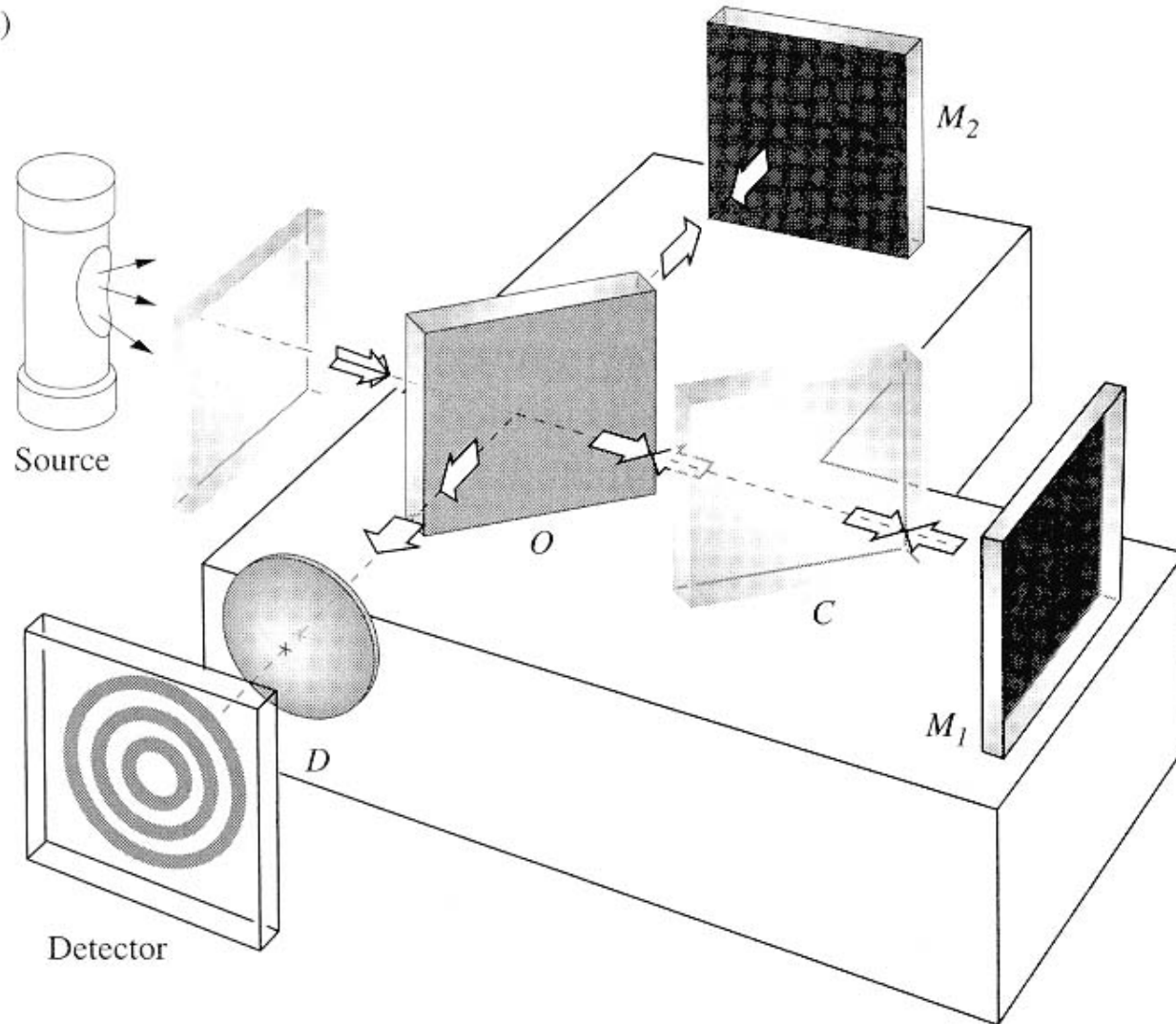
Másrészt $\operatorname{tg} \alpha \approx \alpha = \frac{y}{l}$ **tehát** $\Delta = \frac{yd}{l}$

Az első minimumot (kioltást) ott kapjuk, ahol $\Delta=\lambda/2$, azaz

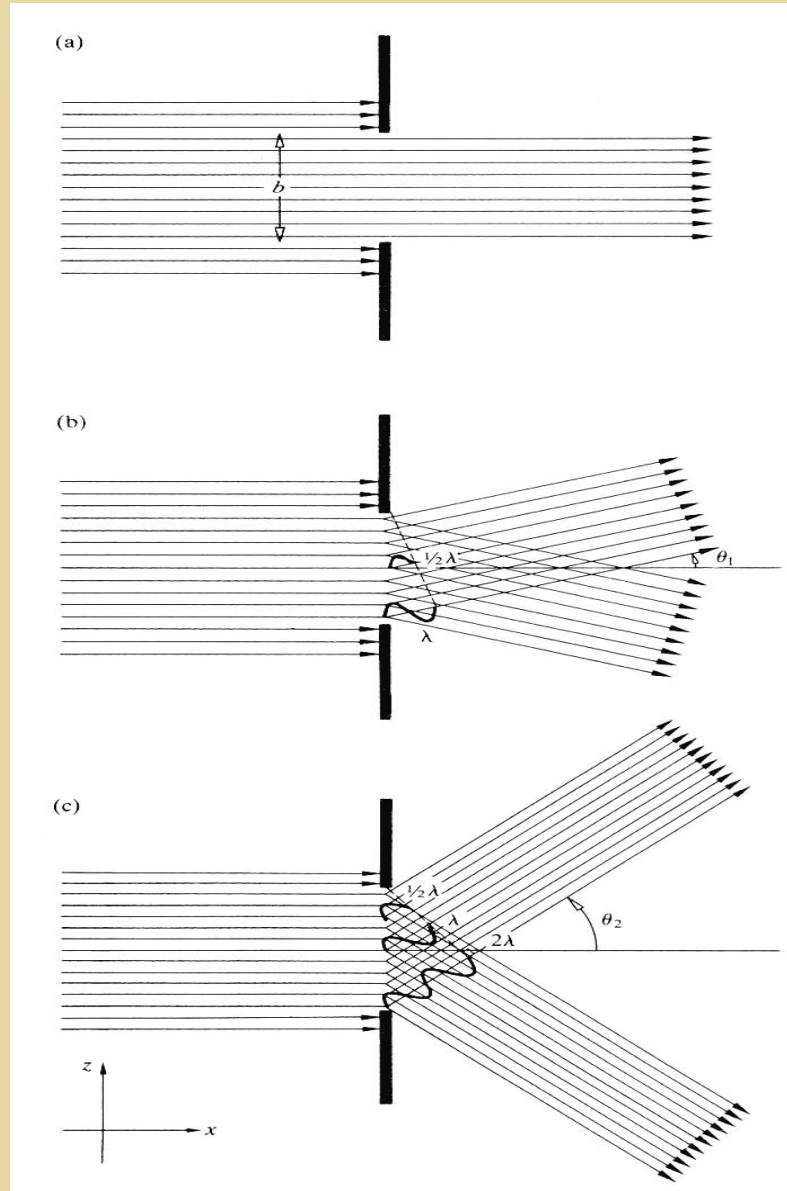
$$\frac{\lambda}{2} = \frac{y_{\min} d}{l} \Rightarrow \alpha_{\min} = \frac{y_{\min}}{l} = \frac{\lambda}{2d}$$

Michelson interferométer

(a)



Fraunhofer elhajlás résen

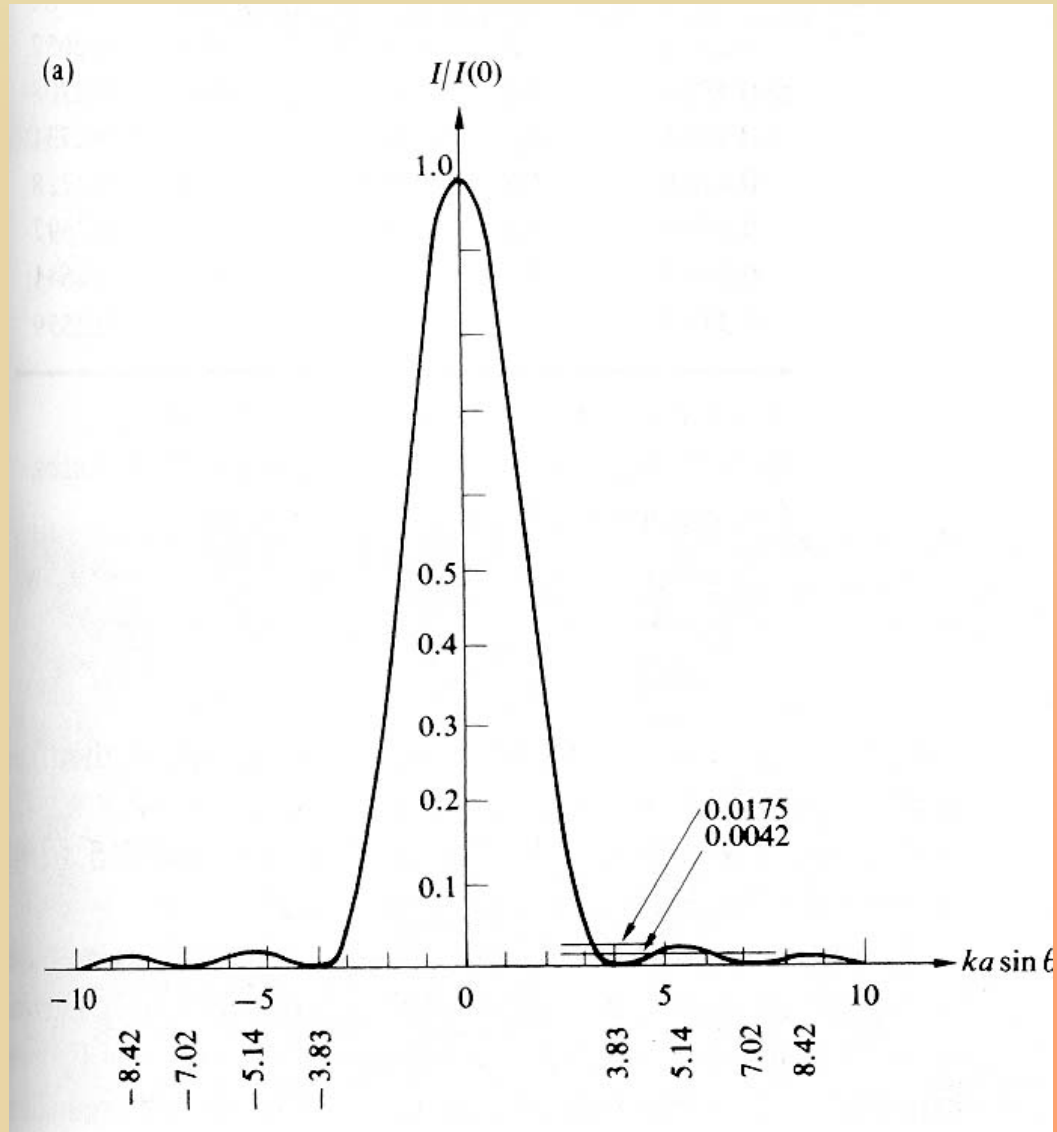


Főmaximum

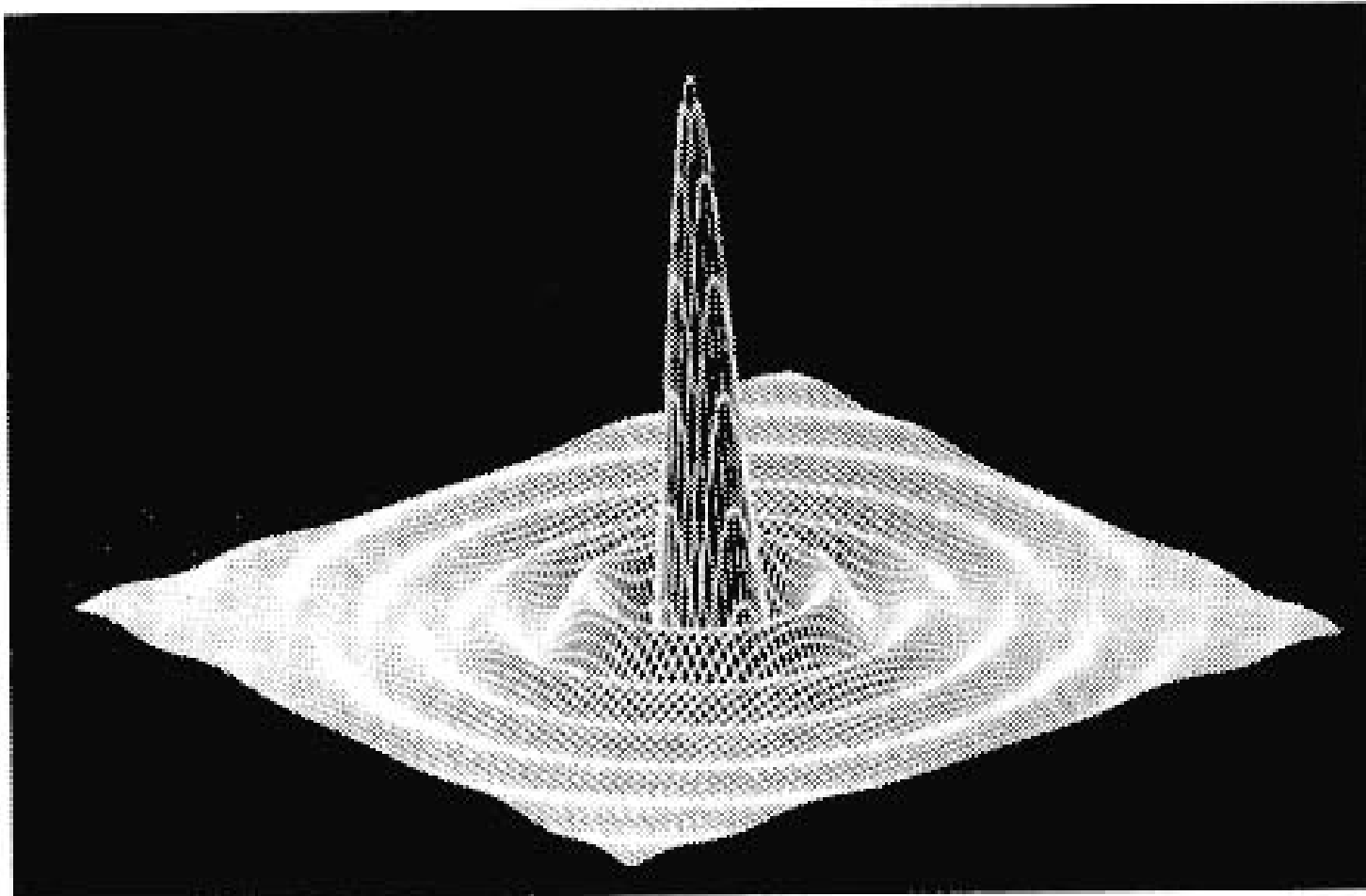
Első minimum

Második maximum

Fraunhofer elhajlás résen



Fraunhofer elhajlás kör alakú nyíláson



(b)

Optikai eszközök feloldóképessége

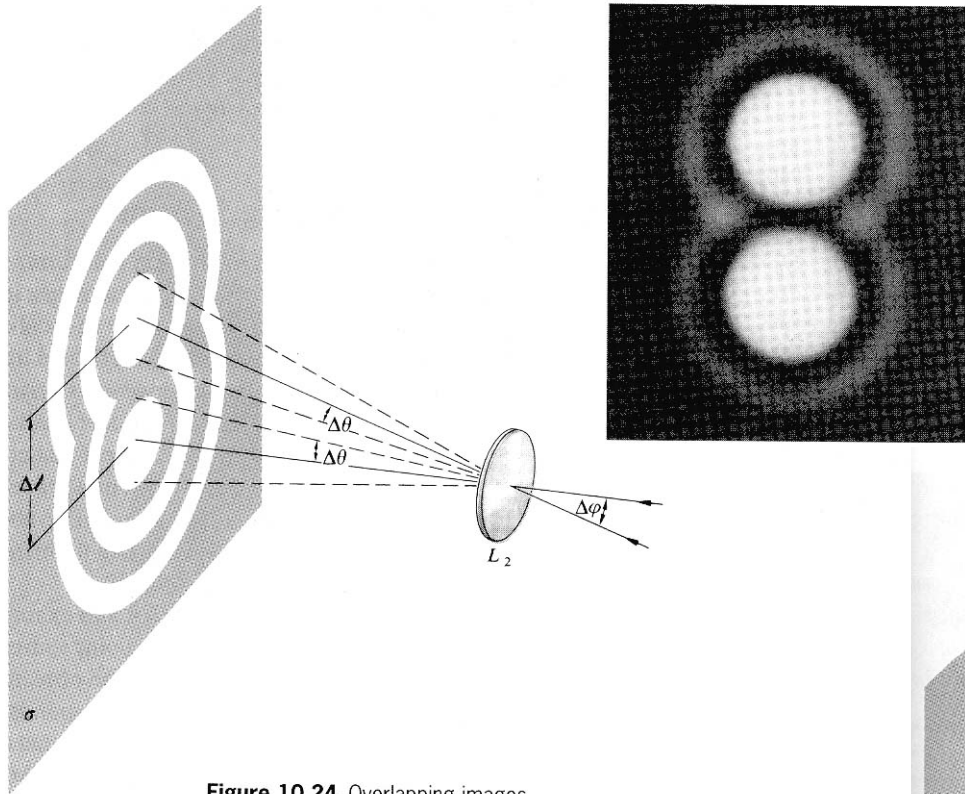


Figure 10.24 Overlapping images.

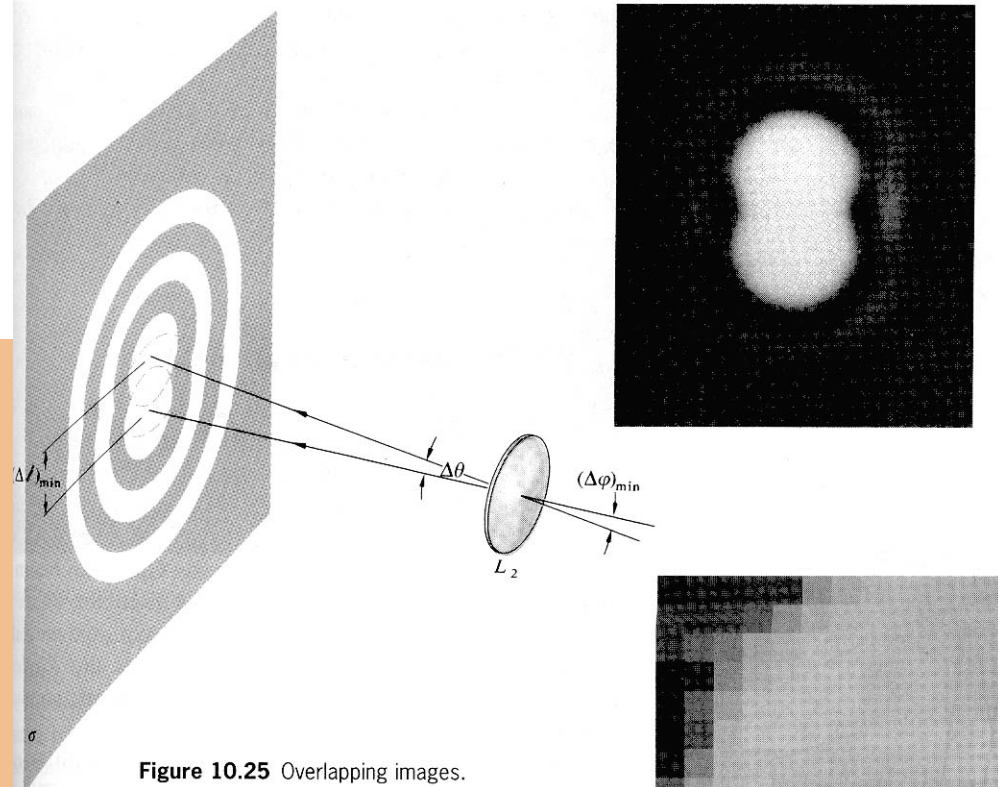
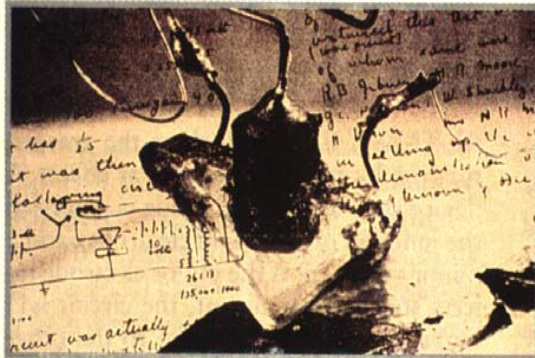


Figure 10.25 Overlapping images.

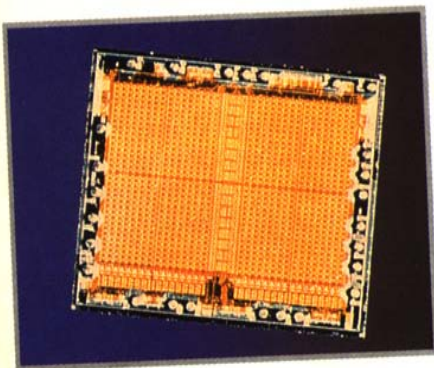
Nagyfeloldású fotolitográfia



Az első tranzisztor (1948)



„Só-kristály” tranzisztorok (1964)

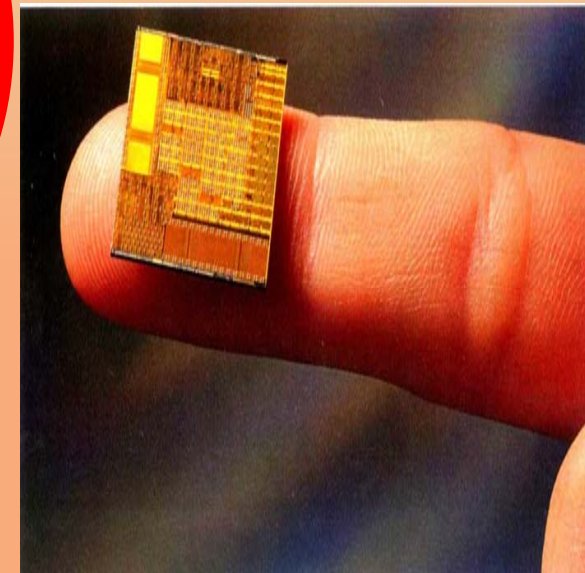
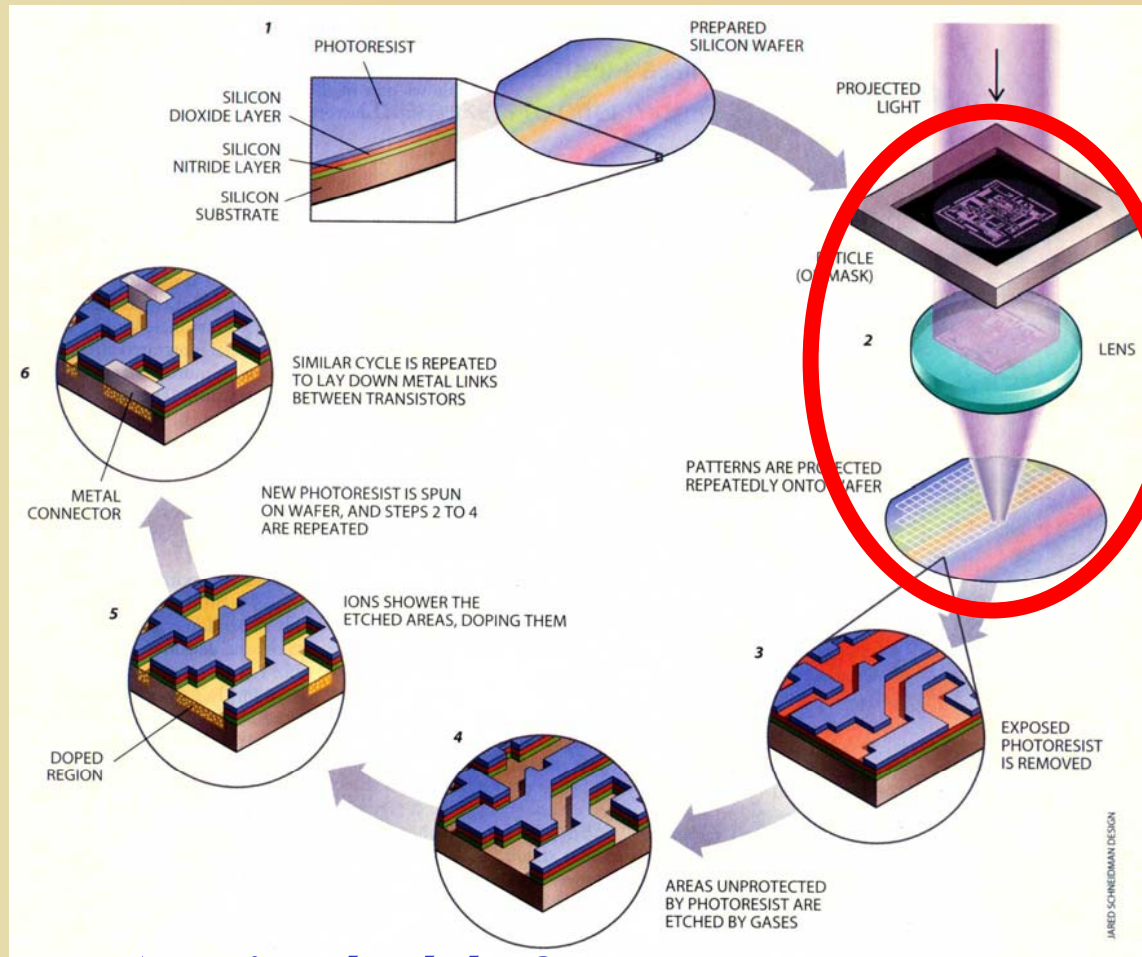


Korai IC (1973)



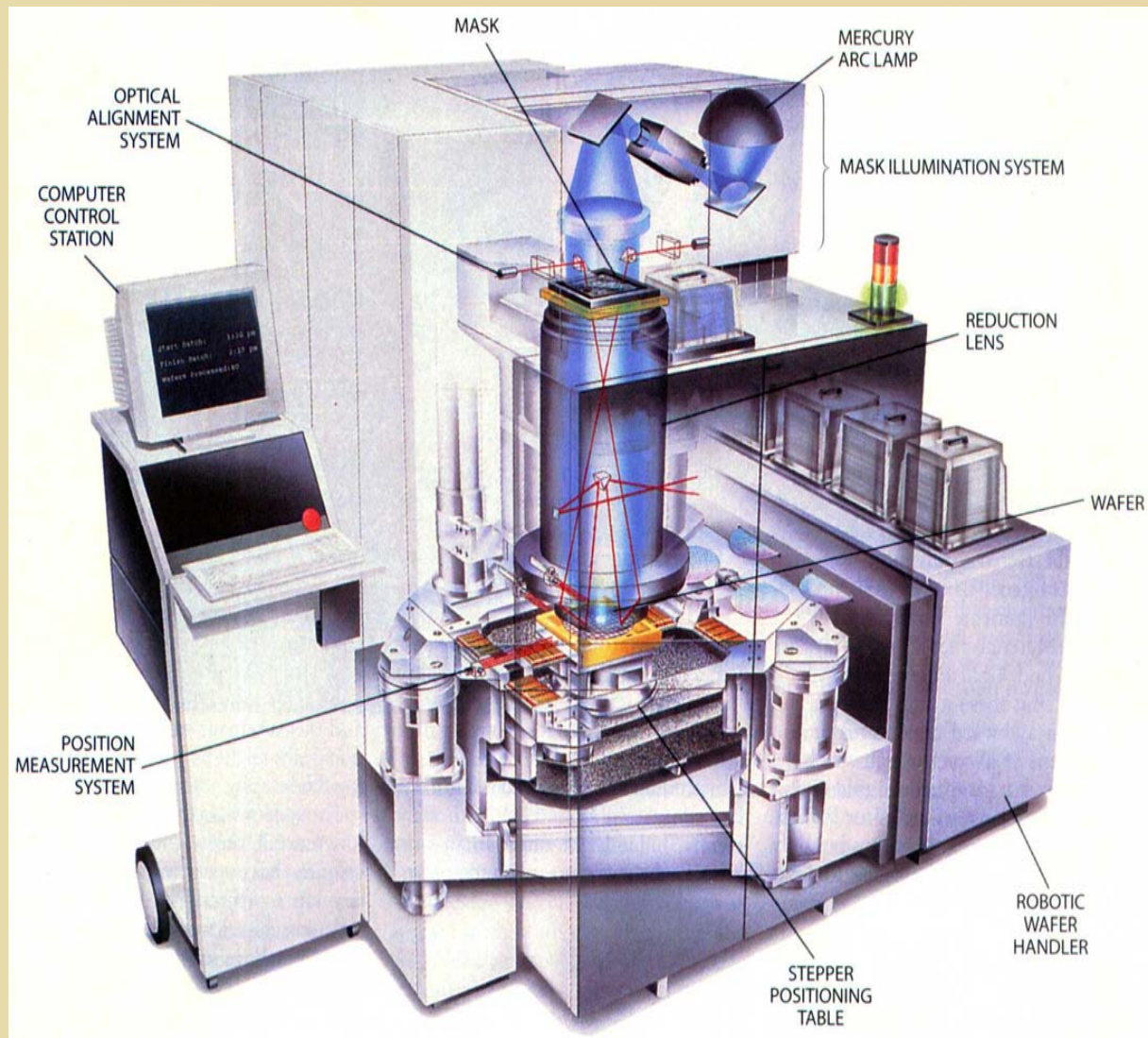
Memória chip (1997)

Nagyfeloldású fotolitográfia



A chipkészítés folyamata

Nagyfeloldású fotolitográfia



Stepper

Nagyfeloldású fotolitográfia

Feloldóképesség (kritikus méret):

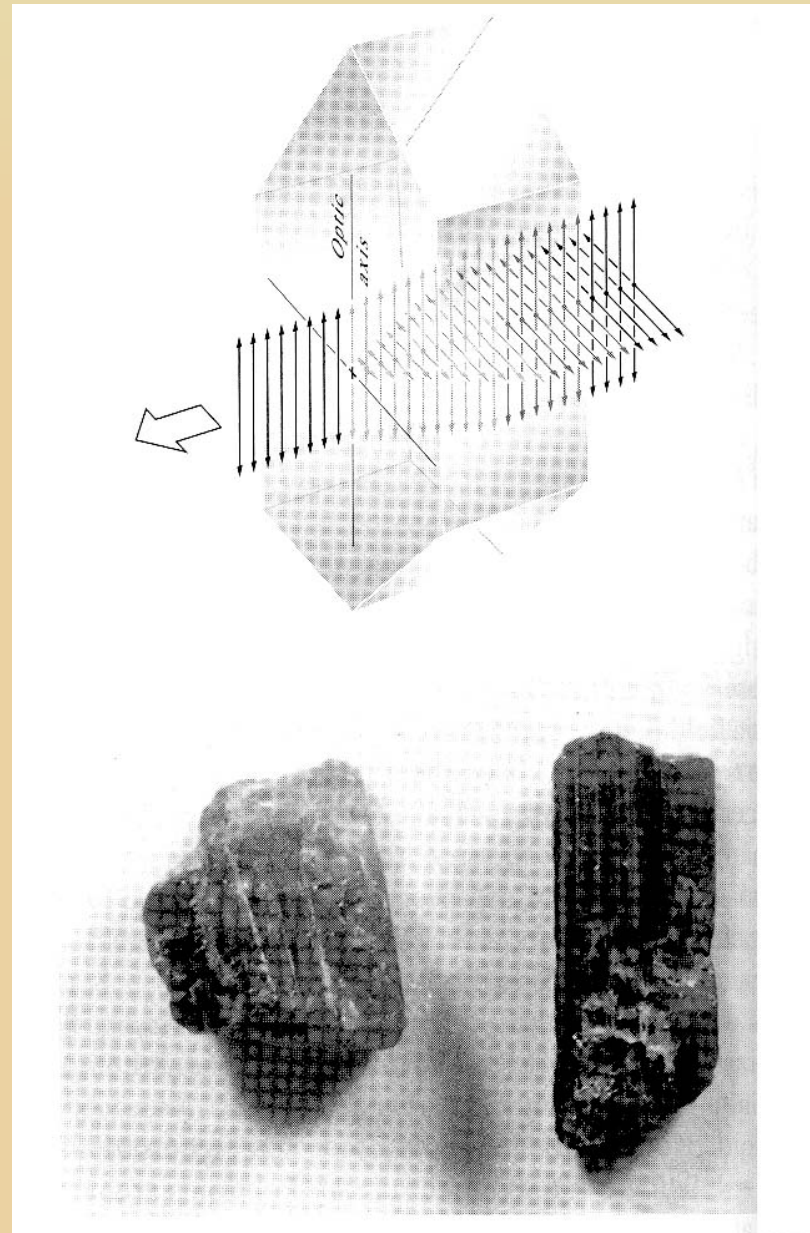
$$w = k_1 \frac{\lambda}{NA}$$

Mélységélesség:

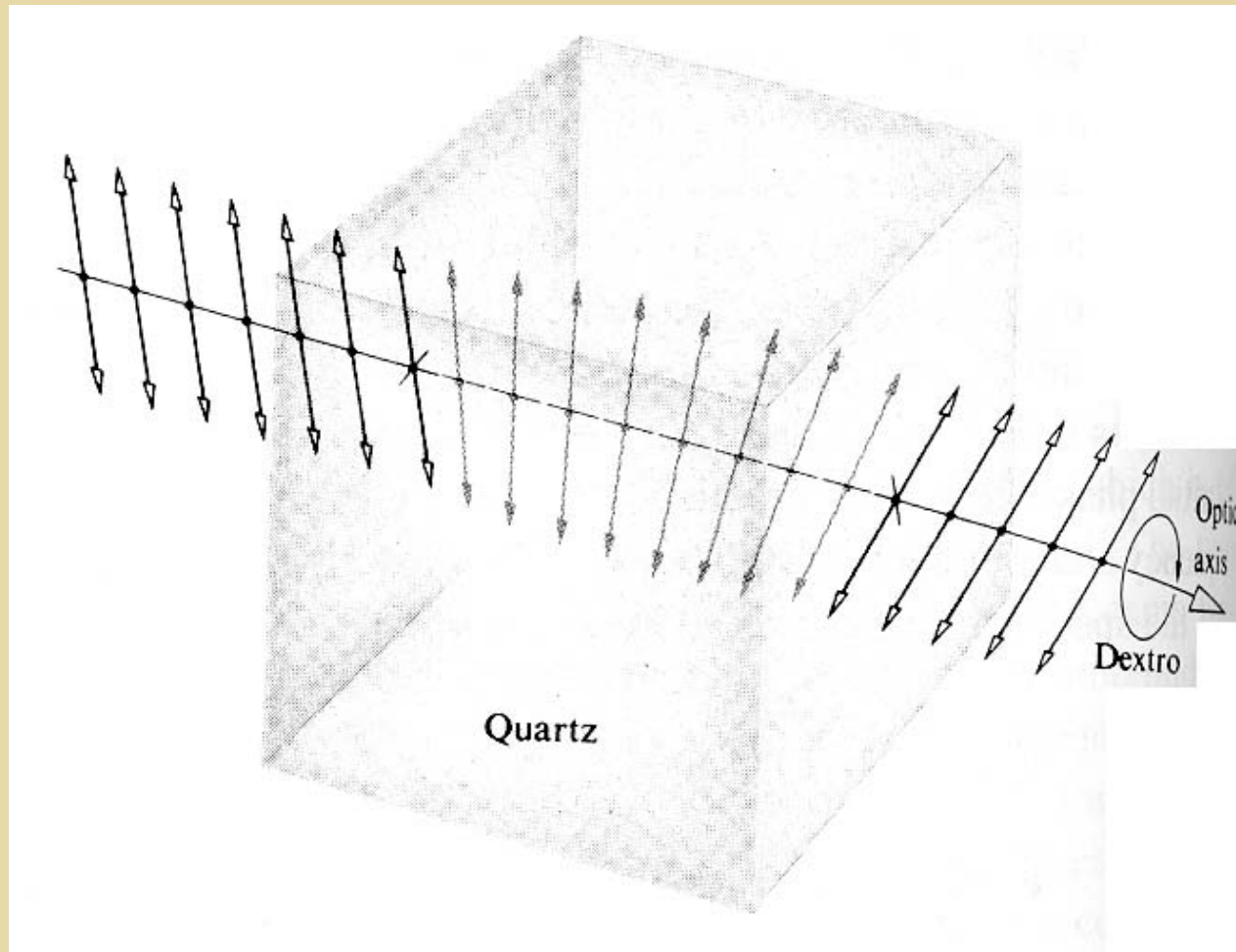
$$DOF = k_2 \frac{\lambda}{NA^2}$$

A fény polarizációja

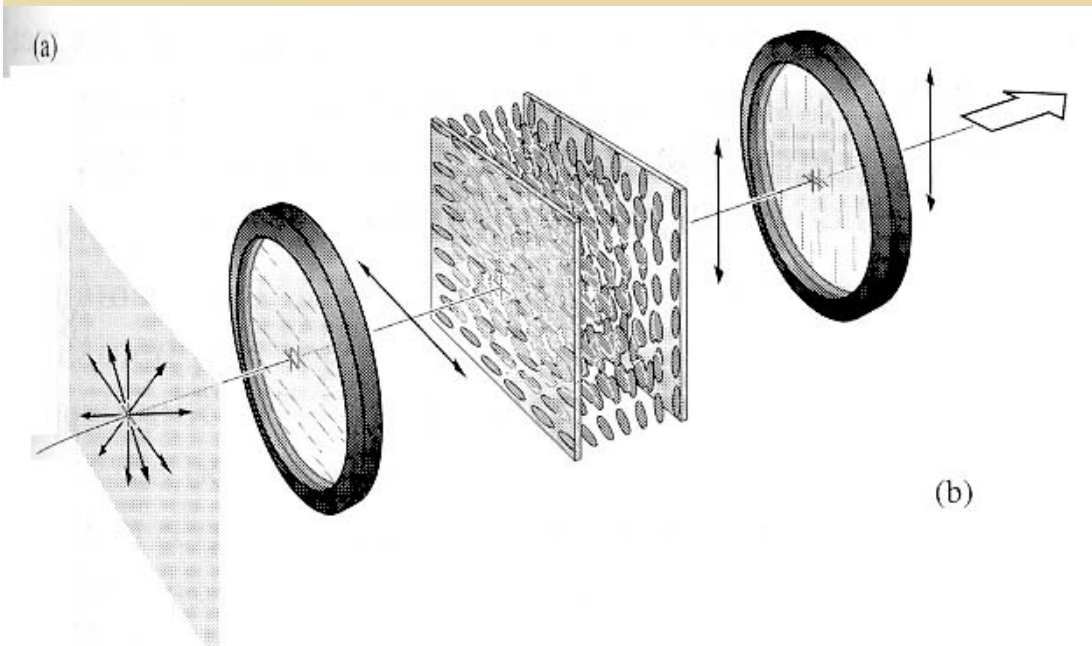
A fény polarizációja



Optikai aktivitás



LCD kijelzők működése



(b)

