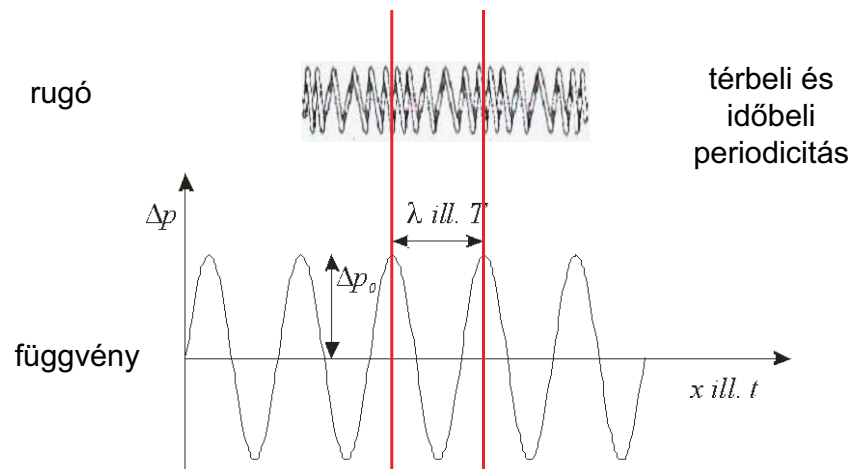
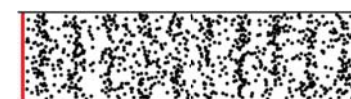


## Hang: mechanikai hullám (modell)



1



longitudinális hullám  
(gázokban és folyadékok belsejében csak ilyen)



transzverzális hullám

hidrosztatikai nyomás + nyomásváltozás, hangnyomás

$$p_{\text{teljes}} = p_{\text{hidrosztat}} + \Delta p$$

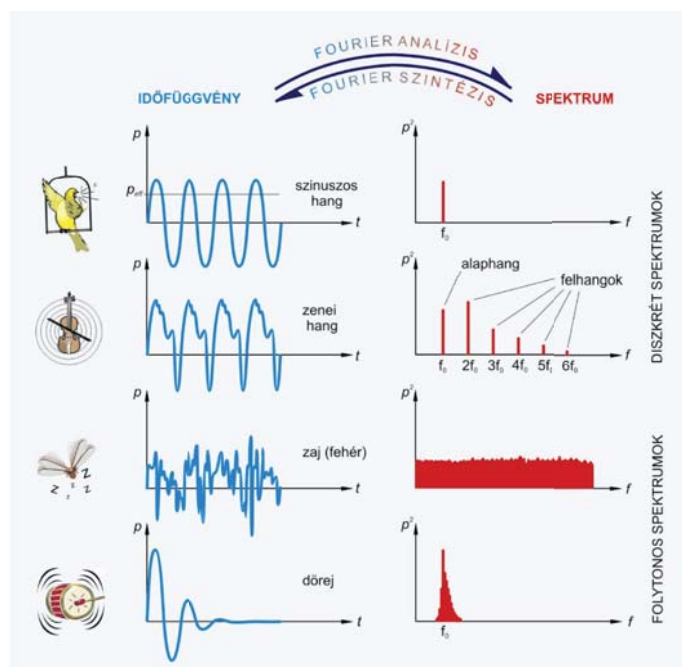
amplitúdó      fázis

nyomás   DC   + AC    $\Delta p(t, x) = \Delta p_{\text{max}} \sin \left[ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$

$$c \cdot T = \lambda, \quad c = f \cdot \lambda$$

2

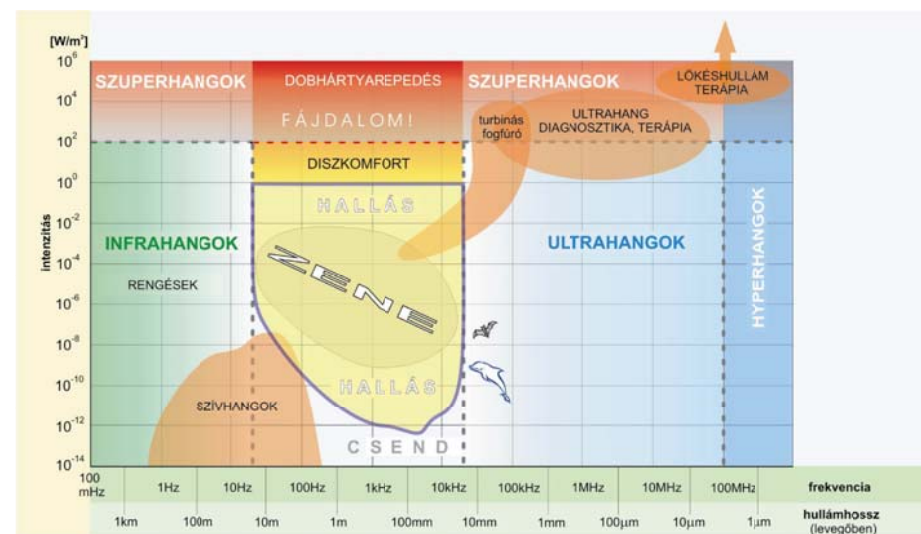
Tkv. II.45. ábra.



3

Tkv. IV.23. ábra.

## Mechanikai hullámok tartományai frekvencia és intenzitás alapján



Tkv. IV.24. ábra.

## A rugalmas közeg szerepe

$$\kappa = -\frac{\frac{\Delta V}{V}}{\Delta p}$$

**kompresszibilitás**  
relatív térfogat csökkenés  
per nyomás

$$c = \frac{1}{\sqrt{\rho \kappa}}$$

terjedési **sebesség**

$$Z = \frac{p}{v} = \frac{p_{\max}}{v_{\max}}$$

akusztikus impedancia/  
akusztikus ellenállás/  
akusztikus keménység  
(definíció)

$$Z_{\text{el}} = \frac{U}{I}$$

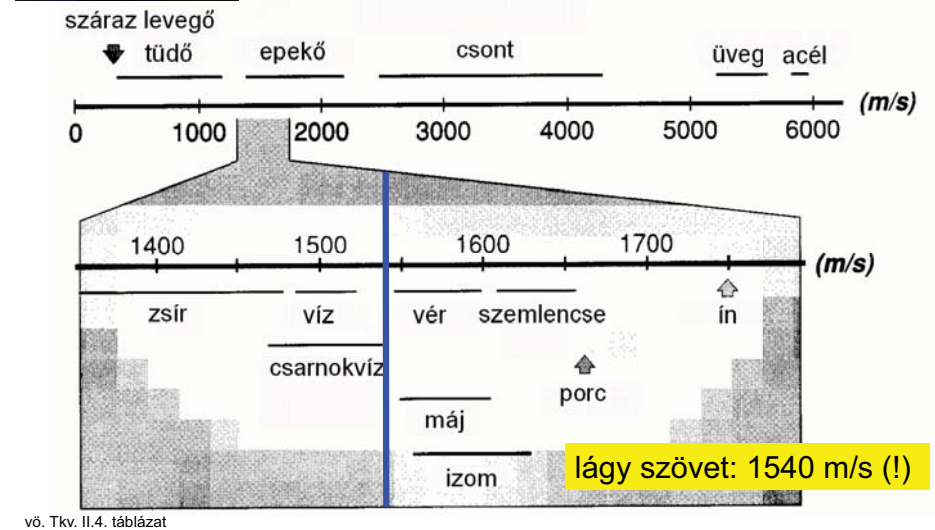
$$Z = c\rho = \sqrt{\frac{\rho}{\kappa}}$$

**akusztikus impedancia**  
(hasznos alak)

5



## A hang/UH sebessége különféle közegekben



## Az ultrahang intenzitása

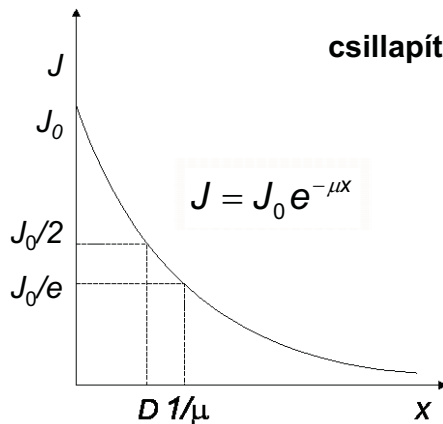
$$J = \frac{1}{Z} \Delta p_{\text{eff}}^2$$

intenzitás =  
energia-áram sűrűség

$$P_{\text{el}} = \frac{1}{Z_{\text{el}}} U_{\text{eff}}^2$$

elektromos analógia

## Intenzitásgyengülés terjedés közben (abszorpció)



$$J = J_0 e^{-\mu x}$$

$$\text{csillapítás: } \alpha = 10 \cdot \lg \frac{J_0}{J} \text{ dB}$$

$$\alpha = 10 \cdot \mu \cdot x \cdot \lg e \text{ dB}$$

$\mu$  a diagnosztikai  
frekvencia tartományban  
arányos a frekvenciával

fajlagos csillapítás:

$$\frac{\alpha}{f \cdot x}$$

7

$\mu$  a diagnosztikai  
frekvencia  
tartományban  
arányos a  
frekvenciával

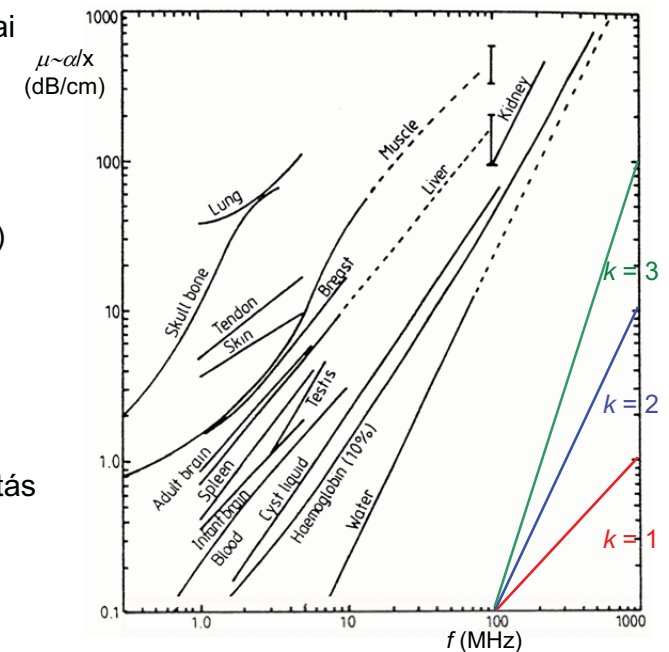
$$\mu \sim f^k, \quad k \sim 1(?)$$

$$\log \mu \sim k \log f$$

ha egyenest  
kapunk, akkor jó a  
hatványfüggvény  
közelítés

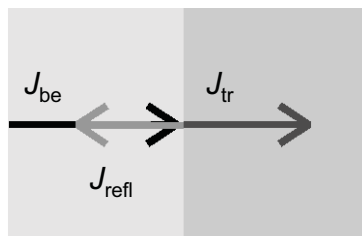
fajlagos csillapítás  
lágy szövetre:

$$\frac{\alpha}{f x} \sim 1 \frac{\text{dB}}{\text{cm MHz}}$$



## Közeg határán lejátszódó jelenségek

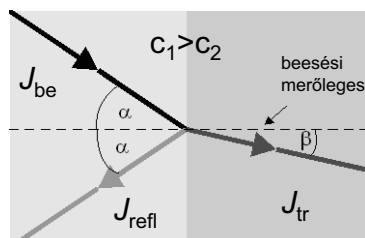
merőleges beesés



$$J_{be} = J_{tr} + J_{refl}$$

reflexió és transzmisszió

ferde beesés



$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Snellius-Descartes

9

Tkv. II.47. ábra

## Reflexió (merőleges beesés)

reflexióképesség:

$$R = \frac{J_{visszavert}}{J_{bejövő}} = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

“teljes” visszaverődés:

$$Z_1 \ll Z_2, \quad R \approx 1$$

határfelület	R
izom/vér	0.001
zsír/máj	0.006
zsír/izom	0.01
csont/izom	0.41
csont/zsír	0.48
lágyszövet/levegő	0.99



10

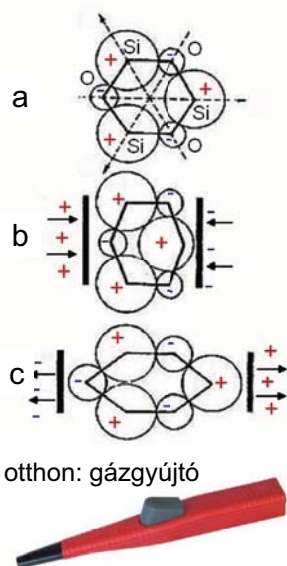
## UH keltés. Piezoelektromos jelenség

Elektromos jelforrás (szinuszoszcillátor)+ transzducer (piezokristály).

(a) A pozitív és negatív töltések súlypontja egybeesik.

(b) és (c) Nyomás hatására a töltések súlypontja szétválik, azaz feszültség keletkezik (direkt ~) ill. feszültség hatására a kristály deformálódik (inverz ~).

UH keltés: **inverz** ~  
UH detektálás: **direkt** ~



11

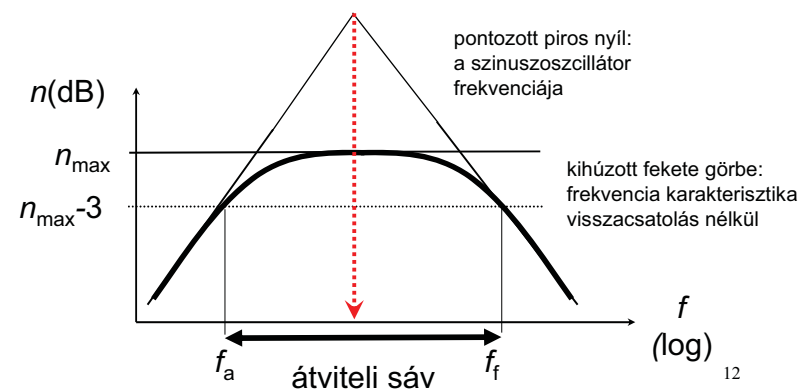
vö. Tkv. VIII.29. ábra

## Elektromos jelforrás: szinuszoszcillátor

pozitív módon  
visszacsatolt erősítő

$$A_{U, \text{visszacsatolt}} = \frac{A_U}{1 - \beta A_U}$$

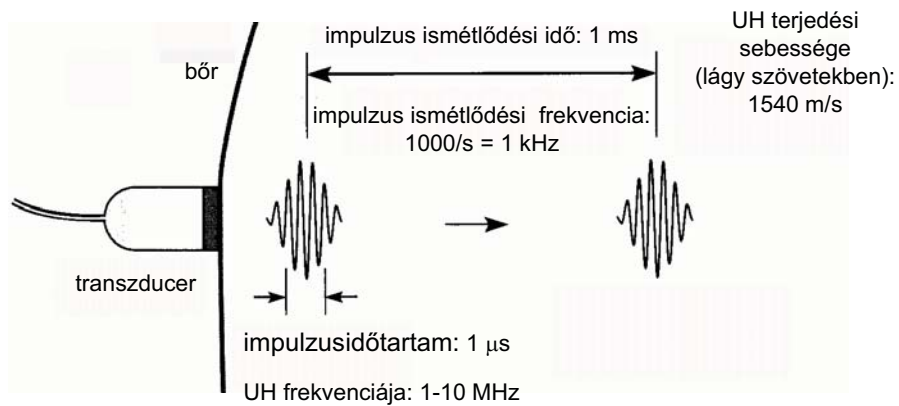
$\beta A_U = 1$ , erősítés= „végtelen” → szinuszoszcillátor  
bemenő jel: nincs, kimenet: szinuszos feszültség



12

## Az UH impulzusok jellemzői

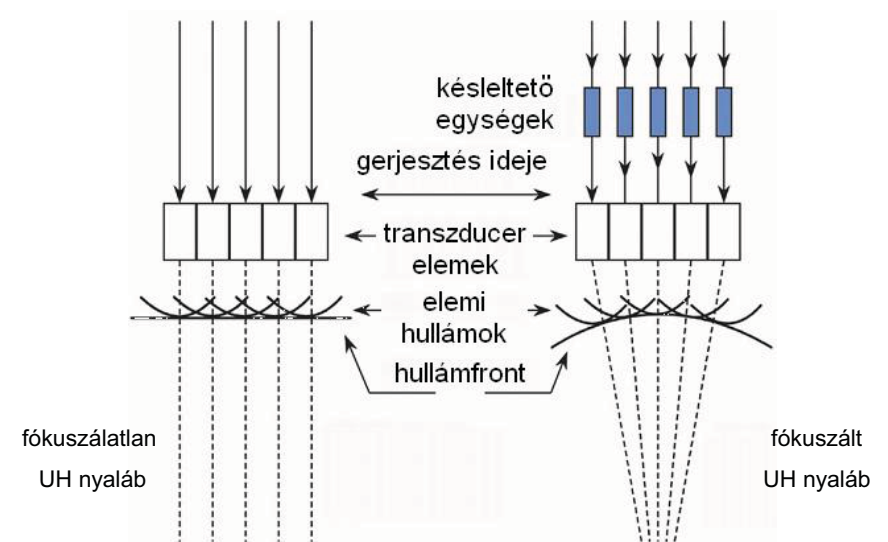
transzducer: adó és vevő egyben  
időbeli szétválasztás – folyamatos hullám helyett impulzusok



Tkv. VIII.32. ábra

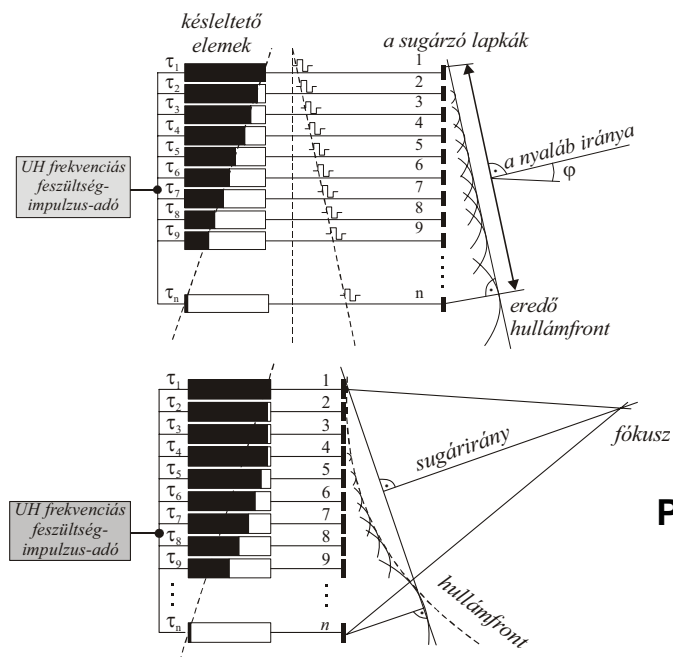
13

## Elektronikus fókuszálás



vő. Tkv. 501.o. 2. ábra

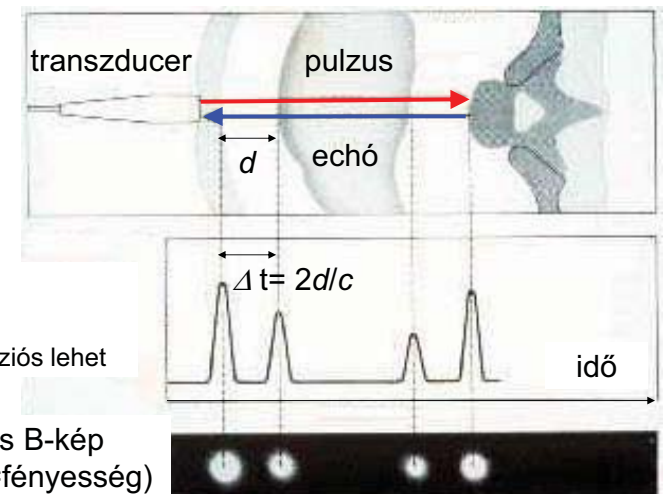
14



vő. Tkv. 507.o.

15

## Echó elv, UH képek



A-kép  
(Amplitúdó)  
csak egydimenziós lehet

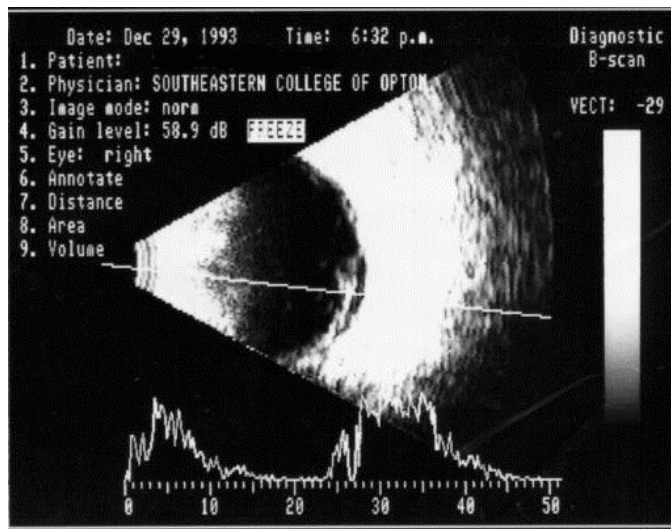
egydimenziós B-kép  
(Brightness=fénysűrűség)

vő. Tkv. VIII.33. ábra

16



## Kétdimenziós B-kép és A-kép (szemészeti alkalmazás)



Terjedési  
sebesség  
figyelembe-  
vétele  
pontos  
távolságok  
meghatáro-  
zására:

cornea:  
1641 m/s

csarnokvíz:  
1532 m/s

humán  
szemlencse:  
1641 m/s

üvegtest:  
1532 m/s

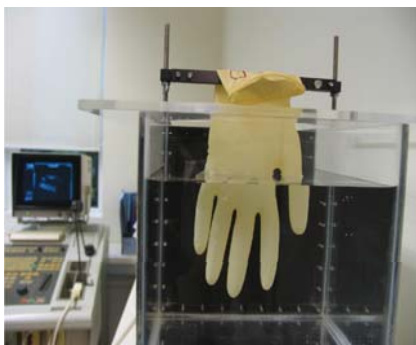
17

## A valóság és amit az UH-kép mutat



Az objektum

## A valóság és amit az UH-kép mutat



A mérés

## A valóság és amit az UH-kép mutat

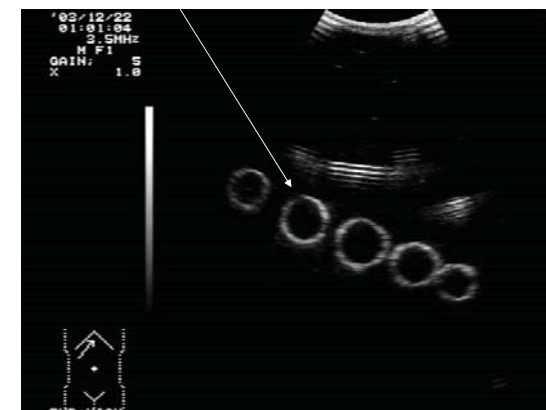


Víz a kesztyűben

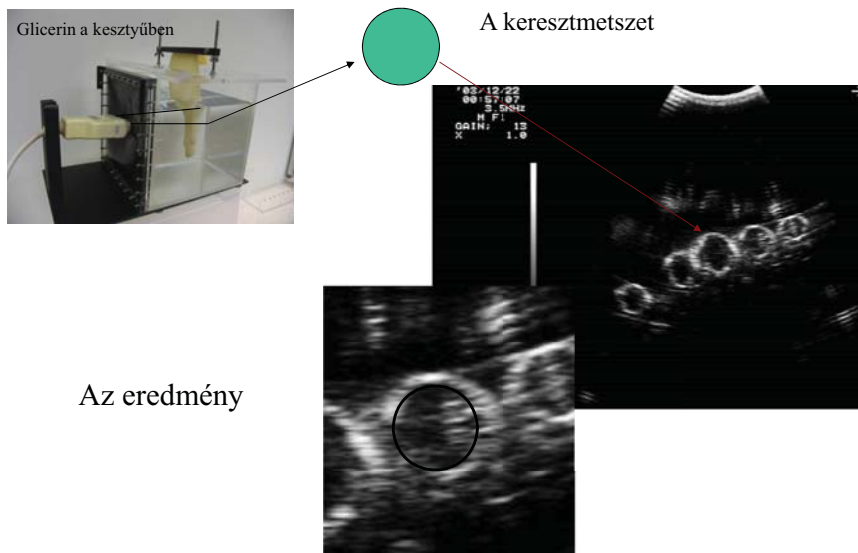


A keresztmetszet

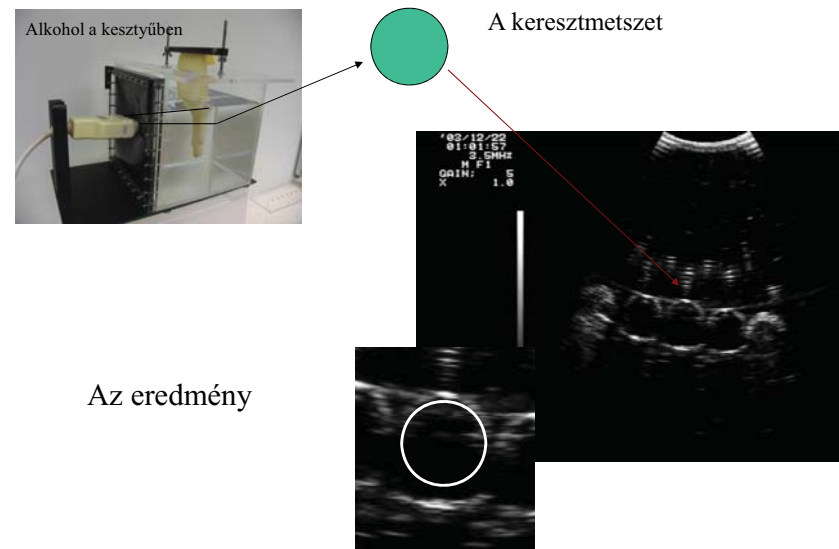
Az eredmény



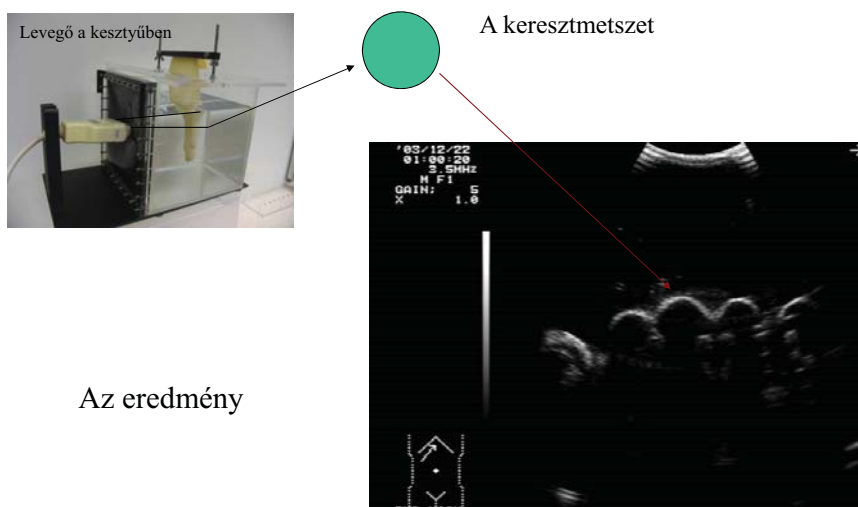
## A valóság és amit az UH-kép mutat



## A valóság és amit az UH-kép mutat

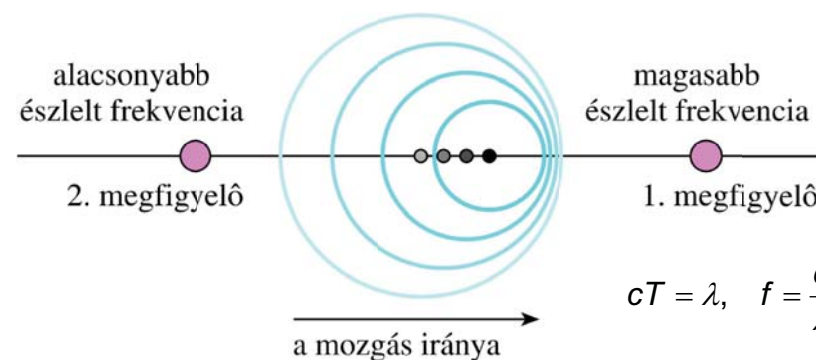


## A valóság és amit az UH-kép mutat



## Doppler jelenség

„Ha a sípoló vonat közeledik, akkor az álló megfigyelő az igazinál magasabb hangot észlel, ha pedig távolodik, akkor mélyebbet.” (C. Doppler, 1842)



$f'$ : megfigyelt frekvencia,  $f$ : eredeti frekvencia

- (a) álló forrás és mozgó megfigyelő  
 +: megfigyelő közeledik a forráshoz  
 -: megfigyelő távolodik a forrástól

$$f' = f \left( 1 \pm \frac{v_M}{c} \right)$$

- (b) mozgó forrás és álló megfigyelő  
 (ha  $v_F \ll c$ , akkor „ugyanaz”, mint  
 (a))

$$f' = \frac{f}{1 \mp \frac{v_F}{c}}$$

- (c) mozgó forrás és mozgó megfigyelő

$$f' = f \frac{1 \pm \frac{v_M}{c}}{1 \mp \frac{v_F}{c}}$$

- (d) mozgó reflektáló tárgy (felület),  
 (ha  $v_R \ll c$ )

$$f' = f \left( 1 \pm \frac{2v_R}{c} \right)$$

**Doppler frekvencia** = frekvencia változás = fr. eltolódás

ha  $v_i, v_R \ll c$  ( $i=M$  vagy  $F$ )

- átrendezésével  
a frekvencia változás  
(Doppler frekvencia,  $f_D$ )

$$\Delta f = f_D = \pm \frac{v_i}{c} f$$

- (d) átrendezésével  
a frekvencia változás  
(Doppler frekvencia,  $f_D$ )

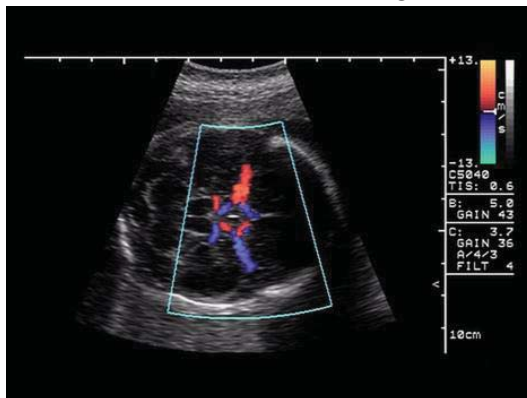
$$\Delta f = f_D = \pm 2 \frac{v_R}{c} f$$

ha  $v$  és  $c$  nem párhuzamosak, akkor  $v$  helyett  $v \cos \theta$   
 írandó a képletbe

26

## Színkódolás

transzducer felé: meleg színek,  
 transzducertől elfelé: hideg színek



BART: Blue Away Red Towards

27

## UH terápia

mechanikai és/vagy hőhatás

kis intenzitás: mikromassázs

- izomlazítás
- fájdalomcsillapítás
- értágítás

(nagy intenzitás: roncsoló hatás

sejtállományt fenntartó kötőerők legyőzése

szabad gyökök,  $H_2O_2$ , DNS lánctörések)

hipertermiás kezelés

abszorpció – hővé alakul az energia

fogászat: fogköeltávolítás (20-40 kHz)

rezgő fémcsúcs közvetlenül adja át a rezgési  
 energiát a fogkőnek

tisztítás: például küvetta

## UH veszély

diagnosztika:

$10 \text{ mW/cm}^2 = 100 \text{ W/m}^2$

terápia:  $1 \text{ W/cm}^2$

