

# A biofizika fizikai alapjai

5. előadás 2021. 09. 20.

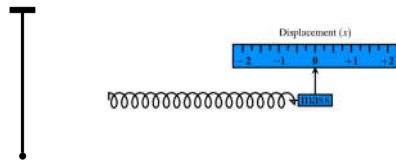
Orosz Ádám

## 1. Mechanika – Nyomás, hidrosztatika



1. Nyomás
2. Sűrűség
3. Hidrosztatikai nyomás
4. Hidrosztatikai paradoxon és Pascal törvénye
5. Arkhimédész törvénye és a felhajtóerő
6. Gázok nyomása
7. Parciális nyomás
8. Vérnyomásmérés

## 2. Mechanika - Rezgések



1. A rezgés alapfogalmai
2. Rezgések fajtái
3. Harmonikus rezgés
4. Visszatérítő erő
5. Sajátrezgés és sajátfrekvencia
6. Rugós inga
7. Kényszerrezgés
8. Rezonancia

1

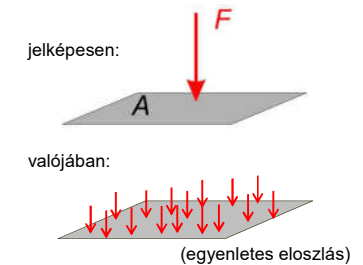
## Ismétlés - Nyomás



- Egy test deformációja nem csak a rá ható erőtől függ, hanem attól is, hogy mekkora felületet ér az erőhatás.
- Az erő önmagában nem mindig elegendő a kölcsönhatás leírására. Egy új mennyiségre van szükségünk, ami a felületet is figyelembe veszi. → „nyomás”.

$$\text{nyomás } (p): p = \frac{F}{A} \left( \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \right)$$

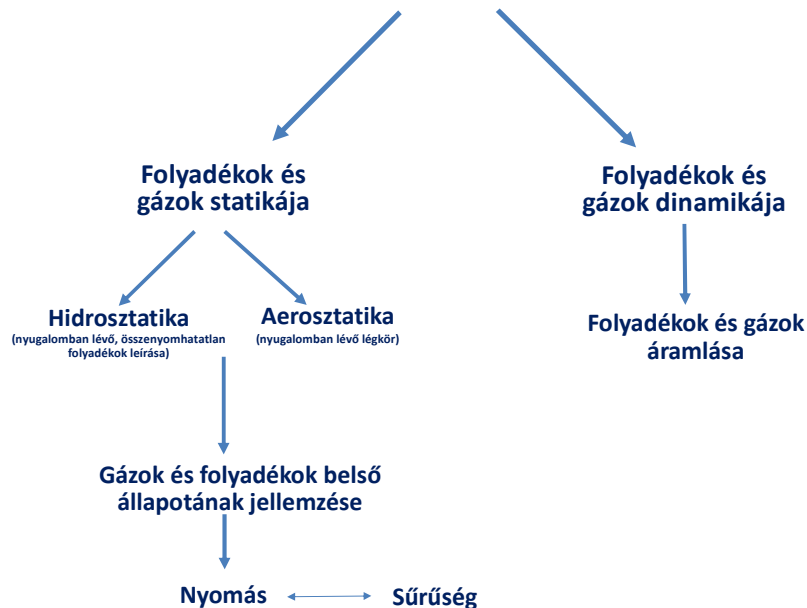
Pascal



Egyéb gyakran használt mértékegységek:  
bar (bar) = 100 kPa, atmoszféra (atm) = 101,325 kPa,  
higanymilliméter (mmHg) = 133,3 Pa

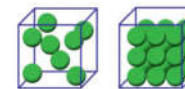
2

## Folyadékok és gázok mechanikája



## Sűrűség

$$\text{sűrűség } (\rho): \rho = \frac{m}{V} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

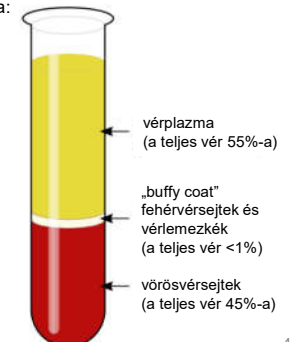


$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

- Egy test sűrűsége függ:
  - anyagi minőség
  - nyomás
  - hőmérséklet

Anyag	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
levegő (0°C, 101 kPa)	0,00129
víz (4°C)	1
zsírszövet	≈ 0,9
vér	≈ 1,05
csontok	≈ 1,8
testszövet (átlagérték)	≈ 1,04
arany (Au)	19,3
higany (Hg)	13,6

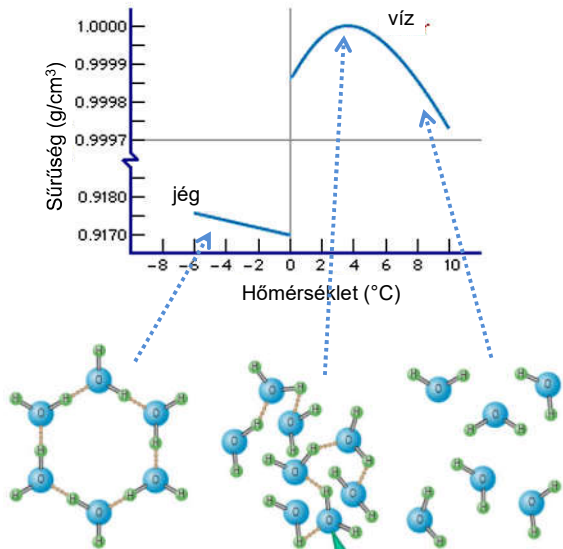
Ha alvadásgátolt vért centrifugába tesszük, az összetevők különböző sűrűségének következtében három elkülönülő frakciót kapunk: vörösvérsejtek; fehérvérsejtek és vérlemezkék; vérplazma:



3

4

## A víz sűrűsége



5

## Feladat

Mekkora nyomást fejt ki egy álló helyzetben lévő 80 kg-os ember az alatta lévő földre ha

a) nincs a lábán semmi? (két talpának együttes felülete 200 cm²)

$$m = 80 \text{ kg} \quad F = m \cdot g = 80 \cdot 9,81 = 785 \text{ N}$$

$$200 \text{ cm}^2 = 0,02 \text{ m}^2 \quad p = \frac{785}{0,02} = 39250 \text{ Pa} \approx \underline{\underline{40 \text{ kPa}}}$$

b) ha síel? (a két síléc együttes felülete 3300 cm²)

$$3300 \text{ cm}^2 = 0,33 \text{ m}^2$$

$$p = \frac{785}{0,33} = 2379 \text{ Pa} \approx \underline{\underline{2 \text{ kPa}}}$$

c) ha korcsolyázik? (a élének felülete 4 cm²)

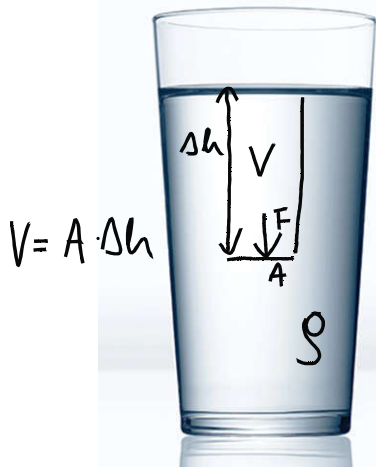
$$4 \text{ cm}^2 = 0,0004 \text{ m}^2$$

$$p = \frac{785}{0,0004} = 1962500 \text{ Pa} \approx \underline{\underline{2 \text{ MPa}}}$$

6

## Hidrosztatikai nyomás

A folyadék súlyából származik.



$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho \cdot V$$

$$F = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g$$

$$F = \rho \cdot A \cdot \Delta h \cdot g \quad / : A$$

$$\frac{F}{A} = p = \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$p \sim \Delta h$$

$$\text{alternatív } \rho = 1 \text{ szed.}$$

7

## Hidrosztatikai nyomás

A gázokban és folyadékokban a nehézségi erő miatt fellépő nyomás:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

Megjegyzés:

A nyomás tehát a mélység függvényében lineárisan nő. Ez azonban csak összenyomhatatlan folyadék, tehát állandó sűrűség mellett igaz.



Adja meg az 1 mm magas higanyoszlop által kifejtett nyomást!  $\rightarrow 0,001 \text{ m}$

$$\rho = 13,6 \text{ g/cm}^3 = 13600 \text{ kg/m}^3$$

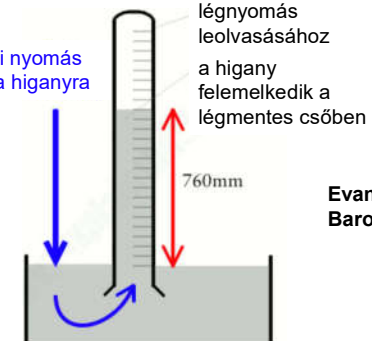
$$p = \rho \cdot g \cdot h = 133 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa}$$

$$p = 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,76 = 101396 \text{ Pa}$$

$$101,4 \text{ kPa}$$

a légköri nyomás hatása a higanyra



Evangelista Toricelli  
Barométer (1643)

8

## Hidrosztatikai paradoxon



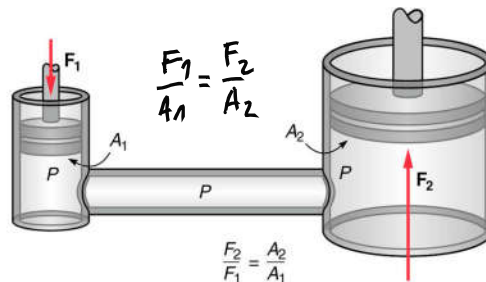
A folyadék által az edény aljára kifejtett hidrosztatikai nyomás csak az edény töltöttségi szintjétől függ, de az edény alakjától és így a benne lévő folyadék térfogatától **nem**.



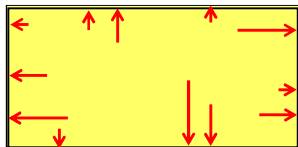
Blaise Pascal  
(1623–1662)

Zárt térben lévő folyadékban a külső erő okozta nyomás minden irányban gyengíthetetlenül továbbterjed, hiszen „összenyomhatatlanok” (inkompresszibilisek) ( $\kappa_{\text{víz}} = 0,5 \text{ GPa}^{-1}$ ) (fékek működése, hidraulika).

## Pascal törvénye



## Gázok nyomása



lásd később:  
 $pV = NkT$

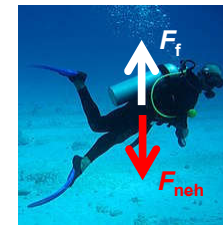
$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$\frac{F}{A} = p$$

- A gázcseccskék **termikus energiájuk** következtében tetszőleges irányba mozognak (a termikus energia **kinetikus energiává** alakul).
- A gázcseccskék **ütköznek a tartály falával**, az ideális gázmodell szerint **rugalmas ütközések sorozata** következik be.
- A részecskék fallal való **ütközésekor impulzusváltozás** történik, ami Newton II. törvénye szerint **rövid idejű erőhatásokat eredményez**. Az ütközések során a falra kifejtett erőhatásokból adódik össze a gáz nyomása.
- Figyelembe véve az **ütközések nagy számát** ( $N \sim 6 \cdot 10^{23}$ ), **falra ható átlagos erő és a fal felületének hányadosa** megadja **nyomást**.

## Arkhimédész törvénye és a felhajtóerő

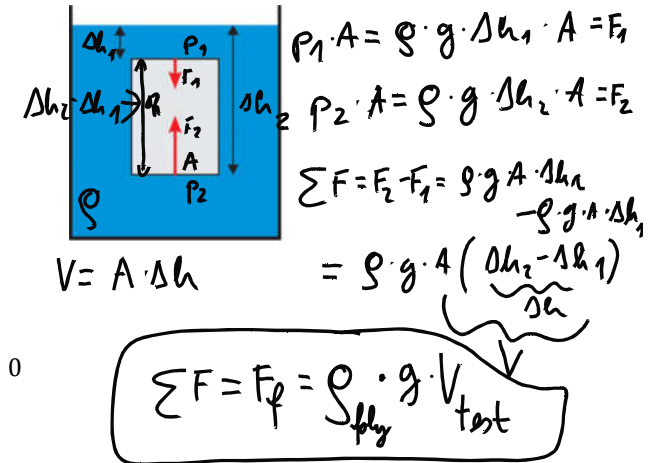
Minden folyadékba vagy gázba merülő testre felhajtóerő hat, amelynek nagysága egyenlő a test által kiszorított folyadék vagy gáz súlyával. „Minden vízbe mártott test a súlyából annyit vesz, amennyi az általa kiszorított víz súlya”.



lebegés  
( $v = 0$ )  
 $a = 0$

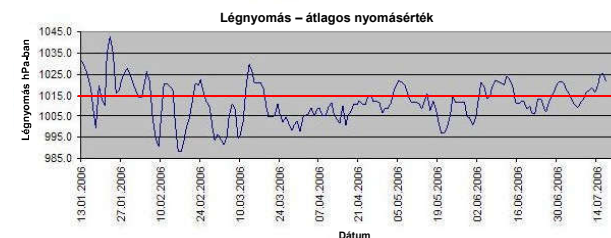
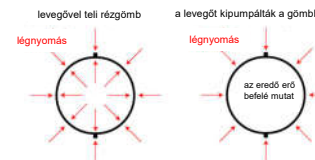
$$\sum F = F_{\text{neh}} - F_f = 0$$

$$F_{\text{neh}} = F_f$$



## Légköri nyomás (légnymomás)

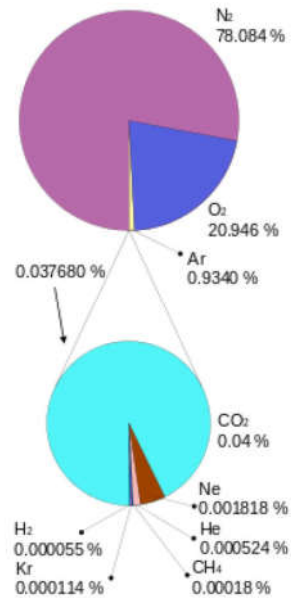
Otto von Guericke kísérlete „a magdeburgi félgömbök”:



Normál légköri nyomás =  
101 kPa = 1010 hPa

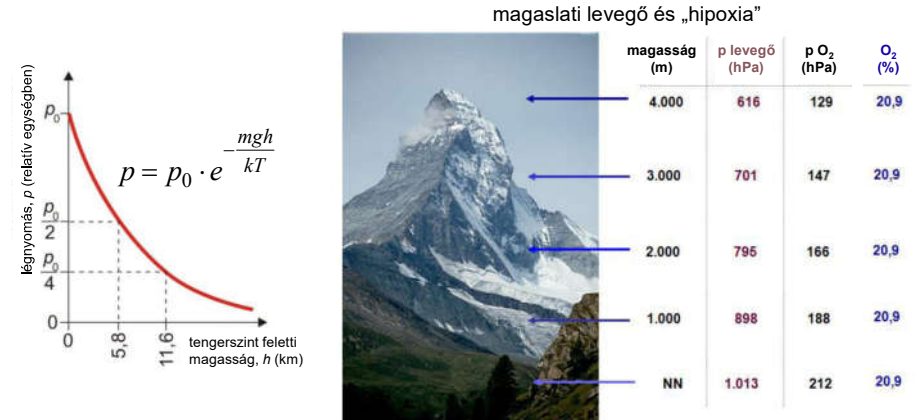
## Parciális nyomás (résznyomás)

- Gázelegyeknél értelmezhető.
- A levegő gázelegy (nitrogén, oxigén, széndioxid,...)
- A gázelegy minden komponense bizonyos részben hozzájárul a teljes gáznyomáshoz.
- A **parciális nyomás** megfelel annak a nyomásnak, amelyet a gázelegy valamelyik komponense akkor fejtene ki, ha egyedül töltene ki a rendelkezésre álló teljes térfogatot.
- A komponensek parciális nyomásának összege adja a gáz nyomását.
- Példa: az  $O_2$  aránya ~ 21%, így a teljes 101 kPa nyomásból 21,2 kPa az  $O_2$  parciális nyomása.



13

## Légzés nagy magasságokban

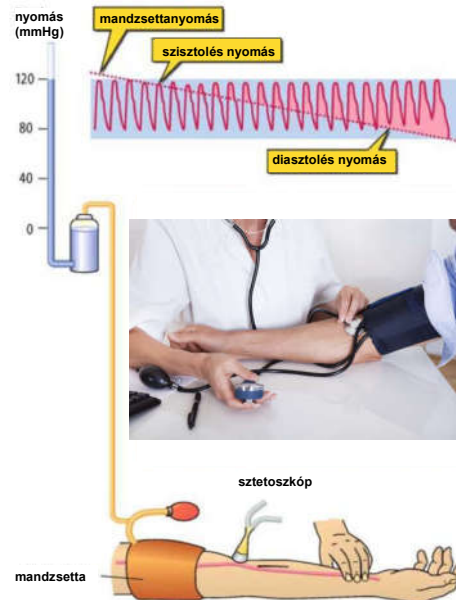


- A levegő százalékos összetétele nem változik a tengerszint feletti magassággal az ember számára releváns légtérben.
- Ennek ellenére nehezzé válik a légzés a magasság növekedésével, a teljesítőképességünk lecsökken. (→ magaslati edzés - a teljesítmény fokozása)
- A jelenség oka a **csökkenő légnyomás**, ami az **oxigén parciális nyomásának csökkenését** is jelenti. Ez befolyásolja a test oxigénfelvételét és leadását.
- A szervezet képes alkalmazkodni – hemoglobin ill. vörösvértest mennyisége növekszik

14

## Vérnyomás és annak mérése

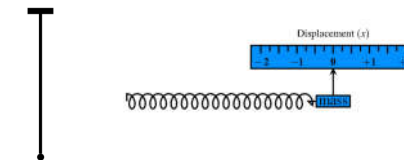
- A mandzsettát egészen addig fújjuk fel, amíg a nyomása kb. 20 mmHg-rel meg nem haladja az *Arteria brachialis*-ban uralkodó nyomást.
- Ekkor nem folyik vér a karba (és ki sem).
- A sztetoszkópot az *A. brachialis* fölé helyezzük és lassan csökkenteni kezdjük a mandzsetta nyomását.
- Amint a mandzsettanyomás **éppen a szisztolés nyomás alá csökken**, a vér újra áramlani kezd, ekkor hangokat hallunk = **Korotkov-hangok**
- Amíg a mandzsettanyomás a szisztolés és a diasztolés érték közt van hallhatjuk a hangokat, mert a **vér áramlása** ebben a tartományban **turbulens** lesz.
- Ha elértük a diasztolés értéket, a hanghatás – és a turbulens áramlás – megszűnik.



Megjegyzés:  
A mért nyomásérték túlnyomás (= a normál légköri nyomás feletti nyomás).

15

## Mechanika – Rezgések



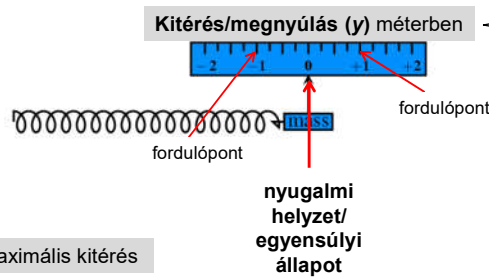
1. A rezgés tan alapfogalmai
2. Rezgések fajtái
3. Harmonikus rezgés
4. Visszatérítő erő
5. Sajátrezgés és sajátfrekvencia
6. Rugós inga
7. Kényszerrezgés
8. Rezonancia

16



## A rezgés tan alapfogalmai

**Oszcillátor:** fizikai rendszer, amely rezgésre képes (pl. egy rugó a ráfüggesztett testtel).  
**Rezgés** (mechanikai): egy test egyensúlyi állapot körüli periodikus (ismétlődő) mozgása.



az idő függvénye:  $y(t)$

**Amplitúdó ( $A$ ):** a maximális kitérés

Emlékeztető:

- Periódusidő/Rezgésidő ( $T$ ):** egy rezgési periódus időtartama.
- Frekvencia/rezgésszám ( $f$ ):** egy időegység alatti periódusok száma. A periódusidő reciproka:  

$$f = \frac{1}{T} \quad \left( \frac{1}{s} = \text{Hz} \right)$$
- Körfrekvencia ( $\omega$ ):**  $2\pi$ -kénti rezgések száma. A frekvencia  $2\pi$ -szerese:  $\omega = 2\pi f$

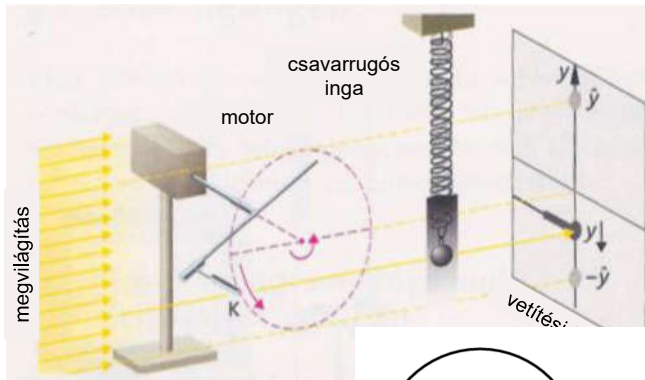
17

## A rezgések fajtái

Harmonikus rezgés (szinuszos rezgés)	Nem harmonikus rezgés (nem szinuszos rezgés)
ingaoóra, rugós inga – rugós oszcillátor	az emberi hangszál rezgései lengéscsillapítók az autókban
Csillapítatlan rezgés	Csillapított rezgés
 Az amplitúdó állandó marad.	 Az amplitúdó idővel csökken.
hangszóró membránja adott hangosságú hang esetén	magára hagyott inga, rezgéscsillapító

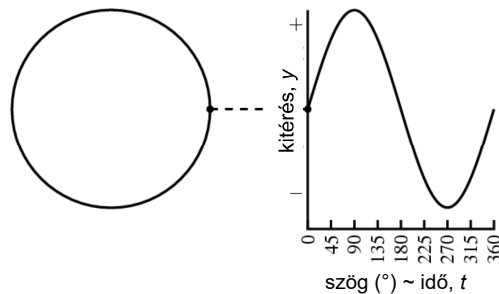
18

## Egyenletes körmozgás – harmonikus rezgőmozgás

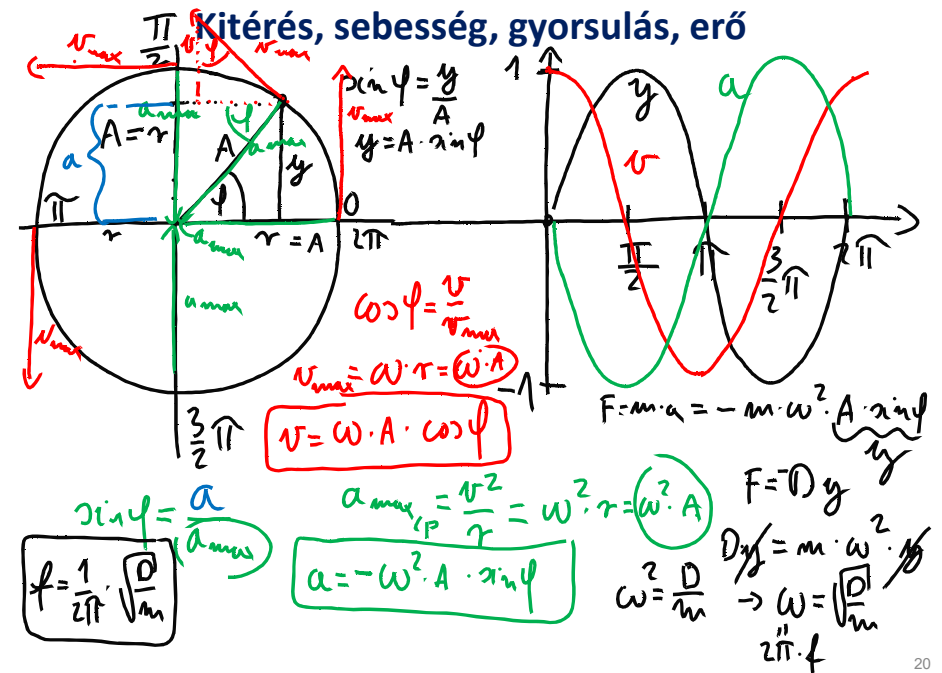


A kitérés-idő függvény általános alakja:  

$$y = A \cdot \sin(\omega t + \varphi_0)$$



19



20

## Sajátrezgés (szabad rezgés)

Előfeltétel:

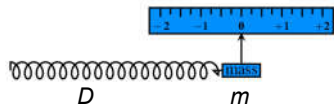
Egyszeri behatás által rezgésbe hozzuk az oszcillátort.

**Sajátrezgés:** további behatás nélkül lejátszódó rezgés.

**Sajátfrekvencia:** egy sajátrezgés frekvenciája.

Az oszcillátor tulajdonságai határozzák meg (tömeg, geometriai mennyiségek, anyagi tulajdonságok stb.).

## Rugós oszcillátor



$$f_{\text{saját}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{D}{m}}$$

Megjegyzés:

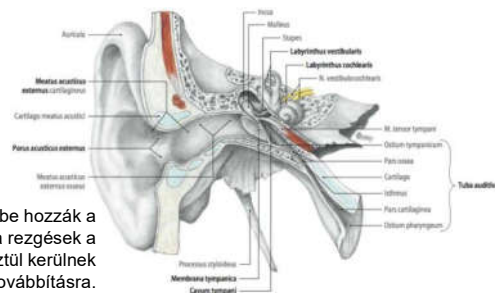
Az egyenlet csak ideális esetben érvényes, vagyis a rezgés harmonikus (nem csillapított). Valójában mindig van energiavesztés (sűrűlódás, légellenállás, ...), így a rezgés csillapításra kerül.

## Kényszerrezgés

Egy periodikus külső erő hatása  
következtében létrejövő rezgés.



Ha megütjük az egyik hangvillát, a létrejövő légnymás-ingadozások a másik hangvillát is rezgésbe hozzák (feltéve, hogy mindkét hangvilla azonos hangmagasságra van hangolva).



A légnyomásgadozások rezgésbe hozzák a  
dobhártyát, majd ezek a rezgések a  
hallócsontocskákon keresztül kerülnek  
továbbításra.

- Kényszerrezgés során a **kényszerítő erővel fenntarthatjuk a harmonikus rezgést** állandó amplitúdóval, az energiavesztések ellenére is.
- A **rezgő** rendszer **átveszi** a **rezgető** rendszer frekvenciáját.

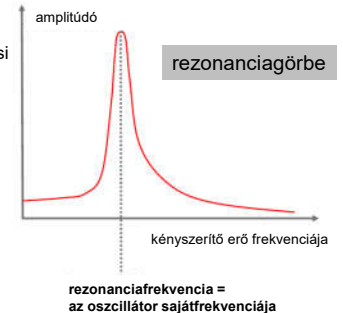


## Feladat

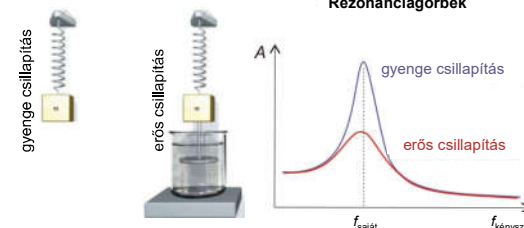
A testtömeg meghatározása a világűrben egy rugós oszcillátor segítségével történik. A méréshez használt oszcillátor tömege 6,5 kg, periódusideje 0,75 s. Az űrhajóssal együtt a periódusidő 2,7 s-ra emelkedett. Számítsa ki az űrhajós tömegét!

## Rezonancia

- Ha egy rezgésre képes rendszerrel egy külső gerjesztő rezgés által periodikusan energiát közlünk, akkor egy bizonyos beállási időt követően kényszerrezgés fog kialakulni.
- A kényszerrezgés frekvenciájától függően különböző amplitúdójú rezgések alakulnak ki.
- Ha a **kényszerrezgés frekvenciája és a rendszer sajátfrekvenciája egybeesik**, akkor különösen erős, nagy amplitúdójú kényszerrezgés alakul ki.
- Az egy adott frekvencián fellépő különösen nagy amplitúdójú rezgést **rezonanciának** hívjuk, a jelenségre jellemző frekvenciát pedig **rezonanciafrekvenciának**.



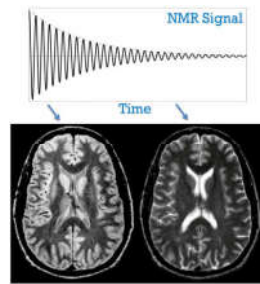
## Rezonanciagörbék



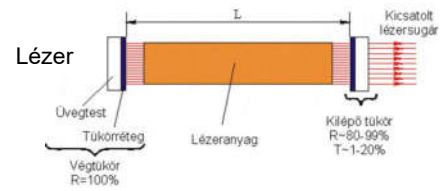
**Megjegyzés:**

A rezonancia jelenségét több technikai eszközben felhasználjuk (pl. mágneses magrezonancia spektroszkópia és képalkotás, lézer, ...)

Mágneses magrezonanciás képalkotás (MRI)



Optikai rezonátor



Házi feladat: 6. és 7. fejezet