

A biofizika fizikai alapjai

5. előadás 2020. 09. 21.

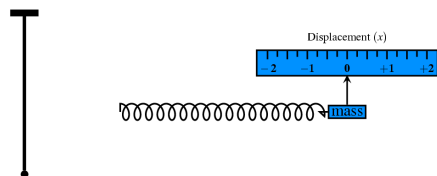
Orosz Ádám

1. Mechanika – Nyomás, hidrosztatika



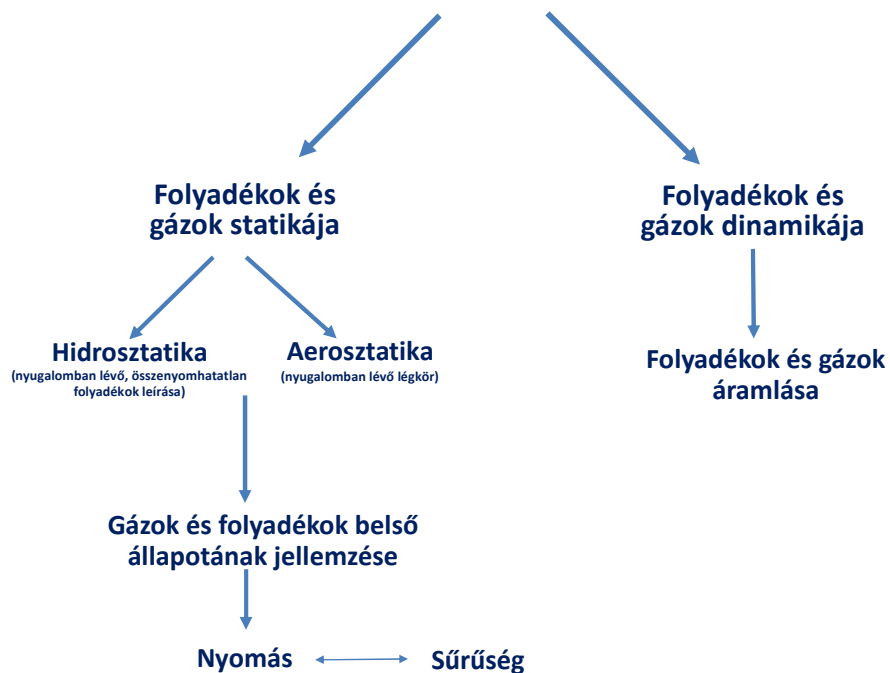
1. Nyomás
2. Sűrűség
3. Hidrosztatikai nyomás
4. Hidrosztatikai paradoxon és Pascal törvénye
5. Arkhimédész törvénye és a felhajtóerő
6. Gázok nyomása
7. Parciális nyomás
8. Vérnyomásmérés

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

Folyadékok és gázok mechanikája



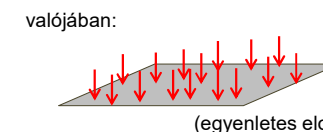
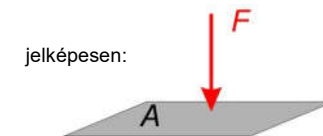
Ismétlés - Nyomás



- Egy test deformációja nem csak a rá ható erőből 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”.

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

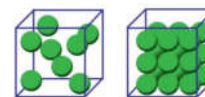
Pascal



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

Sűrűség

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



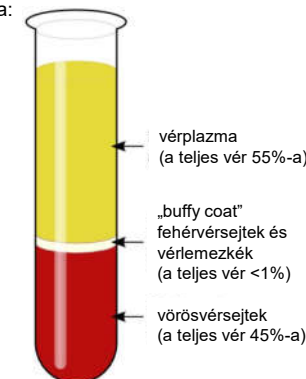
Egy test **sűrűsége** függ:

- anyagi minőség
- nyomás
- hőmérséklet

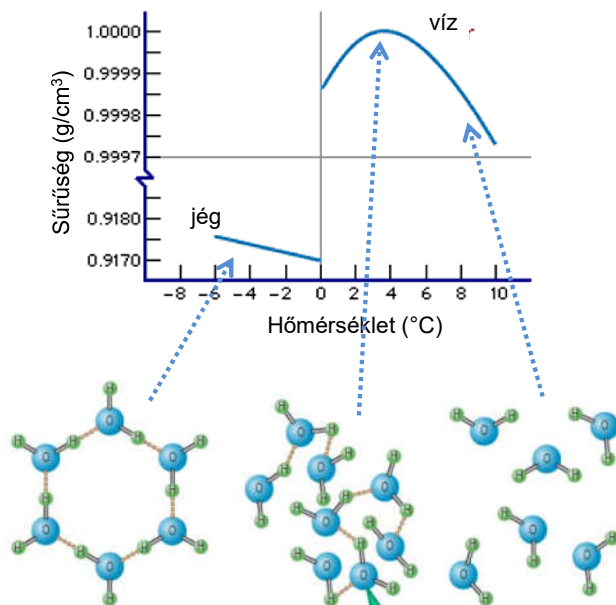
$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

Anyag	ρ (g/cm ³)
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 alvadésgátolt vért centrifugába tesszük, az összetevők különböző sűrűségének következtében három elkülönülő frakciót kapunk: vörösvérsejtek; fehérvérsejtek és vérlemezkék; vérplazma:



A víz sűrűsége



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)

$$m = 80 \text{ kg} \quad F = m \cdot g = 80 \cdot 9,81 = 784,8 \text{ N}$$

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

b) ha sél? (a két silec együttes felülete 3300 cm²)

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

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

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

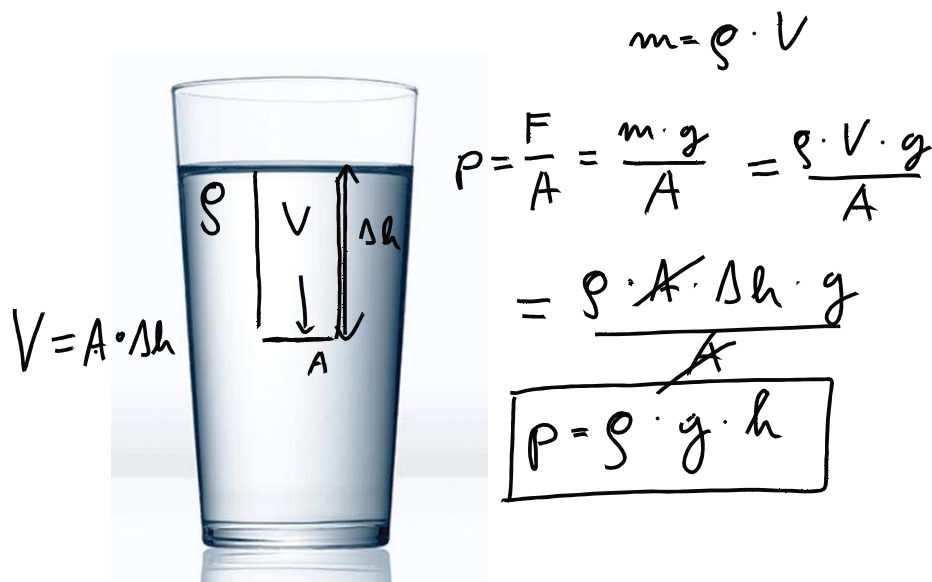
$$A = 4 \text{ cm}^2 = 0,0004 \text{ m}^2$$

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

5

6

Hidrosztatikai nyomás



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!

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

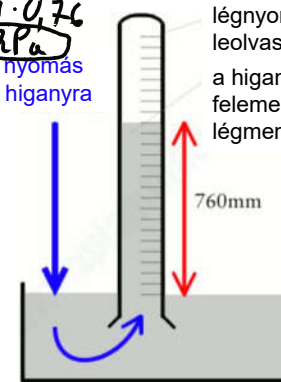
$$p = 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,001 = 133 \text{ Pa}$$

$$h = 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

$$p = 13600 \cdot 9,81 \cdot 0,76 = 101,4 \text{ kPa}$$

a légköri nyomás hatása a higanyra

skála a légnyomás leolvasásához
a higany felemelkedik a légmentes csőben
 $h = 0,76 \text{ m}$
1 mmHg = 133 Pa



Evangelista Toricelli
Barométer (1643)

7

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**.

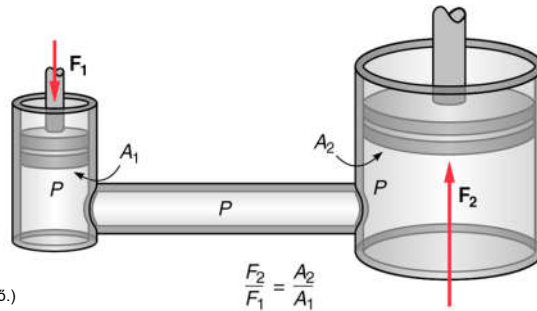


Blaise Pascal
(1623 –1662)

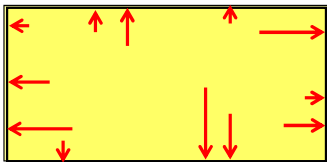
Pascal törvénye

Zárt térben lévő folyadékban vagy gázban a külső erő okozta nyomás minden irányban gyengíthetetlenül továbbterjed.

(Nyugalomban lévő folyadék minden azonos magasságban lévő pontjában a nyomás azonos és minden irányban egyenlő.)



Gázok nyomása



lásd később:
 $pV = NkT$

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

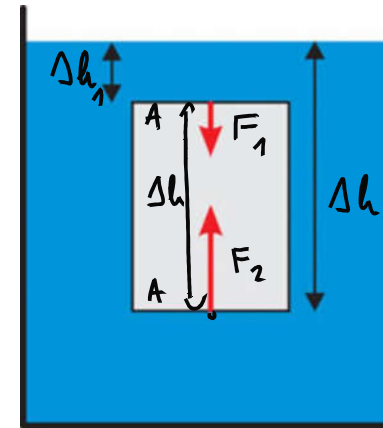
$$\Delta m \cdot v = \sum (F) \cdot \Delta t$$

- A gázmolekulák **termikus energiájuk** következtében tetszőleges irányba mozognak (a termikus energia **kinetikus energiává** alakul).
- A gázmolekulák **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”.

Felhajtóerő:



$$p_1 \cdot A = F_1 = \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot A$$

$$p_2 \cdot A = F_2 = \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot A$$

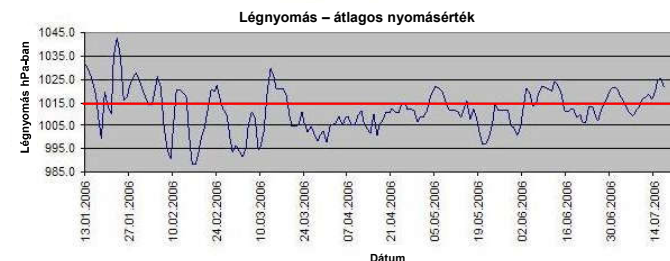
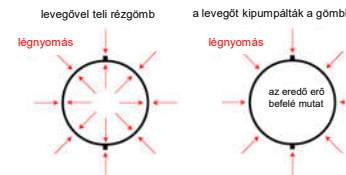
$$\Sigma F = F_2 - F_1 = \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot A - \rho \cdot g \cdot h_1 \cdot A$$

$$\Sigma F = \rho \cdot g \cdot A (h_2 - h_1)$$

$$\Sigma F = F_f = \rho \cdot g \cdot V_{\text{test}}$$

Légköri nyomás (légnyomás)

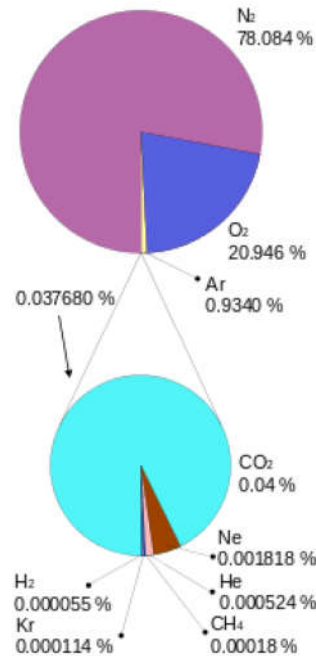
Otto von Guericke kísérlete „a magdeburgi félgömbök”:



Normál légköri nyomás =
101 kPa = 1010 hPa

Parciális nyomás (résznyomás)

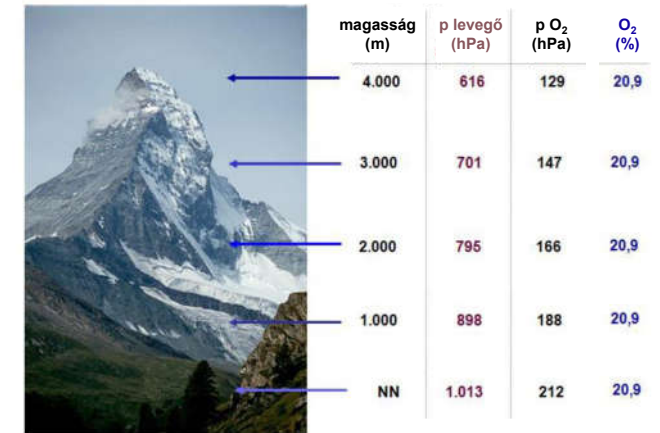
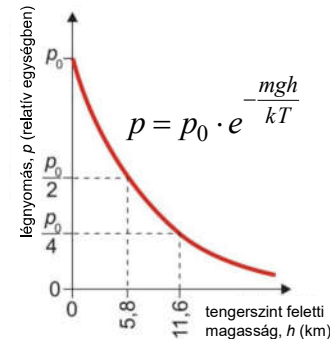
- Gázelegeknél értelmezhető.
- A levegő gázelegy (nitrogén, oxigén, széndioxid,...)
- A gázelegy minden komponense bizonyos részben hozzájárul a teljes gáznyomáshoz.
- A **parciális nyomás** megfelel annak a nyomásnak, amelyet a gázelegy valamelyik komponense akkor fejtene ki, ha egyedül töltené ki a 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

magaslati levegő és „hipoxia”

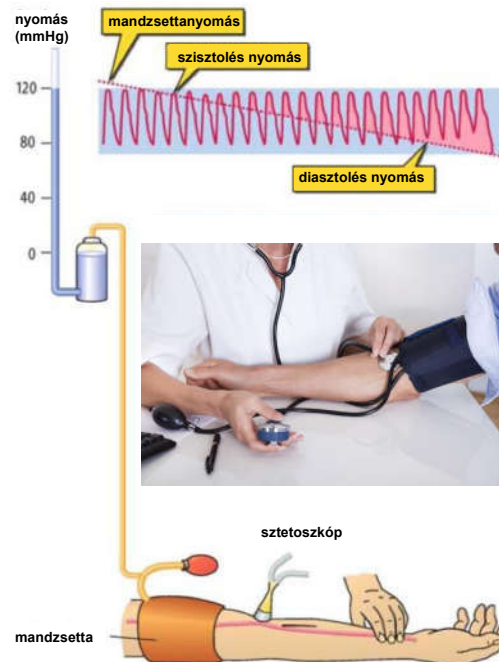


- A levegő százalékos összetétele nem változik a tengerszint feletti magassággal az ember számára releváns légtérben.
- Ennek ellenére nehezebbé válik a légzés a magasság növekedésével, a teljesítőképességünk lecsökken. (→ magaslati edzés - a teljesítmény fokozása)
- A jelenség oka a **csökkenő légnyomás**, 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

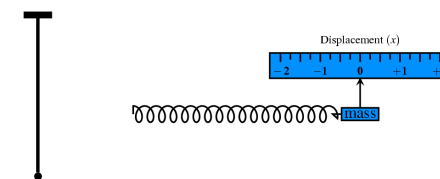
- A mandzsettát egészen addig fújjuk fel, amíg a nyomása kb. 20 mmHg-rel meg nem haladja az Arteria brachialis-ban uralkodó nyomást.
- Ekkor nem folyik vér a karba (és ki sem).
- A sztetoszkópot az A. brachialis fölé helyezzük és lassan csökkenteni kezdjük a mandzsetta nyomását.
- Amint a mandzsetta nyomás **éppen a szisztolés nyomás alá csökken**, a vér újra áramlani kezd, ekkor hangokat hallunk = **Korotkov-hangok**
- Amíg a mandzsetta nyomás 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



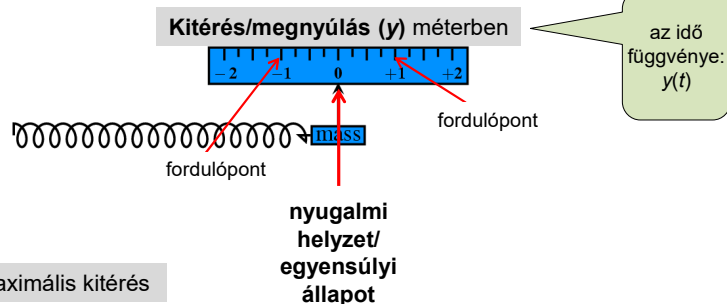
- A rezgés tan alapfogalmai
- Rezgések fajtái
- Harmonikus rezgés
- Visszatérítő erő
- Sajátrezgés és sajátfrekvencia
- Rugós inga
- Kényszerrezgés
- Rezonancia

16

A rezgés tan alapfogalmai

Oscillátor: fizikai rendszer, amely rezgésre képes (pl. egy rugó a ráfüggesztett testtel).

Rezgés (mechanikai): egy test egyensúlyi állapot körüli periodikus (ismétlődő) mozgása.



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 (ω):** 2π -kénti rezgések száma. A frekvencia 2π -szerese: $\omega = 2\pi f$

17

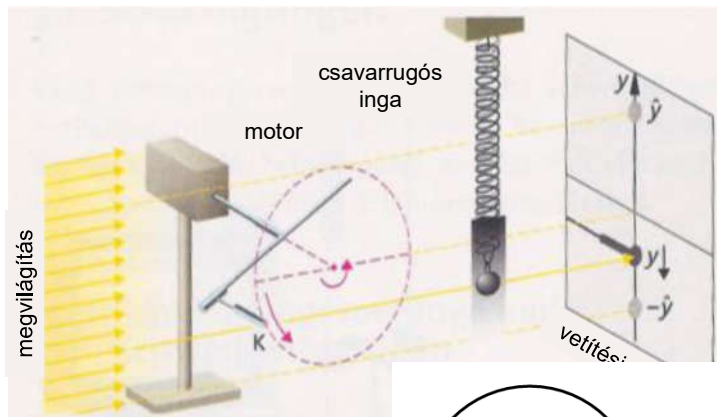
A rezgések fajtái

Harmonikus rezgés (szinuszos rezgés)	Nem harmonikus rezgés (nem szinuszos rezgés)
ingóra, rugós inga – rugós oszcillátor	az emberi hangszál rezgései lengéscsillapítók az autókban

Csillapítatlan rezgés	Csillapított rezgés
hangszóró membránja adott hangosságú hang esetén	magára hagyott inga, rezgéscsillapító

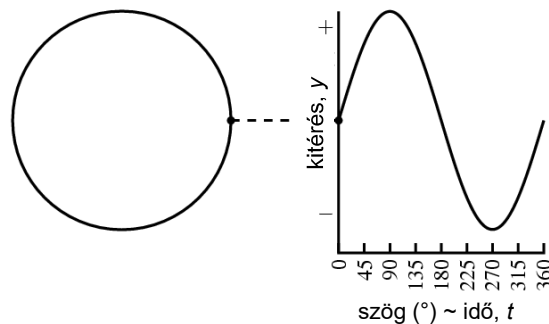
18

Egyenletes körmozgás – harmonikus rezgőmozgás

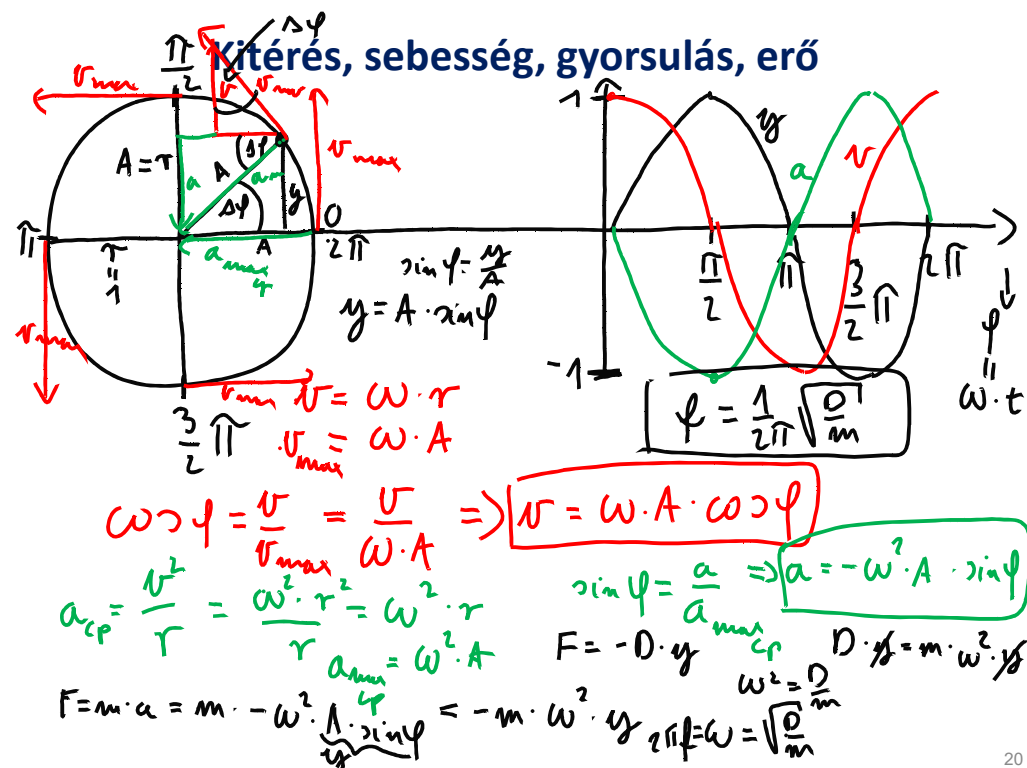


A kitérés-idő függvény általános alakja:

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



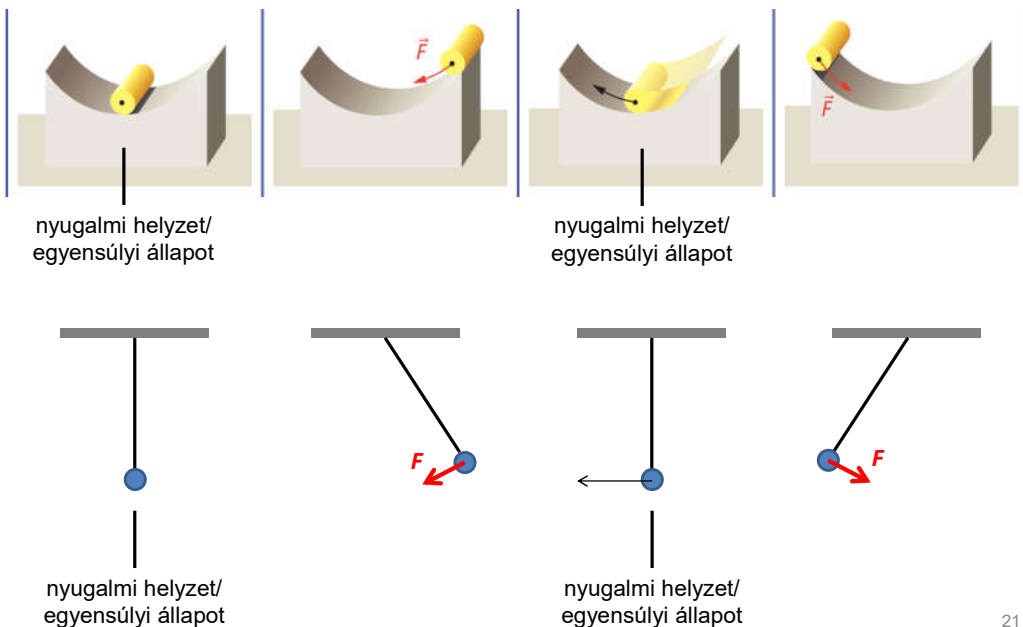
19



20

Visszatérítő erő

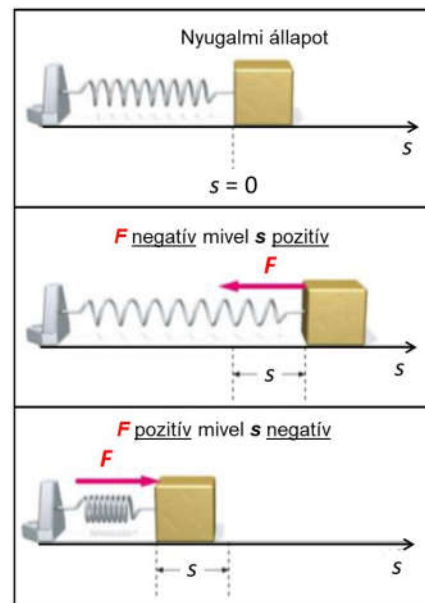
Milyen erőre van szükségünk a harmonikus rezgéshez?



21

Visszatérítő erő

$$F = -D \cdot s$$



A visszatérítő erőre érvényes:

- Mindig az egyensúlyi állapot felé mutat
- Arányos a kitéréssel, de az ellentétes irányba mutat (negatív előjelű)

22

Sajátrezgés (szabad rezgés)

Előfeltétel:

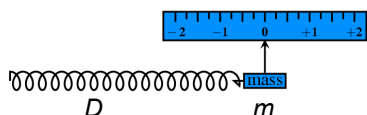
Egyszeri behatás által rezgésbe hozzuk az oszcillátort.

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 (súrlódás, légellenállás, ...), így a rezgés csillapításra kerül.

23



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!

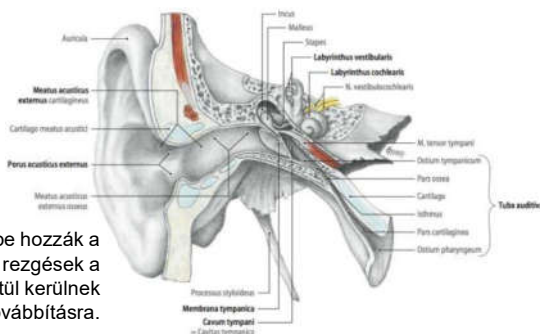
24

Kényszerrezgés

Egy periodikus külső erő hatása következtében létrejövő rezgés.

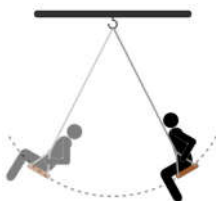


Ha megütjük az egyik hangvillát, a létrejövő légnemű-ingadozások a másik hangvillát is rezgésbe hozzák (feltéve, hogy mindkét hangvilla azonos hangmagasságra van hangolva).



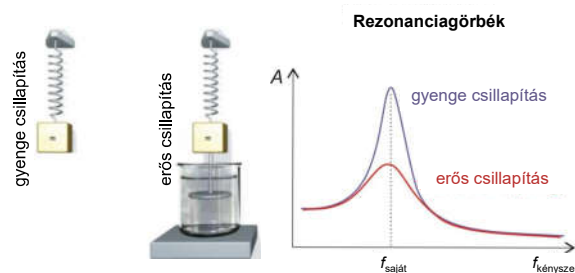
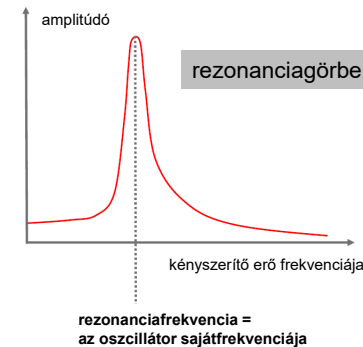
A légnemű-ingadozások rezgésbe hozzák a dobhártyát, majd ezek a rezgések a hallócsontocskákon keresztül kerülnek továbbításra.

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



Rezonancia

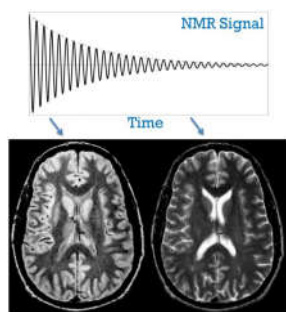
- Ha egy rezgésre képes rendszerrel egy külső gerjesztő rendszer segítségével periodikusan energiát, akkor egy bizonyos beállási időt követően kényszerrezgés fog kialakulni.
- A kényszerrezgés frekvenciájától függően különböző amplitúdójú rezgések alakulnak ki.
- Ha a kényszerrezgés frekvenciája és a 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**.



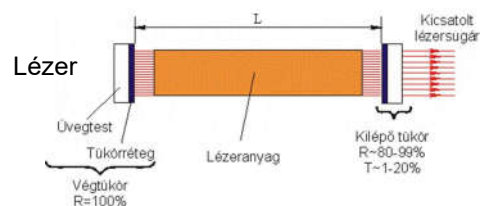
Megjegyzés:
A rezonancia jelenségét több technikai eszközben felhasználjuk (pl. mágneses magrezonancia spektroszkópia és képalkotás, lézer, ...)



Mágneses magrezonanciás képalkotás (MRI)



Optikai rezonátor



Házi feladat: 6. és 7. fejezet