





**SEMMELWEIS EGYETEM**

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet,  
Nanokémiai Kutatócsoport

Lágy Anyagok  
Laboratóriuma

## Víz és biológiai folyadékok

**Zrínyi Miklós**

*egyetemi tanár, az MTA levelező tagja*

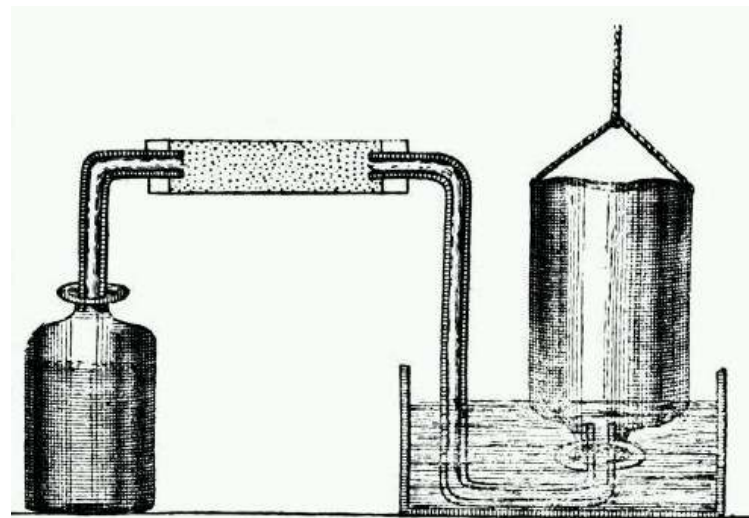
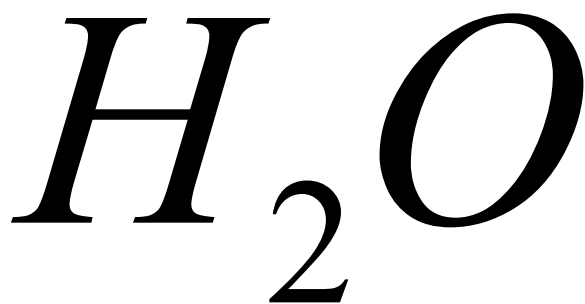
*[mikloszrinyi@gmail.com](mailto:mikloszrinyi@gmail.com)*

Egy különleges folyadék: a **víz**



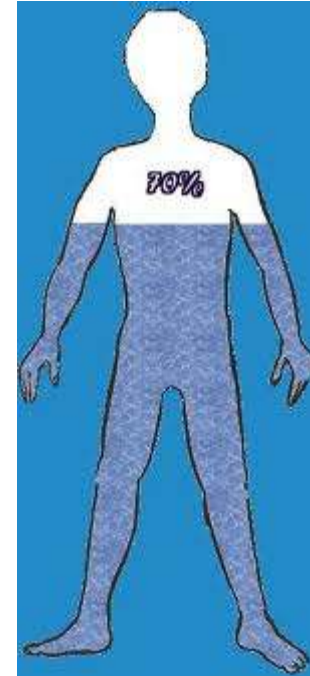
Thales már Krisztus előtt 580-ban felismerte, hogy a víz **„minden dolgok forrása”**.

Kémiai összetételét először az angol Henry Cavendish határozta meg 1783-ban.



A Föld felszínének 71%-át víz borítja, ez főleg sós víz. Az édesvíz 70%-a hó és jég formájában tárolódik.

Minden szervezet alapvető anyaga a víz. A medúzának még 98%-a, a három hónapos magzatnak 94%-a, az újszülöttnak még 72%-a, a felnőtt embernek 50-60%-a víz. Az életkor előrehaladtával a víz aránya csökken.



A napi vízleadás és vízfelvétel mérlegének mindkét oldalán átlagosan 2,5 liter szerepel: ennyi víz távozik a szervezetünkben a verejtékezés, a légzés, a kiválasztás és az emésztés folyamán, amit pótolnunk kell. Napi folyadékszükségletünk mintegy felét a táplálékokkal, másik felét víz formájában vesszük magunkhoz.

Az emberi test kortól függő víztartalma 45m% - 75m% (65m%)

Napi felvétel: 2500 ml

Napi leadás: 2500 ml

ital 1600 ml →

étel 700 ml →

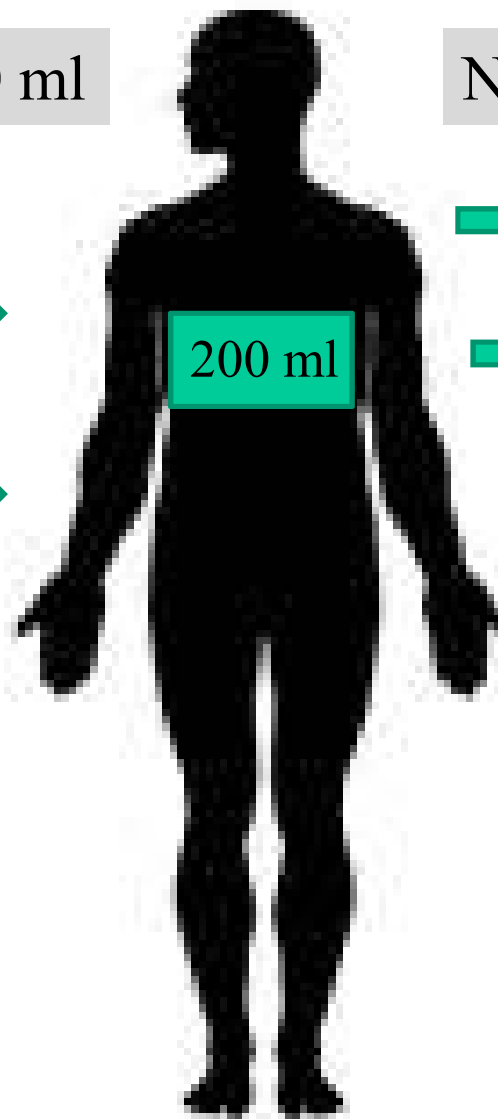
200 ml

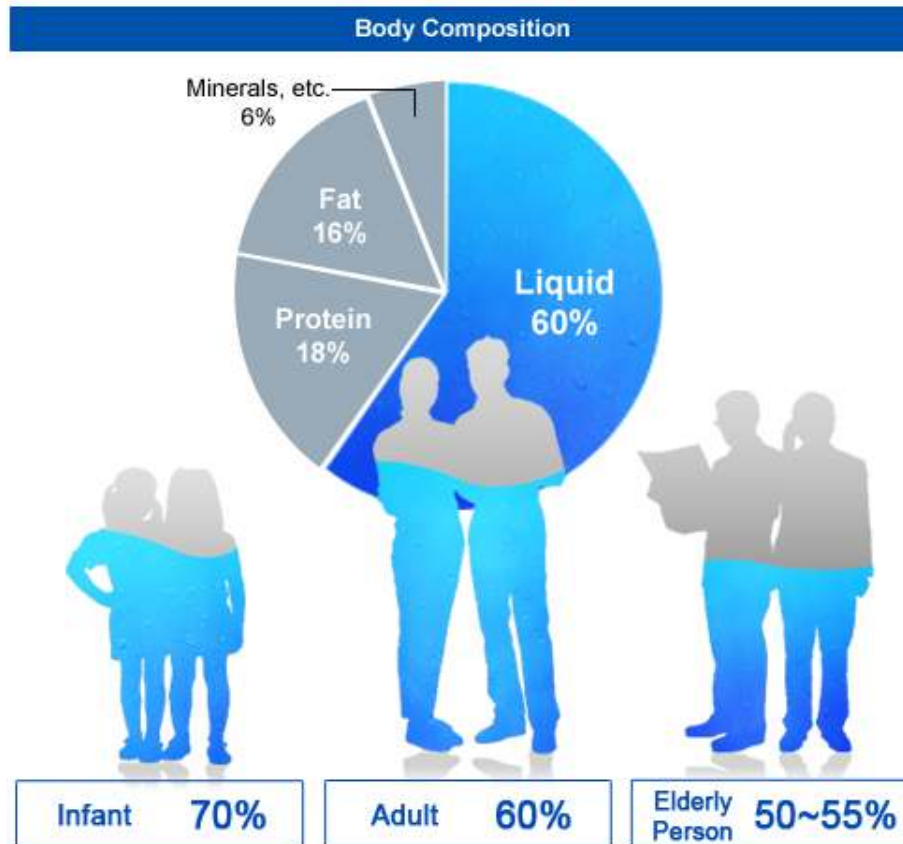
→ vizelet 1500 ml

→ széklet 200 ml

→ párolgás 400 ml

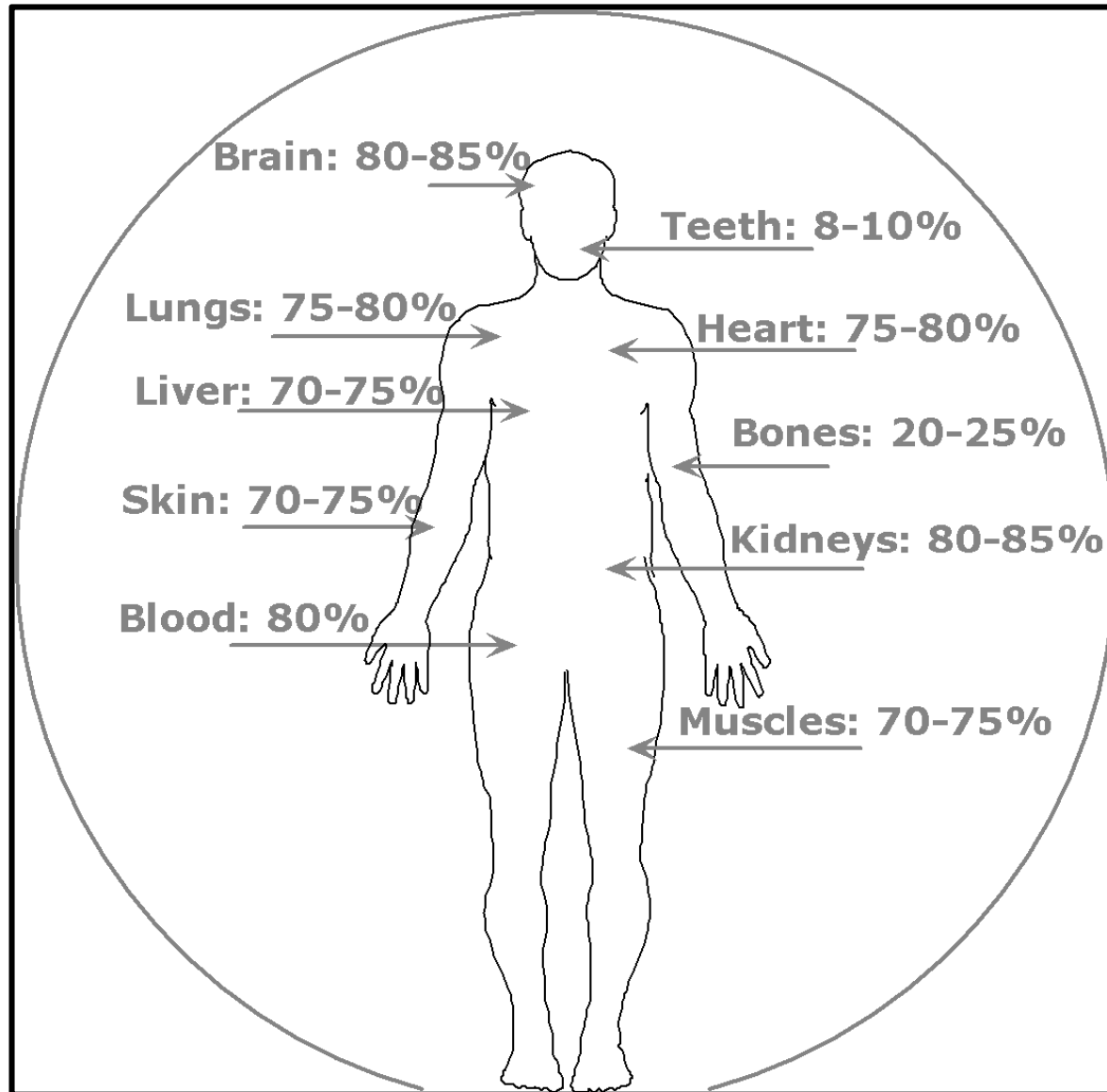
→ izzadás 100 ml



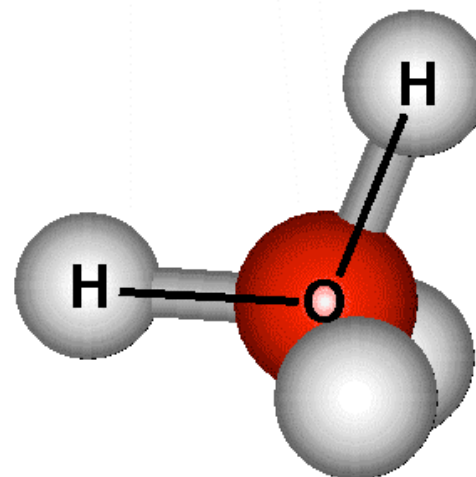
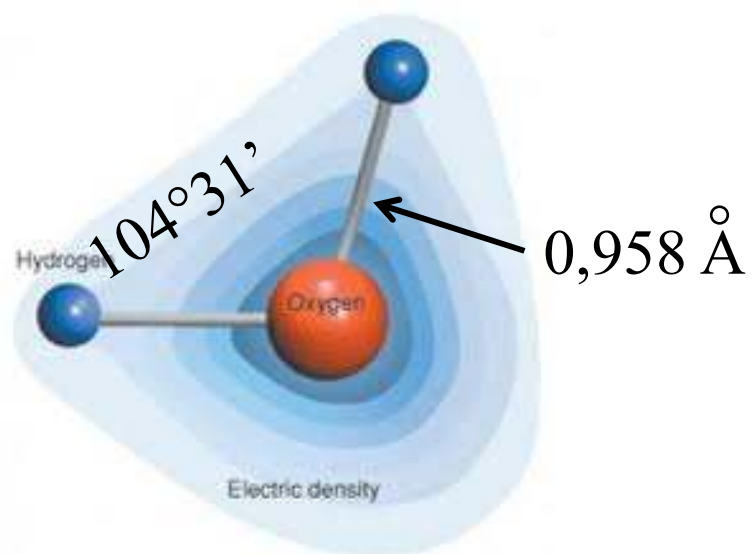
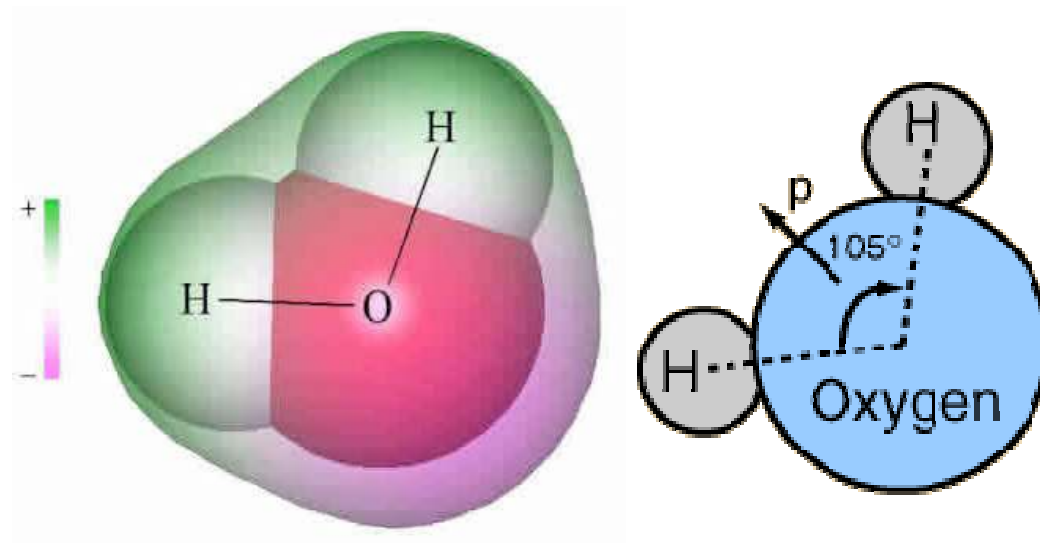
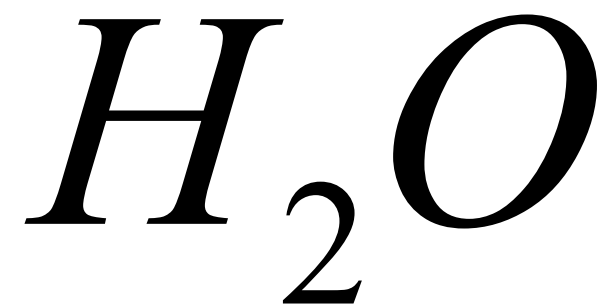


70 kg-os férfi szervezet átlagos folyadékmennyisége: 42 l.

## Különböző testrészek átlagos folyadék tartalma



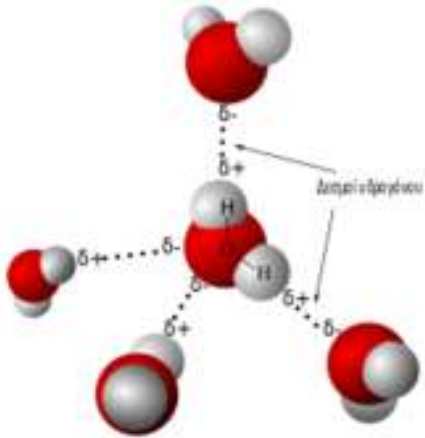


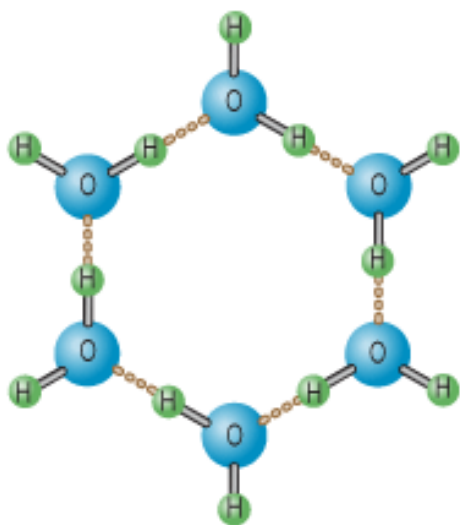




# A hidrogénhíd

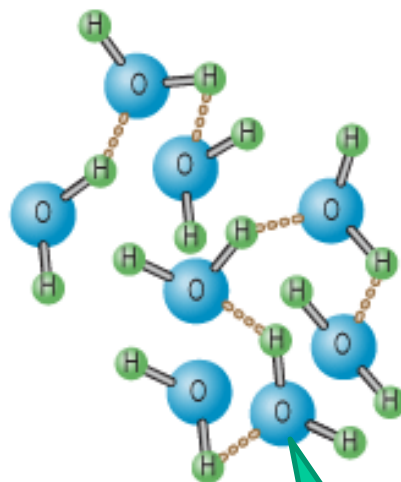
Egy intramolekuláris H-híd bontásához szükséges energia  $\sim 1-2 k_B T$



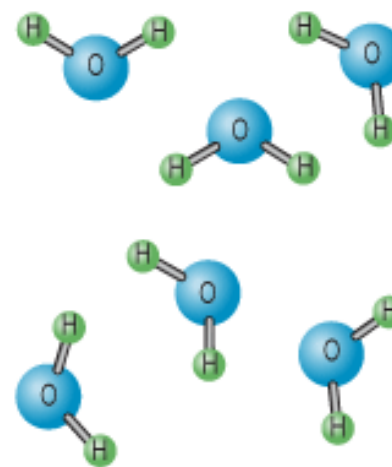


© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

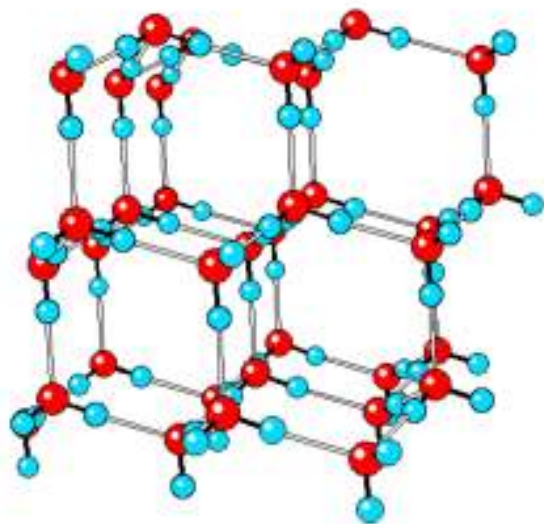
jég



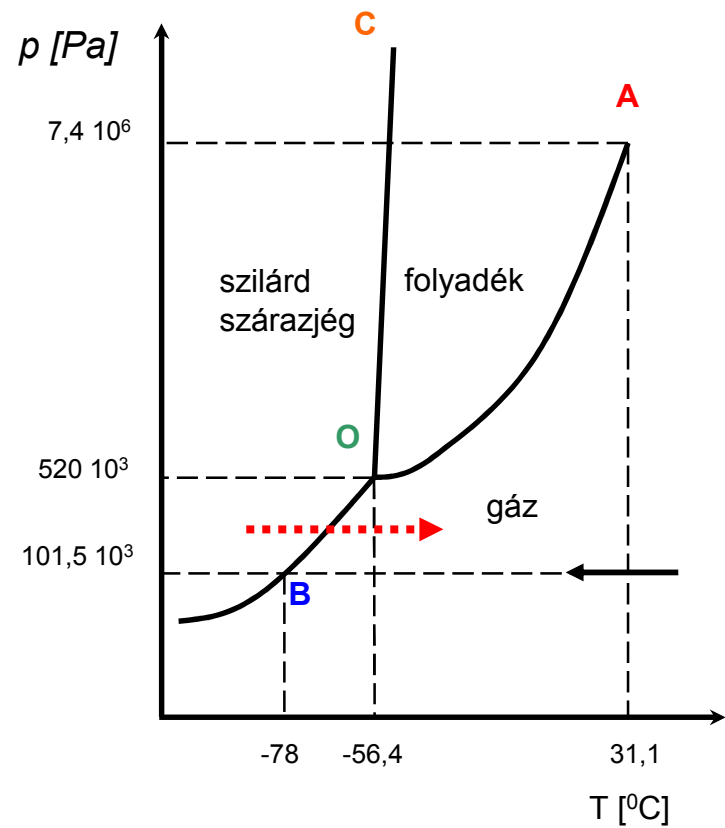
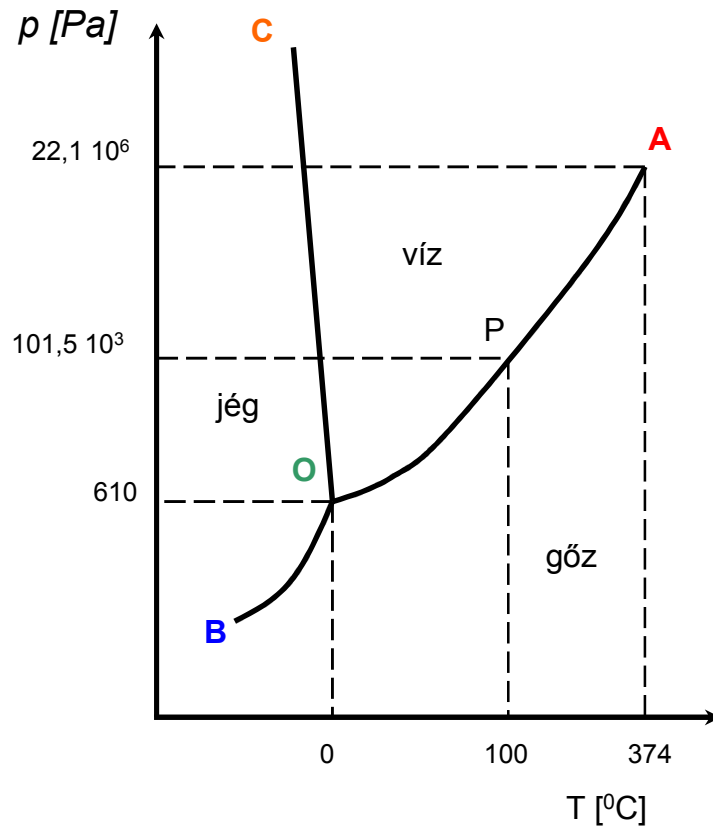
víz



vízgőz

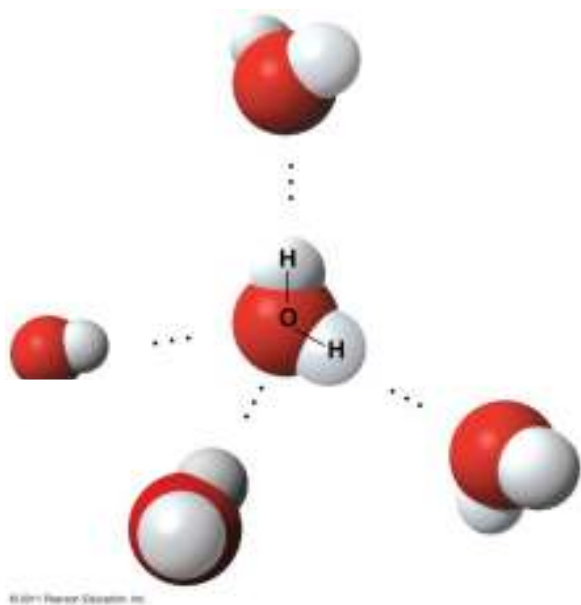


A víz moláris térfogata 4 C°-on minimális, sűrűsége pedig maximális

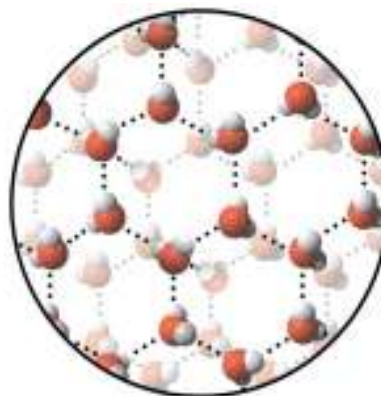


A víz és a szén-dioxid fázisdiagramja.

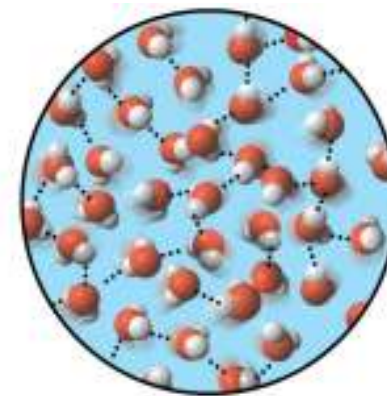
A legtöbb anyag moláris térfogata a kristályos fázisban kisebb,  
mint az olvadékban. **Kivétel:** a **víz**



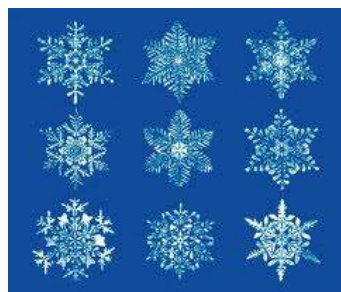
© 2011 Pearson Education, Inc.



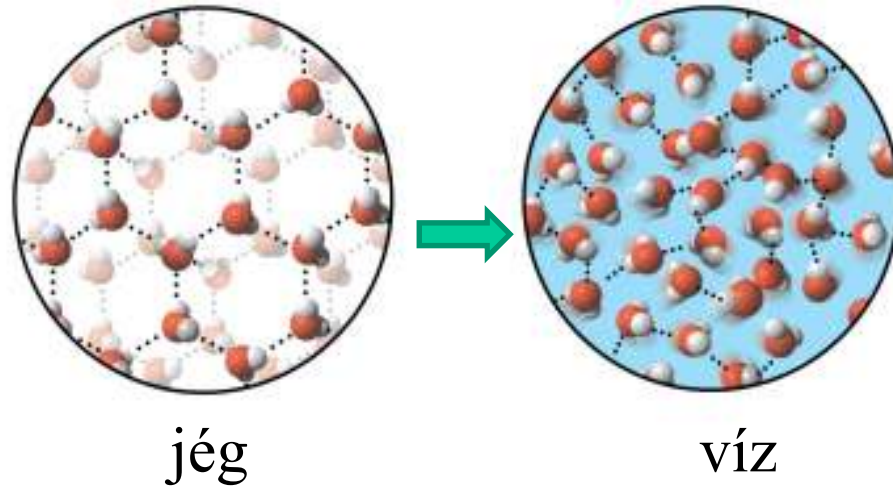
jég



víz



A víz egyik különlegessége, hogy moláris térfogata 8%-al csökken olvadáskor. Ez azt jelenti, hogy a nyomás növelése az olvadást segíti elő.



Ha víz a többi folyadékhoz hasonló “normális” folyadékként viselkedne, **nem lennének hegyi patakjaink!**

Mi történne, ha a víz a többi anyaghoz hasonlóan viselkedne?

- nem lennének hegyi patakjaink,
- a jég lesüllyedne a vízben,
- folyók teljes egészében befagynának,

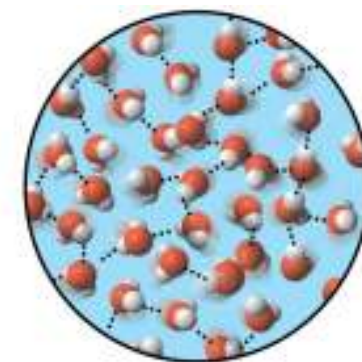
## Víz hőkapacitása

$$Q = C(T)m\Delta T$$

A folyékony víz hőkapacitása jóval nagyobb, mint a többi folyadéké, de nagyobb a szilárdtestek és a gázok hőkapacitásánál is. Ez a víz molekulái között kialakuló számtalan H-híd kölcsönhatás következménye.

$$c_p = 4180 \text{ J/kgK} \text{ szobahőmérsékleten}$$

**Szerepe az életfolyamatokban:** a testhőmérséklet szabályozása a nagy hőkapacitás segítségével



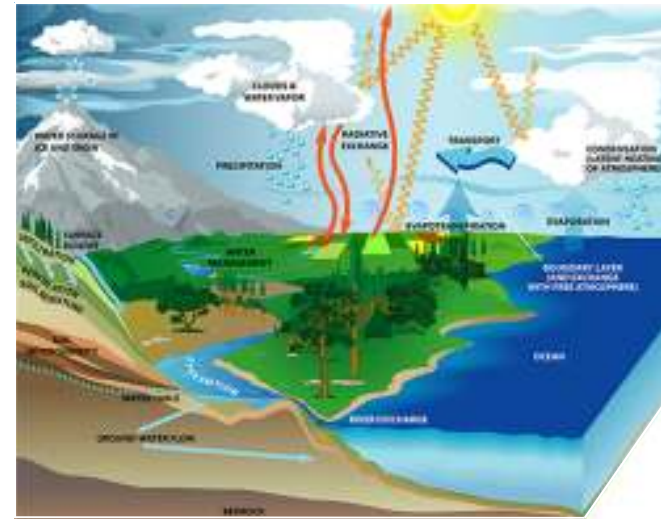
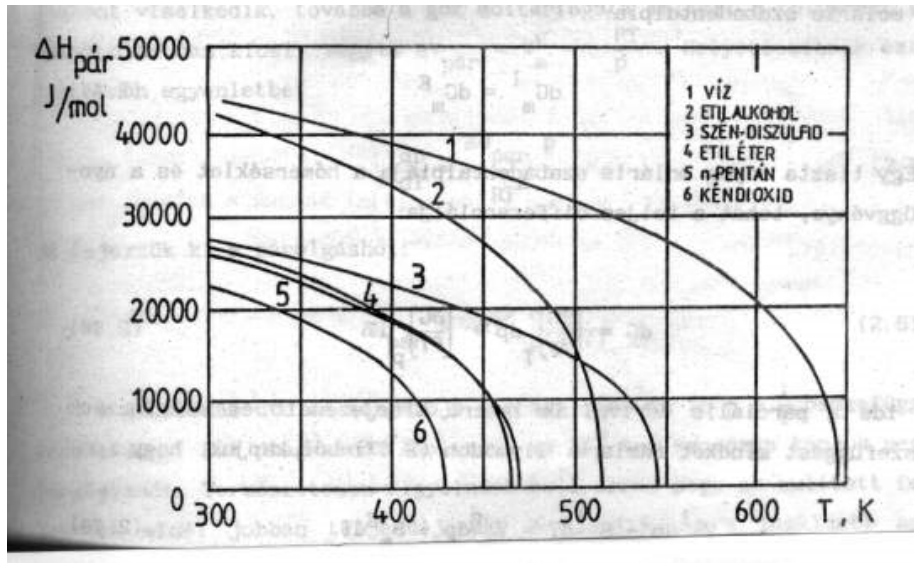
víz

$$E_H = 4 - 40 \text{ kJ} / \text{mol}$$

*Egy 60 kg-os személy megközelítőleg 10 MJ nagyságú hőt ad le naponta, ha rendszeresen táplálkozik. Ez adiabatikus körülmények között 42 °C-os hőmérséklet emelkedést jelent*



A víz nagy párolgáshője miatt egységnyi térfogatban több energiát tárol, mint a többi „normális” folyadék.



$$Q_{\text{párolg}} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J/kg szobahőmérsékleten}$$

**Szerepe az életfolyamatokban:** hatékony hűtőfolyadék a hőmérséklet szabályzásban (izzadás).

Kedveli a poláros felületeket (pl. cellulóz)  
(*kapilláris emelkedés*)



Nem kedveli az apoláros felületeket  
(pl. teflon)



## Nagy felületi feszültség

$$\gamma = 72,7 \text{ mN} / \text{m} \quad 25 \text{ C}^\circ\text{-on.}$$



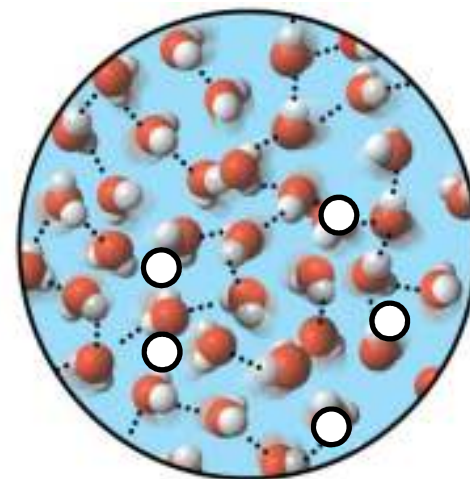
© 2011 Pearson Education, Inc.

**Szerepe az életfolyamatokban: .**



## Jó oldószer

A hézagos vízszerkezet miatt jó oldószere a gázoknak ( $O_2$ ,  $CO_2$ , ...).

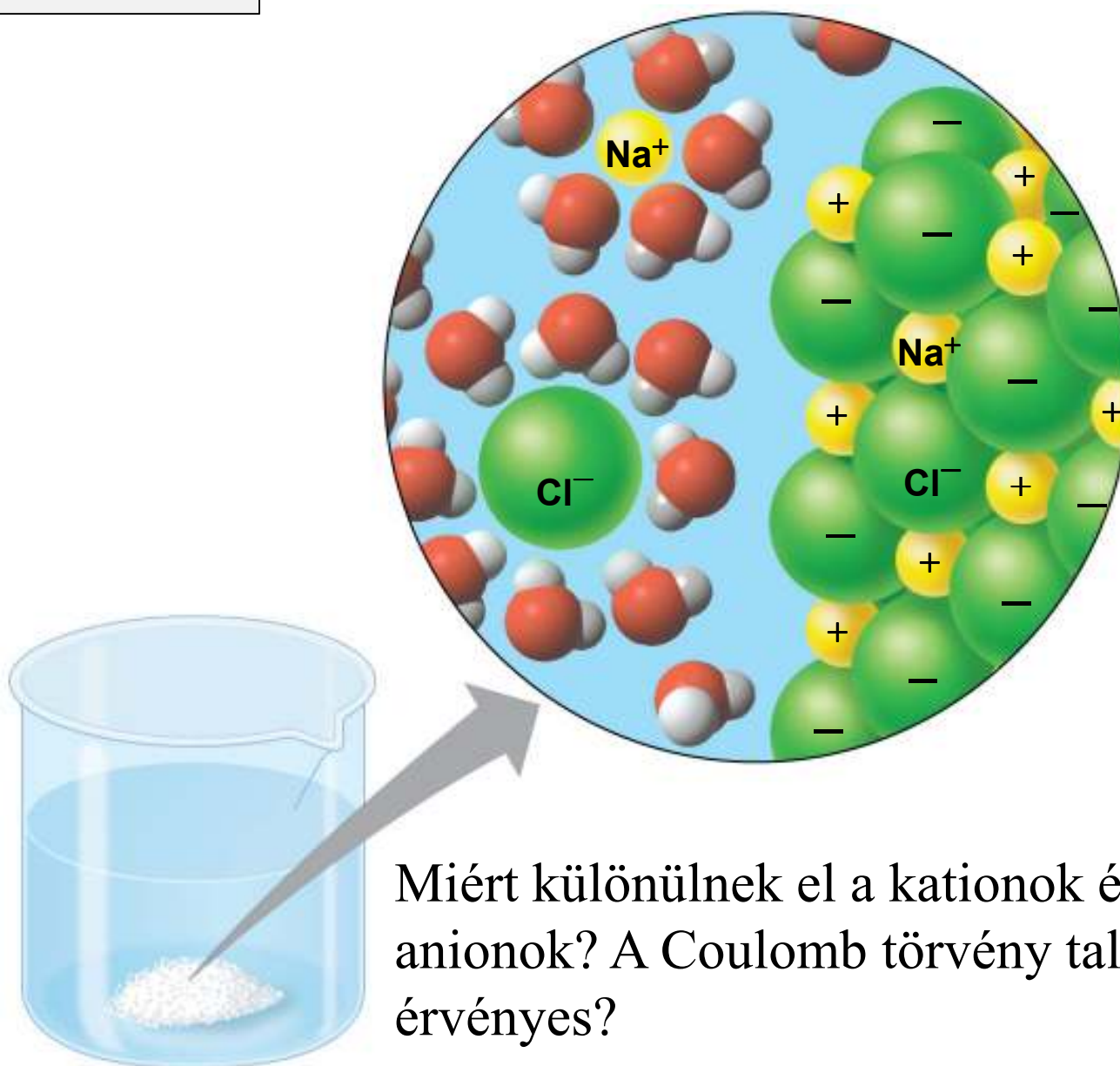


A jól elegyedik poláros molekulákkal  
( $CH_3CH_2OH$ )

*Mengyelejev szabadalma alapján*



## Jó oldószer

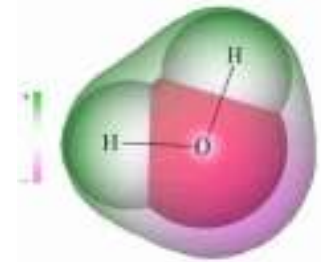
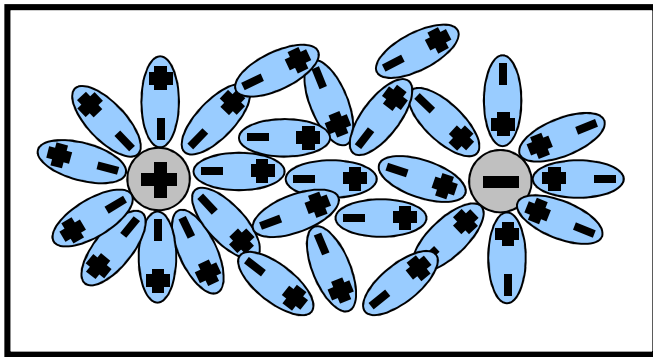


Miért különülnek el a kationok és az anionok? A Coulomb törvény talán nem érvényes?



## Jó oldószer

A vízmolekulák az ionok körül rendezett szerkezetű **hidrát réteget** hoznak létre. Ezt a folyamatot **hidratációnak** nevezzük.



*Dielektromos állandó 25 C°-on: 78,54*  
*Dipólus momentum: 1,82 D*

A különböző előjelű töltések közt ható erők a közeg dielektromos állandójának (relatív permittivitásának) növelésével csökkennek.

A **nagy dielektromos állandójú víz** az ionok kölcsönhatásának energiáját több mint 80-ad részére csökkenti. Ez a nagymérvű energia csökkentés felelős a víz kiváló oldó hatásáért.



(a) Water



(b)



(c)



(d)



(e)



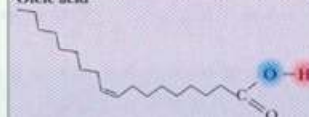
(f)



Ethanol



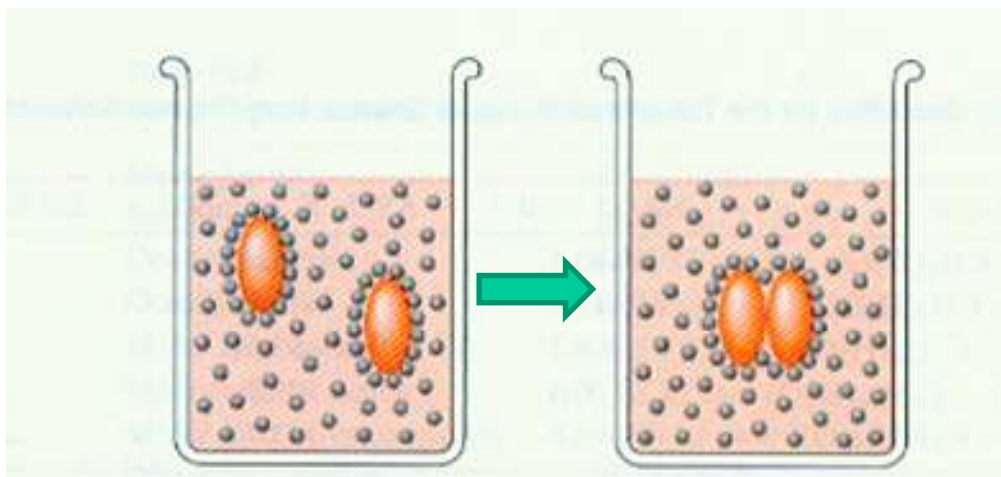
Oleic acid



# Hidrofób kölcsönhatás

*Apoláros molekulák oldása vízben*

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$



$$\Delta H > 0$$

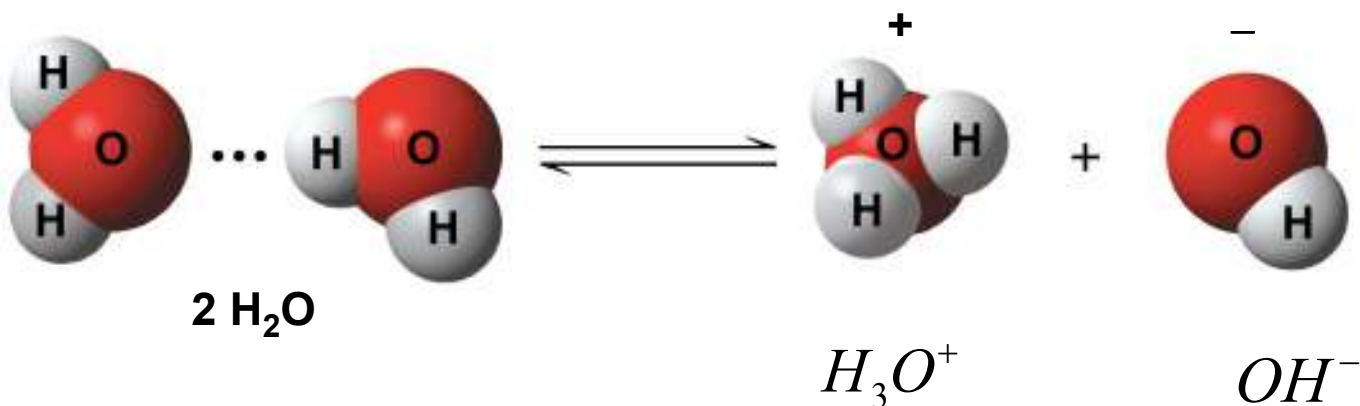
$$\Delta S > 0 \rightarrow \boxed{\Delta G < 0}$$



W. Kauzman



## Autoprotolízis



**hidroxonium  
ion**

**hidroxid  
ion**

$$K_v = 10^{-14}$$

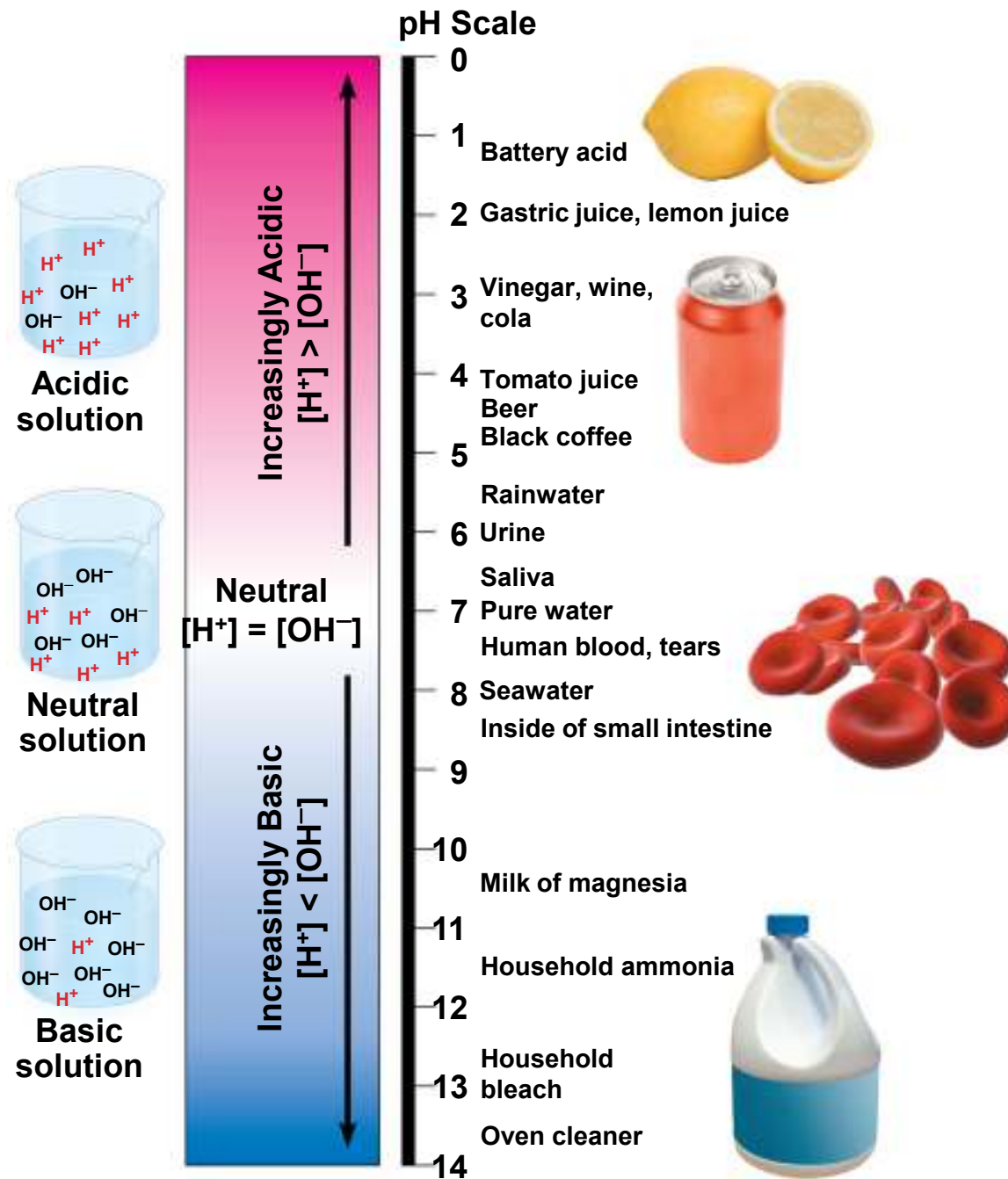


***pH***

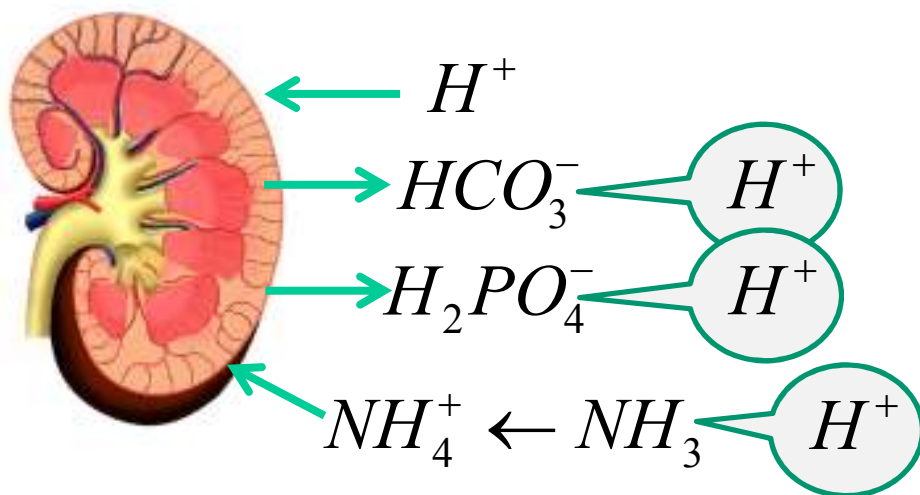
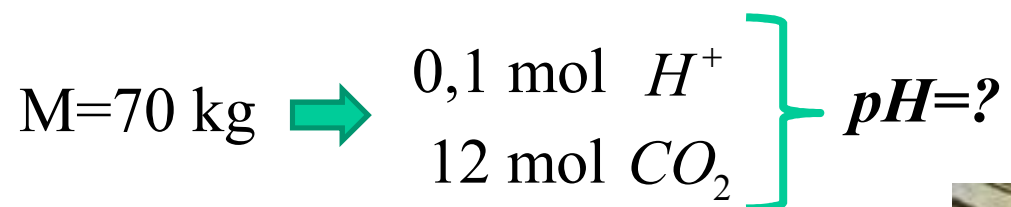
$$10^{-7} \text{ mol} / \text{dm}^3$$

$$10^{-7} \text{ mol} / \text{dm}^3$$

**Szerepe az életfolyamatokban:** savas, semleges és lúgos formában egyaránt előfordulhat.

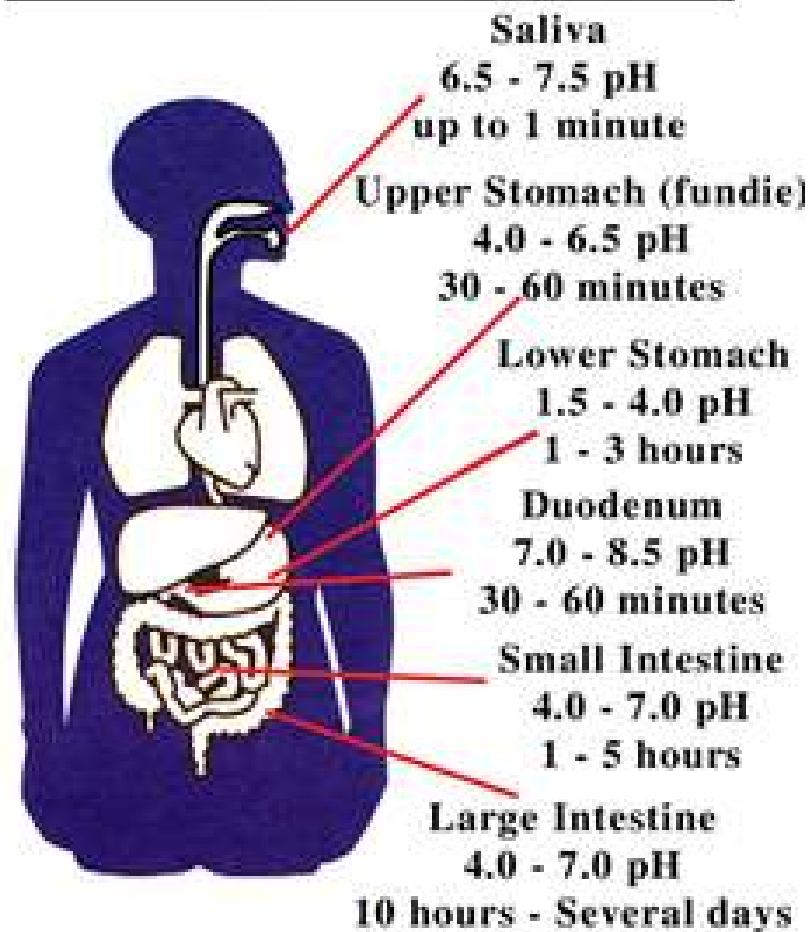


## A vér pH-ja





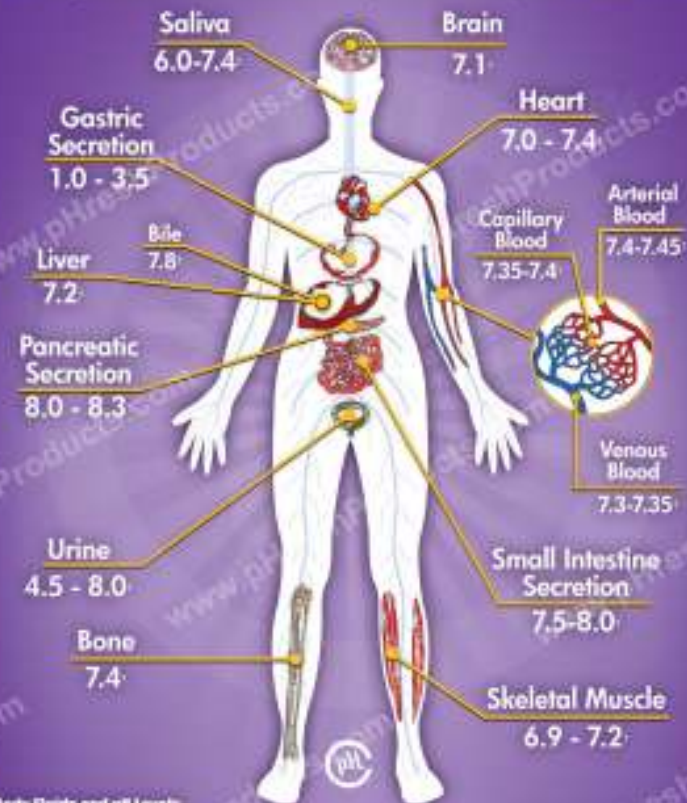
## The Human Digestive Tract pH Range Chart



The diagram illustrates the average time food spends in each part of the digestive system along with the average pH.

## pH Values of the Human Body

Fluids in the human body function to provide digestion, lubrication, nutrient and oxygen transportation, and protection. To perform these functions, the acid levels must be varied to match the bodily function. Overall levels of acidity or alkalinity are measured on a pH scale and must be carefully controlled in each body fluid.<sup>1,2</sup>



### Body Fluids and pH Levels

Saliva, blood and spinal fluid all have a pH of about 7.4. This near neutral level prevents tissue damage that may be caused by levels on either end of the pH scale. The stomach pump that regulates the hydrogen ions in the stomach keep the pH between 1.5 and 3.0. The highly acidic fluid breaks down food and allows digestion to continue. Alterations in any of these systems can lead to various medical conditions. For example, a pH imbalance in the mouth leads to tooth decay, and alterations in the blood can lead to breathing difficulties. When stomach acid gets beyond the protective sphincter in the esophagus, heart burn and a sour taste may be experienced. The burning sensation is caused by acidic damage to the tissue in the esophagus, and continued acidity may lead to irreversible changes and cancer.<sup>1,2</sup>

### References:

1. American Dietetic Association. *Position Paper: The Role of the Dietitian in the Management of the Patient with a Gastrointestinal Disorder*. 2000; 20(1): 1-10.
2. American Dietetic Association. *Position Paper: The Role of the Dietitian in the Management of the Patient with a Gastrointestinal Disorder*. 2000; 20(1): 1-10.

## A szervezet folyadékterei



```
graph TD; A[A szervezet folyadékterei] --> B[Intracelluláris folyadéktér ICF]; A --> C[Extracelluláris folyadéktér ECF];
```

### Intracelluláris folyadéktér **ICF**

A sejten belüli folyadék-  
mennyiséget jelöli.  
A testsúly kb. 36 %-a (25 l).

### Extracelluláris folyadéktér **ECF**

A sejten kívüli összes  
folyadékmennyiséget jelöli.  
A testsúly kb. 24 %-a (17 l).

*Plazmavíz*

*Intersticiális folyadék*

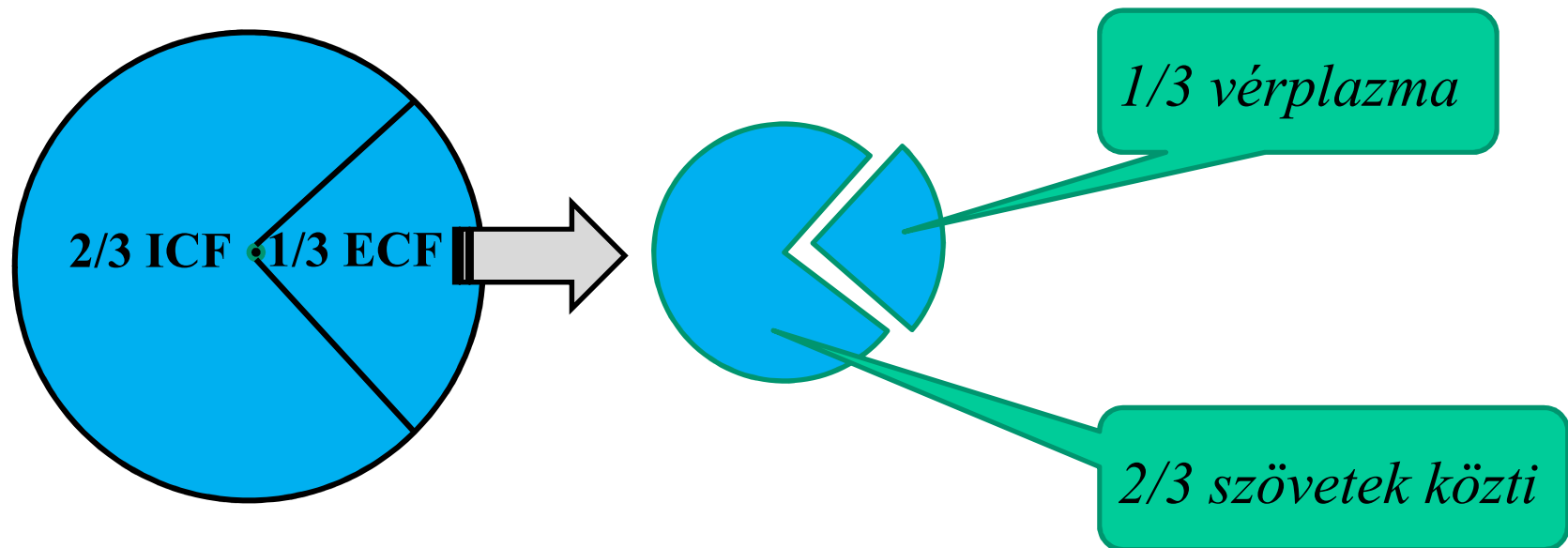
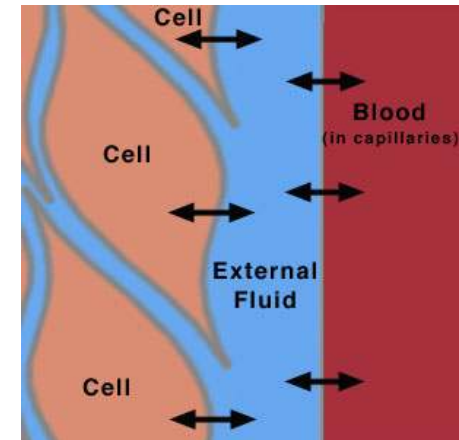
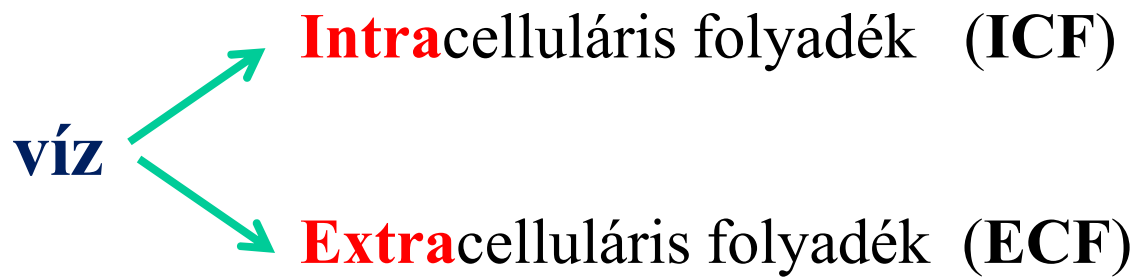
*Fibrózus kötőszövet*

*Csontállomány víztartalma*

*Transzcelluláris folyadék*



## Vizes oldatok sejtszintű megoszlása



## Izotóniás oldatok: ha két különböző oldat ozmózisnyomása egyező

Ha a koncentráció kisebb, mint az izotóniás oldaté, akkor:

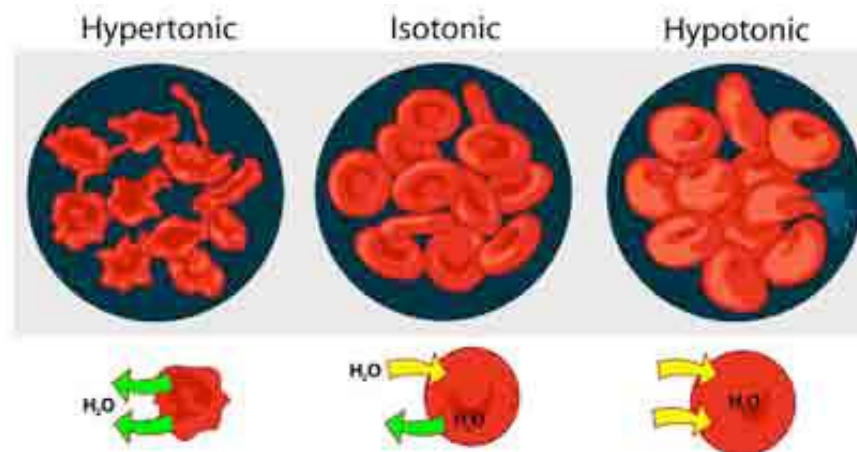
víz → sejt **hipotóniás oldat**

*Az extracelluláris térfogat növekszik.*

Ha a koncentráció nagyobb, mint az izotóniás oldaté, akkor:

környezet ← sejtvíz **hipertóniás oldat**

*Az intracelluláris térfogat csökken*



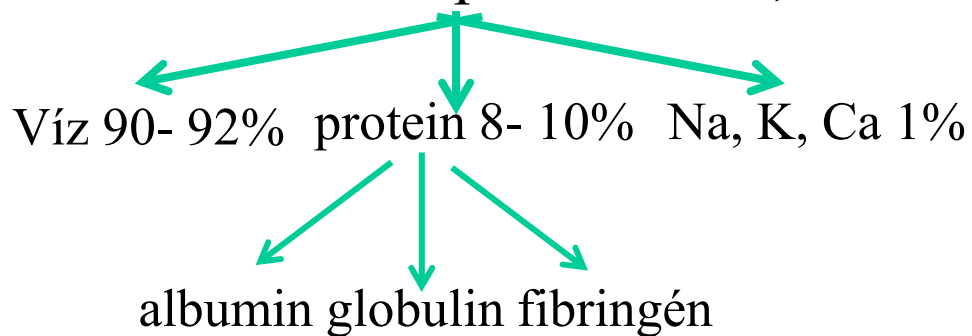
## Testfolyadék összetétele

anyag	ICF [%]	ECF	
		szöveti [%]	plazma[%]
$K^+$	75	3	3
$Mg^{2+}$	17	1	1
$Na^+$	6	94	94
$Ca^{2+}$	2	2	2
protein	27	-	10
$PO_4^{3-}$	20	1	1
$HCO_3^{2-}$	6	18	16
$Cl^-$	2	77	69
más	45	4	4

# Vér

Felnőtt ember keringő vértömege az össztömegének 6 -8 %-a.  
(4 – 6 l)

Összetétele: vérplazma 55%, alakos elemek 45%.



Viszkozitása 4 -5 szöröse a vízének ( 3 – 6 mPas)

Sűrűsége:  $1060 \text{ kg} / \text{m}^3$   $pH: 7,35-7,45$

Osmolaritása: 300 mOsm (0.3 Osm)

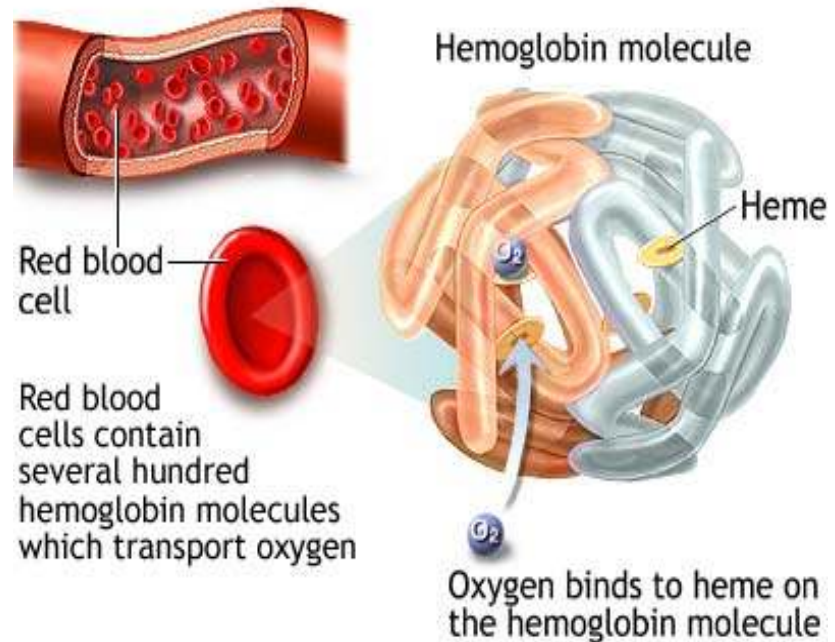
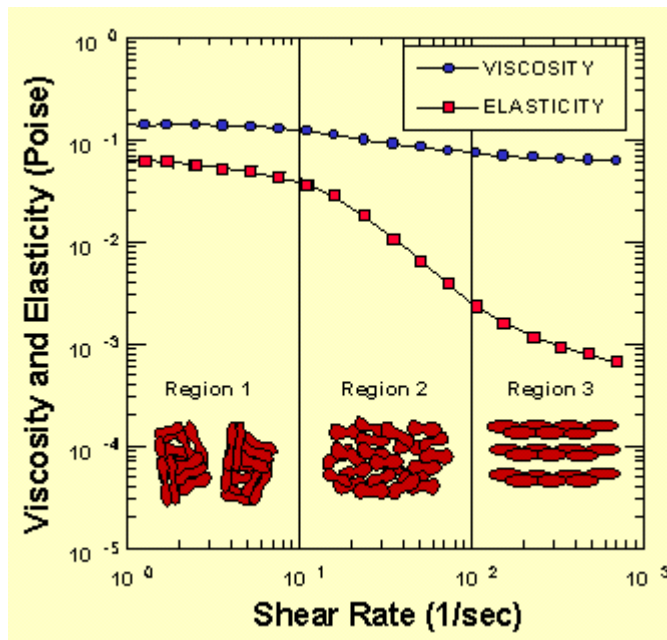
Hőmérséklete:  $38^\circ\text{C}$

Legfontosabb szerepe: **anyag**transzport és **energia**(hő)transzport



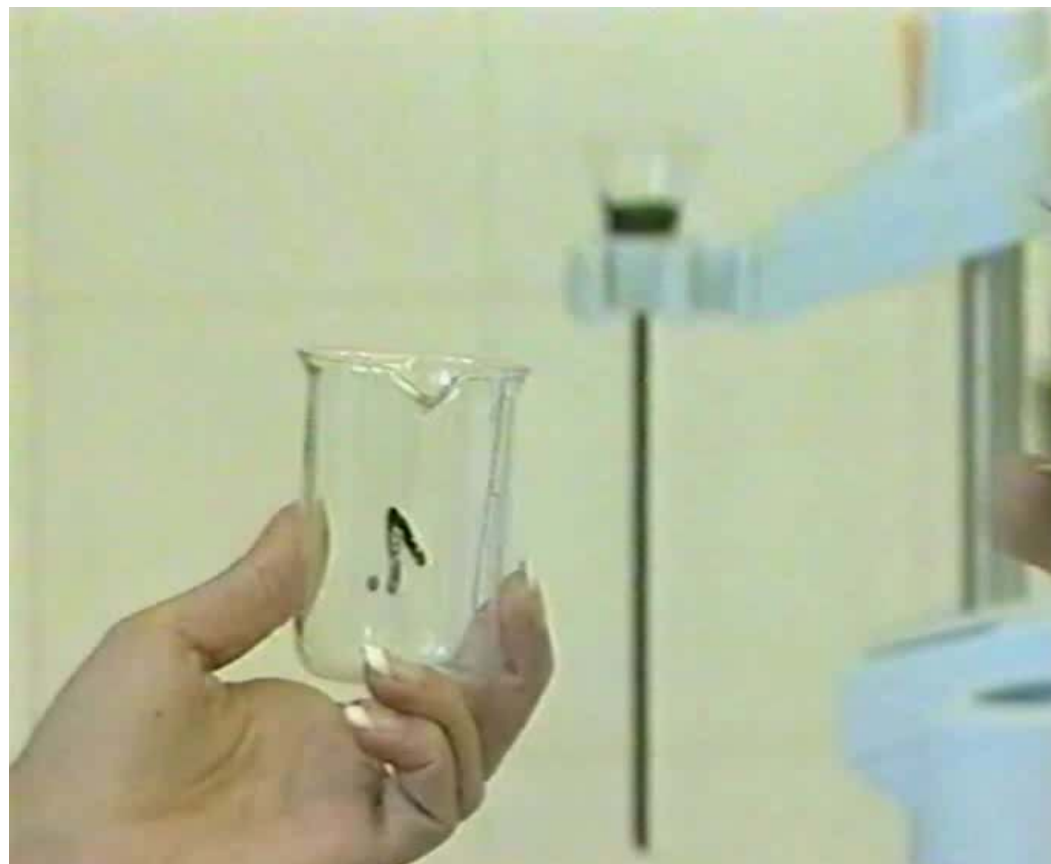
5 millió vörösvértest minden  $mm^3$ -ben.

0,8 % bomlik és keletkezik minden nap

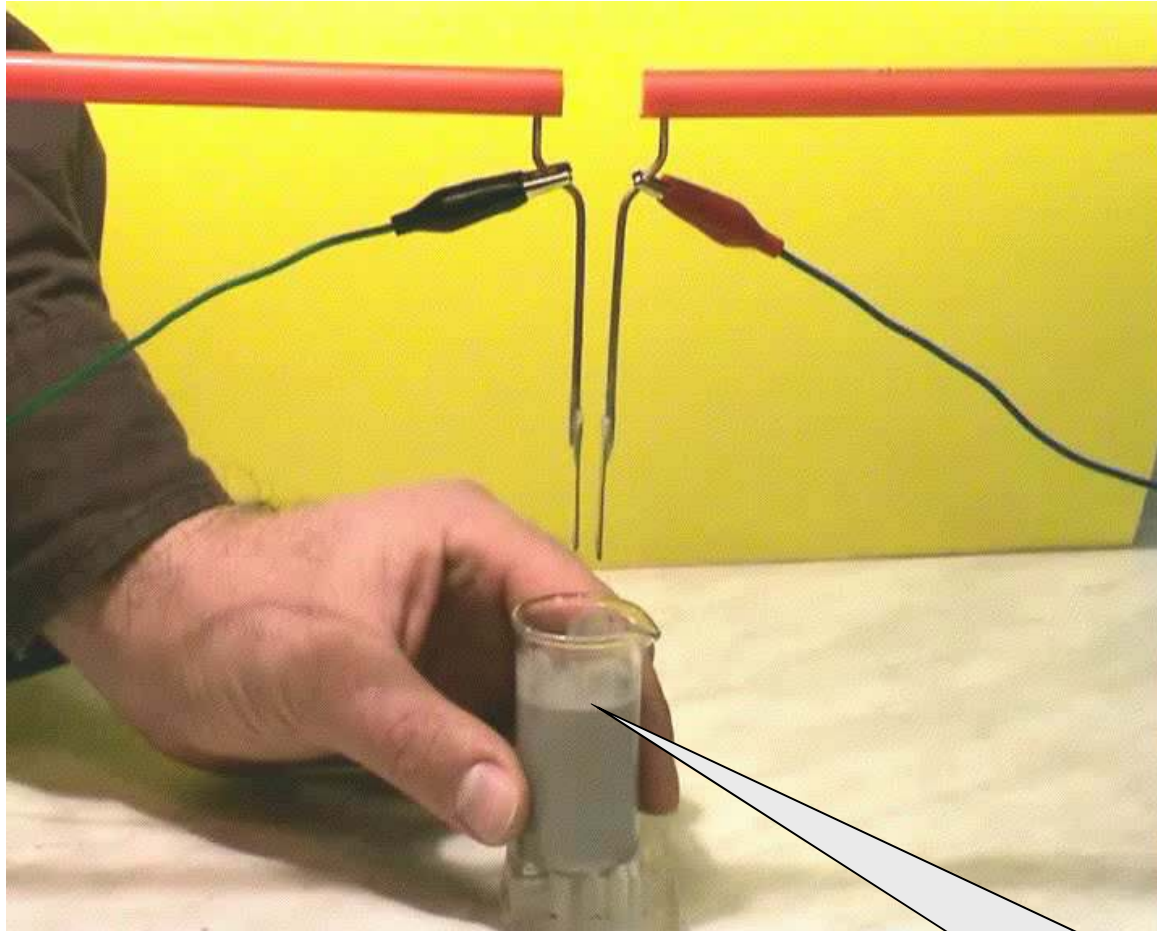
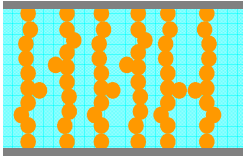


**Különleges folyadék:**

mágneses folyadék

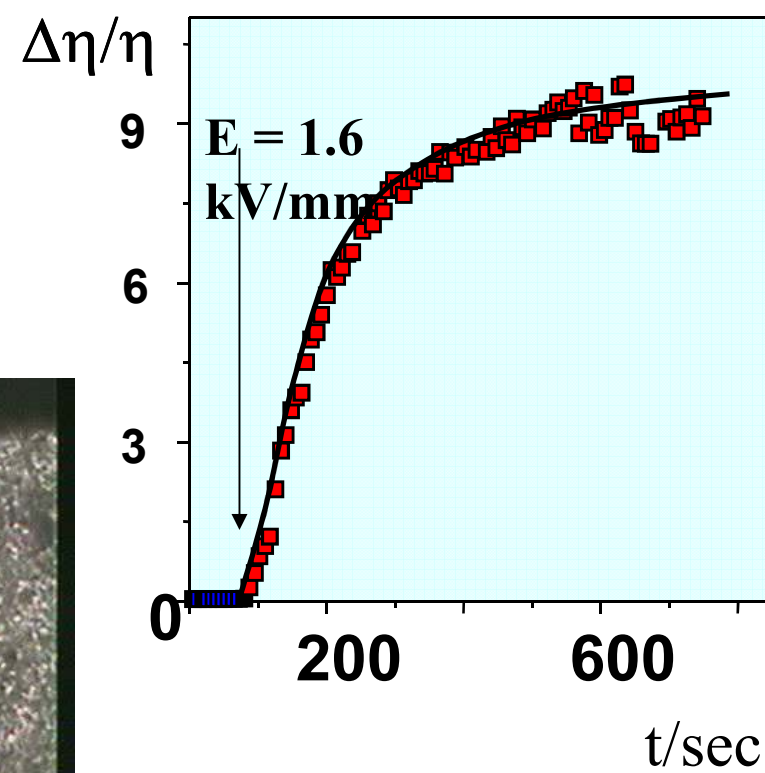
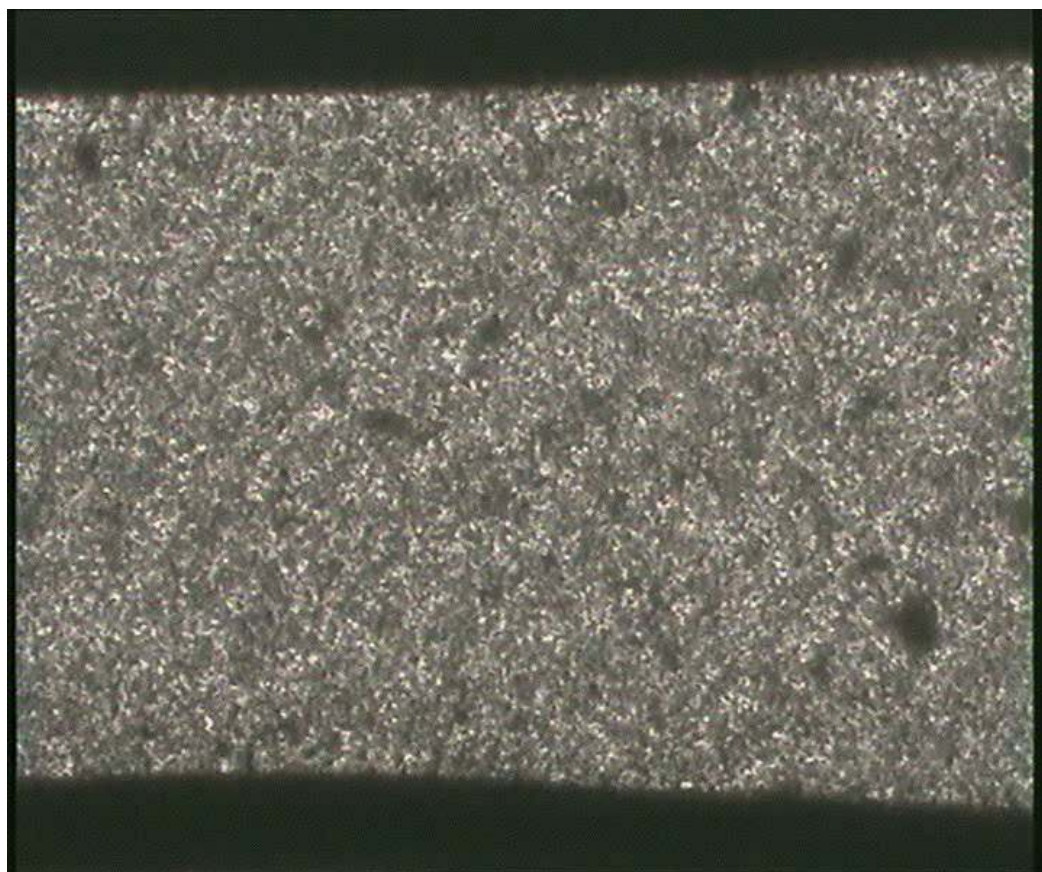


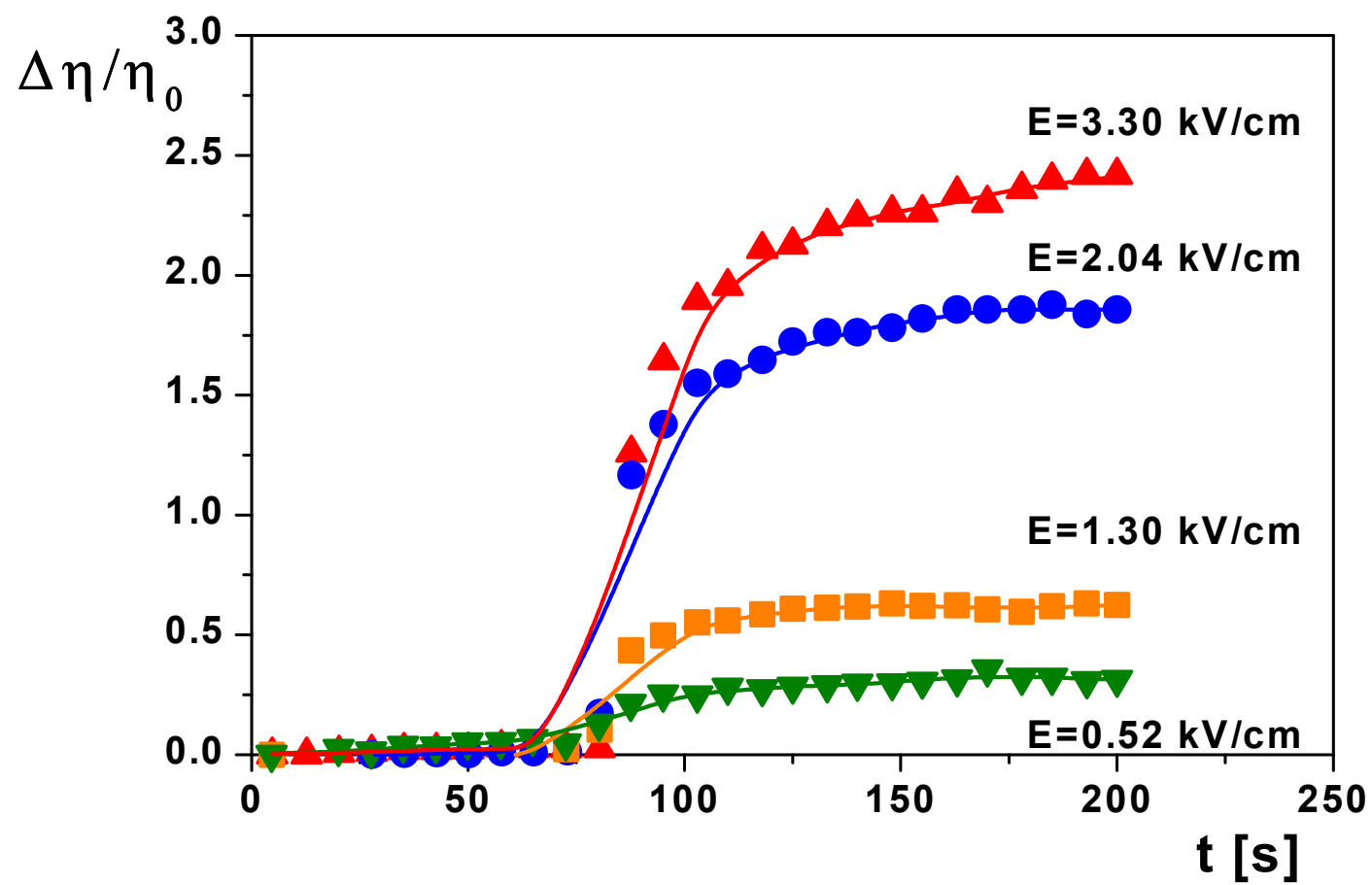
## Különleges folyadék: elektorreológiai folyadék



Neutrális részecskék  
szilikon olajban







Kész  
Átverés

ÓVAKODJ !



10-04-17 08:07

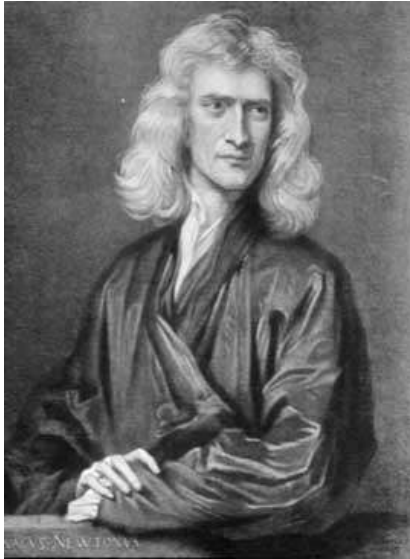
AZÉRT MERT MILLIÓAN HISZÜNK  
EGY BOLOND DOLOGBAN

Attól ez még bolondság marad!

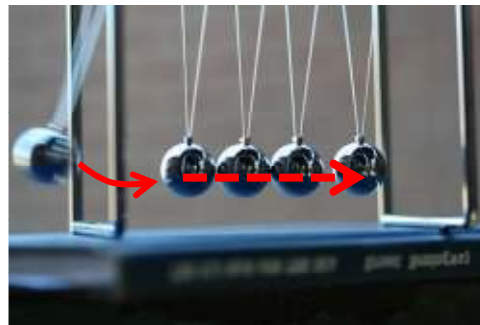
www.demotika.com

# REOLÓGIA

*(konduktív impulzustranszport)*

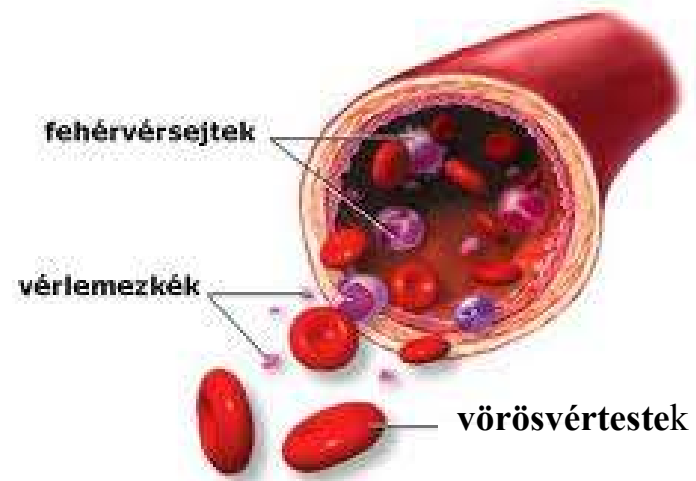


**Sir Isac Newton (1642-1727)**

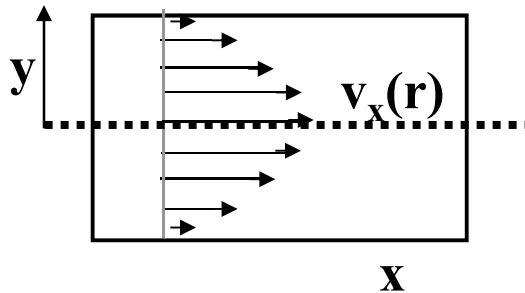


**(Rheos logos = folyástan)**

**Hemoreológia**



# A reológia alapösszefüggése. **Newton egyenlet**



$$j_i = -\eta \frac{\Delta v_x}{\Delta y}$$



$$\tau = \eta \frac{\Delta v_x}{\Delta y}$$

*Kapcsolat a nyírófeszültség és a sebesség gradiens között:*

*Nyírófeszültség:*

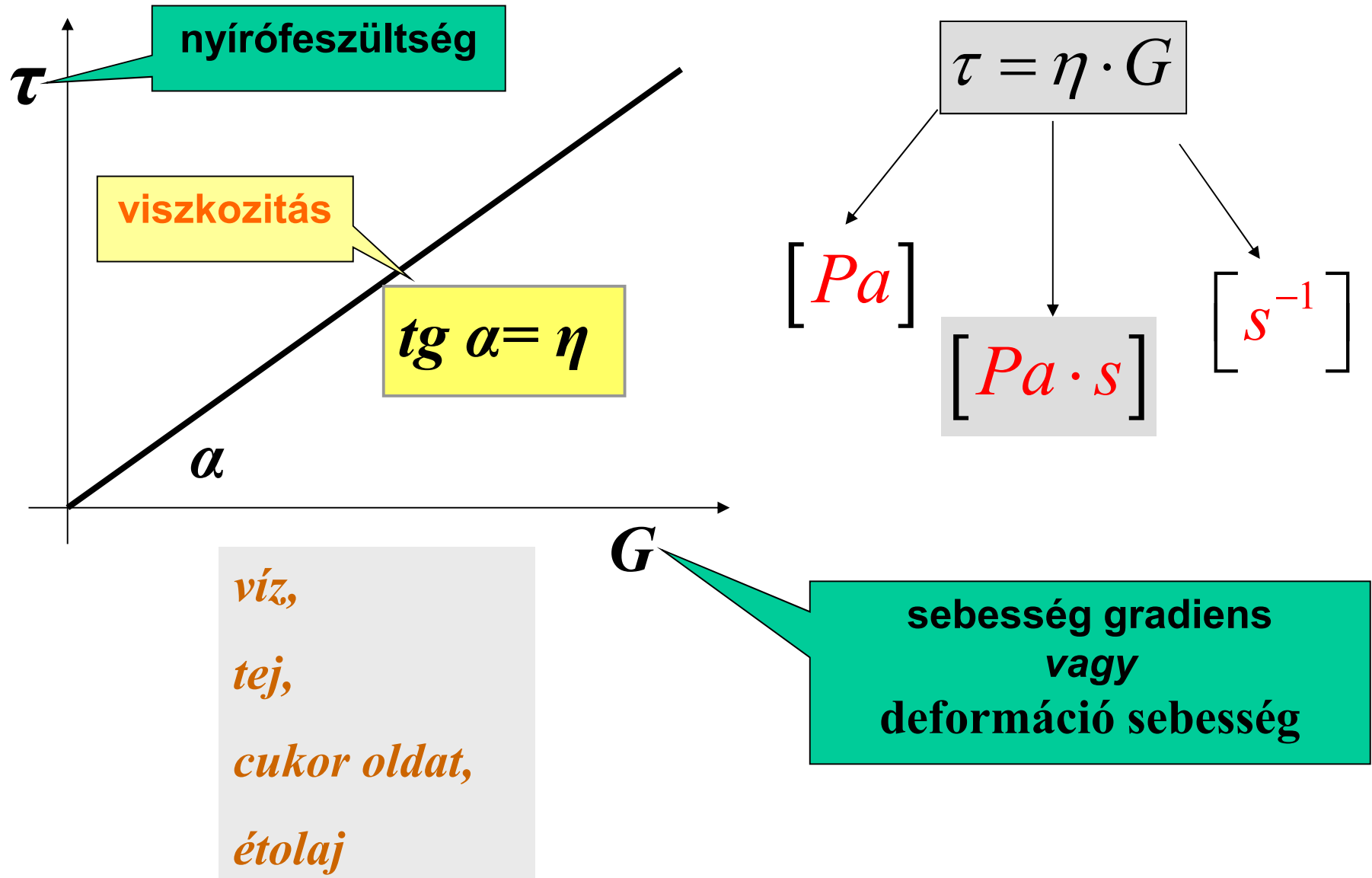
$$\tau = \frac{F}{A_S}$$



*Sebesség gradiens:*

$$G = \frac{\Delta v_x}{\Delta y} = \frac{\Delta v_x}{r}$$

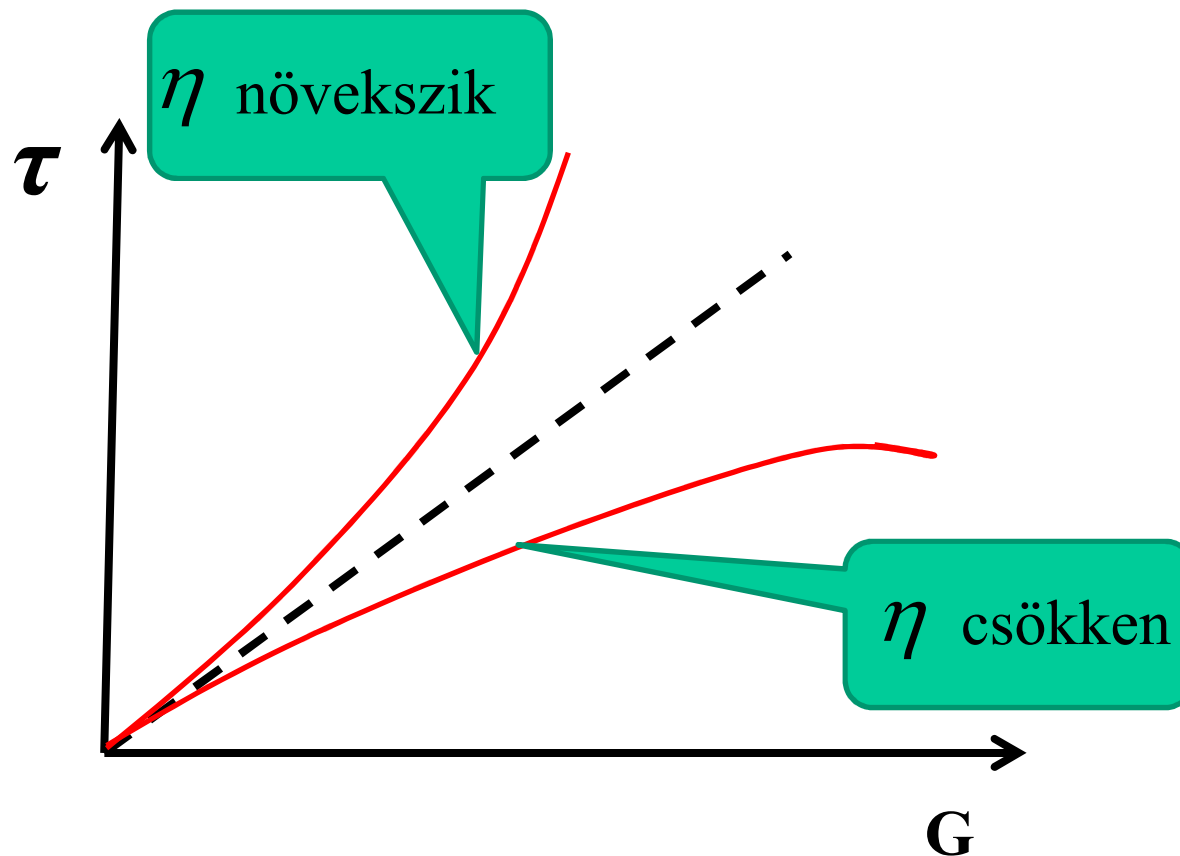
## Newtoni folyadék **folyásgörbéje**



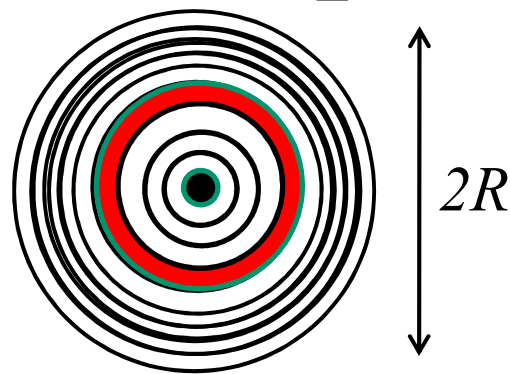
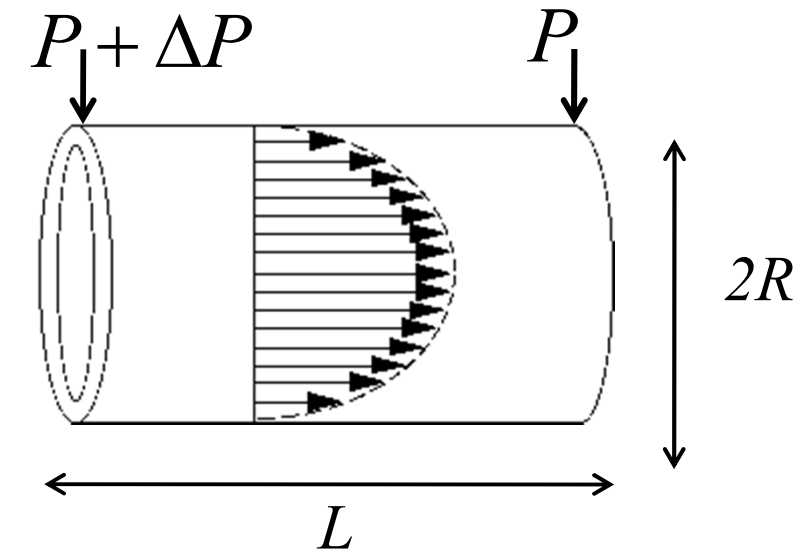


## Nem newtoni folyadékok

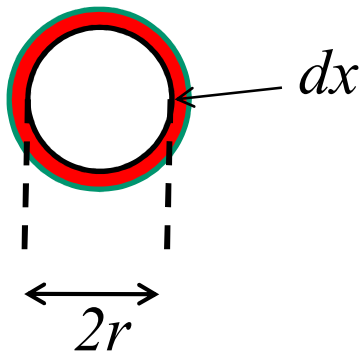
- viszkozitás nagysága az anyagi minőségen kívül a **deformációs hatás mértékétől** és **idejétől** is függ.



## Folyadék áramlása csőben áramlási profil



$$v_x(r = R) = 0$$



$$\tau = -\eta \cdot \frac{dv_x}{dr}$$

$$\tau = \frac{r^2 \pi \cdot dP}{2r\pi \cdot dx} = \frac{r}{2} \cdot \frac{dP}{dx} = \frac{r}{2} \frac{\Delta P}{L}$$

$$dv_x = -\frac{\Delta P}{4L\eta} \cdot 2 \cdot r \cdot dr = -\frac{\Delta P}{4L\eta} \cdot d(r^2)$$

$$v_x(r) = -\frac{\Delta P}{4L\eta} \cdot r^2 + \text{konst.}$$

$$v_x(r) = \frac{\Delta P}{4L\eta} \cdot (R^2 - r^2) = \frac{\Delta P R^2}{4L\eta} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

**Folyadék áramlása csőben**  
*térfogatáram*

$$v_x(r) = \frac{\Delta P R^2}{4L\eta} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

$$v_{\max} = \frac{R^2}{4\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L}$$

$$v_x(r) = v_{\max} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

$$I_V = 2\pi \cdot \int_0^R r \cdot v_x(r) \cdot dr$$

$$I_V = 2\pi \cdot \int_0^{R_0} r \cdot v_{\max} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right) \cdot dr$$

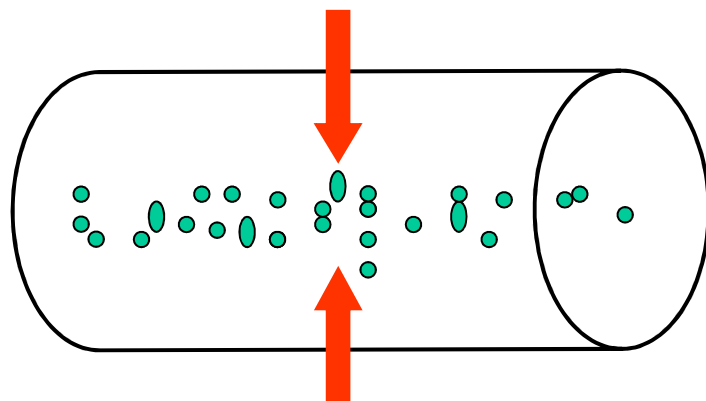
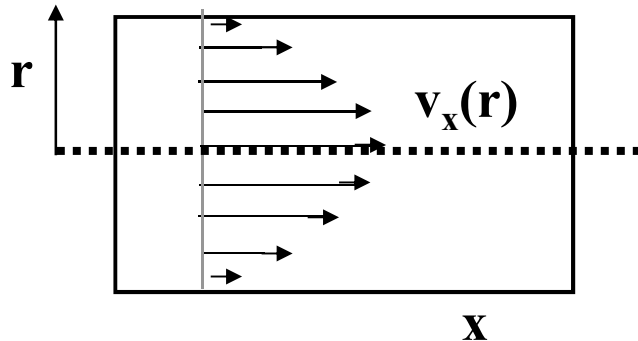
$$I_V = \frac{\pi \cdot R_o^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L}$$

$$\overline{v_x} = \frac{I_V}{R_o^2 \pi} = \frac{R_o^2}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L} = \frac{1}{2} v_{\max}$$

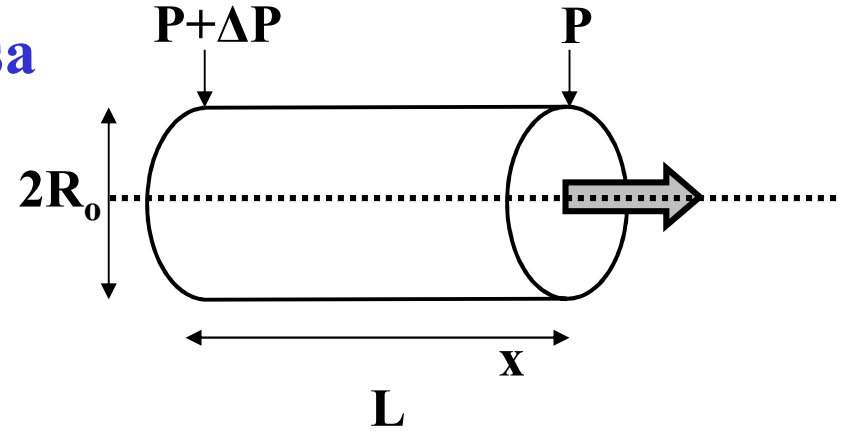
# Newtoni folyadék lamináris áramlása

(összefoglalás)

## Parabolikus sebesség profil



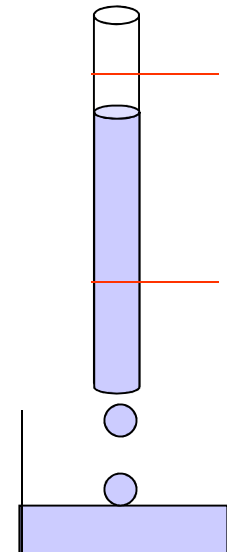
$$p + \frac{1}{2} \rho v_x^2 + \rho gh = \text{const} \quad \text{Bernoulli törvény}$$



$$v_z(r) = \frac{\Delta P R_0^2}{4L\eta} \cdot \left( 1 - \frac{r^2}{R_0^2} \right)$$

## Hagen-Poiseuille törvény

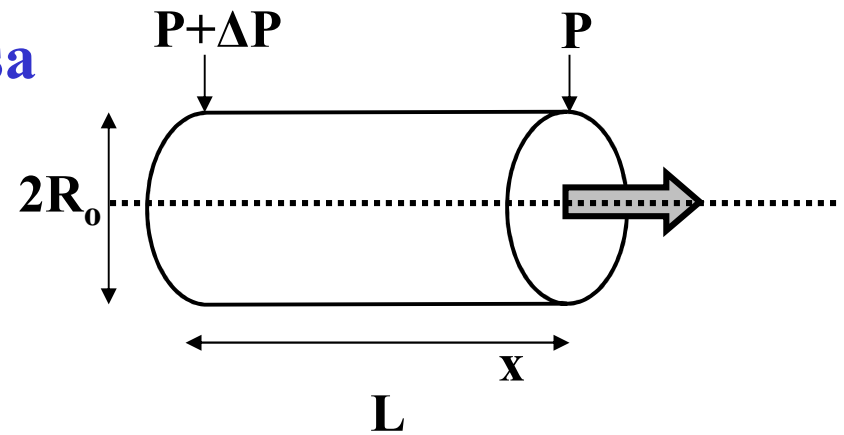
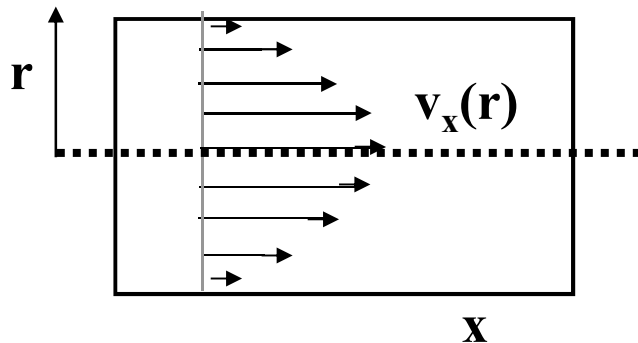
$$I_V = \frac{\pi \cdot R_o^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L}$$



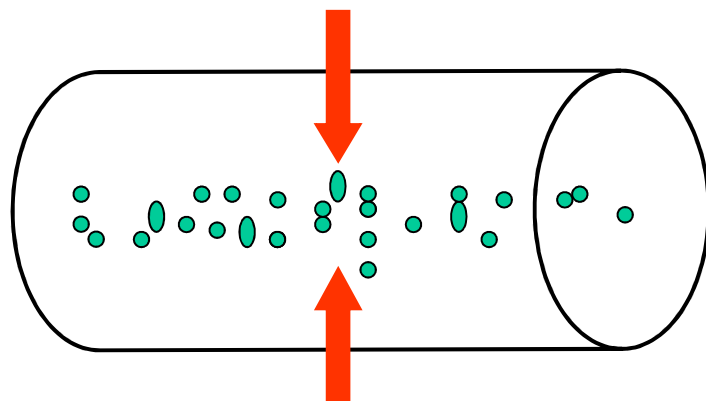
# Newtoni folyadék lamináris áramlása

(összefoglalás)

## Parabolikus sebesség profil



$$v_z(r) = \frac{\Delta P R_0^2}{4L\eta} \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R_0^2}\right)$$

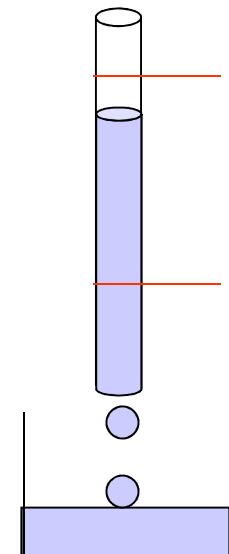


## Hagen-Poiseuille törvény

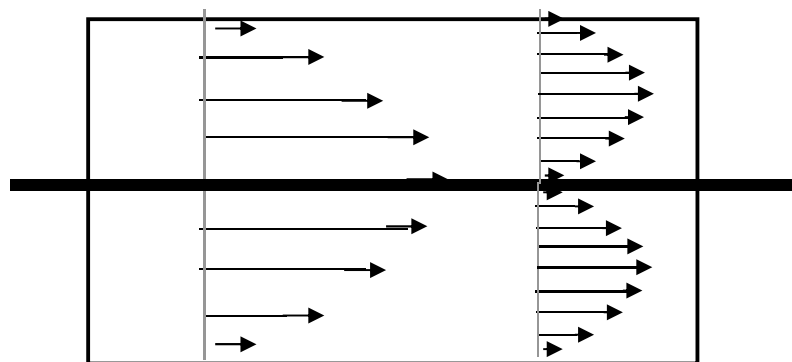
$$I_V = \frac{\pi \cdot R_o^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{L}$$

$$p + \frac{1}{2} \rho v_x^2 + \rho gh = const \text{ Bernoulli törvény}$$

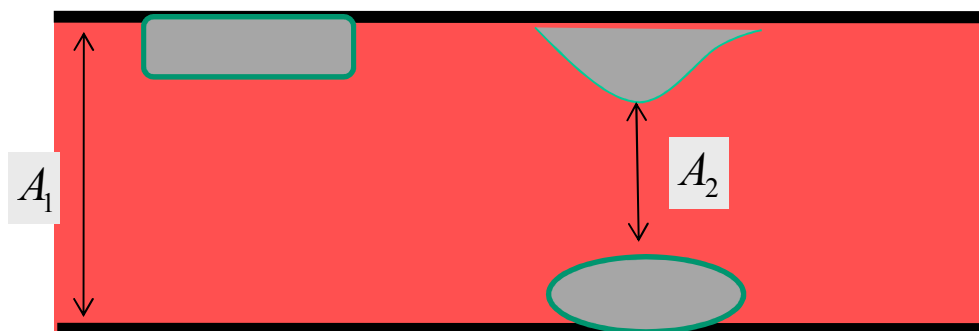
Térfogatóram



## *Parabolikus sebesség profil módosulása*



katéter



turbulens



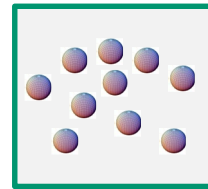
# Híg szuszpenziók viszkozitása

Általában *newtoni* viselkedés

**Einstein**-egyenlet



$$[\eta] = 2.5\Phi$$

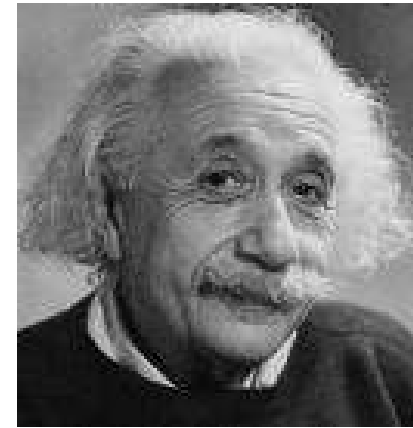


$$\eta = \eta_o (1 + 2.5\Phi)$$

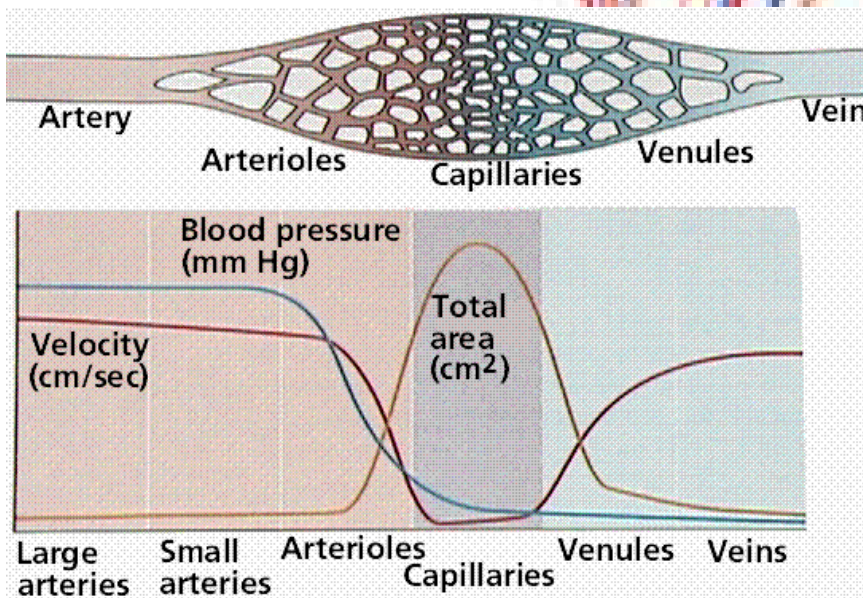
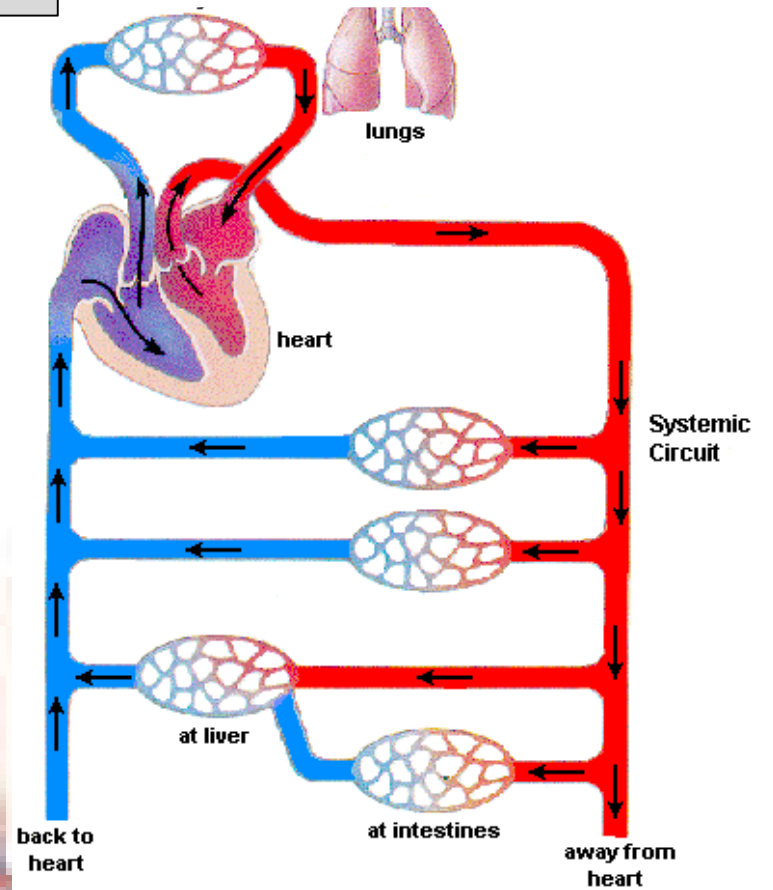
Térfogati tört

**Stokes-Einstein**  
egyenlet:

$$D = \frac{k_B T}{6\pi\eta a_r}$$



# Hemoreol6gia



# Vér áramlása elágazó erekben



$$I_V = \frac{\pi \cdot R_o^4}{8\eta L} \cdot \Delta P = \frac{1}{R_{res}} \cdot \Delta P$$

$$R_{res} (soros) = \sum_i R_{res,i}$$

$$R_{res} (párhuzamos) = \sum_i \frac{1}{R_{res,i}}$$

érszakasz	átmérő cm	hossz cm	elágazások száma	áramlási seb. cm/s
aorta	2,4	40	1	23
artériák	0,4	15	160	5
kapillárisok	0,0007	0,07	$1,2 \cdot 10^{10}$	0,022
vénák	0,5	15	200	2,5