

A Le Châtelier elvtől a homeosztázisig.
Osmolaritás, pH a biokémiában.
Pufferrendszerek a vérben.

A kémia vizsgától a biokémia szigorlatig

Dr. Lengyel Anna

Kolligatív tulajdonságok

Híg oldatok kolligatív tulajdonságai kizárólag az anyag mennyiségétől függenek és függetlenek annak kémiai minőségétől.

A tiszta oldószerhez viszonyítva a híg oldat kolligatív tulajdonságai:

- Gőznyomáscsökkenés
- Forráspontemelkedés
- Olvadáspontcsökkenés
- Ozmózisnyomás

Ozmózis – a fizikai jelenség

- *Ozmózis (általánosságban)*: az oldószer áramlása féligáteresztő hártyán (szemipermeábilis membránon) keresztül az alacsonyabb koncentrációjú oldatból a magasabb koncentrációjú oldat irányába.

(Oldószer mozgása a magasabb oldószer-koncentrációjú azaz hígabb oldat felől az alacsonyabb oldószer-koncentrációjú azaz töményebb oldat felé féligáteresztő hártyán keresztül)

- *Ozmózisnyomás (Π)*: az oldószer beáramlásának (azaz az ozmózis jelenségének) megállításához szükséges nyomás (a koncentráltabb oldatra kell kifejteni)

Ozmózisnyomás

$$\Pi = i c R T$$

- Π = ozmózisnyomás (kPa)
- i = van't Hoff faktor
- c = az **összes** oldott anyag molaritása (mol/dm³),
azaz $i \cdot c = i_1 \cdot c_1 + i_2 \cdot c_2 + i_3 \cdot c_3 + \dots i_n \cdot c_n$
- R = univerzális gázállandó (8,314 J/mol·K)
- T = hőmérséklet (K)

Kérdés

Mi a különbség molaritás és ozmolaritás (ozmotikus koncentráció) között?

- Molaritás (c): mol oldott anyag 1 dm³ oldatban
- Ozmolaritás (c_{osm}): az összes oldott anyag molaritása, azaz
$$i \cdot c = i_1 \cdot c_1 + i_2 \cdot c_2 + i_3 \cdot c_3 + \dots + i_n \cdot c_n$$

Nézzünk egy konkrét példát:

- Molaritás: Egy 100 millimólos nátriumklorid oldat 0,1 Mol NaCl-ot tartalmaz literenként ($c = 0,1 \text{ mol/l} = 100 \text{ mmol/l}$).
- Ozmotikus koncentráció: az oldatban a konyhasó disszociál Na⁺ és Cl⁻ ionokra, így 0,2 Mol az oldott ozmotikusan aktív részecske ($c_{\text{osm}} = 0,2 \text{ osmol/l} = 200 \text{ mosmol/l}$). Valójában az ozmolaritás ennél valamivel kisebb, mivel nem az összes részecske disszociál és az oldhatóság hőmérsékletfüggő.

Kérdés

Mennyi a vérplazma normál ozmotikus koncentrációja?

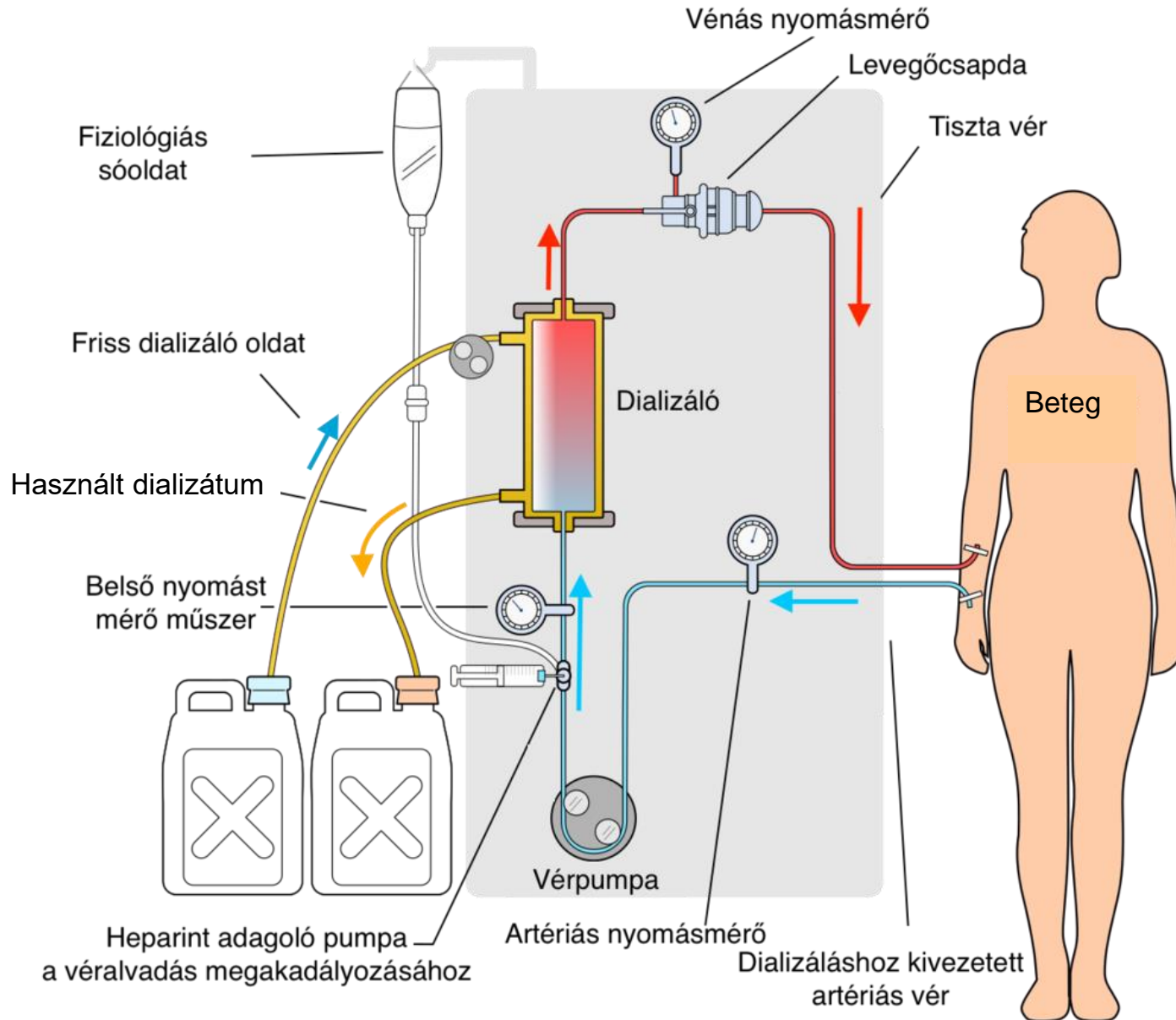
A vérplazma ozmolaritása:

290 milliosmol $< c_{BP} < 310$ milliosmol
ami megfelel

~150 mM NaCl (0,9%)
(*izotóniás vagy fiziológias sóoldat*)

milliosmol = mOsm = mosmol/l

Hemodialízis



Kérdés

Compared to water, the environment on the inside of the blood cell could best be described as:

- a. hypertonic
- b. ginandtonic
- c. isotonic
- d. hypotonic

Kérdés

Oldat	Hipotóniás	Izotóniás	Hipertóniás
0,3M konyhasó			
0,05M glükóz			
0,1M kalciumklorid			
0,1M nátriumfoszfát			
0,15M karbamid			
0,15M káliumklorid			
0,1M mannóz			
0,1M magnéziumklorid			
0,3M laktát			
0,1M etanol			

Kérdés

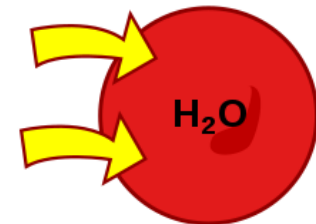
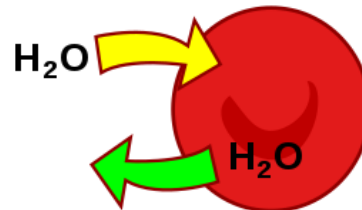
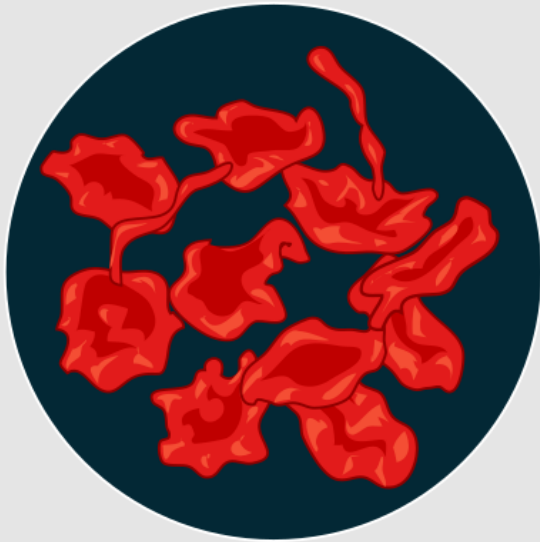
Kiszáradás (dehidráció) kezelésére izotóniás sóoldatot használunk hipertóniás vagy hipotóniás sóoldatok helyett, mert _____.

- A.** az izotóniás sóoldat nem okoz további vízvesztést, azaz a sejtek zsugorodását, sem túlhidratálódást, azaz a sejtek duzzadását.
- B.** az izotóniás sóoldat a sejtek zsugorodását okozza, ezért nehezebb túlhidratálni őket.
- C.** az izotóniás sóoldat a sejtek duzzadását okozza, ezért nehezebb őket újra dehidratálni.
- D.** az izotóniás sóoldat egyáltalán nem jobb a többi oldathoz képest.

Hypertonic

Isotonic

Hypotonic



Kérdés

Mi történne, ha a betegnek tiszta vizet adnánk intravénásan?

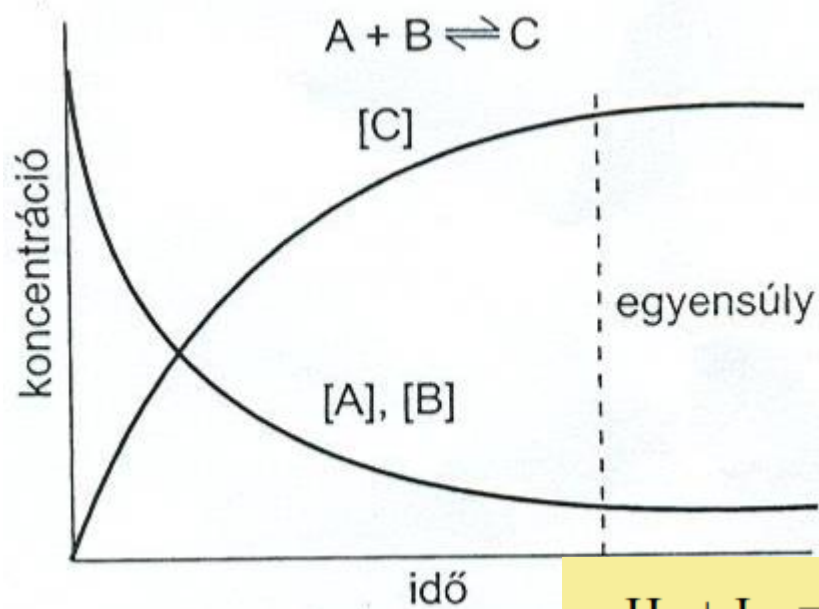
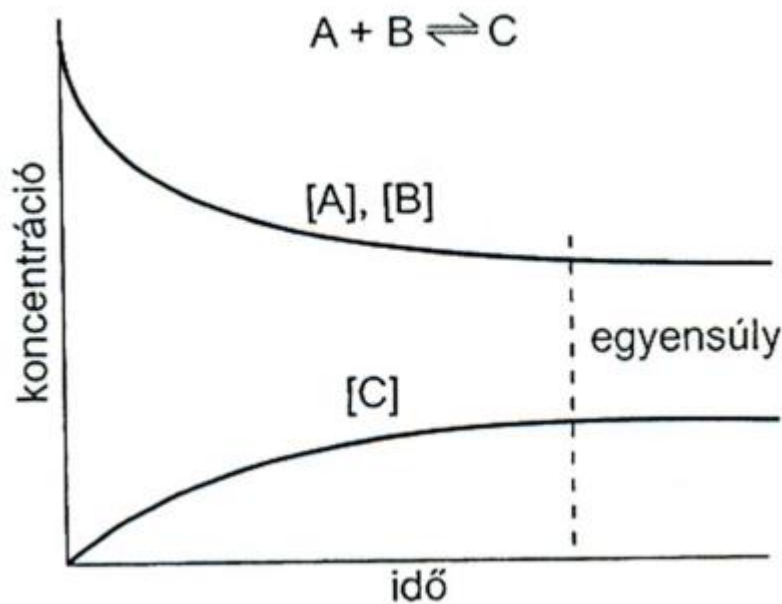
- a. A vérsejtjei zsugorodnának.
- b. A vérsejtjei szétdurrannának.
- c. A beteg lassan rehidratálódna.
- d. Kitüntetést kapnánk az orvosi ellátás kiemelkedő szintje miatt.

Kérdés

Az előző esetben milyen irányba mozog a víz?

- a) a vérsejtekbe
- b) a vérsejtekből kifelé
- c) egyszerre befelé és kifelé, nettó változás nélkül
- d) nem mozog a víz

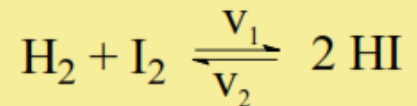
Kémiai egyensúlyok



Az egyensúly kialakulhat a kiindulási anyagok és a termékek oldalán is. (Ha a kiindulási anyagok koncentrációja nagyobb, mint a termékeké: bal oldali ábra, vagy ha a termékek koncentrációja a nagyobb: jobb oldali ábra.)

Reverzibilis, dinamikus, az előrehaladó és visszahaladó reakció sebessége azonos.

A tömeghatás törvénye adja meg az egyensúlyi állandó (K) értékét.



$$V_1 = k_1 \cdot [\text{H}_2] [\text{I}_2]$$

$$V_2 = k_2 \cdot [\text{HI}]^2$$

$$\text{Egyensúlyban: } V_1 = V_2$$

$$k_1 \cdot [\text{H}_2] [\text{I}_2] = k_2 \cdot [\text{HI}]^2$$

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]}$$

A legkisebb kényszer elve

Le Châtelier-Braun elv

Ha az egyensúlyi rendszert külső hatás éri, akkor úgy változik meg az egyensúly, hogy a külső változást csökkentse.

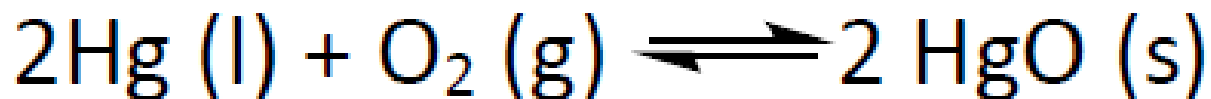
Ilyen külső hatás lehet:

- Koncentráció változása
- Hőmérséklet változása
- Nyomás változása (gázoknál)

Kérdés



- Milyen típusú az egyensúly?
- Mi történik az egyensúllyal, ha
 - a. növeljük a nyomást?
 - b. eltávolítjuk az NH_3 -t?
 - c. eltávolítjuk a N_2 -t?
 - d. katalizátort adunk hozzá?



$$\Delta H^\circ = -180 \text{ kJ}$$

$[\text{O}_2] \uparrow$ Milyen esetben válik ez valóra?

Hőmérséklet növelés:

exoterm reakciónál a reaktáns képződés felé

endoterm reakciónál a termékek képződése felé

Hőmérséklet csökkentés:

exoterm reakciónál a termékek képződése felé

endoterm reakciónál a reaktáns képződés felé

Oldhatóság

Oldhatóság: adott hőmérsékleten, egy bizonyos mennyiségű oldószerben maximálisan feloldható anyag mennyisége.

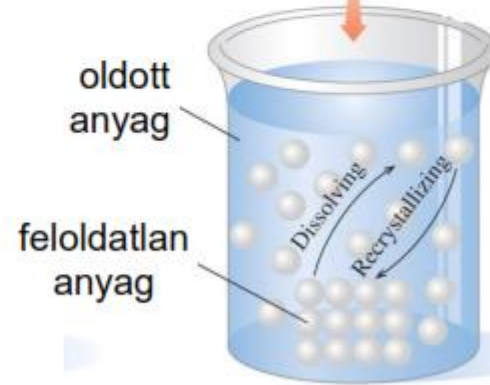
Megadható mint a telített oldat koncentrációja adott hőmérsékleten.

Függ a hőmérséklettől, és gázok esetében a nyomástól is.



telítetlen oldat

A maximálisnál kevesebb oldott anyagot tartalmaz, további anyagot képes feloldani.



telített oldat

Maximális mennyiségű oldott anyagot tartalmaz. További anyagot hozzáadva az az edény alján marad feloldatlanul.

A nyomás hatása a gázok oldhatóságára

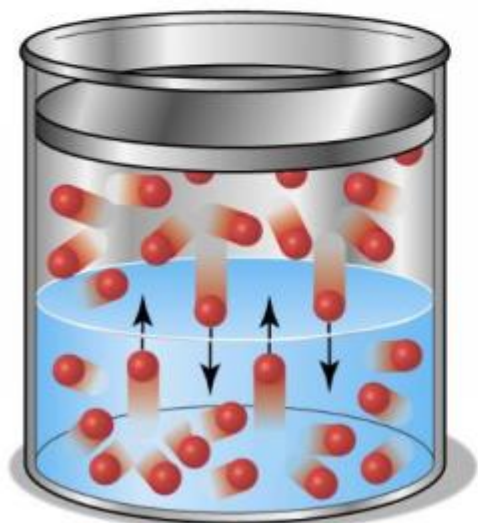
Henry törvénye:

$$\text{oldhatóság} = k \cdot p$$

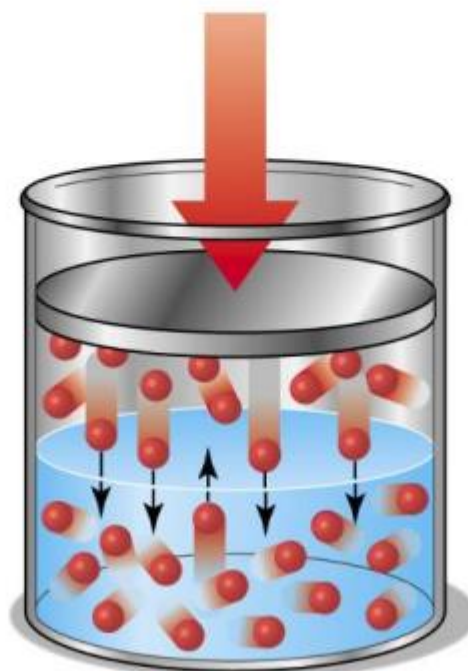
p : a gáz parciális nyomása az oldat felett

k : konstans,

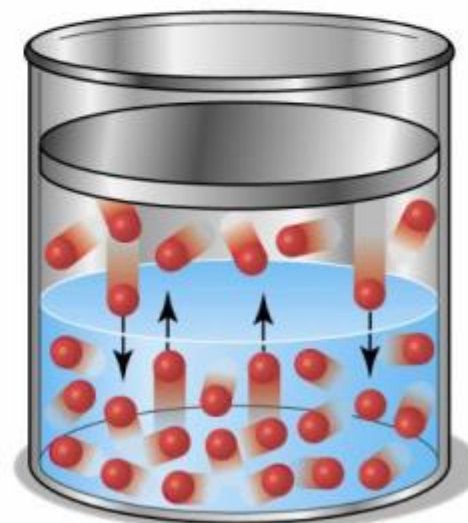
a hőmérséklettől és az anyagi minőségtől függ



egyensúly

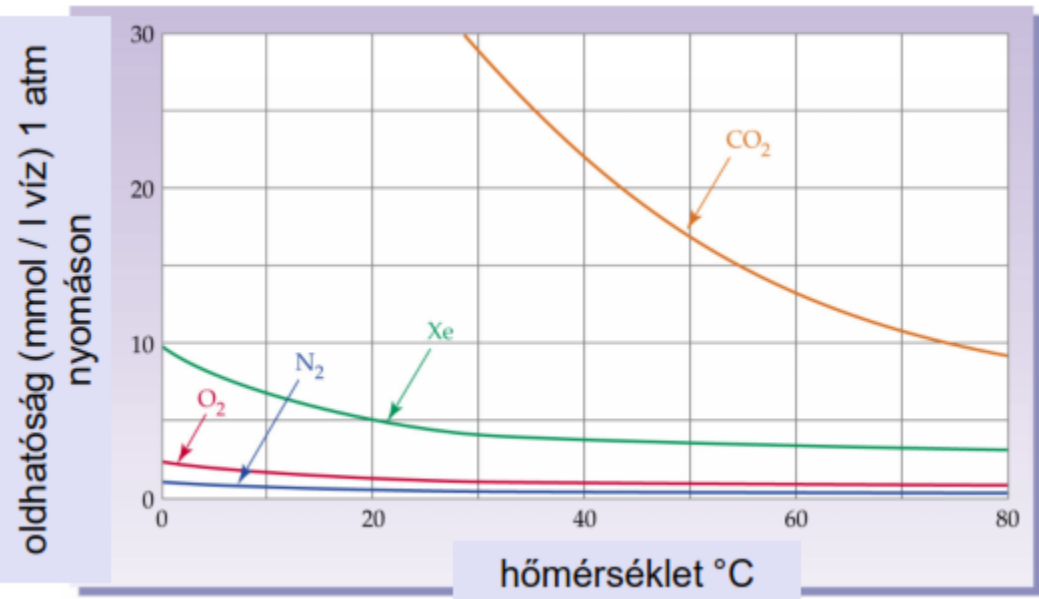


nyomás növelése



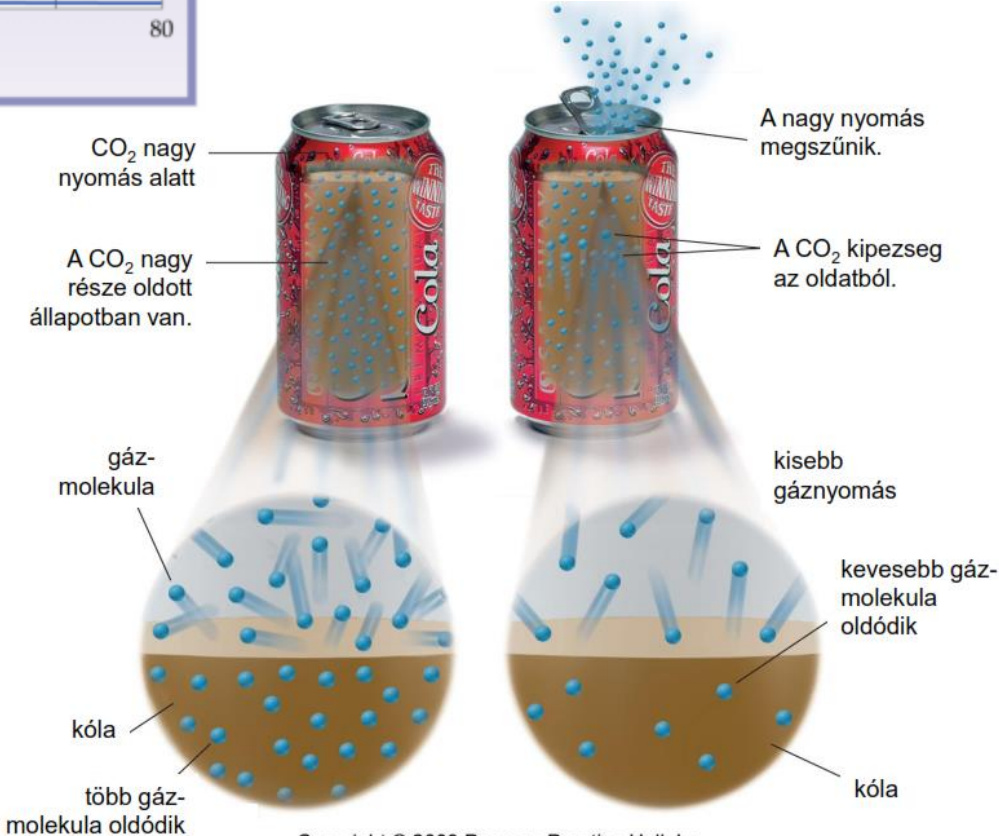
új egyensúly

Gázok oldhatósága: fordítottan arányos a hőmérséklettel



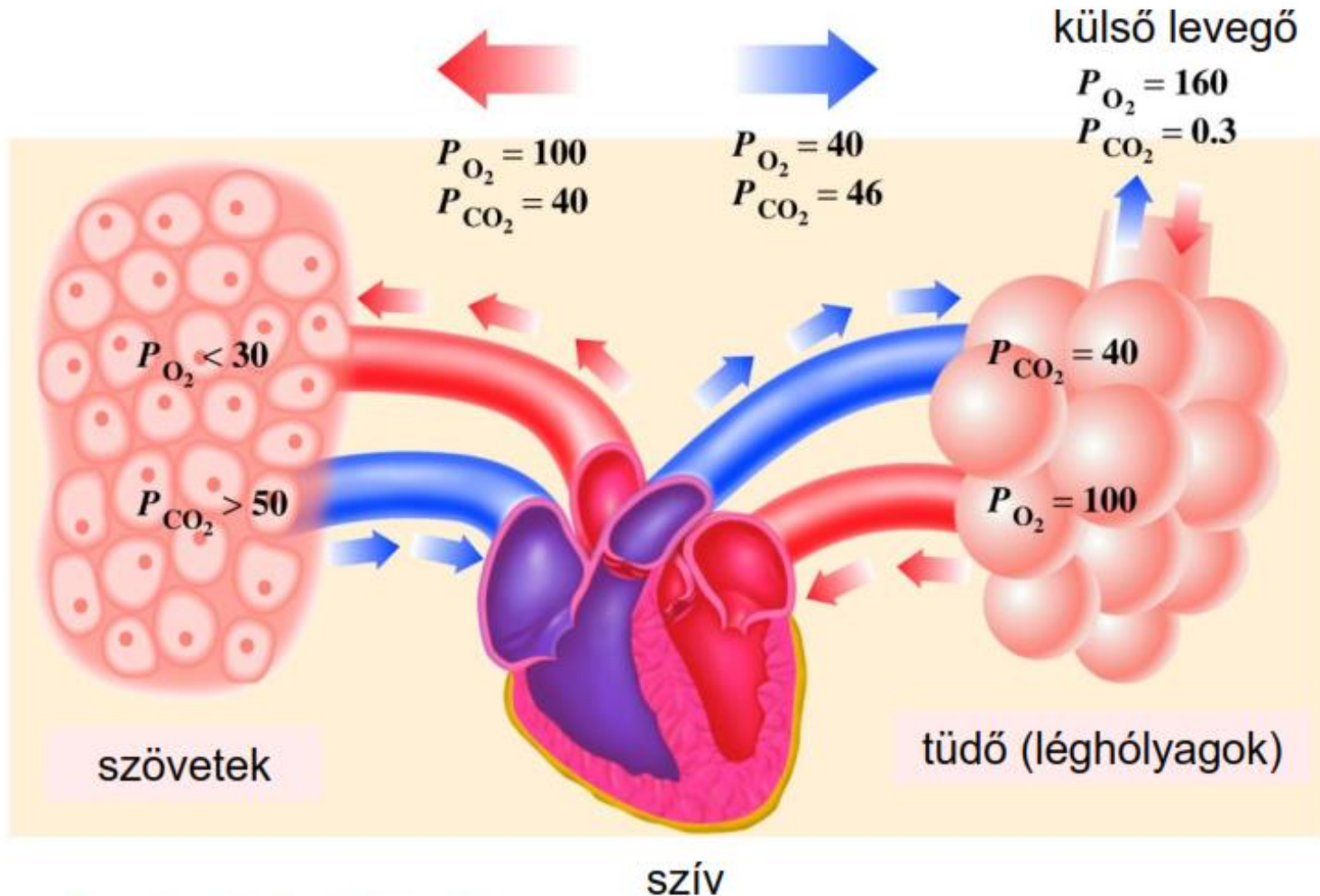
Kérdés

Miért isszuk a kólát, sört, pezsgőt hidegen, míg a teát melegen?



A vérben oldott gázok

- A tüdőben az O_2 beoldódik a vérbe, míg a CO_2 kiválik a vérből.
- A szövetekben az O_2 kilép a sejtekbe, míg a CO_2 beoldódik a vérbe.



Elektrolitok

Elektrolitok: ionok képződése poláros kovalens vagy ionos vegyületek vizes oldatában.

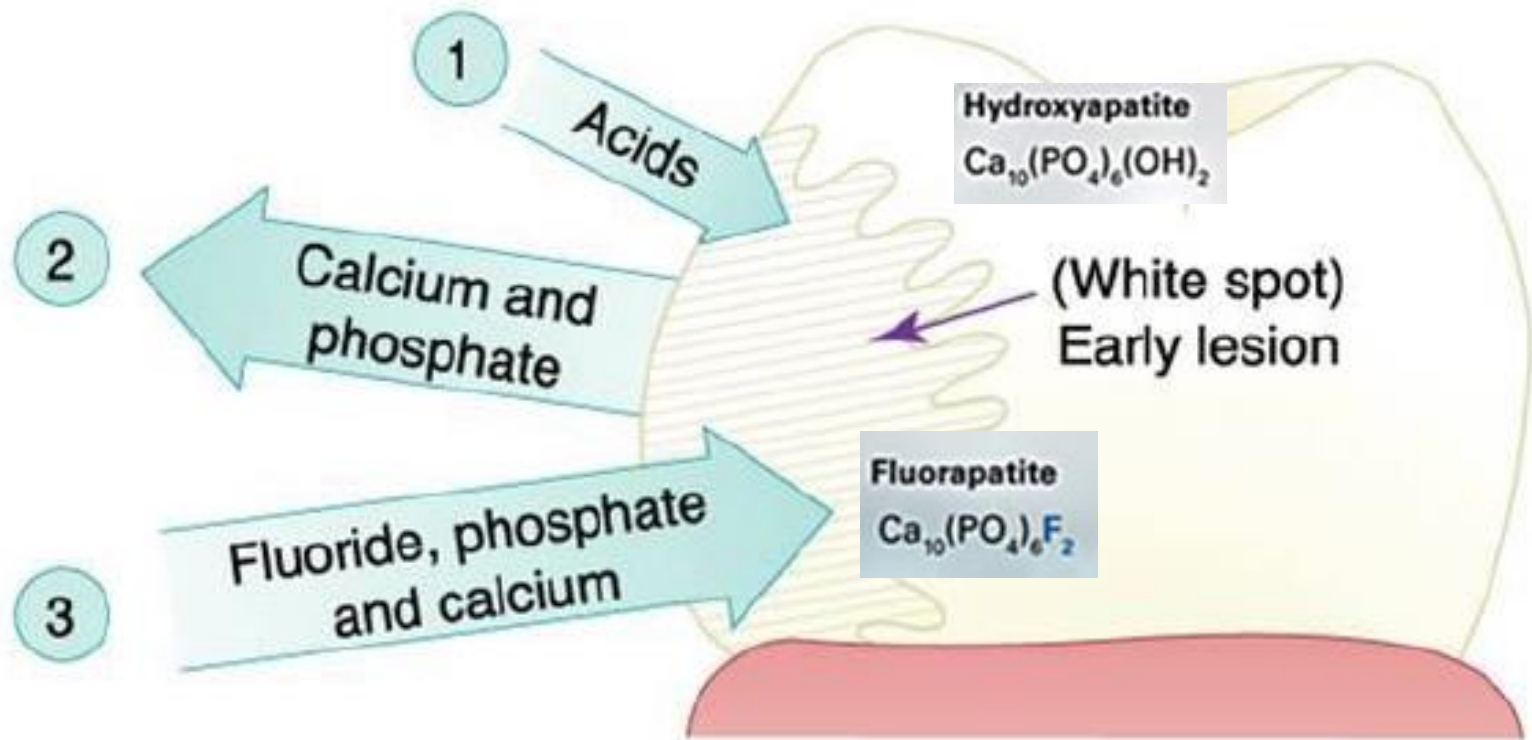
Elektrolitikus disszociáció: ionok felszabadulása az elektrolit vízben való oldódása során (az ionrácsból, ion-dipol-kölcsönhatások, hidrátburok képződése)

Erős elektrolitok: gyakorlatilag teljesen disszociálnak (70-100%), ezért vezetik az elektromos áramot. pl.: erős savak, erős bázisok, vízoldható sók
Szilárd halmazállapotban nincsenek ionok, amik mozoghatnának.

Gyenge elektrolitok: csak részlegesen, kis mértékben disszociálnak, főleg a bomlatlan molekula van jelen. pl.: gyenge savak, gyenge bázisok

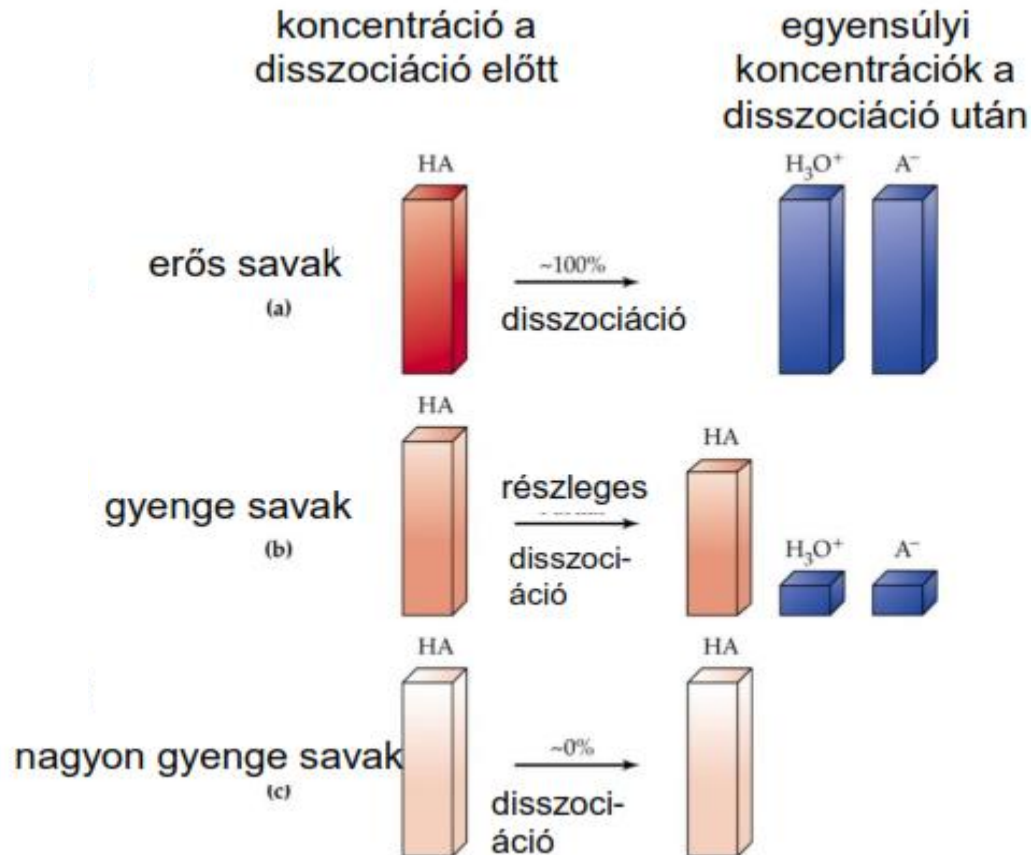
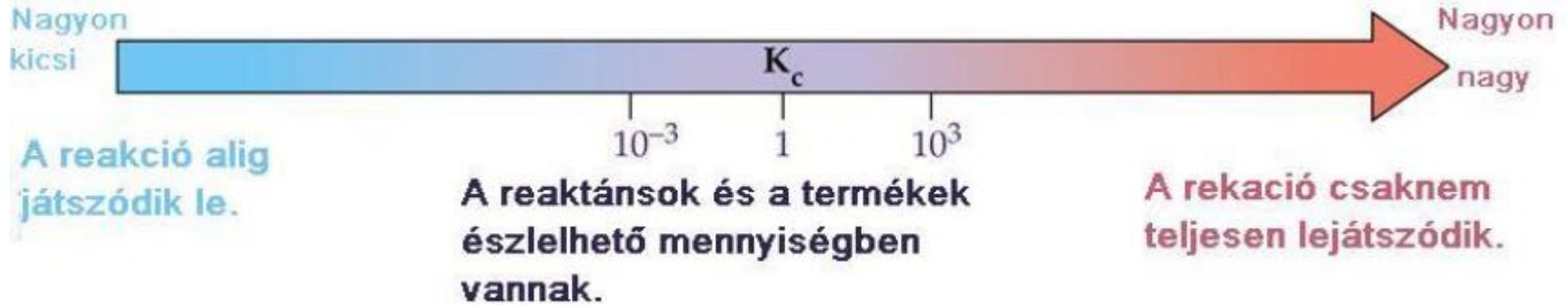
Nemelektrolitok: oldatukban nem képződnek ionok, ezért egyáltalán nem vezetik az elektromos áramot. pl.: etanol, szacharóz, karbamid

Oldhatóság: a telített oldat koncentrációjának felel meg egy adott **hőmérsékleten**.
Bázikus aniont tartalmazó ionos vegyületek jobban oldódnak **alacsonyabb pH-n**.



1. The tooth is attacked by acids in plaque and saliva.
2. Calcium and phosphate dissolve from the enamel in the process of demineralization.
3. Fluoride, phosphate and calcium re-enter the enamel in a process called remineralization.

Gyenge vagy erős?



Gyenge elektrolitok

Mivel csak részlegesen, kis mértékben disszociálnak, az oldott molekula és az ionok egyensúlya jellemző.

Disszociációfok (α)

Az egyensúlyhoz vezető reakciónál megmutatja, hogy mennyi a disszociált anyagmennyiség az összes kiindulási anyagmennyiséghez viszonyítva.

Értéke: 0-1 közötti. Esetenként %-ban is megadható. Mindig a koncentrációtól függ (hígítással nő).

$$\alpha = \frac{\text{a disszociált mólok száma}}{\text{a kezdeti mólok száma}}$$

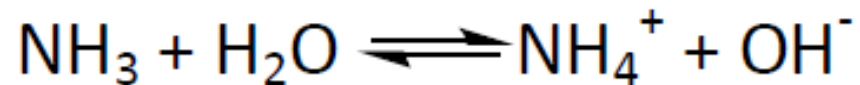
Ha **HA** egy gyenge sav, és kezdeti koncentrációja c (mol/dm³), a disszociációs konstans (K_a) számításának egyenlete:

$$K_s = \frac{c\alpha^2}{1 - \alpha} \quad \text{ahol } 1 - \alpha \text{ kerekíthető } 1\text{-re}$$

A tömeghatás törvénye

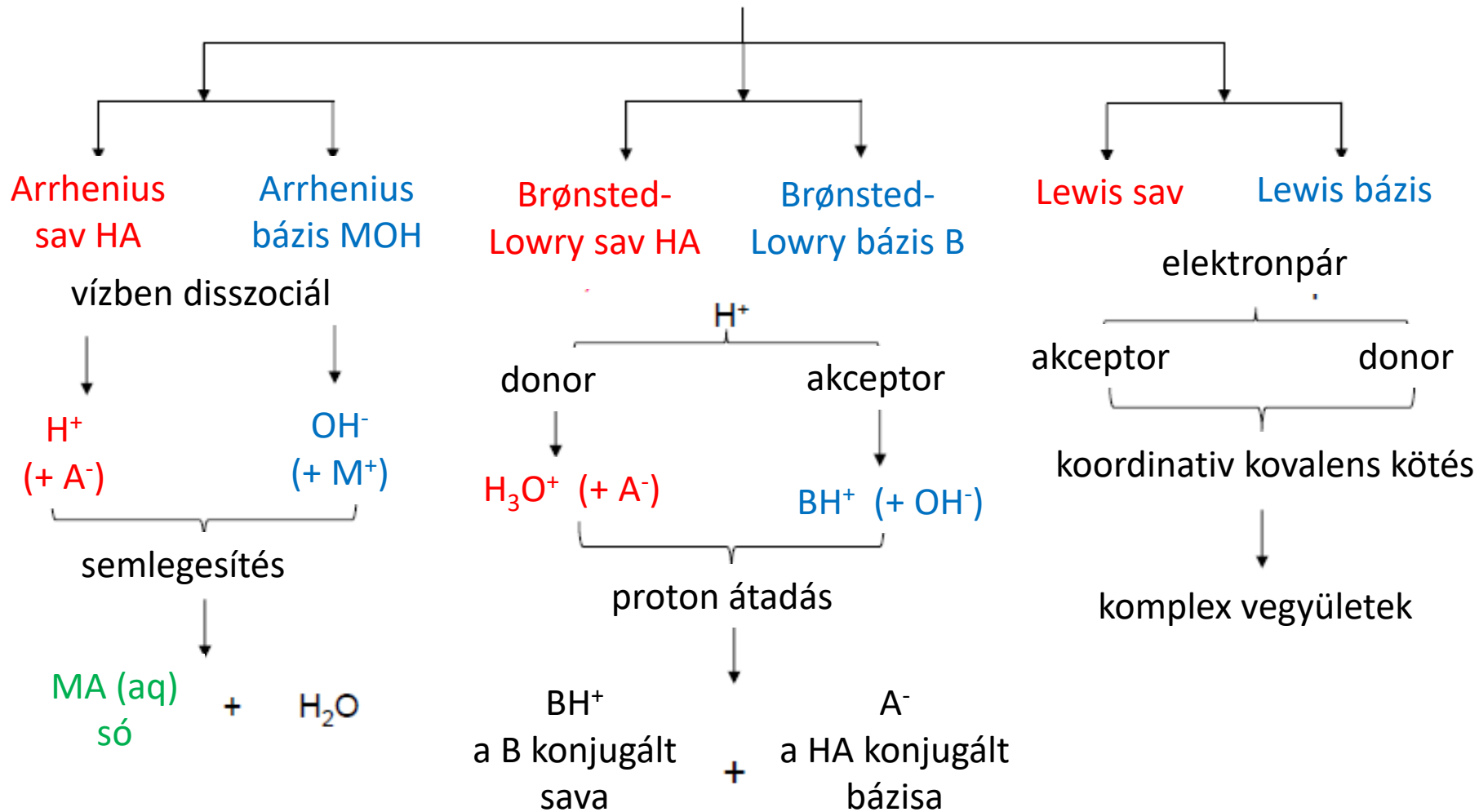


$$K_a = \frac{[\text{HCOO}^-][\text{H}^+]}{[\text{HCOOH}]}$$



$$K_b = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3]}$$

SAVAK és BÁZISOK



Lehetnek:

- Erősek vagy gyengék
- Egyértékűek vagy többértékűek

Arrhenius sav-bázis elmélete:

Savak: vízben való disszociációjuk során H^+ - vagy H_3O^+ -ionok keletkeznek.



Bázisok: vízben való disszociációjuk során OH^- ionok keletkeznek.



Brønsted-Lowry elmélet:

Savak: protondonor molekulák vagy ionok pl.: NH_4^+ , HSO_4^-

Bázisok: protonakceptor anyagok pl.: CN^-

Sav-bázis reakciók: mindig protonátadás zajlik.

A sav konjugált bázissá, a bázis konjugált savvá alakul a proton átadása kapcsán.

Lewis elmélet: (Datív vagy koordinatív kötés)

Lewis-savak: elektronpár akceptorok

Lewis-bázisok: elektronpár donorok

Amfotéria

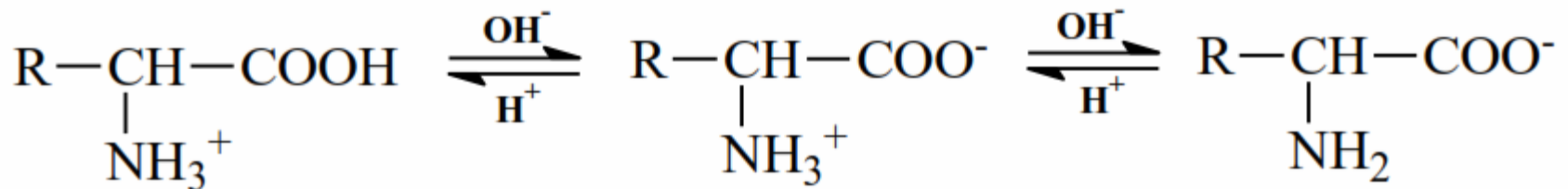
Az amfoter vegyületek savakként és bázisokként is viselkedhetnek a reakció partnertől függően.

Szervetlen amfoter vegyületek

Amfoter oxidok: nem vízdékony oxidok, melyek savakban és bázisokban is jól oldódnak (pl. Al_2O_3 , ZnO).

A cinkoxidot az orvosi gyakorlatban kenőcsökben, vizes adsztrिंगens oldatokban használják (semlegesíti a savakat).

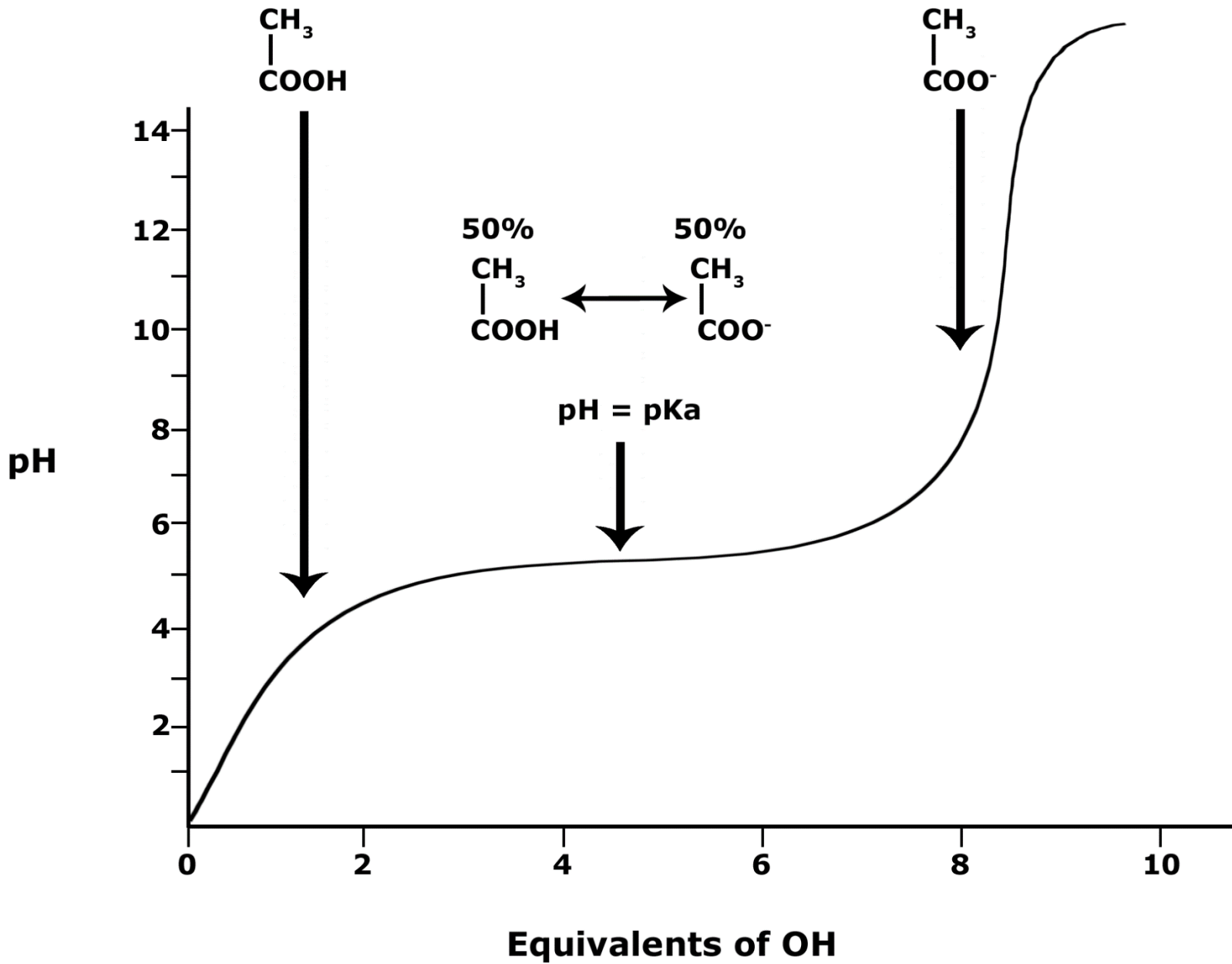
Az aminosavak amfoter tulajdonsága

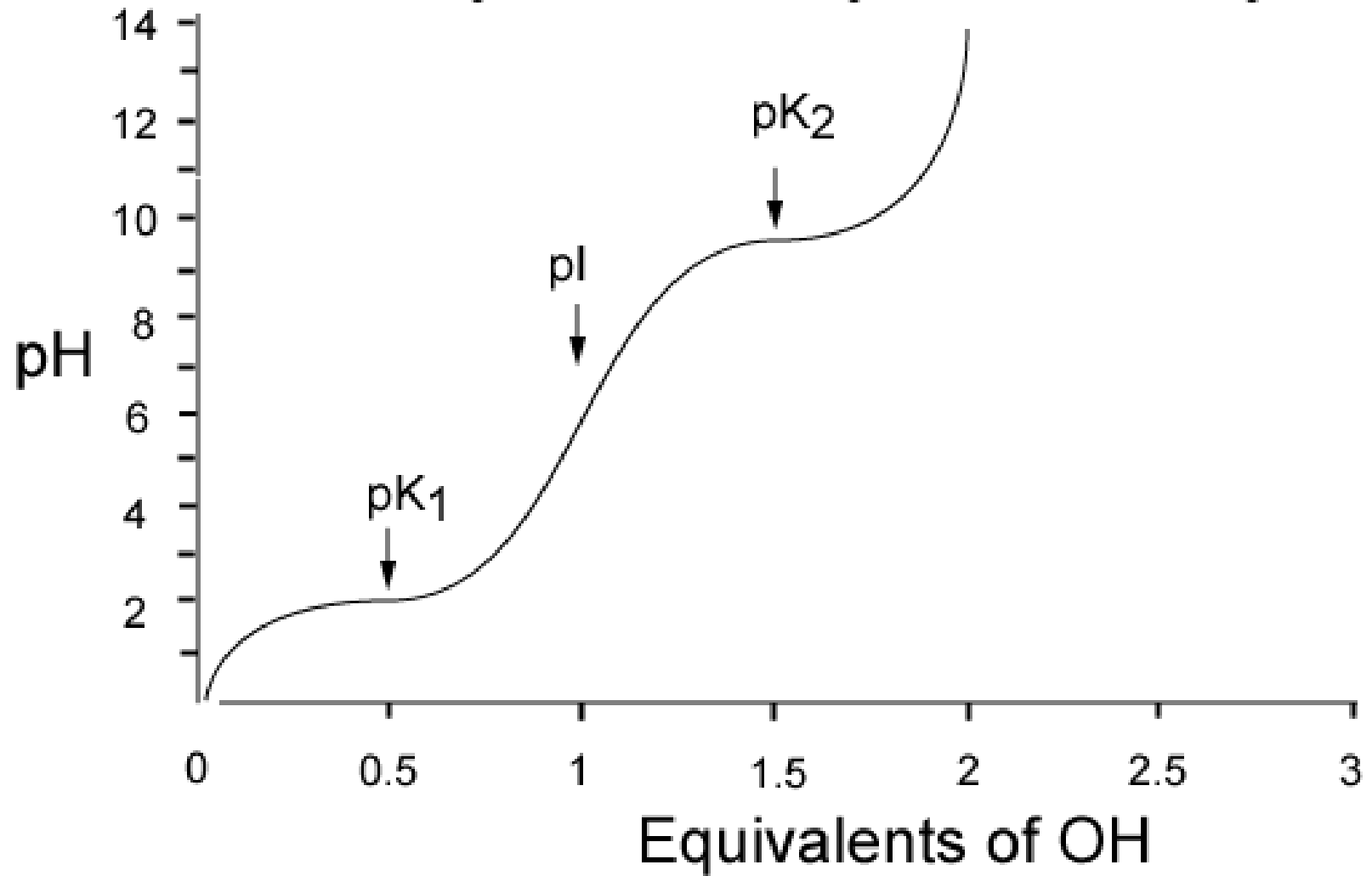
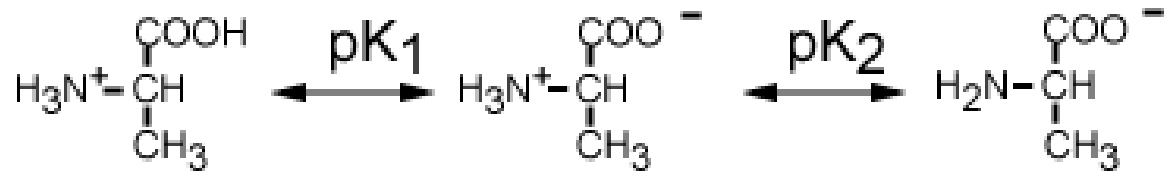


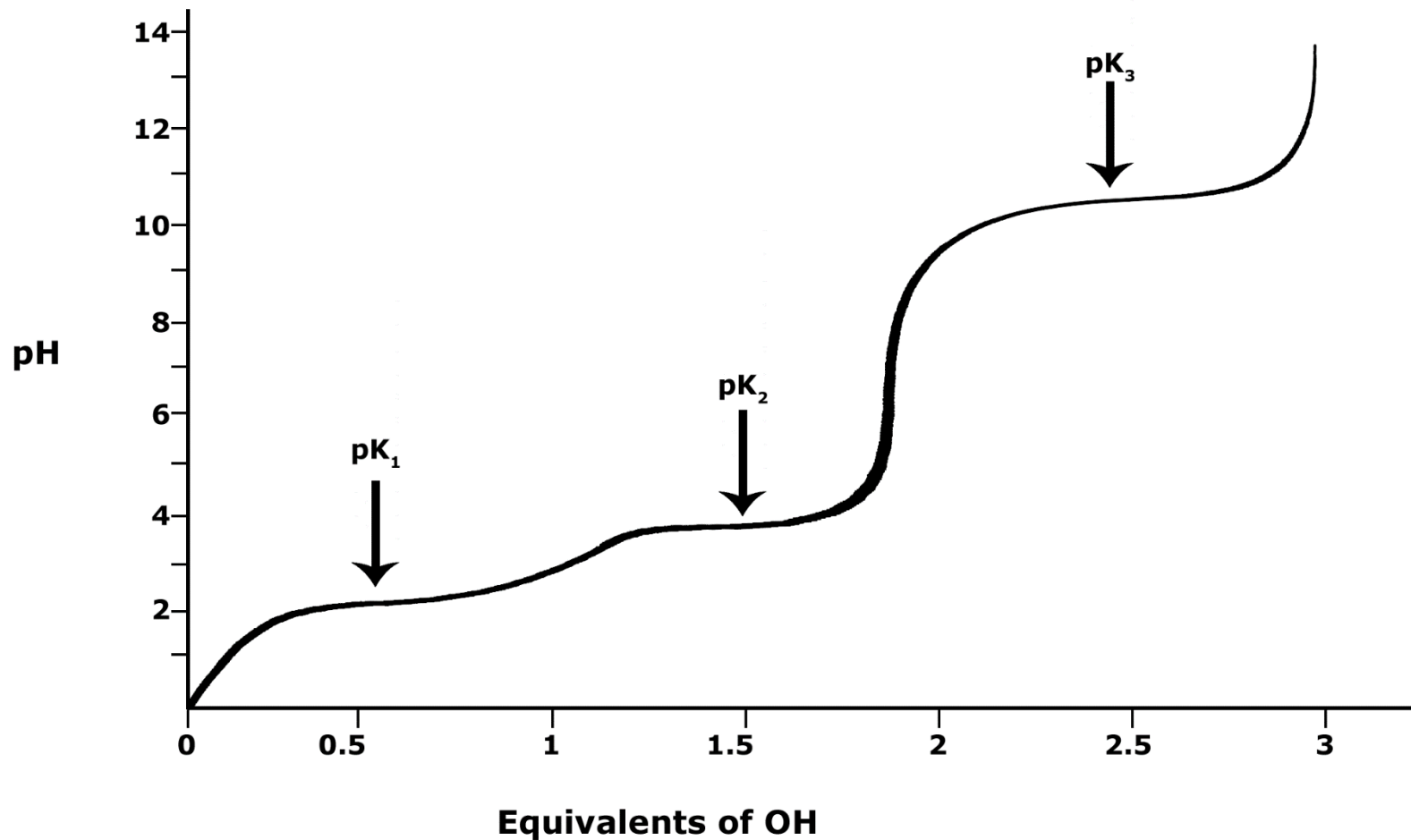
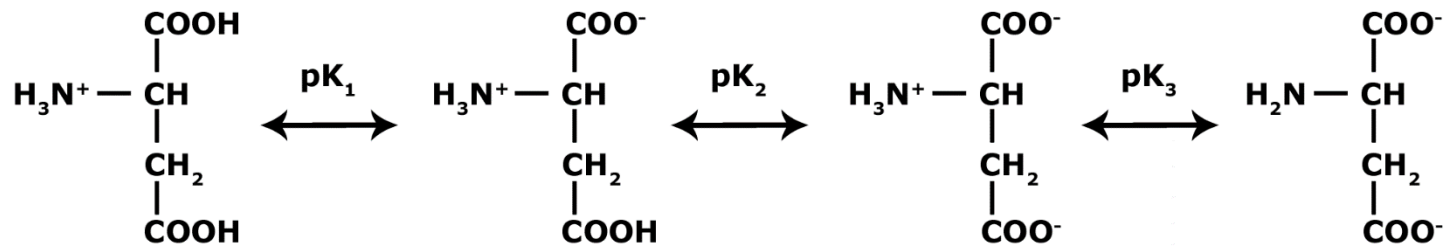
kation
(savas közeg)

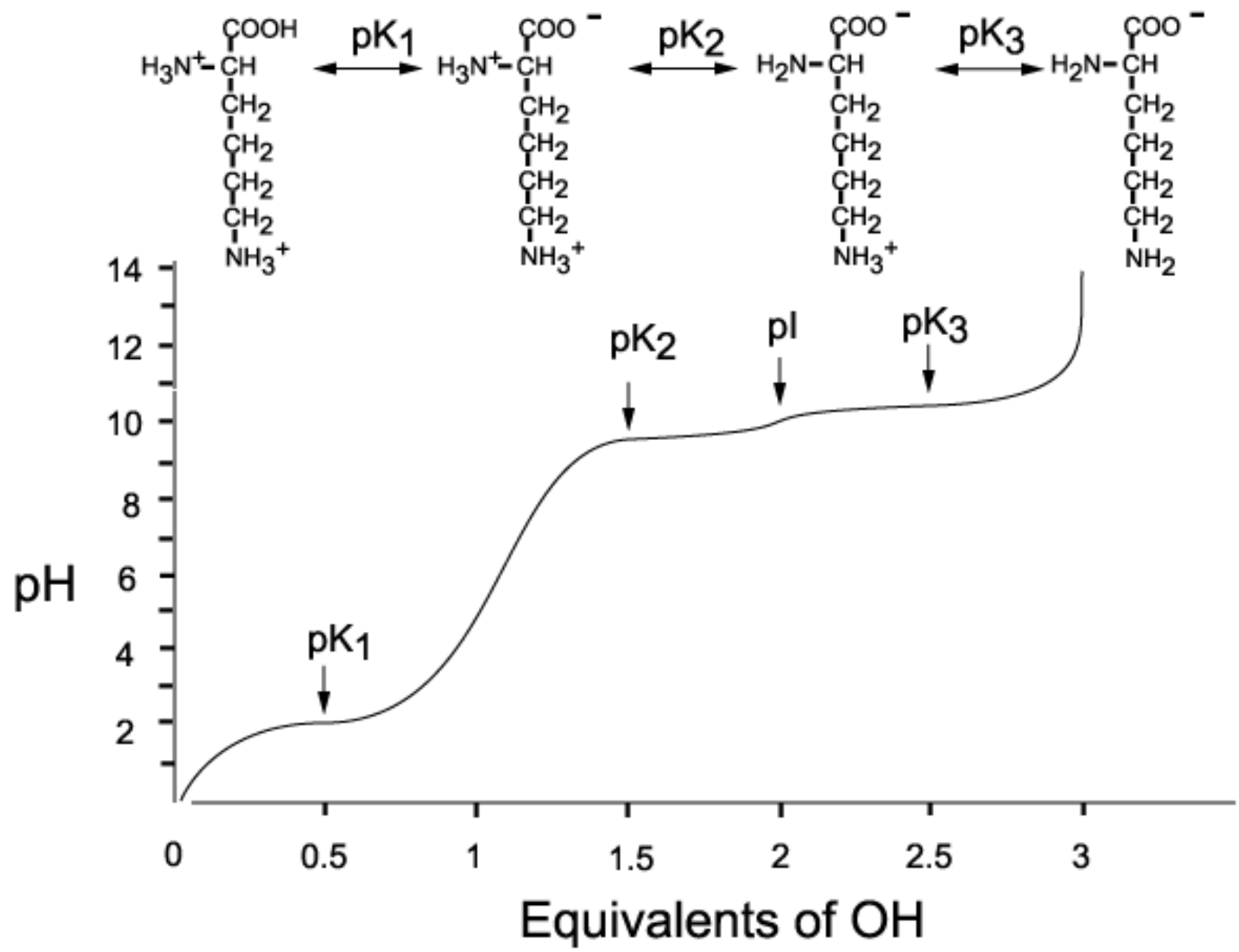
ikerion
(~ semleges közeg)

anion
(lúgos közeg)



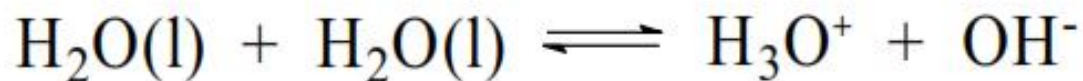
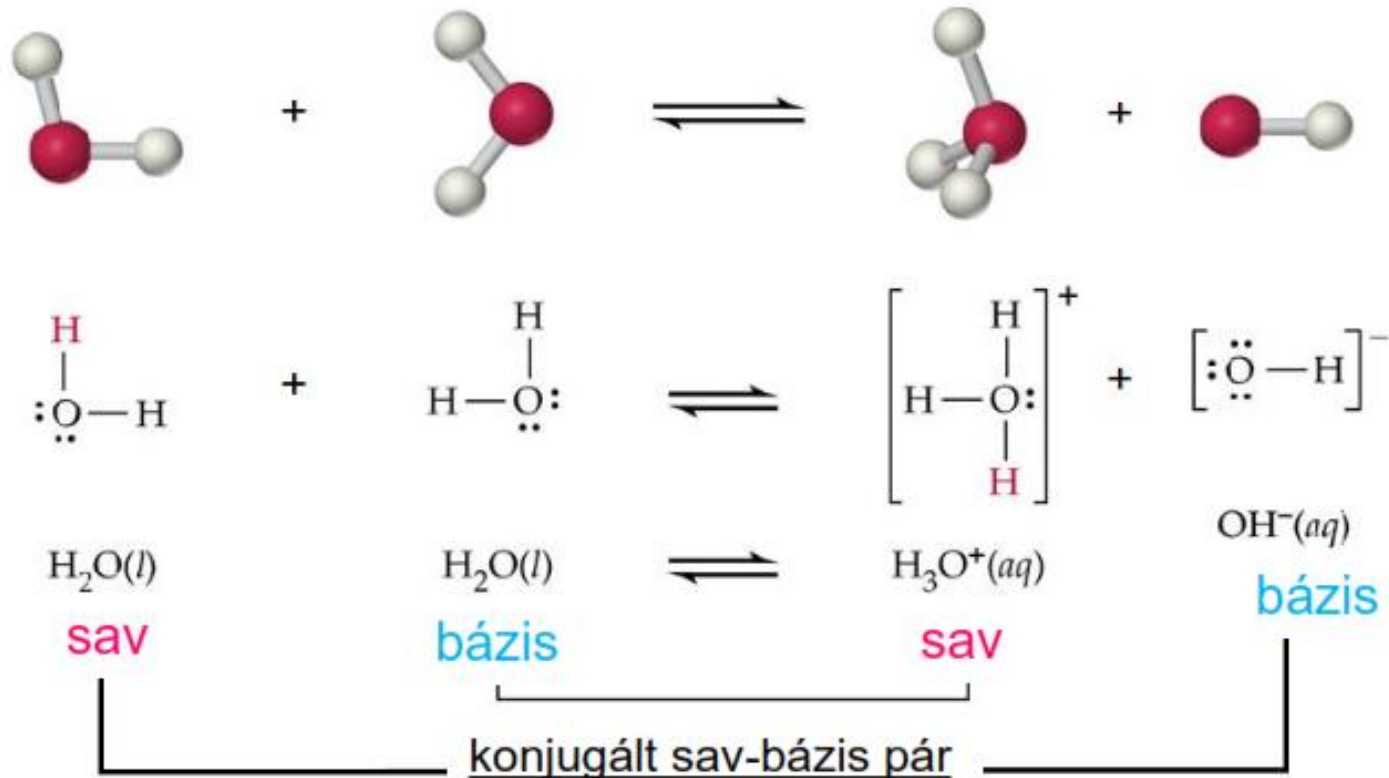




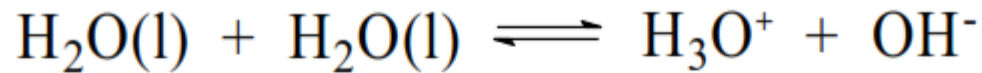


A víz autodisszociációja

A víz egy nagyon kis vezetőképességet mutató, igen gyenge elektrolit.
Amfoter vegyület, mely savként és bázisként is viselkedhet.



A víz disszociációja



A tömeghatás törvényét alkalmazva:

$$K = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]^2} = 1,8 \times 10^{-16}$$

Miután a víz nagyon gyenge elektrolit, koncentrációja állandó marad, ennek értéke „beépíthető” az egyensúlyi állandó értékébe.

A vízionszorzat

$$K_V = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1,00 \cdot 10^{-14} \text{ mol/dm}^3, 25 \text{ °C-on}$$

A hőmérséklet befolyásolja a disszociációt.

Tiszta vízben: $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1.00 \cdot 10^{-7} \text{ mol/dm}^3$

A pH és a pOH

pH az oxónium koncentráció 10-es alapú negatív logaritmusa.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}_3\text{O}^+]$$

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = \log \frac{1}{[\text{H}^+]}$$

A bázikusság mértékének leírására a pOH-t használjuk.

A pOH, a hidroxid-ion koncentráció 10-es alapú negatív logaritmusa.

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] = \log \frac{1}{[\text{OH}^-]}$$

A pH és a pOH között a következő összefüggés adható meg:

$$K_V = [\text{H}^+] [\text{OH}^-] = 1,00 \cdot 10^{-14} \text{ mol/dm}^3, 25 \text{ °C-on}$$

$$\text{p}K_V = -\log K_V = 14,00$$

$$\text{p}K_V = \mathbf{\text{pH} + \text{pOH} = 14,00}$$

semleges oldat esetén:

$$\mathbf{\text{pH} = \text{pOH} = 7,00}$$

Sók hidrolízise

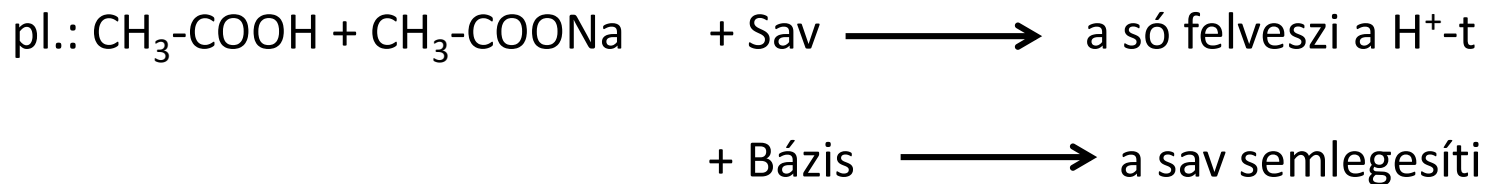
Definíció: Ionok reakciója vízzel, melynek során protonok vagy hidroxidionok keletkeznek.

- Erős savak erős bázisokkal képzett sóinak vizes oldata mindig semleges (pH=7). pl.: NaCl, KOH
- Erős bázisok gyenge savakkal (pl.: CH₃-COONa) képzett sóinak vizes oldatában anion hidrolízis történik (pH>7). A gyenge sav protonálódik, így hidroxidion keletkezik és az oldat lúgos lesz.
- Gyenge bázisok erős savakkal képzett sóinak (pl.: NH₄Cl) vizes oldatában kation hidrolízis történik (pH<7). A gyenge bázis protont ad át a víznek, H₃O⁺ ionok keletkeznek, és az oldat savas lesz.
- Gyenge bázisok gyenge savakkal képzett sóinak (pl.: NH₄NO₂) vizes oldatában kation és anion hidrolízis is történik egyidejűleg. Az oldat pH-ját a K értékek relatív nagysága határozza meg. (Ebben a példában az NH₄⁺-ionok K_a értéke nagyobb a NO₂⁻-ionok K_b értékénél, tehát az oldat savas.)

Pufferoldatok

Definíció: gyenge sav és konjugált bázisának, vagy gyenge bázis és sójának oldata.

Sav vagy bázis hozzáadására az oldat pH-ja alig változik: a só miatt a konjugált bázis/sav koncentrációja nagyobb, mintha a sav/bázis egyedül lenne az oldatba. A pufferoldatok általában nagyjából azonos mennyiségben tartalmazzák a savat/bázist illetve annak sóját.



Savas pufferekre az általános levezetés :

$$[H^+] = K_s \cdot \frac{[HA]}{[A^-]}$$

$$-\log [H^+] = -\log K_s - \log \frac{[HA]}{[A^-]}$$

$$\text{pH} = \text{p}K_s - \log \frac{[HA]}{[A^-]} \qquad \text{pH} = \text{p}K_s + \log \frac{[A^-]}{[HA]}$$

A fenti egyenlet a Henderson-Hasselbalch egyenlet, ami a savas puffer pH-jának kiszámolását és a komponensek koncentrációinak arányától való függést mutatja.

$$K_b = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

$$[OH^-] = K_b \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} \qquad \text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{[NH_4^+]}{[NH_3]}$$

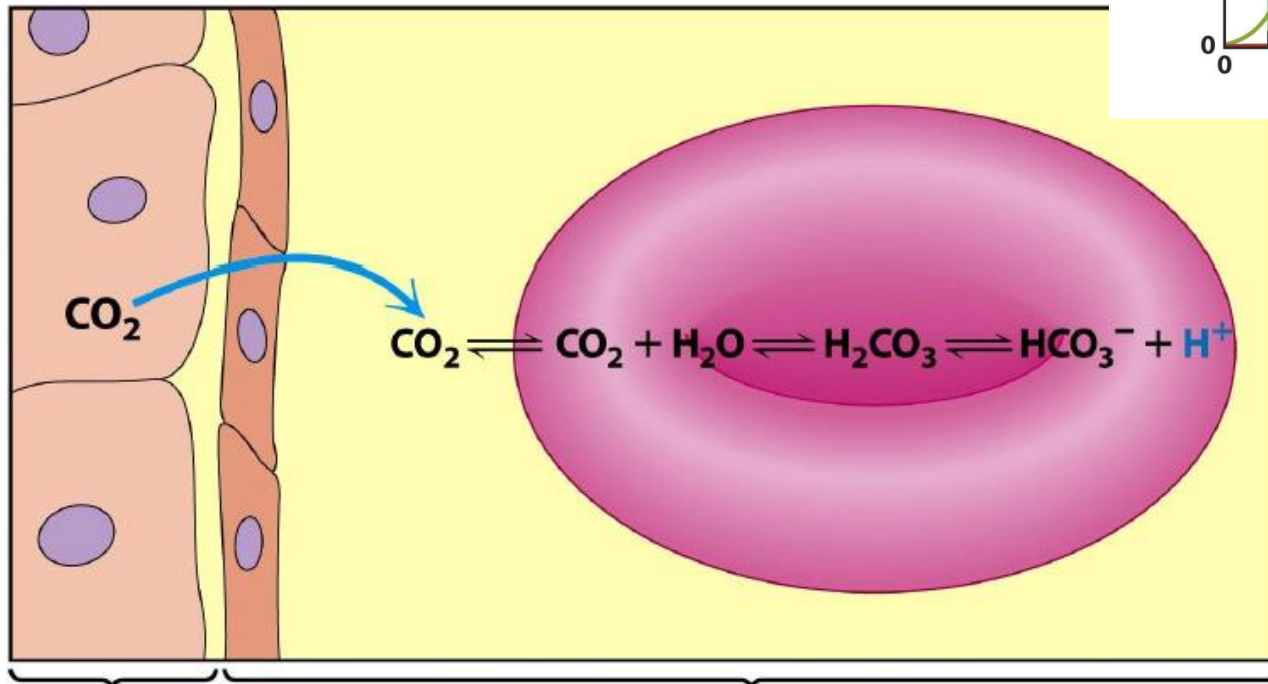
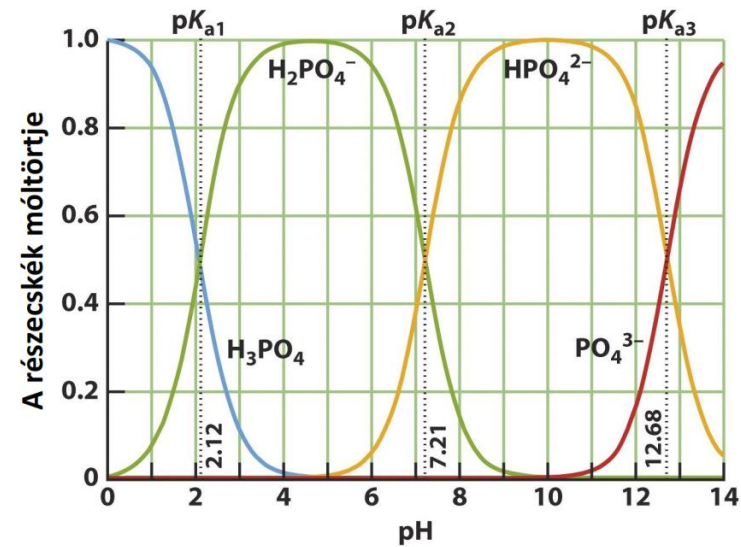
$$\text{pOH} = \text{p}K_b + \log \frac{[HB^+]}{[B]} \qquad \text{HB}^+ = \text{konjugált sav}$$

B = bázis

A lúgos puffer Henderson-Hasselbalch egyenlete

A legjelentősebb pufferrendszerek emberben:

- Foszfátpuffer az intracelluláris térben
- Szénsav/bikarbonát rendszer a vérben és az intersticiális térben
- Albumin a vérplazmában
- Hemoglobin a vvt-ben



Body tissue

Blood capillary

24mmol/dm³

Figure 7-20
Biochemistry, Sixth Edition
© 2006 W. H. Freeman and Company

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 6,1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{0,03 \text{ pCO}_2} = 6,1 + \log 20 = 7,4$$

A CO₂ oldhatósága

Pufferkapacitás

Definíció: Annak az erős savnak vagy erős bázisnak az anyagmennyisége, ami ahhoz szükséges, hogy az adott pufferoldat 1 literjének a pH-ját 1 egységgel megváltoztassa.

Kérdés

Az alábbi pufferoldatok közül melyiknek nagyobb a pufferkapacitása 0,1 M NaOH oldattal szemben?

- a. 0,1 M Na_2HPO_4 és 0,15 M NaH_2PO_4
- b. 0,15 M Na_2HPO_4 és 0,1 M NaH_2PO_4

Kérdés

Az emberi testben termelt folyadékok többségben...

- a. nagyon savasak
- b. semlegesek
- c. nagyon bázikusak
- d. nagyon alkalikusak

Kérdés

Egy erős sav és egy erős bázis abban különbözik, hogy...

- a. milyen mértékben disszociál vízben
- b. milyen mértékben szintetizálódik vízben
- c. milyen mértékben változik vízzé
- d. hány órát tölt el súlyemeléssel

Kérdés

Minden érték a pH-skálán a H^+ koncentráció _____ változását jelenti.

- a. egyszeres
- b. tízszeres
- c. százszoros
- d. tízezerszeres
- e. negatív

Kérdés

Sónak nevezzük...

- a. Az olyan vegyületet, ami disszociál vízben és hidrogénionokat (H^+) képez.
- b. Az olyan atomot, ami disszociál vízben és anionokat és kationokat képez.
- c. Az olyan vegyületet, ami disszociál vízben és hidroxidionokat (OH^-) képez.
- d. Az olyan vegyületet, ami disszociál vízben és a hidrogéniontól ill. hidroxidiontól eltérő kationokat vagy anionokat képez.

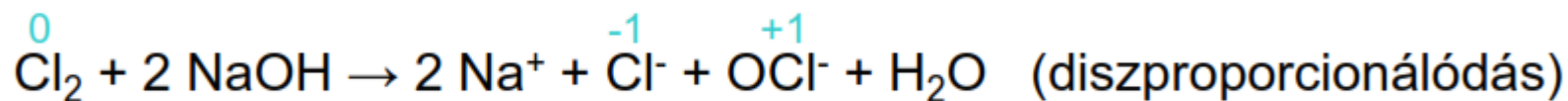
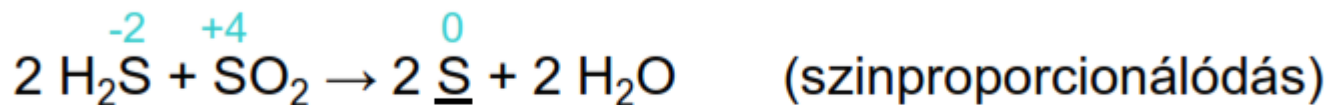
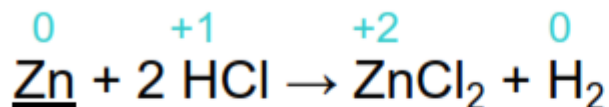
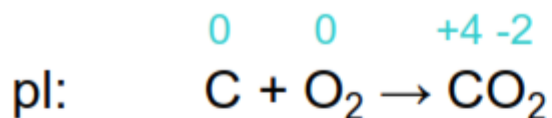
Kérdés

A testünk bikarbonát-pufferrendszerének feladata, hogy a vér pH-ját semlegesén tartsa. Melyik két szerv/szervrendszer tartja elsődlegesen ezt a pufferrendszert egyensúlyban?

- a. tüdő és máj
- b. emésztés és keringés
- c. emésztés és légzés
- d. vese és tüdő
- e. Immunrendszer és keringés

Redoxireakciók

Redoxireakciók: elektronátmenettel járó kémiai átalakulások



Oxidáció: elektronleadás (oxidációs szám növekedése)

Redukció: elektronfelvétel (oxidációs szám csökkenése)

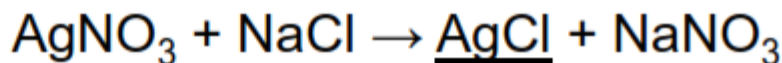
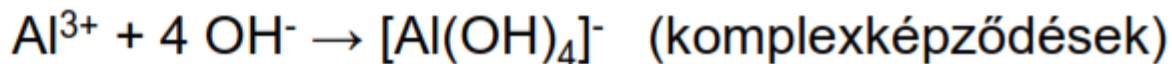


TABLE 12.1 Standard Potentials at 25°C*

pOsitívabb → Ooxidálja a negatívabbat

Erős oxidálószer



Gyenge oxidálószer

Species

ongly oxidizing

Reduction half-reaction

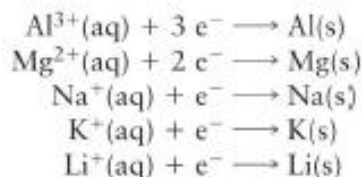
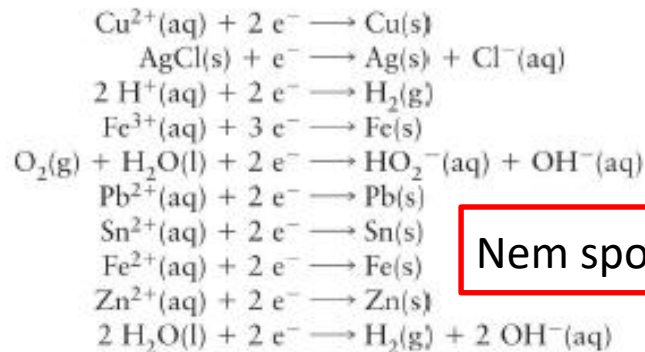
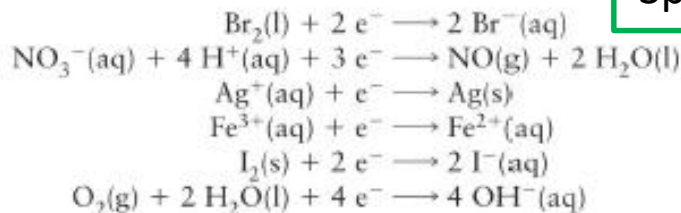
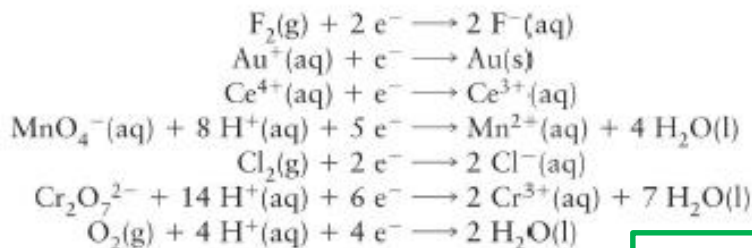
Gyenge redukálószer

MnO₄⁻, H⁺/Mn²⁺, H₂O
Cl₂/Cl⁻
Cr₂O₇²⁻, H⁺/Cr³⁺, H₂O
O₂, H⁺/H₂O

Br₂/Br⁻
NO₃⁻, H⁺/NO, H₂O
Ag⁺/Ag
Fe³⁺/Fe²⁺
I₂/I⁻
O₂, H₂O/OH⁻

Cu²⁺/Cu
AgCl/Ag, Cl⁻
H⁺/H₂
Fe³⁺/Fe
O₂, H₂O/HO₂⁻, OH⁻
Pb²⁺/Pb
Sn²⁺/Sn
Fe²⁺/Fe
Zn²⁺/Zn
H₂O/H₂, OH⁻

Al³⁺/Al

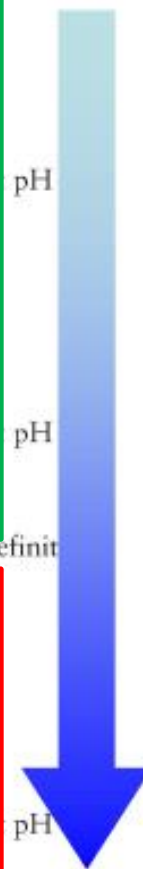


Spontán

Nem spontán

+1.61
+1.51
+1.36
+1.33
+1.23;
+0.82 at pH
+1.09
+0.96
+0.80
+0.77
+0.54
+0.40;
+0.82 at pH
+0.34
+0.22

0, by definit
-0.04
-0.08
-0.13
-0.14
-0.44
-0.76
-0.83;
-0.42 at pH
-1.66



Erős redukálószer

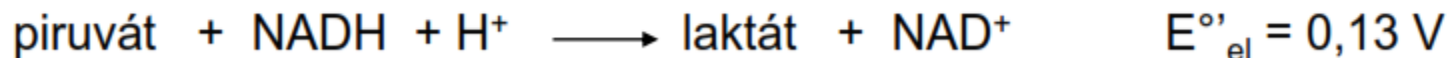
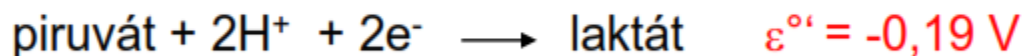
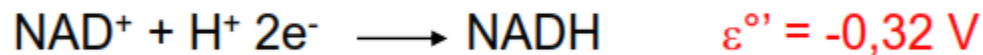
Reduced form is strongly reducing

*For a more extensive table, see Appendix 2B.

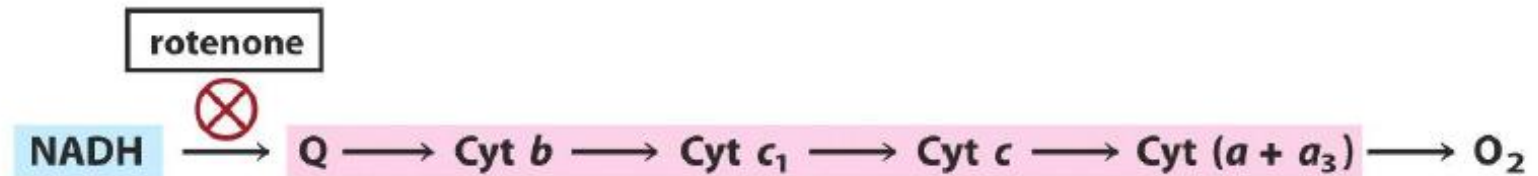
negatívabb → redukálja a pozitívabbat

Redoxifolyamatok az anyagcserében

redoxifolyamat (ox + n e ⁻ → red)	n	ε ^{o'} (V)
½ O ₂ (g) + 2 H ⁺ + 2 e ⁻ → H ₂ O (l)	2	0,81
citokró-m-c ₁ (Fe ³⁺) → citokró-m-c ₁ (Fe ²⁺)	1	0,22
dehidroaszorbát → aszorbát	2	0,08
fumarát → szukcinát	2	0,03
piruvát → laktát	2	- 0,19
acetaldehid → etanol	2	- 0,20
NADP ⁺ + H ⁺ + 2 e ⁻ → NADPH	2	- 0,32
NAD ⁺ + H ⁺ + 2 e ⁻ → NADH	2	- 0,32
2 H ⁺ + 2 e ⁻ → H ₂ (g) (pH = 7)	2	- 0,41
acetát → acetaldehid	2	- 0,60
α-ketoglutarát → szukcinát + CO ₂ (g)	2	- 0,67



$$(\Delta G^{\text{o}'} = -nFE^{\text{o}'}_{\text{el}} = -2 \cdot 96500 \cdot 0,13 = -25090 \text{ J})$$



redoxifolyamat ($\text{ox} + n e^- \rightarrow \text{red}$)	n	$\epsilon^{\circ'}$ (V)
$\frac{1}{2} \text{O}_2 (g) + 2 \text{H}^+ + 2 e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O} (l)$	2	0,81
citokró-m-a ₃ (Fe ³⁺) + e ⁻ → citokró-m-a ₃ (Fe ²⁺)	1	0,55
citokró-m-a (Fe ³⁺) + e ⁻ → citokró-m-a (Fe ²⁺)	1	0,29
citokró-m-c (Fe ³⁺) → citokró-m-c (Fe ²⁺)	1	0,25
citokró-m-c ₁ (Fe ³⁺) → citokró-m-c ₁ (Fe ²⁺)	1	0,22
citokró-m-b (Fe ³⁺) → citokró-m-b (Fe ²⁺)	1	0,07
ubikinon + 2H ⁺ + 2e ⁻ → ubikinol	2	0,04
NADH dehidrogenáz (FMN) + 2H ⁺ + 2e ⁻ → NADH dehidrogenáz (FMNH ₂)	2	-0,03
NADP ⁺ + H ⁺ + 2 e ⁻ → NADPH	2	- 0,32
NAD ⁺ + H ⁺ + 2 e ⁻ → NADH	2	- 0,32
2 H ⁺ + 2 e ⁻ → H ₂ (g) (pH = 7)	2	- 0,41

Kérdés

Állítsa helyes sorrendbe (a betűjelek segítségével) a légzési lánc alábbi komponenseit, ahogy az elektronok a mitokondriumban áramlanak!

- a) citokróm c ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$) $\epsilon^{\circ} = + 0.26 \text{ V}$
- b) Q / QH_2 $\epsilon^{\circ} = - 0.10 \text{ V}$
- c) citokróm c_1 ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$) $\epsilon^{\circ} = + 0.23 \text{ V}$
- d) NAD^+/NADH $\epsilon^{\circ} = - 0.32 \text{ V}$
- e) citokróm b ($\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$) $\epsilon^{\circ} = + 0.04 \text{ V}$