

pH aprēķini ūdens šķīdumos

Universālā gāzu konstante $R=8.3144 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$; Faradeja skaitlis konstante $F=96485 \text{ C}/\text{mol}$.
 $T=310.15 \text{ K}$ (37° C); $T=298.15 \text{ K}$ standarta apstākļi istabas temperatūra 25° C .

Vienādojumi aprēķiniem:

1) $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$; 2) $\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-]$; 3) $\text{pH} + \text{pOH} = 14$; 4) $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$; 5) $[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}}$;

6) stiprai skābei: $[\text{H}^+] = c_M \cdot \alpha \cdot z$; 7) $\text{pH} = -\log [\text{H}^+] = -\log(c_M \cdot \alpha \cdot z)$.

$\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2 \text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ divvērtīgai skābei ir divi $z=2$ ekv ūdeņraža 2 H^+ katjoni

8) stiprai bāzei: 9) $[\text{OH}^-] = c_M \cdot \alpha \cdot z$; 10) $\text{pH} = -\log [\text{OH}^-] = -\log(c_M \cdot \alpha \cdot z)$.

$\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+} + 2 \text{OH}^-$ divvērtīgai bāzei ir divi $z=2$ ekv hidroksila 2 OH^- joni

pH karbon-, aminoskābes, hidrogen fosfāts un bikarbonāts $\text{CO}_{2\text{aqua}}$ Ostvalda atšķaidīšanas likums

4. lapas puse <http://aris.gusc.lv/BioThermodynamics/H2ODissociationLat.pdf>

Vāja skābe H_3CCOOH , sāls, acetāts H_3CCOO^- ; 11) $K_a = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{nedis}}} = 1,74 \cdot 10^{-5} \text{ M}$.

Protonēts amīns skābe NH_4^+ , amonjaks bāze NH_3 . 12) $K_a = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{NH}_3]_{\text{aqua}}}{[\text{NH}_4^+]} = 5,618 \cdot 10^{-10} \text{ M}$.

Dihidrogen fosfāts H_2PO_4^- , hidrogen fosfāts HPO_4^{2-} 13) $K_a = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 6,3 \cdot 10^{-8} \text{ M}$.

14) $\text{pK} = -\lg[K]$; $K = 10^{-\text{pK}}$; vājām skābēm 15) $[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \cdot C}$; 16) $\text{pH} = \frac{\text{pK}_a - \log C}{2}$;

Aminoskābēs **AA** (aminum acidum) ir

divu veidu vājas skābes grupas

karboksila un protonēts amīns:

17) $K_{a\text{Ca-COOH}} = \frac{[\text{AA-COO}^-] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{AA-COOH}]_{\text{nondis}}}$; 18) $K_{a\text{Ca-NH}_3^+} = \frac{[\text{AA-NH}_2] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{AA-NH}_3^+]_{\text{protonate}}}$;

5. lapas puse <http://aris.gusc.lv/BioThermodynamics/H2ODissociationLat.pdf>

Osmotiskais spiediens π_{osm}

21) $\pi_{\text{osm}} = i \cdot C_M \cdot R \cdot T$; $\pi_{\text{osm}} = C_{\text{osm}} \cdot R \cdot T$;

22) $i = 1 + \alpha (m-1)$; $C_{\text{osm}} = i \cdot C_M$

23) $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} \text{ mol/L}$;

24) $[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} \text{ mol/L}$;

25) $\alpha = \sqrt{\frac{K}{C}}$; 26) $\alpha = \frac{c_{\text{dissoc}}}{c_{\text{total}}}$

i – izotoniskais koeficients; Vant Hofa koeficients

C_M – molārā koncentrācija - **mol/L**;

C_{osm} – osmo molārā koncentrācija - **mol/L**;

R – universālā gāzu konstanta **J/mol/K**;

T – temperatūra – **K**;

α – disociācijas pakāpe;

m – disociēto jonu skaits;

Brīvā enerģija ΔG koncentrācijas gradienta virzītā procesā

27) $\Delta G = RT \ln \left(\frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{citosol}}}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{Mitohon}}} \right)$ ΔG – brīvās enerģijas izmaiņa

bikarbonāta koncentrācijas gradientam $[\text{HCO}_3^-]_{\text{citosol}}/[\text{HCO}_3^-]_{\text{Mitohon}}$ virzītājā procesā;

28) $\Delta G = RT \ln \left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{starpMembr}}}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{Mitohon}}} \right)$ ΔG – brīvās enerģijas akumulēšana oksidatīvajā

fosforilēšanā ar protonu koncentrācijas gradientu $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{starpMembr}}/[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{Mitohon}}$;

29) $\Delta G = RT \ln \left(\frac{C_{\text{outOsm}}}{C_{\text{inOsm}}} \right)$ ΔG – brīvās enerģijas izmaiņa osmozē pretēji koncentrācijas

gradientam $C_{\text{outOsm}}/C_{\text{inOsm}}$ ar spiedienu $\pi = \Delta C_{\text{osm}} RT$, kurā starpība ir pozitīva $\Delta C_{\text{osm}} = C_{\text{inOsm}} - C_{\text{outOsm}}$

$E_{\text{H}^+\text{membr}} = P \cdot \log \left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{extraMit}}}{[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{Mitohon}}} \right)$; $E_{\text{HCO}_3^-\text{membr}} = -P \cdot \log \left(\frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{cytosole}}}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{Mitohon}}} \right)$

20) $\Delta G_F = nF E_{\text{membr_summa}}$, ΔG – brīvās enerģijas izmaiņa potenciāla summai $E_{\text{H}^+\text{membr}} + E_{\text{HCO}_3^-\text{membr}}$

[viela] – molārā koncentrācija - **mol/L**; C_{osm} – osmo molārā koncentrācija - **mol/L**

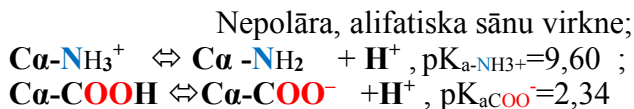
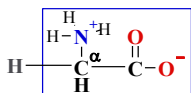
1. Aprēķināt pH_2 šķīdumam, kas iegūts, 100 mL HCl šķīdumam ar $\text{pH}_1=3$ pievienojot ūdeni 200 mL. Atbilde $\alpha \cdot C_{M1}=10^{-3} \text{ mol/L}$; $\alpha \cdot C_{M2}=10^{-3,477} \text{ mol/L}=0,00033 \text{ mol/L}$; $\text{pH}_2=3,48$

2. Vienam litram ($V_1 = 1 \text{ L}$) stipras skābes šķīduma ar $\text{pH}_1 = 0,75$ pielēja vienu litru ($V_2 = 1 \text{ L}$) skābes šķīduma ar $\text{pH}_2 = 2$. Aprēķināt iegūtā skābes šķīduma pH_3 !
Atbilde $\alpha \cdot C_{M1}=0,178 \text{ mol/L}$; $\alpha \cdot C_{M2}=0,01 \text{ mol/L}$; $\alpha \cdot C_{M3}=0,0939 \text{ mol/L}$; $\text{pH}_3=1,027$.

3. Vājas vienvērtīgas skābes $K_{\text{dis}} = 3,5 \cdot 10^{-3}$. Aprēķināt šīs skābes šķīduma π_{osm} pie 20°C , ja šķīduma $\text{pH} = 1,5$. Atbilde $C_M = 0,29 \text{ mol/L}$; $\alpha = 0,1107$; $i = 1,1107$; $\pi_{\text{osm}} = 773,49 \text{ kPa}$.

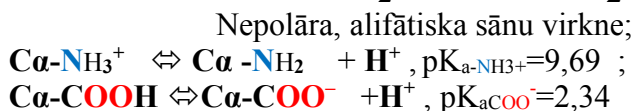
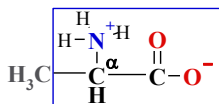
4. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ glicīnam un kas ir draudzīgs **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-8,03}$ mol/L!?

$$pK_{a_videjā}=(2,34+9,6+0)/2=5,97\dots\dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,97 + 8,03}{2} = \dots\dots!$$



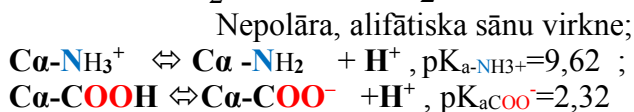
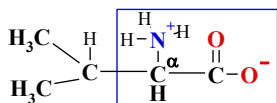
5. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ alanīnam un kas ir draudzīgs **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-7,985}$ mol/L!?

$$\text{vidējo vērtību } pK_{a_videjā}=(2,34+9,69+0)/2=6,015\dots\dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{6,015 + 7,985}{2} = \dots\dots!$$



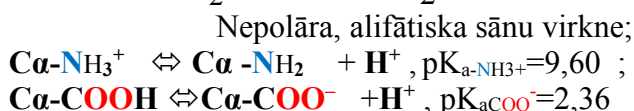
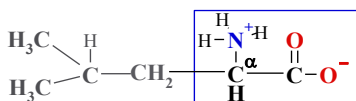
6. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ valīnam un kas ir draudzīgs **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-8,03}$ mol/L!?

$$pK_{a_videjā}=(2,32+9,62+0)/2=5,97\dots\dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,97 + 8,03}{2} = \dots\dots!$$



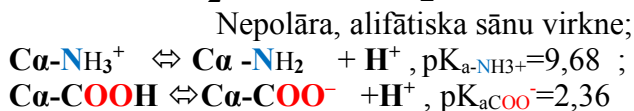
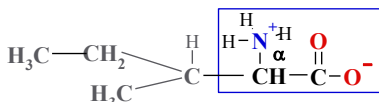
7. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ leicīnam un kas ir draudzīgs **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-8,02}$ mol/L!?

$$pK_{a_videjā}=(2,36+9,60+0)/2=5,98\dots\dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,98 + 8,02}{2} = \dots\dots!$$



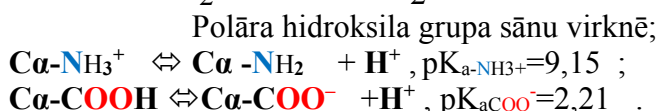
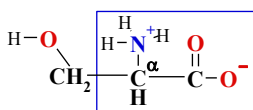
8. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ izoleicīnam un kas ir draudzīgs **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-7,98}$ mol/L!?

$$pK_{a_videjā}=(2,36+9,68+0)/2=6,02\dots\dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{6,02 + 7,98}{2} = \dots\dots!$$



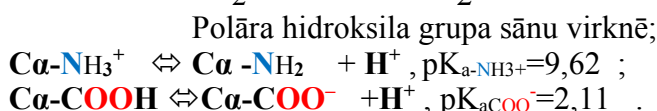
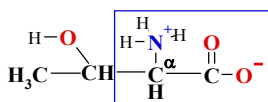
9. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ serīnam un kas ir draudzīgs **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-8,32}$ mol/L!?

$$pK_{a_videjā}=(2,21+9,15+0)/2=5,68\dots\dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,68 + 8,32}{2} = \dots\dots!$$



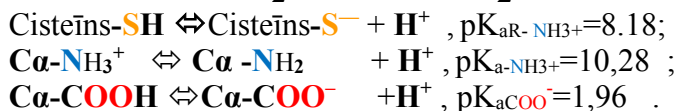
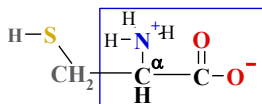
10. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ treonīnam ir draudzīga **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-8,135}$ mol/L!?

$$pK_{a_videjā}=(2,11+9,62+0)/2=5,865\dots\dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,865 + 8,135}{2} = \dots\dots!$$



11. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ cisteīnam ir draudzīga **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-7,193}$ mol/L!?

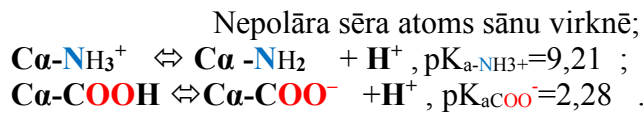
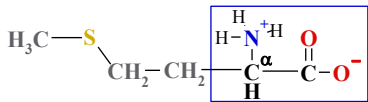
$$pK_{a_videjā}=(1,96+10,28+8,18)/3=6,807\dots\dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{6,807 + 7,193}{2} = \dots\dots!$$



12. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ metionīnam ir draudzīga **pH** atraktoram ar koncentrāciju $C=10^{-8,135}$ mol/L!?

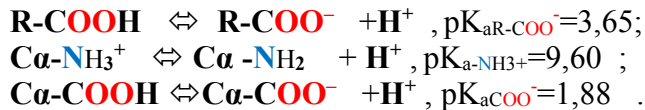
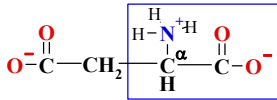


$$pK_{a_videjā} = (2,28 + 9,21 + 0) / 2 = 5,865 \dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,865 + 8,135}{2} = \dots!$$



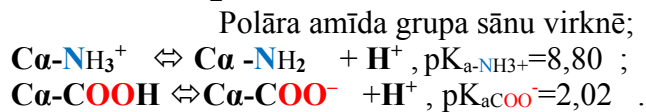
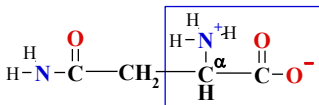
13. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ aspartātam ir draudzīga pH atraktoram ar koncentrāciju $C = 10^{-8,957} \text{ mol/L!}$?

$$pK_{a_videjā} = (1,88 + 9,60 + 3,65) / 3 = 5,043 \dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,043 + 8,957}{2} = \dots!$$



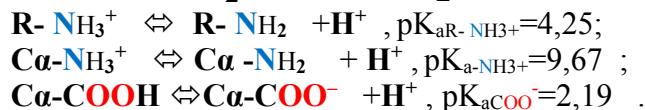
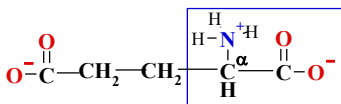
14. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ asparģinam ir draudzīga pH atraktoram ar koncentrāciju $C = 10^{-8,59} \text{ mol/L!}$?

$$pK_{a_videjā} = (2,02 + 8,80 + 0) / 2 = 5,41 \dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,41 + 8,59}{2} = \dots!$$



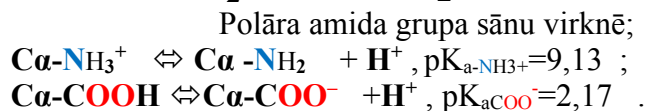
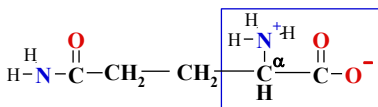
15. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ glutamātam ir draudzīga pH atraktoram ar koncentrāciju $C = 10^{-8,63} \text{ mol/L!}$?

$$pK_{a_videjā} = (2,19 + 9,67 + 4,25) / 3 = 5,37 \dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,37 + 8,63}{2} = \dots!$$



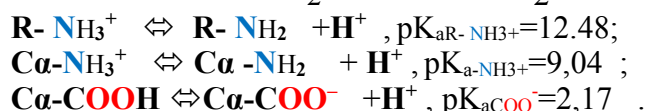
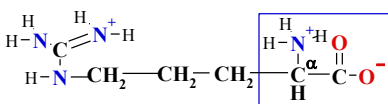
16. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ glutamīnam ir draudzīga pH atraktoram ar koncentrāciju $C = 10^{-8,35} \text{ mol/L!}$?

$$pK_{a_videjā} = (2,17 + 9,13 + 0) / 2 = 5,65 \dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,65 + 8,35}{2} = \dots!$$



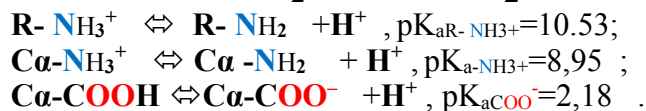
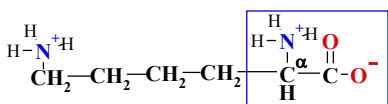
17. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ arginīnam ir draudzīga pH atraktoram ar koncentrāciju $C = 10^{-6,103} \text{ mol/L!}$?

$$pK_{a_videjā} = (2,17 + 9,04 + 12,48) / 3 = 7,897 \dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{7,897 + 6,103}{2} = \dots!$$



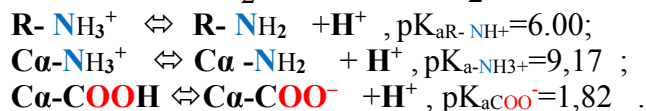
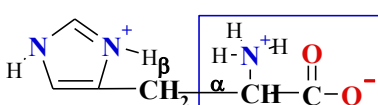
18. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ lizīnam ir draudzīga pH atraktoram ar koncentrāciju $C = 10^{-6,78} \text{ mol/L!}$?

$$pK_{a_videjā} = (2,18 + 8,95 + 10,53) / 3 = 7,22 \dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{7,22 + 6,78}{2} = \dots!$$



19. Vidējā konstante $pK_{a_videjā}$ histidīnam ir draudzīga pH atraktoram ar koncentrāciju $C = 10^{-8,337} \text{ mol/L!}$?

$$pK_{a_videjā} = (1,82 + 9,17 + 6,00) / 3 = 5,663 \dots; \quad pH = \frac{pK_{a_videjā} - \log C}{2} = \frac{5,663 + 8,337}{2} = \dots!$$



$$\alpha = 90 \%$$

$$\text{Atbilde } C_M = 0,088 \text{ mol/L}; C_N = 0,176 \text{ ekv.mol/L.}$$

33. Aprēķināt 5% HCOOH šķīduma pH. $K_{\text{dis}} = 2 \cdot 10^{-4}$; $pK = 3,69$; $\rho = 1,02 \text{ g/mL}$;
 $M_{\text{HCOOH}} = 46 \text{ g/mol}$. Atbilde $m_{\text{HCOOH}} = 51 \text{ g}$; $C_M = 1,1086 \text{ mol/L}$; $pH = 1,827$.

34. Aprēķināt 0,02 M etiķskābes šķīduma pH. $K_{\text{dis}} = 1,8 \cdot 10^{-5}$; $pK = 4,74$!
Atbilde $pH = 3,22$.

35. Cik reizes skudrskābes šķīduma hidroksionija jonu koncentrācija $[\text{H}_3\text{O}^+]$ atšķiras no tādas pašas koncentrācijas etiķskābes šķīduma hidroksionija jonu $[\text{H}_3\text{O}^+]$ koncentrācijas? $K_{\text{HCOOH}} = 1,77 \cdot 10^{-4}$; $K_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 1,75 \cdot 10^{-5}$.

Atbilde $[\text{H}_3\text{O}^+]$ koncentrācijas atšķiras 3,18 reizes.

36. Aprēķināt pH dihidrogen fosfāta un hidrogen fosfāta $[\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] = 0,155 \text{ M}$ koncentrācijai destilētā ūdens šķīdumā, zinot $pK_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} = 7,199$! Skeletālo muskuļu šūnu citosolā tie ir kopā ar pārējo jonu maisījumu Na^+ , K^+ , H^+ , Cl^- , HCO_3^- un olbaltumvielu poli elektrolītiem Atbilde $pH = 4,0$.

37. Aprēķināt pH bikarbonāta un $\text{CO}_{2\text{aqua}}$ $[\text{HCO}_3^-] + [\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_{2\text{aqua}}] = 0,027 \text{ M}$ koncentrācijai destilētā ūdens šķīdumā, zinot $pK_{(\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_{2\text{aqua}})} = 7,0512$! Skeletālo muskuļu šūnu citosolā tie ir kopā ar pārējo jonu maisījumu Na^+ , K^+ , H^+ , Cl^- , H_2PO_4^- un olbaltumvielu poli elektrolītiem. Atbilde $pH = 4,31$.

38. Aprēķināt sārma rezervi dihidrogen fosfāta un hidrogen fosfāta $[\text{H}_2\text{PO}_4^-] + [\text{HPO}_4^{2-}] = 0,155 \text{ M}$ bufera šķīdumā ar $pH = 7,36$, zinot $pK_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} = 7,199$! Atbilde $pH = 1,45/1$
 $10^{pH - pK_{\text{H}_2\text{PO}_4^-}} = 10^{7,36 - 7,199} = 10^{0,161} = [\text{HPO}_4^{2-}] / [\text{H}_2\text{PO}_4^-] = 1,449 / 1 \dots \dots \dots$

39. Aprēķināt sārma rezervi bikarbonāta un $\text{CO}_{2\text{aqua}}$ $[\text{HCO}_3^-] + [\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_{2\text{aqua}}] = 0,027 \text{ M}$ bufera šķīdumā ar $pH = 7,36$, zinot $pK_{(\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_{2\text{aqua}})} = 7,0512$! Atbilde $pH = 2/1$.
 $10^{pH - pK_{\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_{2\text{aqua}}}} = 10^{7,36 - 7,0512} = 10^{0,3088} = [\text{HCO}_3^-] / [\text{CO}_{2\text{aqua}}] = 2,036 / 1 \dots \dots \dots$

Studenta patstāvīgās studijas vingrinājumi 40., 41, 42, 43.

Fizioloģisko šķīdumu mehānismi uztur līdzsvaru $7,36 = pH$, HCO_3^- , O_2 homeostāzē.

Cilvēka asiņu $7,36 = pH = -\log([\text{H}_3\text{O}^+])$, $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,36} \text{ M} = 10^{-pH}$ pie stabilizētas arteriālās koncentrācijas $[\text{O}_2] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ lielumiem novērš acidozi, hipoksiju (skābekļa deficītu) un oksidatīvo stresu ar metabolisma vadītiem H_3O^+ , HCO_3^- , $\text{O}_{2\text{aqua}}$

koncentrācijas gradientiem cauri šūnu membrānu kanāliem H^+ , HCO_3^- , O_2 .

40. Asinīs ir $pH = 7,4$; kuņģī ir $pH = 1,2$. Cilvēka organismā homeostāzē eksistē asinsvadu un kuņģa šūnu membrānu norobežots līdzsvars starp diviem Termodinamiskiem stāvokļiem – udeņraža joniem asinīs un kuņģī: $\text{H}_3\text{O}^+_{\text{asin}} \xleftarrow{\text{Membrāna}} \text{H}_3\text{O}^+_{\text{kuņģ.}}$; $K_{\text{līdzsv.}} = [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{kuņģ.}} / [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{asin}}$;

$$\Delta G_{\text{eq}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{līdzsv.}}) = -2,3 \cdot R \cdot T \cdot \log(K_{\text{līdzsv.}})$$

Kāda ir līdzsvara konstantes vērtība?

Raksturojiet uz kuru pusi un cik daudz šis līdzsvars ir nobīdīts?

Kāda ir udeņraža jonu H_3O^+ viena mola brīvās enerģijas izmaiņa ΔG_{eq} kJ/mol?

Vai šāds process ir patvaļīgs?

Atbilde $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{asin}} = 10^{-7,36} = 3,98 \cdot 10^{-8} \text{ M}$; $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{kuņģ.}} = 10^{-1,2} = 6,31 \cdot 10^{-2} \text{ M}$;

$K_{\text{līdzsv.}} = 1,6 \cdot 10^{+6}$; $\Delta G_{\text{eq}} = -36,77 \text{ kJ/mol}$ patvaļīgs.



41. Atraktori minimizē brīvās enerģijas saturu vienā molā skābekļa novēršot **acidozi** un **oksidatīvo** stresu.

Divu dominējošo buferu pH=7,36 veido konstantu ūdeņraža jonu koncentrāciju $[H_3O^+] = 10^{-7.36}$ M.

Ūdens koncentrācija $[H_2O](37^\circ C) = 994,62/18 = 55,257$ M ievērojami pazemina skābekļa spēju oksidēt.

Arteriālā koncentrācija $[O_{2,aqua}] = 6 \cdot 10^{-5}$ M veidojas no 20,95% globālā gaisa skābekļa O_2 atraktora atspoles

HCO_3^- , $H^+ \Leftrightarrow O_{2,aqua}/H_2O$ apmaiņas oksideoksi hemoglobīna mehānismā. Faradeja $F = 96485$ C/mol un

$R = 8,3144$ J/(mol·K) universālā gāzu konstante vienādojumā: $E_{O_2} = E_{O_2} + P/4 \cdot \log([O_{2,aqua}][H_3O^+]^4) = 0,701$ V

$O_{2,aqua} + 4H_3O^+ + 4e^- \Leftrightarrow 6H_2O$, kurā konstante (310,15 K) P volts ir :

$$P = \frac{2,3 \cdot R \cdot T}{F} = \frac{\ln(10) \cdot 8,3144 \left(\frac{J}{mol \cdot K} \right) \cdot 310,15(K)}{96485 \left(\frac{C}{mol} \right)} = 0,06154 \dots \dots \dots \text{ V. Klasiskais standarts } T = 310,15 \text{ K}$$

$E_{O_2} = +1,21865$ V skābeklim O_2 ar augstu spēju oksidēt, pazeminās arteriālās asinīs $[O_{2,aqua}]$, pH=7,36

$E_{O_2} = 1,21865 + 0,06154/4 \cdot \log([O_{2,aqua}][H^+]^4) = 1,21865 + 0,015385 \cdot \log(6 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-7,36 \cdot 4}) = 0,701 \dots \dots \dots$ V

un venozās asinīs ar koncentrācijām $[O_{2,aqua}] = 0,426 \cdot 10^{-5}$ M un ar pH=7,36 vērtību $[H^+] = 10^{-7,36}$ M

$E_{O_2} = 1,21865 + 0,06154/4 \cdot \log([O_{2,aqua}][H^+]^4) = 1,21865 + 0,015385 \cdot \log(0,426 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-7,36 \cdot 4}) = 0,6831 \dots \dots \dots$ V.

Atraktori samazina arteriālo potenciālu $\Delta E_{O_{2,aqua} \text{ pH}} = E_{O_2} - E_{O_2} = 0,701 - 1,21865 = -0,51765 \dots \dots \dots$ V un

minimizē brīvās enerģijas saturu skābekļa vienam molam par

$$\Delta G_{\min} = \Delta E_{O_{2,aqua} \text{ pH}} \cdot F \cdot n = -0,51765 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -199,8 \dots \dots \dots \text{ kJ/mol.}$$

Venozo asins potenciālu samazina par $\Delta E_{O_{2,aqua} \text{ pH}} = E_{O_2} - E_{O_2} = 0,6831 - 1,21865 = -0,53555 \dots \dots \dots$ V un brīvās

enerģijas saturu minimizē par $\Delta G_{\min} = \Delta E_{O_{2,aqua} \text{ pH}} \cdot F \cdot n = -0,53555 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -206,7 \dots \dots \dots \text{ kJ/mol.}$

1) Ūdens 55,257 M samazina potenciālu no **1,3795** V uz klasisko 1,21865 V par **-0,16085** V = ΔE_{H_2O} .

$$E_{O_2} = E_{O_2} - 0,06154/4 \cdot \log(1/[H_2O]^6) = 1,21865 - 0,015385 \cdot \log(1/55,257^6) = 1,3795 \dots \dots \dots \text{ V ;}$$

Oksidatīvais stress potenciāls samazinās par $\Delta E_{H_2O} = E_{O_2} - E_{O_2} = 1,21865 - 1,3795 = -0,16085 \dots \dots \dots$ V un

minimizē brīvās enerģijas saturu skābekļa vienam molam par

$$\Delta G_{\min} = \Delta E_{H_2O} \cdot F \cdot n = -0,16085 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -62,08 \dots \dots \dots \text{ kJ/mol. Oksidatīvā stresa arteriālais risks}$$

samazinās vienam molam O_2 par $\Delta G_{\min} = \Delta G_{O_{2,aqua} \text{ pH}} + \Delta G_{H_2O} = -199,8 - 62,08 = -261,88 \dots \dots \dots \text{ kJ/mol;}$

Eritrocītos oksideoksi O_2 , HCO_3^- , H^+ atspoles hemoglobīns līdzsvara piesatījumā 96% arteriālās rezerves

vienā cirkulācijā patērē 33% no viena litra asiņu $n_{O_2} = 0,02527$ M mol/L atjaunojot 459 reizes arteriālo

sākotnējo homeostāzes koncentrāciju $[O_{2,aqua}] = 6 \cdot 10^{-5}$ M.

$O_{2,aqua}$, HCO_3^- , H^+ koncentrācijas stabilizācija novērš acidozi, alkalozu, oksidatīvo stresu

(hiperoksiju ar pārākumu) un deficītu - hipoksiju. Ka arī stabilizē pH 7,36 $\pm 0,01$ no arteriālās

$[O_{2,aqua}] = 6 \cdot 10^{-5}$ M līdz venozai $[O_{2,aqua}] = 0,426 \cdot 10^{-5}$ M koncentrācijas vērtībai. Potenciāls arteriālais

$E_{O_2} = 0,701 \dots \dots \dots$ V, $\Delta G_{\min} = -199,8 \dots \dots \dots \text{ kJ/mol;}$ venozais $E_{O_2} = 0,6831 \dots \dots \dots$ V, $\Delta G_{\min} = -206,7 \dots \dots \dots \text{ kJ/mol.}$

Klasiskais standarts T=310,15 K (37° C) grādos $E_{O_2} = 1,21865$ V un termodinamiskais $E_{O_2} = 1,3795$ V;

Kopējo arteriālo oksidatīvā stresa risku samazina skābeklim brīvās enerģijas saturu ar atraktoriem

pH=7,36; $[H_2O] = 55,257$ M ; $[O_{2,aqua}] = 6 \cdot 10^{-5}$ M (globāli 20,95% skābeklis O_2 gaisā); $\Delta G_{\min} = -251,82 \dots \dots \dots$

kJ/mol;



42. Kāds ir membrānas potenciāls $E_{\text{membr_kopējais}}$ volts? Aprēķināt brīvās enerģijas izmaiņu $\Delta G_{\text{HCO}_3^-}$ bikarbonāta kustībai ārā no mitohondrijas kJ/mol?

Fizioloģiski aktīvā mitohondrijā ir $\text{pH} = 7.36$ vērtība iekšpusē un $\text{pH} = 5$ starp membrānu telpā.

Bikarbonāta koncentrācija citosolā un asinīs ir 0,0154 M:

$$[\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_{2\text{aqua}}] = 0.0154 + 0.00757 = \mathbf{0.023\text{M}}$$

Lietojot Hendersona Haselbalha vienādojumu :

$$\text{pH} = 7.36 = \text{pK} + \log\left(\frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{citosols}}}{[\text{CO}_2]_{\text{citosols}}}\right), \text{ attiecība ir sārma rezerve:}$$

$$10^{7.36-7.0512} = \frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{citosols}}}{[\text{CO}_2]_{\text{citosols}}} = 2.036/1 = 0.0154 \text{ M}/0.00757 \text{ M}$$

Mitohondrijā ievērojot 0.02527 M hemoglobīna skābekļa rezervi izlietotu Krebsa ciklā summa ir $[\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_{2\text{aqua}}] = \mathbf{0.023\text{M} + 0.02527 \text{ M} = 0,05054 \text{ M}}$.

Tā kā sārma rezerve citosolā ir zināma un ir tāda pati $10^{7.36-7.0512} = \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_{2\text{aqua}}]} = 2.036/1$:

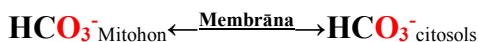
$$[\text{HCO}_3^-] = 2,036 * 0,05054 / (1 + 2,036) = 0,102899 / 3,036 = \mathbf{0,03389... \text{M}}$$

Mitohondrijā bikarbonāta koncentrācija ir divi komats divas reizes lielāka :

$$2.2 = \frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{Mitohon}}}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{citosols}}} = \mathbf{0,0338919 \text{ M} / 0,0154 \text{ M}}$$

Cilvēka ķermeņa temperatūra $t = 37^\circ$; $T = 310,15^\circ \text{ K}$; $F = 96485 \text{ C/mol}$, $n = -1 \text{ HCO}_3^- \dots$

Membrānas potenciāls bikarbonāta anjoniem pastāvot koncentrācijas gradientam ir:



$$E_{\text{HCO}_3^- \text{ Mitohon}} = -P \cdot \log\left(\frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{citosols}}}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{Mitohon}}}\right) = -0,06154 * \log(0,0154/0,0338919) = \mathbf{0,02108 \dots \text{ V}}$$

Membrānas potenciāls ūdeņraža joniem $\text{H}_3\text{O}^+ \text{ Mitohon} \xleftarrow{\text{Membrāna}} \text{H}_3\text{O}^+ \text{ starpMembr} \dots$

$$E_{\text{H}^+ \text{ membr}} = P \cdot \log\left(\frac{[\text{H}_3\text{O}^+ \text{ starpMembr}]}{[\text{H}_3\text{O}^+ \text{ Mitohon}]}\right) = 0.06154 \cdot \log(10^{-5}/10^{-7.36}) = \mathbf{0.14523 \dots \text{ V}}$$

Kopējais membrānas potenciāls ūdeņraža un bikarbonāta joniem ir :

$$E_{\text{membr}} = 0.14523 \text{ V} + 0.0210821 = \mathbf{0.1663 \dots \text{ V}}$$

Membrānas potenciāls bikarbonāta, protonu gradientu kā membrānas potenciālu summa:

$$E_{\text{HCO}_3^- \text{ Mitohon}} = 0,02108 \text{ V};$$

$$E_{\text{H}^+ \text{ membr}} = 0,14523 \text{ V};$$

$$E_{\text{membr_summa}} = 0.02108 + 0,14523 = 0.1663 \dots \text{ V};$$

Elektriskās brīvās enerģijas izmaiņa HCO_3^- joniem ar negatīvu lādiņu $n = -1$ ir:

$$\Delta G_F = nF E_{\text{membr_total}} = -1 * 96485 * 0.1663168 = -16.0451 \dots \text{ kJ/mol. eksoerģiska.}$$

Koncentrācijas gradients $[\text{HCO}_3^-]_{\text{citosol}} / [\text{HCO}_3^-]_{\text{Mitohon}}$ ir brīvās enerģijas samazinātājs:

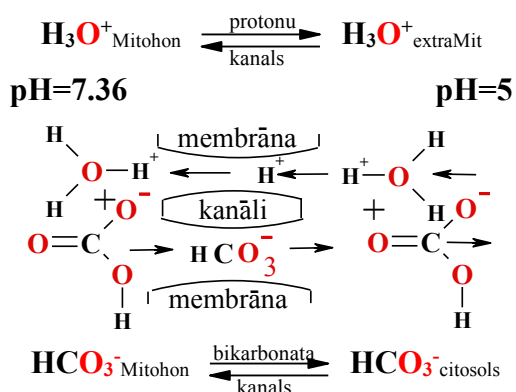
$$\Delta G = RT \ln\left(\frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{citosol}}}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{Mitohon}}}\right) = 8.3144 * 310,15 * \ln(0,0154/0,0338919) = -2.034 \dots \text{ kJ/mol eksoerģiska..}$$

Bikarbonāta brīvās enerģijas izmaiņa $\Delta G_{\text{HCO}_3^-}$ kustībai ārā no mitohondrijas **eksoerģiska**:

$$\Delta G_{\text{HCO}_3^-} = \Delta G_F + \Delta G = -16.0471 + (-2.0341) = \mathbf{-18.081 \dots \text{ kJ/mol eksoerģiska}}$$



43. Aktīvas **Mitochondrijas** iekšpusē Membrānas potenciāls ūdeņraža katjoniem H_3O^+ membrānas protonu H^+ kanālos un bikarbonāta HCO_3^- kanāli uzrāda anti paralēlus (inversus) līdzsvarus:



brīvās enerģijas izmaiņai summā koncentrācijas gradienta virzītai cauri protonu H^+ kanālam ATPāzes ATF sintēzei šķērsojot lipīdu dubultslāņa membrānu mitochondrijas virzienā:

$$\Delta G_{\text{membr H}^+} = \Delta G_E + \Delta G_{\text{H}^+} = -30,05846 \text{ kJ/mol}$$

$$\Rightarrow \Delta G_{\text{membr HCO}_3^-} = \Delta G_F + \Delta G_{\text{HCO}_3^-} = -18,081 \text{ kJ/mol}$$

Bikarbonāta brīvās enerģijas izmaiņa

$$\Delta G_{\text{membr HCO}_3^-}$$

kustībai ārā no mitochondrijas ir **eksoerģiska**:

$$[\text{HCO}_3^-]_{\text{Mitohon}} = 0,0339 \text{ M} ; [\text{HCO}_3^-]_{\text{citosols}} = 0,0154 \text{ M}$$

Ūdeņraža un bikarbonāta kopējā membrānas potenciālu summa ir:

$$0,14523\text{V} + 0,0210821\text{V} = E_{\text{membr}} = 0,1663 \text{ V}$$

Elektriskā brīvās enerģijas izmaiņa protonam H^+ inversi lejup pa potenciāla kritumu ir **0,1663 V**

$$\Delta G_E = -E_{\text{membr}} \cdot F \cdot n_{(\text{jona lādiņš } \pm 1)} = -0,1663 \cdot 96485 \cdot (1) = -16,045 \text{ kJ/mol}$$

Protoni lejup pa ATPāzes kanāla gradientu dod mīnusa zīmi $\Delta G_{\text{H}^+} = -RT \ln([\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{extraMit}} / [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{Mitohon}}) =$

$$= -RT \ln(10^{-5} / 10^{-7,36}) = -8,3144 \cdot 310,15 \cdot \ln(10^{2,36}) = -14,013 \text{ kJ/mol}$$

brīvās enerģijas izmaiņa koncentrācijas gradienta virzītai cauri protonu H^+ kanālam šķērsojot lipīdu dubult slāņa membrānu ir summa: $\Delta G_{\text{membr}} = \Delta G_E + \Delta G_{\text{H}^+} = -16,0454 \text{ kJ/mol} - 14,013 \text{ kJ/mol} = -30,05846 \text{ kJ/mol}$ uz vienu protona H^+ molu ATPāzes rotēšanai ieguldītais darbs 19 reizes efektīvāks uz vienu grama molu protona nekā uz vienu molu H_3O^+ no starp membrānu telpas ($\text{H}_3\text{O}^+_{\text{extraMit}}$) cauri membrānas kanāliem mitochondrijā ($\text{H}_3\text{O}^+_{\text{Mitohon}}$).

Protonu H^+ koncentrācijas gradienta $\Delta G = \Delta G_{\text{membr}} + \Delta G_{\text{kanāls}} = -30,058 \text{ kJ/mol}$ summāra

elektroķīmiskā brīvās enerģijas izmaiņa virza ATPāzes nanodzinēju sintezēt ATF (adenozīna trifosfāta) molekulas ATP^4- . Enerģijas izmaiņa uz vienu ATP^4- molu ir $4 \cdot -30,058 \text{ kJ/mol} = -120,23 \text{ kJ/mol}$ četri 4 protoni H^+ , virza ATPāzes nano rotoru sintezēt vienu ATP^4- molekulu. Viena mola ATP^4- producēšanā 503 grami patērējas 4 grami kā četri moli protonu. Brīvās enerģijas izmaiņa ir $\Delta G = -120,23 \text{ kJ/mol}$. ATP^4- saites atraktori $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,36} \text{ M}$, $[\text{H}_2\text{O}] = 55,257 \text{ M}$ un $[\text{ATP}^4-] / [\text{ADP}^3-] = 2,25 / 0,25 = 9$ koncentrācijas gradients labvēlīgi cilvēka eritrocītā hidrolīzē atbrīvo brīvo enerģiju $\Delta G = -55,16 \text{ kJ/mol}$

<http://aris.gusc.lv/BioThermodynamics/BioThermodynamics.pdf>: 22. lapa. ATP^4- akumulētās ķīmiskās brīvās enerģijas lietderība ir $55,16 / 120,2 = \dots\%$ ($-55,16 \text{ kJ/mol}$) no 100% ($-120,23 \text{ kJ/mol}$) teorētiski iespējamās. Oksidatīvā fosforilēšana no četri protonu hemi osmozes enerģijas 54,1 % patērē ATFāzes rotora berzes siltuma producēšanai un ATP^4- kustībai citosolā ūdens vidē veidojot koncentrācijas gradientu lipīdu dubult slāņa membrānas šķērsošanai kā brīvās enerģijas avotu, lai virzītu ATP^4- molekulu transportu.

Acīmredzami cita lādēta katjona molekula, piemēram, Na^+ katjons 23 reizes smagāks vai kālija katjons K^+ 39 reizes smagāks un to relatīvā lietderība ar vienu gramu masu pārvietošanu ir 23 reizes vai 39 reizes mazāk efektīva ATP^4- sintēzei salīdzinot ar lādēta protona H^+ pārvietošanos cauri membrānas kanāliem.

Dzīvie organismi evolūcijā ieguvuši visefektīvāko ar mazu: **izmēru** mazāku par $< 0,73 \text{ \AA}$, **masu** 1 g / mol un ar veselu iespējamo **vienas vienības pozitīva lādiņa** protona H^+ izvēli.

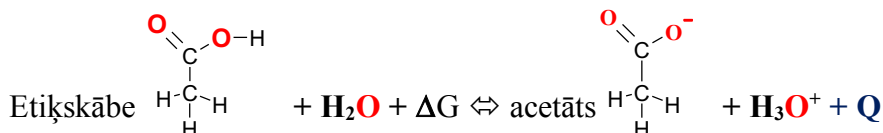


Organismā vājas skābes ir $\text{CO}_{2\text{aqua}}$ bikarbonāta skābes forma, karbonskābes, aminoskābes un fosfāti: Ja ΔG_{eq} ir pozitīvs, e kāpināts negatīva pakāpē $e^{-\text{negatīvs } K_{\text{eq}}}$ aprēķinos, tā pēc K_{eq} daudz mazāks par 1 ($0 < K_{\text{eq}} \ll 1$) bet nekad nesasniedz nulli 0. Cilvēka organismā ir vienīgi vājas skābes.

Karbonskābes - COOH disociācijas-protolīzes termodinamika

Etiķskābes protolīze: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O} + \Delta G \Leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{Q}$;

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{H}_2\text{O}][\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{nedis}}} = 1,76 \cdot 10^{-5} / 55,3 = 10^{-6,497}$$



Izejvielu un produktu standarta entalpijas un standarta entropiju lielumi:

CH_3COOH	$\Delta H^\circ = -484,09 \text{ kJ/mol};$	$\Delta S^\circ = 159,83 \text{ J/(mol K)}$	
H_2O	$\Delta H^\circ = -286 \text{ kJ/mol};$	$\Delta S^\circ = 69,956 \text{ J/(mol K)}$	$\Delta G = -286 \text{ kJ/mol}$
CH_3COO^-	$\Delta H^\circ = -486 \text{ kJ/mol};$	$\Delta S^\circ = 85,3 \text{ J/(mol K)}$	
H_3O^+	$\Delta H^\circ = -285,81 \text{ kJ/mol};$	$\Delta S^\circ = -3,854 \text{ J/(mol K)}$	

Protolīzes entalpija ir negatīva, kas norāda uz siltumu izdalīšanu Q produktos **eksotermiska**.

$$\Delta H_r = \Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{CCOO}^-} + \Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{CCOOH}} = -486 - 285,81 - (-285,85 - 484,09) = -771,81 + 769,94 = -1,87 \text{ kJ/mol}$$

2. $\Delta S_{\text{izkļiedēta}} = -\Delta H_r / T = 1,87 / 298,15 = 6,272011 \text{ J/(mol K)}$. siltuma izdalīšana izkļiedējas apkārtējā vidē .

Protolīzes entropija ir negatīva, kas norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.

$$\Delta S_r = \Delta S^\circ_{\text{H}_3\text{CCOO}^-} + \Delta S^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta S^\circ_{\text{H}_3\text{CCOOH}} = 85,3 - 3,854 - (69,9565 + 159,83) = 81,446 - 229,7865 = -148,34 \text{ J/mol/K}$$

Protolīzes disociācijas brīva enerģijas izmaiņa ΔG_r ir **endoerģiska, nelabvēlīga**:

$$\Delta G_r = \Delta H_r - T\Delta S_r = -1,87 + 298,15 \cdot 0,1483405 = 42,3577 \dots \text{ kJ/mol}$$

Disociācija ir neliela kā vājai skābei ūdens šķīdumā $K_a = 10^{-6,497}$.

Kopējā entropiju summa negatīva un norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.:

$$3. \Delta S_{\text{kopējā}} = \Delta S_r + \Delta S_{\text{izkļiedēta}} = -148,3405 + 6,272011 = -142,0685 \dots \text{ J/(mol K)}..$$

Saistītā brīvā enerģija produktos attiecībā pret apkārtējo vidi ir negatīva no apkārtējās vides zaudēta:

$$T \cdot \Delta S_{\text{kopējā}} = -142,0685 \text{ J/K/mol} \cdot 298,15 \text{ K} = -42,3577 \dots \text{ kJ/mol}.$$

Līdzsvarā tiek sasniegts brīvās enerģijas izmaiņas minimums ΔG_{min} vielu maisījuma sastāvam:

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{H}_2\text{O}][\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{nedis}}} = 1,76 \cdot 10^{-5} / 55,3 = 10^{-6,497} \text{ Vājas skābes nelabvēlīgs līdzsvars.}$$

$$\Delta G_{\text{eq}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_a) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(10^{-6,497}) = 37,085 \text{ kJ/mol}.$$

Eksotermiskas un endoerģiskas etiķskābes protolīzes reakcijas Hesa brīvās enerģijas izmaiņa $\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G_{\text{protolīze}} = 42,36 \text{ kJ/mol}$,

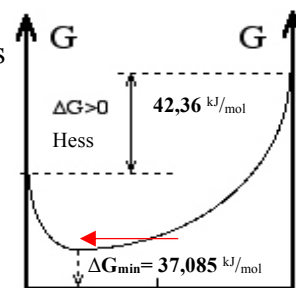
bet minimizējas līdz $\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{eq}} = 37,085 \text{ kJ/mol}$ maisījumā

$$\text{pozitīva sasniedzot līdzsvaru } K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{H}_2\text{O}][\text{CH}_3\text{COOH}]_{\text{nedis}}} = 10^{-6,497}.$$

Līdzsvara sasniegšana ir Prigožina atraktors brīvās enerģijas izmaiņas minimums

ΔG_{min} . Brīvās enerģijas minimuma sasniegšanā iestājas līdzsvars.

Maisījumā izejvielas $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}$ un produkti $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$



14. lapaspuse <http://aris.gusc.lv/BioThermodynamics/CO2O2Thermodynamic15.pdf>



H₂O Ūdens jonizācijas un netralizācijas inversās reakcijas

1. līdzsvars $\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + \Delta G + Q \Leftrightarrow \text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^-$; 2. līdzsvars $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{OH}^- \Leftrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} + \Delta G + Q$;

Izejvielu un produktu standarta entalpijas un standarta entropiju lielumi:

H₂O	$\Delta H^\circ = -286$ kJ/mol;	$\Delta S^\circ = 69.956$ J/(mol K)	$\Delta G = -286$ kJ/mol
OH⁻	$\Delta H^\circ = -230.00$ kJ/mol;	$\Delta S^\circ = -10.539$ J/(mol K)	
H₃O⁺	$\Delta H^\circ = -285,81$ kJ/mol;	$\Delta S^\circ = -3,854$ J/(mol K)	

Protolīzes entalpija ir pozitīva, kas norāda uz siltuma patērēšanu **Q** izejvielās **endotermiska**

$$\Delta H_r = \Delta H^\circ_{\text{OH}^-} + \Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - 2\Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = -285,81 - 230 - (2 * (-285,85)) = -515,81 + 571,7 = 55,89 \text{ kJ/mol}$$

2. $\Delta S_{\text{izkliedēta}} = -\Delta H_r / T = -55,89 / 298,15 = -187,456$ J/(mol K). siltums akumulējas dzesējot apkārtējo vidi.

Protolīzes entropija ir negatīva, kas norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.

$$2. \Delta S_r = \Delta S^\circ_{\text{OH}^-} + \Delta S^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - 2\Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = -3,854 - 10,539 - 2 * 69,956 = -14,393 - 139,912 = -154,305 \text{ J/mol K}$$

Protolīzes disociācijas brīva enerģijas izmaiņa ΔG_r ir **endoerģiska, nelabvēlīga** :

$$\Delta G_r = \Delta H_r - T\Delta S_r = 55,89 + 298,15 * 0,154305 = 101,8967 \text{ kJ/mol}$$

Disociācija ir neliela kā vājam skābei ūdens šķīdumā $K_a = 10^{-17,4868} = 3,26 \cdot 10^{-18}$

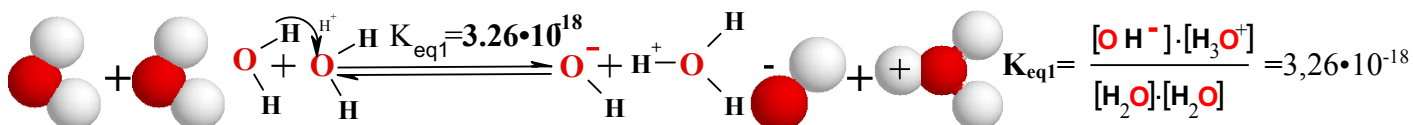
Kopējā entropiju summa negatīva un norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.:

$$3. \Delta S_{\text{kopējā}} = \Delta S_r + \Delta S_{\text{izkliedēta}} = -187,456 - 154,305 = -341,761 \text{ J/(mol K)}..$$

Saistītā brīvā enerģija produktos attiecībā pret apkārtējo vidi ir negatīva no apkārtējās vides zaudēta:

$$T \cdot \Delta S_{\text{kopējā}} = -341,761 \text{ J/K/mol} \cdot 298,15 \text{ K} = -101,896 \text{ kJ/mol}.$$

Līdzsvarā tiek sasniegts brīvās enerģijas starptības minimums atbilstoši vielu maisījuma sastāvam izteiksmē: Termodinamiski nelabvēlīgs



$$\Delta G_{\text{eq1}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{eq1}}) = -R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{O}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}\right) = 99,8 \text{ kJ/mol},$$

Endotermiskas un endoerģiskas ūdens jonizācijas reakcijas Hesa brīvās

enerģijas izmaiņa $\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G_{\text{jonizācija}} = 101,9$ kJ/mol pozitīva,

bet minimizējas maisījumā $\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{eq}} = 99,8$ kJ/mol sasniedzot

līdzsvaru $K_{\text{eq1}} = 3,26 \cdot 10^{-18}$. Vielu maisījumā brīvās enerģijas izmaiņa

minimizējas $99,8 \text{ kJ/mol} = |\Delta G_{\text{eq2}}| < |\Delta G_{\text{Hess2}}| = 101,9 \text{ kJ/mol}$;

Visas reakcija tiecas uz līdzsvara maisījumu Prigožina atraktoru brīvās enerģijas izmaiņas minimumu $\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{eq}}$ arī ar inversām konstantēm

$$3,26 \cdot 10^{-18} = \frac{[\text{OH}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{O}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = K_{\text{eq1}} = \frac{1}{K_{\text{eq2}}} = \frac{1}{\frac{[\text{H}_2\text{O}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{OH}^-] \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}} = \frac{1}{3,068 \cdot 10^{17}}.$$

Piezīme: pareizinot ar ūdens konstanto koncentrācijas kvadrātu $[\text{H}_2\text{O}]^2$

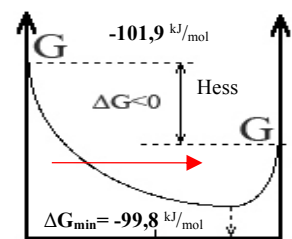
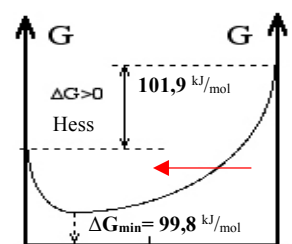
aprēķina ūdens jonu reizinājuma konstanti $K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-]$.

$$K_{\text{eq1}} * [\text{H}_2\text{O}]^2 = 3,26 \cdot 10^{-18} * 55,33^2 = 10^{-14} = K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-].$$

Iļja Prigožins 1977. gadā deklarētie atraktori parāda perfektu visuma un bioķīmijas zinātnes kārtību, jo haoss ir tikai šķietams.

15. lapaspuse <http://aris.gusc.lv/BioThermodynamics/CO2O2Thermodynamic15.pdf>

Amonjaka ūdens un amonija jona $\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} + \Delta G + Q \Rightarrow \text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+$ protolīzes termodinamika



izejvielas $\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} + \Delta G + Q \Rightarrow \text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+$ produkti
endoerģiska, endotermiska

Viela	$\Delta H^\circ_{\text{H}}/\text{kJ/mol}$	$\Delta S^\circ_{\text{H}}/\text{J/mol/K}$	$\Delta G^\circ_{\text{H}}/\text{kJ/mol}$
H_3O^+	-285,81	-3,854	-213,275
H_2O	-285,85	69,9565	-237,191
H_2O	-286,65	-453,188	-151,549
NH_4^+	-132,5	113,4	-79,3
$\text{NH}_{3\text{aq}}$	-132,5608	-739,2922	91,1056
$\text{NH}_{3\text{gas}}$	-45,94	192,77	-16,4
OH^-	-230,015	-10,9	-157,2

$$1. \Delta H_{\text{Hess}} = \sum \Delta H^\circ_{\text{produkti}} - \sum \Delta H^\circ_{\text{izejvielas}}; 3. \Delta G_{\text{Hess}} = \Delta H_{\text{Hess}} - T \cdot \Delta S_{\text{Hess}}$$

$$2. \Delta S_{\text{Hess}} = \sum \Delta S^\circ_{\text{produkti}} - \sum \Delta S^\circ_{\text{izejvielas}}$$

$$\Delta H_{\text{Hess}} = \Delta H^\circ_{\text{NH}_3} + \Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta H^\circ_{\text{NH}_4^+} - \Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = 0,901 \dots \text{kJ/mol};$$

$$= -132,5 - 285,81 - (-132,5608 - 286,65) = 0,901 \dots \text{kJ/mol} \text{ atermiska}$$

$$\Delta S_{\text{izkļiedāta}} = -\Delta H_{\text{H}}/T = -0,901/298,15 = -3,02 \dots \text{J/(mol K)};$$

$$\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G^\circ_{\text{NH}_3} + \Delta G^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta G^\circ_{\text{NH}_4^+} - \Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = 108,7 \text{ kJ/mol};$$

$$\Delta S_{\text{Hess}} = \Delta S^\circ_{\text{NH}_3} + \Delta S^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta S^\circ_{\text{NH}_4^+} - \Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = -403,4 \dots \text{J/mol/K};$$

$$= -739,2922 - 3,854 - (113,4 - 453,188) = -403,4 \dots \text{J/mol/K};$$

$$\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta H_{\text{Hess}} - T \cdot \Delta S_{\text{Hess}} = 0,9008 - 298,15 \cdot (-0,4033582) = 121,2 \dots \text{kJ/mol} \text{ endoerģiska}$$

$$\Delta S_{\text{kopēja}} = \Delta S_{\text{H}} + \Delta S_{\text{izkļiedāta}} = -3,021 - 403,358 = -406,4 \dots \text{J/(mol K)} \quad T \cdot \Delta S_{\text{kopēja}} = -406,4 \cdot 298,15 = -121,2 \dots \text{kJ/mol};$$

Protolīzes entalpija ir pozitīva, kas norāda uz siltuma patērēšanu Q izejvielās **endotermiska**

Siltums akumulējas protolīzes produktos $\text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+$ patērējot siltumu un dzesējot apkārtējo vidi.

Protolīzes entropija ir negatīva, kas norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.

Protolīzes Hesa brīvās enerģijas izmaiņa ΔG_{Hess} ir **endoerģiska, nelabvēlīga** :

Kopējā entropiju summa negatīva un norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.:

Saistītā brīvā enerģija produktos attiecībā pret apkārtējo vidi ir negatīva no apkārtējās vides zaudēta:

Termodinamiskā konstante nelabvēlīga :

$$\text{Līdzsvara konstante } \frac{[\text{NH}_3]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = K_a = [\text{H}_2\text{O}] \frac{3,26 \cdot 10^{-18}}{1,78 \cdot 10^{-5}} = 55,3 \cdot 1,832 \cdot 10^{-13} = 1,013 \cdot 10^{-11}$$

$$\text{Vāja skābe } \text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \text{NH}_3(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+; \text{ p}K_a = 9,25;$$

$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{NH}_3]_{\text{aqua}}}{[\text{NH}_4^+]_{\text{aqua}}} = [\text{H}_2\text{O}] \cdot K_{\text{eq}} = 55,3 \cdot 1,013 \cdot 10^{-11} = 5,6025 \cdot 10^{-10} = 10^{-9,25} = 10^{\text{p}K_a}; \text{ p}K_a = 9,25;$$

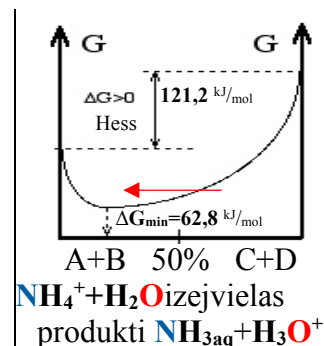
$$\Delta G_{\text{eq}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{eq}}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(1,013 \cdot 10^{-11}) = 62,76 \text{ kJ/mol},$$

Endotermiskas un endoerģiskas $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ protolīzes reakcijas Hesa brīvās

enerģijas izmaiņa $\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G_{\text{disociācija}} = 121,2 \text{ kJ/mol}$ pozitīva, bet minimizējas līdz

$\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{eq}} = 62,8 \text{ kJ/mol}$ maisījumā sasniedzot

$$\text{līdzsvaru } K_{\text{aeq}} = \frac{[\text{NH}_3]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{NH}_4^+]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = 1,013 \cdot 10^{-11}$$



Līdzsvara sasniegšana ir Prigožina atraktors brīvās enerģijas izmaiņas ΔG_{min} minimums

Brīvās enerģijas minimuma sasniegšanā iestājas līdzsvars.

16. lapaspuse <http://aris.gusc.lv/BioThermodynamics/CO2O2Thermodynamic15.pdf>

Piezīme: protonēti amīni un aminoskābju amīni ir vājas skābes. Amonija jons NH_4^+ ir konjugētas bāzes amonjaka vāja skābe ar skābes konstantes vērtību $\text{p}K_a = 9,25$.

Dihidrogen fosfāta H_2PO_4^- aq protolīzes termodinamika

Dati $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ šķīdība 94,9 g/100g H_2O , blīvums 1,32 g/mL, Na_2HPO_4 s 11,8 g/100g H_2O , blīvums 1,1 g/mL,

CRC 2010; BioThermodynamic2006 $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + \Delta G + Q \Rightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$ pH=7,36; I=0,25 M;

Viela	ΔH_H° kJ/mol	ΔS_H° J/mol/K	ΔG_H° kJ/mol
H_3O^+	-285,81	-3,854	-213,275
H_2O	-285,85	69,9565	-237,191
H_2O	-286,65	-453,188	-151,549
H_3PO_4 aq	-1271,7	150,8	-1123,6
H_2PO_4^-	-1302,6	92,5	-1137,3
HPO_4^{2-}	-1292,14	-33,47	-1089,28
HPO_4^{2-}	-1298,89	-810,792	-1057,143
PO_4^{3-}	-1277,4	-220,5	-1018,7

1. $\Delta H_{\text{Hess}} = \Delta H^\circ_{\text{produkti}} - \Delta H^\circ_{\text{reaktanti}}$; 2. $\Delta S_{\text{Hess}} = \Delta S^\circ_{\text{produkti}} - \Delta S^\circ_{\text{reaktanti}}$
 CRC 2010; 3. $\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta H_{\text{Hess}} - T \cdot \Delta S_{\text{Hess}}$

$\Delta G_H = \Delta G^\circ_{\text{HPO}_4^{2-}} + \Delta G^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} - \Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = 71,936 \dots \text{kJ/mol}$

BioTherm2006 = $-1089,28 - 213,275 - (-1137,3 - 237,191) = 71,936 \dots \text{kJ/mol}$

1. $\Delta H_H = \Delta H^\circ_{\text{HPO}_4^{2-}} + \Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} - \Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = 10,5 \text{ kJ/mol}$ endot

= $-1292,14 - 285,81 - (-1302,6 - 285,85) = -1577,95 - 1588,45 = 10,5 \text{ kJ/mol}$

2. $\Delta S_{\text{izklike}} = -\Delta H_H / T = -10,52 / 298,15 = -35,3 \text{ J/(mol K)}$;

3. $\Delta S_{\text{kopējā}} = \Delta S_H + \Delta S_{\text{izklike}} = -199,784 - 35,3 = -234,984 \text{ J/(mol K)}$;

Protolīzes entalpija ir pozitīva, kas norāda uz siltuma patērēšanu

Q izejvielās **endotermiska**. Siltums akumulējas protolīzes produktos HPO_4^{2-} aq + H_3O^+ patērējot siltumu

un dzesējot apkārtējo vidi. Protolīzes entropija ir negatīva, kas norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas

akumulēšanos produktos. Protolīzes Hesa brīvās enerģijas izmaiņa ΔG_{Hess} ir endoerģiska, nelabvēlīga.

$\Delta S_H = \Delta S^\circ_{\text{HPO}_4^{2-}} + \Delta S^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - \Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{PO}_4^-} - \Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} = -33,47 - 3,854 - (92,5 + 69,96) = -199,784 \text{ J/mol/K}$;

$\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta H_{\text{Hess}} - T \cdot \Delta S_{\text{Hess}} = 10,5 - 298,15 \cdot (-0,199784) = 70,0 \dots \text{kJ/mol}$; endoerģiska.....

Kopējā entropiju summa negatīva un norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.:

Saistītā brīvā enerģija produktos attiecībā pret apkārtējo vidi ir negatīva no apkārtējās vides zaudēta:

$T \cdot \Delta S_{\text{kopējā}} = -234,984 \text{ J/mol/K} \cdot 298,15 \text{ K} = -70,0 \dots \text{kJ/mol}$ saistīta. Termodinamiskā konstante nelabvēlīga :

$$K_a = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]_{\text{aqua}}} = [\text{H}_2\text{O}] K_{\text{eq}} = 55,3 \cdot 1,144 \cdot 10^{-9} = 10^{-7,199} = 10^{-\text{pKa}}; \text{pKa} = 7,199;$$

Piezīme: Dihidrogenfosfāta H_2PO_4^- aq buferis ir viens no diviem dominējošiem bioķīmijā ar $\text{pKa} = 7,199$.

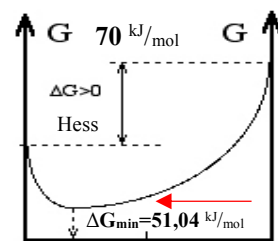
Vājas skābes līdzsvara konstante $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = K_{\text{eq}} = K_{\text{H}_2\text{PO}_4} / [\text{H}_2\text{O}] = 10^{-7,199} / 55,3 = 1,144 \cdot 10^{-9}$

$\Delta G_{\text{eq}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{eq}}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(1,144 \cdot 10^{-9}) = 51,0 \text{ kJ/mol}$,

Endotermiskas un endoerģiskas H_2PO_4^- protolīzes brīvās enerģijas izmaiņa

$\Delta G_{\text{protolīze}}$ pozitīva $70,0 \text{ kJ/mol}$, bet minimizējas $\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{eq}} = 51,0 \text{ kJ/mol}$

maisījumā sasniedzot līdzsvaru $K_{\text{eq}} = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = 1,144 \cdot 10^{-9}$



izejvielas $\text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{H}_2\text{O}$
 produkti $\text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+$

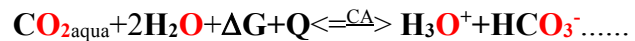
Prigožina atraktors ir brīvās enerģijas izmaiņas minimuma sasniegšana.

Brīvās enerģijas izmaiņas minimuma ΔG_{min} sasniegšanā iestājas līdzsvars.

17. lapaspuse <http://aris.gusc.lv/BioThermodynamics/CO2O2Thermodynamic15.pdf>

Enzīma karboanhidrāzes $\text{CO}_{2\text{aqua}}+2\text{H}_2\text{O}$ protolīzes un $\text{H}_3\text{O}^++\text{HCO}_3^-$ skābes neutralizācijas līdzsvars:

Viela	$\Delta H^\circ_{\text{H}}, \text{kJ/mol}$	$\Delta S^\circ_{\text{H}}, \text{J/mol/K}$	$\Delta G^\circ_{\text{H}}, \text{kJ/mol}$
H_3O^+	-285.81	-3.854	-213,2746
OH^-	-230,015	-10,9	-157,2
HCO_3^-	-689.93	98.324	-586,93988
HCO_3^-	-692,4948	-494,768	-544,9688
H_2O	-285.85	69.9565	-237,191
H_2O	-286,65	-453,188	-151,549
$\text{CO}_{2\text{aqua}}$	-413.7976	117.5704	-385,98
$\text{CO}_{2\text{gas}}$	-393,509	213,74	-394,359



- $\Delta H_{\text{Hess}} = \Delta H^\circ_{\text{produkti}} - \Delta H^\circ_{\text{izejvielas}}$; 2. $\Delta S_{\text{Hess}} = \Delta S^\circ_{\text{produkti}} - \Delta S^\circ_{\text{izejvielas}}$
 3. $\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta H_{\text{Hess}} - T \cdot \Delta S_{\text{Hess}}$; **endotermiska**.....
- $\Delta H_{\text{H}} = \Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} + \Delta H^\circ_{\text{HCO}_3^-} - 2\Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta H^\circ_{\text{CO}_2} = 9,7576 \dots\dots \text{kJ/mol}$;
 $= -285,81 - 689,93 - (2 \cdot -285,85 - 413,7976) = 9,7576 \dots\dots \text{kJ/mol}$;
 $\Delta S_{\text{izkļiedēta}} = -\Delta H_{\text{H}}/T = -9,7576 / 298,15 = -32,727 \dots\dots \text{J/mol/K}$;
 $\Delta S_{\text{H}} = \Delta S^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} + \Delta S^\circ_{\text{HCO}_3^-} - 2\Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta S^\circ_{\text{CO}_2} = -163,0134 \dots\dots \text{J/mol/K}$;
 $= -3,854 + 98,324 - (2 \cdot 69,9565 + 117,5704) = -163,0134 \dots\dots \text{J/mol/K}$;
 $\Delta S_{\text{kopēja}} = \Delta S_{\text{H}} + \Delta S_{\text{izkļiede}} = -32,727 - 163,0134 = -195,7404 \dots\dots \text{J/mol/K}$;

Protolīzes entalpija ir pozitīva, kas norāda uz siltuma patērēšanu **Q** izejvielās **endotermiski**.

Siltums akumulējas protolīzes produktos $\text{H}_3\text{O}^++\text{HCO}_3^-$ patērējot siltumu un dzesējot apkārtējo vidi.

Protolīzes entropija ir negatīva, kas norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.

Protolīzes Hesa brīva enerģijas izmaiņa ΔG_{Hess} ir **endoerģiska, nelabvēlīga** :

$$\Delta G_{\text{H}} = \Delta H_{\text{H}} - T \cdot \Delta S_{\text{H}} = 9,7576 + 298,15 \cdot 0,1630134 = 58,19 \dots\dots \text{kJ/mol}$$

Kopējā entropiju summa negatīva un norāda uz endoerģisku brīvās enerģijas akumulēšanos produktos.:

$$T \cdot \Delta S_{\text{kopēja}} = -195,7404 \cdot 298,15 \text{ K} = \mathbf{-58,19 \dots\dots \text{kJ/mol}}$$
; saistīta $T \Delta S_{\text{H}} \leftarrow$ **uzkrāj brīvo enerģiju endoerģiska** ;

$$\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} + \Delta G^\circ_{\text{HCO}_3^-} - 2\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta G^\circ_{\text{CO}_2} = -213,2746 - \mathbf{544,9688} - (2 \cdot -237,191 - 385,98) = 102 \text{ kJ/mol}$$
;

$$\text{Termodinamiskais līdzsvars } K_{\text{eq}} = \frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CO}_2]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2} = K_{\text{HCO}_3} / [\text{H}_2\text{O}]^2 = 10^{-7,0512} / 55,3^2 = 2,906 \cdot 10^{-11}$$

$$\text{Vājas skābes konstante } K_{\text{a}} = K_{\text{eq}} [\text{H}_2\text{O}]^2 = \frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CO}_2]_{\text{aqua}}} = 2,906 \cdot 10^{-11} \cdot 55,3^2 = 10^{-7,0512}; \text{ p}K_{\text{a}} = 7,0512 \dots\dots$$

$$\Delta G_{\text{eq}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{eq}}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(2,906 \cdot 10^{-11}) = 60 \text{ kJ/mol}$$

Endotermiskas un endoerģiskas $\text{CO}_{2\text{aqua}}+2\text{H}_2\text{O}$ hidrolīzes reakcijas

Hesa brīvās enerģijas izmaiņa $\Delta G_{\text{disociācija}}$ 102 kJ/mol pozitīva, bet minimizējas $\Delta G_{\text{min}} = \Delta G_{\text{eq}} = 60 \text{ kJ/mol}$ maisījumā sasniedzot līdzsvaru

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CO}_2]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2} = 2,906 \cdot 10^{-11}$$

Pareizinot ar ūdens koncentrācijas kvadrātu $[\text{H}_2\text{O}]^2 = 55,3^2 \text{ mol/litrā}$;

$$K_{\text{a}} = K_{\text{eq}} \cdot [\text{H}_2\text{O}]^2 = \frac{[\text{HCO}_3^-]_{\text{aqua}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{CO}_2]_{\text{aqua}}} = 10^{-7,0512} \text{ vērtība}$$

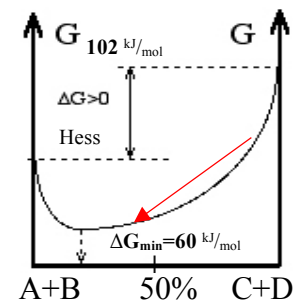
$\text{p}K_{\text{a}} = 7,0512$ kļūst draudzīga atraktora lielumam $\text{pH} = 7,36$ homeostāzē.

Līdzsvara sasniegšana ir Prigožina atraktors brīvās enerģijas izmaiņas minimums ΔG_{min} .

Brīvās enerģijas izmaiņas minimuma sasniegšanā iestājas līdzsvars.

45. lapaspuse <http://aris.gusc.lv/BioThermodynamics/CO2O2Thermodynamic15.pdf>

Piezīme: $\text{pH} = 7,36$ ir Prigožina atraktors uz ko tiecas organismi homeostāzē.



$\text{CO}_{2\text{aqua}}+2\text{H}_2\text{O}$ izejvielas
 produkti $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$