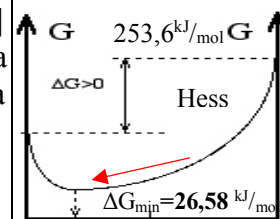


Oksidatīvais stress izraisa neenzimātisku oksidēšanos vairākās radikāļu ķēdes reakcijās un paralēlos produktos, kas piesārņo un iznīcina organismu! Skābekļa $\text{O}_{2\text{aq}} + 4\text{H}_3\text{O}^+ + 4\text{e}^- = 5\text{H}_2\text{O}$ potenciāls $-E^\circ_{\text{O}_2} = -1,0868 \text{ V}$ ir spēcīgs oksidētājs, eksoergonisks, spontāns $\Delta G_{\text{O}_2} = -E_{\text{O}_2} \cdot F \cdot n = -1,0868 \cdot 96485 \cdot 4 = -419,44 \text{ kJ/mol}$ Prigožina atraktors. Skābeklis spontāni uzņem četrus elektronus un protonus $4\text{H}_3\text{O}^+$, veidojot divas ūdens molekulas. Šķīdinot skābekli ūdenī brīvās enerģijas saturs pieaug par **26,58 kJ/mol** no **303,1 kJ/mol** līdz **330 kJ/mol**:

Vielā	$\Delta H^\circ_{\text{H}_2\text{O}}$, kJ/mol	$\Delta S^\circ_{\text{H}_2\text{O}}$, J/mol/K	$\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}}$, kJ/mol
H_2O	-285,85	69,9565	-237,191
H_2O	-286,65	-453,188	-151,549
H_3O^+	$G_{\text{AlbertyH}_3\text{O}^+}$	22,44	-257,46
H_3O^+	-285,809	-182,5266	-231,3887
$\text{H}_3\text{O}^+ G_{\text{e- formation}}$		-231,3887	26,121
H_2^{gas}	Alberty	pH=7,36	85,64
$\text{H}_2(\text{aq})$	-5,02	-363,92	103,24
$\text{H}_2(\text{aq})$	23,4	-130	99,13
$\text{H}(\text{Pt})(\text{aq})$	$E^\circ_{\text{H}-E^\circ_{\text{O}_2}}$	-1,3575	48,56
$\text{O}_{2\text{aqua}}$	-11,70	-94,2	16,4
$\text{O}_{2\text{aqua}}$	-11,715	110,876	16,4

$G_{\text{O}_{2\text{aq}}} = G_{\text{O}_2^{\text{gas}}} + G_{\text{O}_{2\text{sk}}} = 303,1 + 26,58 = 329,68 = 330 \text{ kJ/mol}$.
 $G_{\text{O}_2^{\text{gas}}} = 2(G_{\text{H}_2\text{O}} - (G_{\text{H}_2^{\text{gas}}} - \Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}})) = 2 \cdot (0 - (85,64 - 237,19)) = 303,1 \text{ kJ/mol}$
 pH=7,36 Massachusetts Technology Inst. Alberty [8]
 $\Delta G^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+ \text{ absolute}} = G_{\text{H}_3\text{O}^+} - (0,5 G_{\text{H}_2^{\text{gas}}} + 1,5 \cdot G_{\text{O}_2^{\text{gas}}}) = -257,46 \text{ kJ/mol}$;
 $\Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} = -285,809 \text{ kJ/mol}$ [Mischenko](#) 1972, Himia, Leningrad [26]
 $G_{\text{e-}} = \Delta G^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+} - G_{\text{H}_3\text{O}^+} + (1,5 \cdot G_{\text{H}_2^{\text{gas}}} + 0,5 \cdot G_{\text{O}_2^{\text{gas}}}) = 26,121 \text{ kJ/mol}$;
 Biochem. Thermodyn. Massachusetts Technology Inst. [8]
 pH=7,36 [8] Biochem. Thermodyn. Massachusetts Technology Inst. CRC 2017 [1]
 $G_{\text{H}(\text{Pt})} = (2G_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{O}_{2\text{aqua}}})/4 = 48,56 \text{ kJ/mol}$;
 pH=7,36 [8,1] Massachusetts Technology Inst. Alberty [8 CRC 1]
 CRC [1] $G_{\text{O}_2^{\text{gas}}} = 303 \text{ kJ/mol}$, $G_{\text{O}_{2\text{aq}}} = 329,68 \text{ kJ/mol}$;

Skābekļa šķīdības brīvās enerģijas izmaiņa ir eksotermiska, endoergoniska: $\text{O}_2^{\text{gas}} + \text{H}_2\text{O} = \text{O}_{2\text{aq}}$, kurā skābekļa mol daļa gāzē $[\text{O}_2^{\text{gas}}] = 1$ un vērtība ūdenī ir $[\text{O}_{2\text{aq}}]/[\text{H}_2\text{O}] = 1,22 \cdot 10^{-(3)} \text{ M} / 55,3 \text{ M} = 2,206 \cdot 10^{-5}$. [7]
 Šķīdības konstante ir $K_{\text{sk}} = [\text{O}_{2\text{aq}}]/[\text{O}_2^{\text{gas}}]/[\text{H}_2\text{O}] = 2,206 \cdot 10^{-5}/1 = 2,206 \cdot 10^{-5}$. Standarta Hesa izmaiņa $\Delta G_{\text{Hess}} = \Delta G^\circ_{\text{O}_{2\text{aq}}} - \Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta G^\circ_{\text{O}_2^{\text{gas}}} = 16,4 - (0 - 237,191) = 253,6 \text{ kJ/mol}$ endoergoniska ir $\Delta G_{\text{AlbertyO}_{2\text{aq}}} = G_{\text{O}_{2\text{aq}}} - (G_{\text{H}_2\text{O}} + G_{\text{O}_2^{\text{gas}}}) = 330 - (0 + 303,1) = 26,58 \text{ kJ/mol}$ kā Prigožina atraktors $\Delta G_{\text{eq}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{sk}}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(2,206 \cdot 10^{-5}) = 26,58 \text{ kJ/mol}$. Šķīdības brīvā enerģija minimizējoties no tīrām vielām $\Delta G_{\text{Hess}} = 253,6 \text{ kJ/mol}$ uz $\Delta G_{\text{eq}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{sk}}) = 26,58 \text{ kJ/mol}$ Prigožina atraktoru līdzsvara maisījumā K_{sk} . Līdzsvara stāvoklis ir Prigožina atraktors, jo visi nelīdzsvara stāvokļi tiecas uz minimumu līdzsvara stāvokli ΔG_{eq} .



A+B 50% C+D
 izejvielas
 $\text{O}_2^{\text{gas}} + \text{H}_2\text{O}$ Asinis
 produkts $= \text{O}_{2\text{aqua}}$ Asinis

Osmolārā $C_{\text{osm}} = 0 \text{ M}$, jonu spēka $I = 0 \text{ M}$ ūdenī no gaisa 20,95% skābekļa šķīdība ir:

$$[\text{O}_{2\text{aq}}] = K_{\text{sk}} \cdot [\text{O}_{2\text{gaiss}}] \cdot [\text{H}_2\text{O}] = 2,206 \cdot 10^{-(5)} \cdot 0,2095 \cdot 55,3 = 0,00025546 \text{ M}.$$

Skābekļa reducēšanas standarta elektroda potenciālu $-E^\circ_{\text{O}_2} = -1,0868 \text{ V}$ summa $\text{O}_{2\text{aqua}} + 4\text{H}(\text{Pt}) = 2\text{H}_2\text{O}$ plus ūdeņraža oksidēšanas $4\text{H}(\text{Pt}) + 4\text{H}_2\text{O} = 4\text{H}_3\text{O}^+ + 4\text{e}^-$; potenciāls $E^\circ_{\text{H}} = -0,27073 \text{ V}$ dod Prigožina atraktoru $\Delta G_{\text{eq}} = (E^\circ_{\text{H}} - E^\circ_{\text{O}_2}) \cdot F \cdot 1 \cdot 4 = (-0,27073 - 1,0868) \cdot 96485 \cdot 4 = -1,3575 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -2 \cdot 261,96 = -523,925 \text{ kJ/mol}$ brīvās enerģijas izmaiņām. Tātad $\Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}} = 2G_{\text{H}_2\text{O}} - 4G_{\text{H}(\text{Pt})} - G_{\text{O}_{2\text{aqua}}} = 2 \cdot 0 - (4 \cdot G_{\text{H}(\text{Pt})} + 329,68) = -523,925 \text{ kJ/mol}$ metāla ūdeņraža brīvās enerģijas saturs ir $G_{\text{H}(\text{Pt})} = (2G_{\text{H}_2\text{O}} - \Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}} - G_{\text{O}_{2\text{aqua}}})/4 = (2 \cdot 0 + 523,925 - 329,68)/4 = 194,251/4 = 48,56 \text{ kJ/mol}$.

Bioķīmija samazina skābekļa $\text{O}_{2\text{aqua}}$ brīvās enerģijas saturu no $G_{\text{O}_{2\text{aqua}}} = 329,68 \text{ kJ/mol}$ līdz $G_{\text{O}_{2\text{Bio}}} = 88,22 \text{ kJ/mol}$.

Osmolārā $C_{\text{osm}} = 0,305 \text{ M}$, jonu spēka $I = 0,25 \text{ M}$ arteriālā asins plazmā no gaisa 20,95% skābekļa šķīdību $[\text{O}_{2\text{aq}}] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ un venozo $[\text{O}_{2\text{aq}}] = 0,426 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ izoksiju uztur skābekļa molekulu osmoze cauri akvaporīnu kanāliem šķērsojot membrānas pretēji osmolārās koncentrācijas gradientiem ΔC_{osm} .

Arteriālo asiņu $[\text{O}_{2\text{aqua}}] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ un $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10^{-7,36} \text{ M}$ koncentrācijas skābekļa spontāno potenciālu samazina: $E_{\text{O}_2} = -E^\circ_{\text{O}_2} + 0,0591/4 \cdot \log([\text{H}_2\text{O}]/[\text{O}_{2\text{aqua}}]/[\text{H}_3\text{O}^+]^4) = -1,0868 + 0,0591/4 \cdot \log(6 \cdot 10^{-(5)} \cdot 10^{-(7,36 \cdot 4)}/55,346^4) = -0,46174 \text{ V}$ par $\Delta E_{\text{arterial}} = E_{\text{O}_2} - (E_{\text{O}_2}) = -1,0868 - (-0,46174) = -0,62506 \text{ Voltiem}$ un brīvās enerģijas saturu par $\Delta G_{\text{arterial}} = \Delta E_{\text{H}_2\text{O}} \cdot F \cdot n = -0,62506 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -241,24 \text{ kJ/mol}$.

Skābekļa brīvās enerģijas saturs $\text{O}_2^{\text{gas}}_{\text{AIR}} + \text{H}_2\text{O} = \text{O}_{2\text{Blood}}$ ar šķīdības ieguldījumu palielinās par:

$$K_{\text{sk}} = \frac{[\text{O}_{2\text{aqua}}]}{[\text{O}_{2\text{gas}}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]} = 2,205 \cdot 10^{-5}; G_{\text{O}_{2\text{sk}}} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{\text{sk}}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(2,205 \cdot 10^{-5}) = 26,58 \text{ kJ/mol}.$$

Protolīze samazina brīvo enerģiju līdz $G_{\text{O}_{2\text{arteriāla}}} = G_{\text{O}_{2\text{aqua}}} + G_{\text{O}_{2\text{sk}}} + \Delta G_{\text{arteriāla}} = 303,1 + 26,58 - 241,456 = 88,22 \text{ kJ/mol}$ un skābeklis kļūst uguns drošs bioķīmiskais oksidants, veidojot [arteriālo koncentrāciju](#) $[\text{O}_{2\text{aqua}}] = 6 \cdot 10^{-5} \text{ M}$ kā bioenerģētiski drošu uzturētu izoksijas normu. [3]

1) Ūdens 55,346 M samazina skābekļa potenciālu no **-1,0868 V** par **0,1288 V** $= -1,0868 - (-0,95805) = \Delta E_{\text{H}_2\text{O}}$.

$$E_{\text{O}_2} = E^\circ_{\text{O}_2} + 0,0591/4 \cdot \log([\text{H}_2\text{O}]) = -1,0868 + 0,01478 \cdot \log(55,346^4) = -1,0868 + 0,1288 = -0,95805 \text{ V};$$

2) $[\text{H}_3\text{O}^+] = 10$ reizes potenciālu samazina $\Delta E_{\text{H}_3\text{O}^+} = -0,05912 \text{ V}$ un brīvās enerģijas saturu palielina par $\Delta E_{\text{H}_3\text{O}^+} = 0,01478 \cdot \log(1/[\text{H}_3\text{O}^+]^4) = -0,05912 \text{ V}$ un $\Delta G_{\text{max}} = \Delta E_{\text{H}_3\text{O}^+} \cdot F \cdot n = -0,05912 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -22,817 \text{ kJ/mol}$;

3) Gaisā 20,95% aizvietojo ar 100% skābekļa $[\text{O}_{2\text{aqua}}]$ koncentrāciju 5 reizes lielāka palielina potenciālu par

$$\Delta E_{\text{O}_{2100\%}} = 0,01478 \cdot \log(1/[\text{O}_{2\text{aqua}}]) = 0,01478 \cdot \log(1/5) = -0,0103 \text{ V}.$$
 Brīvās enerģijas saturs

$$\text{palielinās par } \Delta G_{\text{max}} = \Delta E_{\text{H}_3\text{O}^+} \cdot F \cdot n = -0,01033 \cdot 96485 \cdot 4/1000 = -3,987 \text{ kJ/mol}.$$

Lielā oksidatīvā stresa un oksidēšanās briesmu dēļ 1972. gadā slēdza NASA Apollo projektu.

Veidošanās no elementiem $6C + 6H_2^{gas} + 3O_2^{gas} = C_6H_{12}O_6$ brīvās enerģijas izmaiņu aprēķina no Albertija datiem pie pH=7,36 $\Delta G^\circ_{Alberty} = G_{C_6H_{12}O_6} - (6G_{C_{graph}} + 12*G_{H_2^{gas}} + 6*G_{O_2^{gas}}) = -402,05 \text{ kJ/mol}$. Enerģija molā glikozes ir $G_{C_6H_{12}O_6} = \Delta G^\circ_{Alberty} + (6G_{C_{graph}} + 6*G_{H_2^{gas}} + 3*G_{O_2^{gas}}) = -402,05 + (6*91,26 + 6*85,6 + 3*303) = 1568,1 \text{ kJ/mol}$.

Viela	$\Delta H^\circ_H, \text{ kJ/mol}$	$\Delta S^\circ_H, \text{ J/mol/K}$	$\Delta G^\circ_H, \text{ kJ/mol}$
$C_6H_{12}O_{6aq}$	-1263,78	269,45	-919,96
pH=7,36 Glc	-1267,13	-2901,492	-402,05

2006, Massachusetts's Technology Inst. Alberty [8] pH=7,36.
CRC 2017 [1]
[8] formation $\Delta G^\circ_{Alberty} = -402,05 \text{ kJ/mol}$;

Brīvo enerģiju glikozes oksidēšanā $C_6H_{12}O_6 + 6O_{2aq} + 12H_2O = 6H_3O^+ + 6HCO_3^-$ aprēķina trīs veidos:

1) Reakcijā publicētie Albertyja $\Delta G_{arterial_C_6H_{12}O_6} = 6*G_{H_3O^+} + 6*G_{HCO_3^-} - (G_{arterial_C_6H_{12}O_6} + 6*G_{O_{2aq}} + 12*G_{H_2O}) = 6*(22,44 + 56,08) - (1568,1 + 6*88,22 + 12*85,64) = -2653,98 \text{ kJ/mol}$ dati dod vērtību $G_{C_6H_{12}O_6} = 1568,1 \text{ kJ/mol}$.

Alberty reakcijā $\Delta G_{C_6H_{12}O_6} = -2654 \text{ kJ/mol}$ un skābekļa inversā absolūto un standarta potenciālu summa $\Delta E^\circ = (E^\circ_{C_6H_{12}O_6} - E^\circ_{O_2}) = \Delta G_{Lehninger}/F/n = -2653980/96485/24 = -1,1461 \text{ V}$ dod standarta brīvās enerģijas izmaiņu

$\Delta G_{Alberty} = \Delta E^\circ \cdot F \cdot n = (E^\circ_{C_6H_{12}O_6} - E^\circ_{O_2}) \cdot F \cdot n = (-1,1461) \cdot 96485 \cdot 24 = -2654 \text{ kJ/mol}$ oksidēšanas reakcijā

$C_6H_{12}O_6 + 12H_2O + 6O_{2aq} = 6H_3O^+ + 6HCO_3^-$ pēc publicētajiem datiem $\Delta G_{Alberty} = -2654 \text{ kJ/mol}$. [8]

Glikozes un skābekļa absolūto standarta potenciālu summa $(E^\circ_{C_6H_{12}O_6} - E^\circ_{O_2}) = (E^\circ_{C_6H_{12}O_6} - 1,0868) = -1,1461 \text{ V}$ ļauj noteikt absolūto standarta potenciālu glikozei

$E^\circ_{C_6H_{12}O_6} = \Delta E + E^\circ_{O_2} = -1,1461 + 1,0868 = -0,0593 \text{ V}$, ko aprēķina no

skābekļa reducēšanas inversās absolūtās standarta potenciāla vērtības $-E^\circ_{O_2} = -1,0868 \text{ V}$ un no Alberty datiem.

Nernsta glikozes oksidēšanas pus reakcijā absolūtais standarta potenciāls ir negatīvs, jo spēcīgais 24 elektronu donors reducē sešas skābekļa molekulas Nernsta inversā reakcijā $O_{2aq} + 4H_3O^+ + 4e^- = 5H_2O$ ar absolūto standarta potenciālu $-E^\circ_{O_2} = -1,0868 \text{ V}$.

Saskaitot glikozes klasisko standarta potenciālu $E^\circ_{Classic} = 0,031193 \text{ V}$, uzskaitot 42 ūdens molekulas ar Nernsta logaritmu $-0,0591/24 \cdot \log(1/55,3^{42}) = 0,18024$ un savienoto summu $\Delta E^\circ = +0,10166 - 0,37239$ absolūtais standarta potenciāls glikozes oksidēšanas Nernsta pus reakcijā $C_6H_{12}O_6 + 42H_2O = 30H_3O^+ + 6HCO_3^- + 24e^-$ ir

$E^\circ_{C_6H_{12}O_6} = E^\circ_{Classic} - 0,0591/24 \cdot \log(1/55,3^{42}) + \Delta E^\circ = 0,03119 + 0,18024 + 0,10166 - 0,37239 = -0,05930 \text{ V}$.

2) Lehningera reakcijā $\Delta G_{C_6H_{12}O_6} = 6*G_{H_3O^+} + 6*G_{HCO_3^-} - (G_{StandardC_6H_{12}O_6} + 6*G_{O_{2aq}} + 12*G_{H_2O}) = -2840 \text{ kJ/mol}$

Classic standarta saturs glikozes molā ir $G_{klasiskiC_6H_{12}O_6} = 6*(22,44 + 56,08) - (-2840 + 6*330 + 12*0) = 1331 \text{ kJ/mol}$

Arteriālā skābekļa $[O_{2arteriālā}] = 6*10^{(-5)}$; hidroksonija $[H_3O^+]^{30} = 10^{(-7,36*30)}$ M un $[C_6H_{12}O_6] = 0,005 \text{ M}$ glikozes koncentrācijas arteriālajās asinīs samazina glikozes reducējošo potenciālu līdz $E_{arterial} = -0,7821 \text{ V}$:

$$E_{Alberty} = E^\circ_{C_6H_{12}O_6} + 0,0591/24 \cdot \log([HCO_3^-]^6 [H_3O^+]^{30} / [H_2O]^{42} / [C_6H_{12}O_6]) = -0,0593 + 0,0591/24 \cdot \log(0,0154 \cdot 10^{(-7,36*30)} / 0,005 / 55,346^{42}) = -0,7821 \text{ V}$$

Inversais skābekļa reducēšanas arteriālais absolūtais potenciāls ir mazāk negatīvs par standarta $E^\circ_{O_2} < E_{O_{2arterial}}$

$E_{O_{2arterial}} = E^\circ_{O_2} + 0,0591/4 \cdot \lg([H_2O]^5 / [O_{2aq}] / [H_3O^+]^4) = -1,0868 + 0,0591/4 \cdot \log(55,346^5 / 6 / 10^{(-5)} / 10^{(-7,36*4)}) = -0,46068 \text{ Volti}$.

Homeostāzes summa ir vairāk negatīva $\Delta E_{arterial} = E_{C_6H_{12}O_6arterial} + E_{O_{2arterial}} = -0,7821 - 0,46068 = -1,39168 \text{ Volti}$.

Brīvās enerģijas izmaiņa $\Delta G_{arterial}$ ir vairāk eksoergoniski negatīva kā absolūtais standarta lielums Classic:

$\Delta G_{arterial} = \Delta E \cdot F \cdot n = (E_{C_6H_{12}O_6arterial} - E_{O_{2arterial}}) \cdot F \cdot n = (-0,7821 - 0,46068) \cdot 96485 \cdot 24 = -2877,8 \text{ kJ/mol}$.

3) brīvā enerģija $\Delta G_{arterial_C_6H_{12}O_6} = 6*G_{H_3O^+} + 6*G_{HCO_3^-} - (G_{arterial_C_6H_{12}O_6} + 6*G_{O_{2aq}} + 12*G_{H_2O}) = -2877,8 \text{ kJ/mol}$ uz

glikozes molu homeostāzē ir $G_{arterial_C_6H_{12}O_6} = 6*G_{H_3O^+} + 6*G_{HCO_3^-} - (\Delta G_{arterial_C_6H_{12}O_6} + 6*G_{O_{2aq}} + 12*G_{H_2O}) = 6*(22,44 + 56,08) - (-2877,8 + 6*88,22 + 12*85,64) = 1791,92 \text{ kJ/mol}$.

Ģenerētie $6HCO_3^- + 6H_3O^+$ joni osmozē virza izejvielas $6O_{2aq}$ un $6H_2O$ cauri membrānu akvaporīnu kanāliem pretēji koncentrācijas gradientiem un pretēji transportē $6HCO_3^- + 6H_3O^+$ jonus lejup pa gradientiem cauri bikarbonāta un protonu kanāliem membrānās lietojot producēto brīvo enerģiju $\Delta G_{arterial_C_6H_{12}O_6} = -2877,8 \text{ kJ/mol}$.

Vienu molu glikozes oksidē seši moli skābekļa producējot sešus molus bikarbonāta $6H_3O^+ + 6HCO_3^-$:

$C_6H_{12}O_6 + 42H_2O = 24H_3O^+ + 6H_3O^+ + 6HCO_3^- + 24e^-$; summa; $6O_{2aq} + 24H_3O^+ + 24e^- = 30H_2O$;

$C_6H_{12}O_6 + 42H_2O + 6O_{2aq} + 24H_3O^+ + 24e^- = 24H_3O^+ + 6H_3O^+ + 6HCO_3^- + 24e^- + 30H_2O$;

$C_6H_{12}O_6 + 12H_2O + 6O_{2aq} = 6H_3O^+ + 6HCO_3^-$

protolizē aktivējot $12H_2O + 6CO_{2gas}$ no nulles brīvās enerģijas saturu $12G_{H_2O} + 6G_{CO_2^{gas}} = 12*0 + 6*0 = 0 \text{ kJ/mol}$ līdz

aktuālo produktu vērtībai $6G_{H_3O^+} + 6HCO_3^- = 6G_{H_3O^+} + 6G_{HCO_3^-} = 6*22,44 + 6*56,08 = 471,12 \text{ kJ/mol}$.

Absolūtās potenciālu un brīvās enerģijas vērtībās iekļauj hidroksionija H_3O^+ un ūdens H_2O uzskaiti.

Skābeklis inversā pus reakcijā ar brīvo enerģiju $G_{\text{O}_2\text{aq}}=330 \text{ kJ/mol}$ un potenciālu $-E^\circ_{\text{O}_2}=-1,0868 \text{ V}$ reducējas par ūdeni $\text{O}_{2\text{aq}}+4\text{H}_3\text{O}^++4\text{e}^-=5\text{H}_2\text{O}$, oksidējot četrus metāla ūdeņraža atomus $4\text{H(Pt)}+4\text{H}_2\text{O}=4\text{H}_3\text{O}^++4\text{e}^-$ Nernsta pus reakcijā ar brīvās enerģijas saturu $G_{\text{H(Pt)}}=48,56 \text{ kJ/mol}$, kur $E^\circ_{\text{H}}=-0,27073 \text{ V}$ ir elektroda absolūtais standarta potenciāls. Standarta brīvās enerģijas izmaiņa reakcijā $\text{O}_{2\text{aq}}+4\text{H(Pt)}=2\text{H}_2\text{O}$, veidojoties no aqua elementiem ir $\Delta G_{\text{Hess}2\text{H}_2\text{O}}=2G_{\text{H}_2\text{O}}-4G_{\text{H(Pt)}}-G_{\text{O}_2\text{aq}}=2*0-(4*48,56+330)=-524,24=2*-262 \text{ kJ/mol}$. Elektrodu standartu summa ļauj $\Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}}=(E^\circ_{\text{H}}-E^\circ_{\text{O}_2})*F*4=(-0,27073-1,0868)*96485*4=-1,3575*96485*4=2*-262 \text{ kJ/mol}$ aprēķināt enerģijas izmaiņas ūdens veidošanās procesā no elementiem skābekļa $\text{O}_{2\text{aq}}$ un metāliskā ūdeņraža H(Pt) . Šīs izmaiņas atbilst absolūtajām brīvajām enerģijām $G_{\text{H(Pt)}}=48,56 \text{ kJ/mol}$, $G_{\text{O}_2\text{aq}}=330 \text{ kJ/mol}$ un absolūtā potenciāla skalai $E^\circ_{\text{H}}=-0,27073 \text{ V}$, $-E^\circ_{\text{O}_2}=-1,0868 \text{ V}$, kas eksperimentos ir nomērīta brīvajiem elementiem ūdenī H(Pt) , $\text{O}_{2\text{aq}}$.

Ūdeņraža standarta brīvās enerģijas saturs $\text{pH}=7,36$ šķīdumā ir $G_{\text{H}_2\text{aq}}=103,24 \text{ kJ/mol}$. $\text{O}_{2\text{aq}}+2\text{H}_{2\text{aq}}=2\text{H}_2\text{O}$; Brīvās [1] $\Delta G_{\text{HessCRCaqua}}=2\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}}-2\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{aq}}-\Delta G^\circ_{\text{O}_2\text{aq}}=2*-237,191-(2*99,13/2+16,4)=-589,91=2*-295 \text{ kJ/mol}$ enerģijas standarta izmaiņu aprēķinātas no CRC tīru reaģentu datiem pārvēršanos produktos, kura ir maksimāla iespējama izmaiņa $\Delta G_{\text{HessCRCaqua}}=-295 \text{ kJ/mol} > \Delta G_{\text{eqH(Pt)H}_2\text{O}}=-262 \text{ kJ/mol}$ tāpēc ir lielāka par līdzsvaru. Veidošanās no elementiem homeostāzē $\Delta G_{\text{H}_2\text{O}}=-147,35 \text{ kJ/mol}$ Albertija [8] bioķīmijas $\text{pH}=7,36$ un $G_{\text{O}_2\text{aq}}=88,22 \text{ kJ/mol}$ dati dod $\Delta G_{\text{H}_2\text{OHomeostasis}}=G_{\text{H}_2\text{O}}-(G_{\text{H}_2\text{aq}}+G_{\text{O}_2\text{aq}}/2)=0-(103,24+88,22/2)=-147,35 \text{ kJ/mol}$ uguns dršākas, mazākas izmaiņas.

Viela	$\Delta H^\circ_{\text{H}_2} \text{ kJ/mol}$	$\Delta S^\circ_{\text{H}_2} \text{ J/mol/K}$	$\Delta G^\circ_{\text{H}_2} \text{ kJ/mol}$
H_2O	-285,85	69,9565	-237,191
H_2O	-286,65	-453,188	-151,549
H_3O^+	-285,809	-168,8	-217,2345
$\text{H}_{2\text{aq}}$	23,4	-130	99,13
$\text{H}_{2\text{aq}}$	-5,02	-363,92	103,24
$E^\circ_{\text{H(Pt)}}=-0,27073 \text{ V}$	$E^\circ_{\text{O}_2}=-1,0868$	48,56	
$\text{O}_{2\text{aq}}$	-11,70	-94,2	16,4
$\text{O}_{2\text{aq}}$	-11,715	110,876	16,4

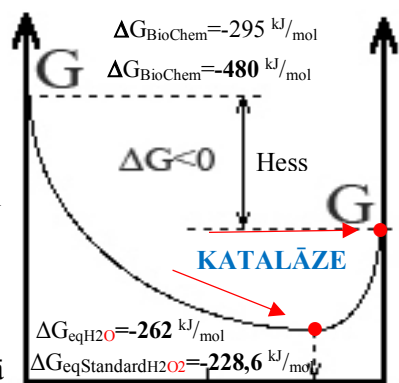
Ūdenim bioķīmijas vidē ir brīvā enerģija $G_{\text{H}_2\text{O}}=85,6 \text{ kJ/mol}$ [8] $G_{\text{H}_2\text{O}}=\Delta G_{\text{H}_2\text{OAlberty}}-(\Delta G^\circ_{\text{H}_2\text{O}})=-151,549-(-237,191)=85,6 \text{ kJ/mol}$. $\Delta G_{\text{H}}=\Delta H_{\text{H}}-T*\Delta S_{\text{H}}=-286,65-298,15*-0,453188=-151,549 \text{ kJ/mol}$; $\Delta H^\circ_{\text{H}_3\text{O}^+}=285,809 \text{ kJ/mol}$ [Mischenko](#) 1972, Himia, Leningrad [26]

$\text{pH}=7,36$ [8] Biochem. Thermodyn Massachusetts Techn. Inst. $G_{\text{H(Pt)}}=(2G_{\text{H}_2\text{O}}-\Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}}-G_{\text{O}_2\text{aq}})/4=48,56 \text{ kJ/mol}$ $\text{pH}=7,36$ [8] Biochem. Thermodyn Massachusetts Technology Inst. CRC [1] Līdzsvara konstante ir labvēlīga, lielāka par vienu:

$$K_{\text{eqH}_2\text{O}}=K_{\text{OxRed}}=\exp(-\Delta G_{\text{OxRed}}/R/T)=\exp(261960,6/8,3144/298,15)=\exp(105,675)=7,832*10^{45}$$

Eksotermiska un eksoergoniska $\text{O}_{2\text{aq}}$ reducēšana ar metālu ūdeņradi Hesa brīvās enerģijas izmaiņa negatīva, bet sasniedzot līdzsvara stāvokli $\Delta G_{\text{eq}2\text{H}_2\text{O}}=-262 \text{ kJ/mol}$ minimumā konstante ir $K_{\text{eqH}_2\text{O}}=7,832*10^{45}$ lielāka par vienu. Līdzsvara stāvoklis ir atraktors $\Delta G_{\text{eq}}=-R*T*\ln(K_{\text{eq}})$ visiem nelīdzsvara stāvokļiem. Brīvās enerģijas izmaiņas minimuma sasniegšanā iestājas līdzsvara stāvoklis.

Peroksīda oksidēšanā $E^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2\text{Ox}}=0,52677 \text{ V}$ $\text{Ox H}_2\text{O}_2+2\text{H}_2\text{O}=\text{O}_{2\text{aq}}+2\text{H}_3\text{O}^++2\text{e}^-$ un reducēšanā $\text{H}_2\text{O}_2+2\text{H}_3\text{O}^++2\text{e}^-=4\text{H}_2\text{O}$ absolūtais inversais $-E^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2\text{Red}}=-1,7113 \text{ V}$ standarta potenciālu $-1,18449 \text{ V}=(E^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2\text{Ox}}-E^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2\text{Red}})$ summa. Peroksīda molekulu protolītiska dismutācija ir eksoergoniska $\Delta G_{\text{eqStandardH}_2\text{O}_2}=-228,6 \text{ kJ/mol}$ negatīva. Skābekļa šķīdība $\text{O}_{2\text{aq}}$ kompensē ūdens molekulu $\text{O}_2^{\text{gas}}+\text{H}_2\text{O}=\text{O}_{2\text{aq}}$ kā dismutācijā $2\text{H}_2\text{O}_2=\text{O}_{2\text{aq}}+\text{H}_2\text{O}$. Reaktanti $4\text{H(Pt)}+\text{O}_{2\text{aq}}$ un produkti $2\text{H}_2\text{O}$ $4\text{A}+\text{B}$ 50% 2D



Reaktanti visi ir aqua reaktanti $2\text{H}_2\text{O}_2$ un produkti $\text{O}_{2\text{aq}}+\text{H}_2\text{O}$ 2A 50% $\text{B}+\text{C}$ KATALĀZE izdzēš peroksīda molekulas H_2O_2 sasniedzot 100% iznākumu $\omega=6$, $\omega=3$ taukskābju C20:4 elongācijas sintēzē peroksisomās, kā nepieciešams neatgriezeniskas homeostāzes Brauna molekulārs dzinējs evolūcijai un izdzīvošanai. Eksotermiska, eksoergoniska H_2O_2 dismutēšanas izmaiņa ir negatīva, bet līdzsvara maisījumā minimizējas $\Delta G_{\text{eqStandard}}=-228,6 \text{ kJ/mol}$ sasniedzot konstanti $K_{\text{eq}}=1,11*10^{40}$. Atraktors ir standarta un līdzsvara stāvokļa summas nulle $0=\Delta G=\Delta G_{\text{eq}}+R*T*\ln(K_{\text{eq}})$. Biosfēras atraktori $\text{pH}=7,36$, skābekļa 20,95% gaisā atrodas līdzsvarā, savukārt $\omega=6$, $\omega=3$ taukskābju pagarināšanās peroksisomās notiek ar 100% iznākumu, jo peroksīda koncentrāciju dzēš KATALĀZE nullējot $[\text{H}_2\text{O}_2]=>0$.

Oksidēšanas potenciāls satur $E^\circ_{\text{klasiko}}=0,6945 \text{ V}$ [1,19], $-0,0591/2*\log(1/[\text{H}_2\text{O}])=0,0515$ ūdens logaritmu, summu $\Delta E^\circ: E^\circ_{\text{H}_2\text{O}}=E^\circ_{\text{klasiko}}-0,0591/2*\log(1/[\text{H}_2\text{O}]^2)+\Delta E^\circ=0,6945+0,103+0,10166-0,37239=0,52677 \text{ V}$. Potenciāls satur $E^\circ_{\text{klasisko}}=1,776 \text{ V}$ [1], ūdens logaritmu $-0,0591/2*\log(1/[\text{H}_2\text{O}]^4)=0,206$, summu $\Delta E^\circ: E^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2\text{Ox}}=E^\circ_{\text{Classic}}-0,0591/2*\log(1/[\text{H}_2\text{O}]^4)+0,10166-0,372=1,776+0,206+0,10166-0,37239=1,71126 \text{ V}$;

Inversā reducēšana $\text{H}_2\text{O}_2+2\text{H}_3\text{O}^++2\text{e}^-=4\text{H}_2\text{O}$; $\Delta G_{\text{H}_2\text{O}_2\text{Red}}=-E^\circ_{\text{H}_2\text{O}_2\text{Red}}*F*n=-1,71126*96485*2=-330,222 \text{ kJ/mol}$ ir eksoergoniska negatīva $\Delta G_{\text{eq}}=4G_{\text{H}_2\text{O}}-(G_{\text{AlbertyH}_2\text{O}_2}+2G_{\text{H}_3\text{O}^+})=4*0-(-285,342+2*22,44)=-330,222 \text{ kJ/mol}$. [8]

Brīvās enerģijas saturs ir $G_{\text{AlbertyH}_2\text{O}_2}=4G_{\text{H}_2\text{O}}-(\Delta G_{\text{eq}}+2G_{\text{H}_3\text{O}^+})=4*0-(-330,222+2*22,44)=285,342 \text{ kJ/mol}$. Dismutācija ir exoergoniska $\Delta G_{\text{Hess}2\text{H}_2\text{O}_2}=G_{\text{H}_2\text{O}}+G_{\text{O}_2\text{aq}}-(2G_{\text{H}_2\text{O}_2})=2*0+330-(2*285,342)=-240,684 \text{ kJ/mol}$, $2\text{H}_2\text{O}_2=2\text{H}_2\text{O}+G_{\text{O}_2^{\text{gas}}}-(\Delta G_{\text{Hess}2\text{H}_2\text{O}_2})=2*0+303,1-(-155,12)=2*229,1 \text{ kJ/mol}$. [1,8]

Peroksīda oksidēšanas un inversā reducēšanas standarta potenciālu summa aprēķina standarta enerģijas izmaiņu:

$$\Delta E^{\circ}_{H_2O_2} = (E^{\circ}_{H_2O_2Ox} - E^{\circ}_{H_2O_2Red}) = (0,52677 - 1,7113) = -1,18449 \text{ V.}$$

$$\Delta G_{eq, H_2O_2} = (E^{\circ}_{H_2O_2Ox} - E^{\circ}_{H_2O_2Red}) * F * n = (0,52677 - 1,7113) * 96485 * 2 = (-1,18449) * 96485 * 2 = -228,5788 \text{ kJ/mol.}$$

$$2H_2O_2 = O_{2(aqua)} + H_2O; \Delta G_{eq, H_2O_2} = G_{O_{2(aqua)}} + G_{H_2O} - 2G_{Alberty, H_2O_2} = 330 + 0 - 2 * 279,2855 = -228,5788 \text{ kJ/mol. [8]}$$

$$G_{Alberty, H_2O_2} = (G_{O_2, Biochem} + G_{H_2O} - \Delta G_{eq, H_2O_2}) / 2 = (330 + 0 + 228,5788) / 2 = 279,2855 \text{ kJ/mol.}$$

Absolūtā potenciālu skala sakrīt ar Alberty absolūto brīvās enerģijas skalu.

$$\frac{[O_2]_{aqua} \cdot [H_2O]}{[H_2O_2]^2} = K_{H_2O_2} = [O_{2(aqua)}] * [H_2O] / [H_2O_2]^2 = \exp(-\Delta G_{eq} / R / T) = \exp(228578,8 / 8,3144 / 298,15) = 1,11 * 10^{40}.$$

Bioķīmijas koncentrācijas $[O_{2(aqua)}] = 6 * 10^{-5} \text{ M}$, $[H_3O^+] = 10^{-7,36} \text{ M}$, $[H_2O] = 55,3 \text{ M}$, $[H_2O_2] = 1 \text{ M}$.

$$E_{Ox} = E^{\circ}_{H_2O_2} + 0,0591 / 2 * \lg([O_{2(aqua)}] * [H_3O^+]^2 / [H_2O_2] / [H_2O]) = 0,52677 + 0,0591 / 2 * \lg(6 * 10^{(-5)} * 10^{(-7,36*2)} / 1 / 55,3^4) = -0,13596 \text{ V}$$

$$E_{Red} = -E^{\circ}_{H_2O_2Ox} + 0,0591 / 2 * \lg([H_2O_2] * [H_3O^+]^2 / [H_2O]^4) = -1,71126 + 0,0591 / 2 * \lg(1 * 10^{(-7,36*2)} / 55,3^4) = -2,3522 \text{ V}$$

Summā Nernsta + inversā reakcija homeostāzē absolūtā brīvās enerģijas elektroķīmiskā izmaiņa ir ar enerģijas saturu $[H_2O_2] = 1 \text{ M}$; $\Delta G_{eq, BioChem} = (E_{Red} + E_{Ox}) * F * n = (-0,13596 - 2,3522) * 96485 * 2 = (-2,5197) * 96485 * 2 = -486,23 \text{ kJ/mol.}$

$$\text{Standarta } \Delta G_{Alberty} = G_{O_2, Biochem, arterial} + G_{H_2O, BioChemistry} - 2 * G_{H_2O_2} = 88,22 + 85,64 - 2 * 279,2855 = -384,711 \text{ kJ/mol.}$$

Bioķīmijas koncentrācijas $[H_2O_2] = 10^{(-10)} \text{ M}$, $[O_{2(aqua)}] = 6 * 10^{-5} \text{ M}$, $[H_3O^+] = 10^{-7,36} \text{ M}$, $[H_2O] = 55,3 \text{ M}$

$$E_{Ox} = E^{\circ}_{H_2O_2} + 0,0591 / 2 * \lg([O_{2(aqua)}] * [H_3O^+]^2 / [H_2O_2] / [H_2O]) = 0,52677 + 0,0591 / 2 * \lg(6 * 10^{(-5)} * 10^{(-7,36*2)} / 10^{-10} / 55,3^4) = 0,15954 \text{ V.}$$

$$E_{Red} = -E^{\circ}_{H_2O_2Ox} + 0,0591 / 2 * \lg([H_2O_2] * [H_3O^+]^2 / [H_2O]^4) = -1,71126 + 0,0591 / 2 * \lg(10^{(-10)} * 10^{(-7,36*2)} / 55,3^4) = -2,64773 \text{ V}$$

$$\Delta G_{eq, BioChem} = (E_{Red} + E_{Ox}) * F * n = (0,15954 - 2,64773) * 96485 * 2 = (-2,51964) * 96485 * 2 = -480,146 \text{ kJ/mol.}$$

$\Delta G_{Alberty} = G_{O_2, Biochem, arterial} + G_{H_2O, BioChemistry} - 2 * G_{H_2O_2} = 88,22 + 85,64 - 2 * 282,32 = -390,78 \text{ kJ/mol.}$ **Absolūtā potenciālu skala proporcionāla Alberty brīvās enerģijas skalai pie peroksīda koncentrācijām $10^{(-10)} \text{ M} < [H_2O_2] < 1 \text{ M}$.**

Liela ātruma protolīze peroksīda anjonu sadursmēs peroksisomās producē neaizstājamās taukskābes $\omega = 6$,

$\omega = 3 \text{ C}_{20:4}$ ar 100% iznākumu, skābekli, ūdeni un siltumu: $2H_2O_{2(aq)} + 2H_2O = O_{2(aqua)} + 3H_2O + Q + \Delta G$.

Sadursmes $H^+ + HOO^- \rightarrow \cdot OOH + H^+$ ūdenī aktivācijas enerģija ir liela $E_a = 79000 \text{ J/mol}$ ar lēnu reakcijas ātrumu.

Sadursmē $HOO^- \Rightarrow Fe^{3+}$ ar dzelzs(III) jonu peroksīda aktivācijas enerģija $E_a = 29 \text{ J/mol}$ ir maza. Tas palielina

reakcijas ātrumu trīsdesmit miljonus reizes. Peroksīda veidošanās no elementiem gāzveida un aqua ir negatīva,

exoergoniska $\Delta G_{Alberty, Format} = G_{H_2O_2} + (G_{O_2}^{gas} + G_{H_2}^{gas}) = 279,2855 - (85,64 + 303,1) = -109,4545 \text{ kJ/mol}$ ar molāro

enerģijas saturu $G_{H_2O_2} = \Delta G_{Alberty, Format} + (G_{O_2}^{gas} + G_{H_2}^{gas}) = -109,4545 + (85,64 + 303,1) = 279,2855 \text{ kJ/mol}$. Albertyja aqua

dati dod exoergonisku veidošanos $\Delta G^{\circ}_{form, H_2O_2} = G_{H_2O_2} - G_{H_2(aq)} - G_{O_{2(aqua)}} = 279,2855 - (103,24 + 330) = -153,9545 \text{ kJ/mol}$ ar

identisku molāro enerģijas saturu $G_{H_2O_2} = \Delta G_{form, H_2O_2} + (G_{H_2(aq)} + G_{O_{2(aqua)}}) = -153,9545 + (103,24 + 330) = 279,2855 \text{ kJ/mol}$.

H_2O_2 veidošanās dati literatūras avotos: $\Delta G^{\circ}_{Alberty} = -48,39 \text{ kJ/mol}$ [8]; $\Delta G^{\circ}_{gas, Format} = -109,4545 \text{ kJ/mol}$;

$\Delta G^{\circ}_{CRC} = -120,4(-155,12) \text{ kJ/mol}$ [1]; $\Delta G^{\circ}_{Univ, Alberty} = -134,03 \text{ kJ/mol}$ [19], $\Delta G^{\circ}_{aq, Form, H_2O_2} = -153,9545 \text{ kJ/mol}$;

Viela	$\Delta H^{\circ}_H, \text{ kJ/mol}$	$\Delta S^{\circ}_H, \text{ J/mol/K}$	$\Delta G^{\circ}_H, \text{ kJ/mol}$	Protolīze $pK_a = 11,75$ dod molāro enerģiju $G_{HOO^-} = 333,86 \text{ kJ/mol}$;
$H_2O_{2(aq)}$	-191,99	-481,688	-48,39	Biochem. Thermodynamic 2006 Massachusetts Technology Inst. [8]
$H_2O_{2(aq)}$	-191,17	143,9	-134,03	$\Delta G_H = \Delta H_H - T * \Delta S_H = -148,266 \text{ kJ/mol}$; University Alberta 1997. [19]
$H_2O_{2(aq)}$	Formation	-48,39	340,25	$G_{H_2O_2(aq)} = \Delta G_{H_2O_2, Alberty} + (G_{O_2}^{gas} + G_{H_2}^{gas}) = 340,25 \text{ kJ/mol}$; [8]
$H_2O_{2(aq)}$	Formation	-109,4545	279,2855	$\Delta G_{Alberty, Format} = G_{H_2O_2} + (G_{O_2}^{gas} + G_{H_2}^{gas}) = -109,4545 \text{ kJ/mol}$; [8]
$H_2O_{2(aq)}$	Formation	-155,12	229,1	$2G_{H_2O_2} = 2\Delta G^{\circ}_{H_2O_2} = 2G_{H_2O} + G_{O_2}^{gas} - (\Delta G_{Hess, 2H_2O_2}) = 2 * 229,1 \text{ kJ/mol}$. [1,8];
$H_2O_{2(aq)}$	Formation	-153,9545	279,2855	$G_{H_2O_2(aq)} = \Delta G_{H_2O_2, form} + (G_{O_{2(aqua)}} + G_{H_2(aq)}) = 279,2855 \text{ kJ/mol}$; absolute
$H_2O_{2(aq)}$	$-E^{\circ}_{H_2O_2Red}$	-1,71126	285,342	$G_{Alberty, H_2O_2} = 4G_{H_2O} - (\Delta G_{eq} + 2G_{H_3O^+}) = 285,342 \text{ kJ/mol}$;
$H_2O_{2(aq)}$	$\Delta E^{\circ}_{H_2O_2RedOx}$	-1,18449	279,2855	$G_{Alberty, H_2O_2} = (G_{O_2, Biochem} + G_{H_2O} - \Delta G_{eq, H_2O_2}) / 2 = 279,2855 \text{ kJ/mol}$.
HOO^-	$pK_a = 11,75$	77,016	333,86	$G_{HOO^-} = -G_{H_3O^+} + \Delta G_{aH_2O_2} + (G_{H_2O_2} + G_{H_2O}) = 333,86 \text{ kJ/mol}$;
H_2O_{2l}	-187,8	109,6	-120,4	CRC [1] $\Delta G_H = \Delta H_H - T * \Delta S_H = -187,8 - 298,15 * -0,1096 = -155,12 \text{ kJ/mol}$;

1. Peroksīda protolīze $H_2O_2 + H_2O = H_3O^+ + HOO^-$; $pK_a = 11,75$; dod brīvās enerģijas izmaiņu līdzsvarā

$\Delta G_{aH_2O_2} = -R * T * \ln(K_a / [H_2O]) = -8,3144 * 298,15 * \ln(10^{(-11,75)} / 55,3) = -8,3144 * 298,15 * -31,07 = 77,016 \text{ kJ/mol}$ arī Hesa

izteiksme ir endoergoniska $\Delta G_{aH_2O_2} = G_{H_3O^+} + G_{HOO^-} - (G_{H_2O_2} + G_{H_2O}) = 22,44 + 333,86 - (279,2855 + 0) = 77,016 \text{ kJ/mol}$.

Enerģija anjona molam ir $G_{HOO^-} = -G_{H_3O^+} + \Delta G_{aH_2O_2} + (G_{H_2O_2} + G_{H_2O}) = -22,44 + 77,016 + (279,2855 + 0) = 333,86 \text{ kJ/mol}$.

Protolīze akumulē enerģiju peroksīda saturā

no $G_{H_2O} + G_{HOOH} = 0 + 279,2855 = 279,2855 \text{ kJ/mol}$ līdz $G_{H_3O^+} + G_{HOO^-} = 22,4 + 333,86 = 356,26 \text{ kJ/mol}$.

Summārajā dismutācijas reakcijā $2H_2O_2 = O_{2(aqua)} + H_2O$ un reducējot peroksīdu $H_2O_2 + 2H_3O^+ + 2e^- = 4H_2O$: inversais

potenciāls $-E^{\circ}_{H_2O_2Red} = -1,71126 \text{ V}$ dod nedaudz lielāku brīvās enerģijas saturu gan $G_{Alberty, H_2O_2} = 285,34 \text{ kJ/mol}$ gan

anjonom $G_{HOO^-} = -G_{H_3O^+} + \Delta G_{aH_2O_2} + (G_{H_2O_2} + G_{H_2O}) = -22,44 + 77,016 + (285,34 + 0) = 339,916 \text{ kJ/mol}$.

$HOO^- + H_2O = O_{2(aqua)} + H_3O^+ + 2e^-$ absolūtais standarta $E^{\circ}_{HOO^-} = \Delta G_{HOO^-} / F / 2 = 15544 / 96485 / 2 = 0,080551 \text{ V}$ potenciāls

ir enerģijas izmaiņā $\Delta G_{Nernst, HOO^-} = G_{O_{2(aqua)}} + G_{H_3O^+} - (G_{HOO^-} + G_{H_2O}) = 330 + 22,44 - (333,86 + 0) = 15,544 \text{ kJ/mol}$ un satur

klasisko $E^{\circ}_{klasisko} = 0,29978 \text{ V}$, ūdens logaritmu $-0,0591 / 2 * \lg(1 / 55,3^4) = 0,0515$, summu $\Delta E^{\circ} = 0,10166 - 0,37239$:

$$E^{\circ}_{HOO^-Ox} = E^{\circ}_{klasiskais} - 0,0591 / 2 * \lg(1 / [H_2O]^4) + \Delta E^{\circ} = 0,29978 + 0,0515 + 0,10166 - 0,37239 = 0,080551 \text{ V.}$$

Līdzsvara konstantes K_{eq} , elektrodu standarta potenciāli E° ir atraktoru $\Delta G_{eq} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{eq}) = E^\circ nF$ determinanti. Elektrodu potenciālu skalā ir kopīgs nulles punkts un proporcionalitāte ar absolūto brīvo enerģiju $\Delta G_{eq} = E^\circ nF$.

Akumulētā brīvā enerģija ūdens protolīzes produktos $H_2O + H_2O = H_3O^+ + OH^-$; $K_{eq} = \frac{[OH^-] \cdot [H_3O^+]}{[H_2O] \cdot [H_2O]} = 3,26 \cdot 10^{-18}$ ir aprēķināma Prigožina atraktorā $\Delta G_{eq} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{eq})$ un Hesa summās $\Delta G_{eqHess} = \sum \Delta G_{products} - \sum \Delta G_{reactants}$ [1,2,3,4] $\Delta G_{eq} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{eq}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(3,261 \cdot 10^{-18}) = G_{H_3O^+} + G_{OH^-} - (2 \cdot G_{H_2O}) = 22,44 + 77,36 - (2 \cdot 0) = 99,8 \text{ kJ/mol}$.

Ūdens kā gala produkts ir nulle brīvās enerģijas $G_{H_2O} = 0 \text{ kJ/mol}$ saturā, kas ir fona atsauce bioķīmijā. To apstiprina nulles veidošanās no brīvajiem ūdeņraža un skābekļa elementiem $G_{H_2} = 85,64 \text{ kJ/mol}$; $G_{O_2}^{gas} = 303 \text{ kJ/mol}$. Ūdens veidošanās standarta vērtība $\Delta G^\circ_{H_2O} = 237,191 \text{ kJ/mol}$ zaudē atlikumu nelielu

$$G_{H_2O} = \Delta G^\circ_{H_2O} + (G_{H_2} + 0,5 G_{O_2}^{gas}) = -237,191 + (85,64 + 0,5 \cdot 303) = -0,051 \text{ kJ/mol};$$

tīrā ūdens standarta veidošanās brīvās enerģijas protolīzes produktu daļu $[H_3O^+] + [OH^-] = 10^{-7} \text{ M} + 10^{-7} \text{ M}$ uz vienu molu ūdens papildus samazinot standarta veidošanās brīvo enerģiju $\Delta G^\circ_{H_2O}$ par $G_{H_2O} = -0,051 \text{ kJ/mol}$.

Mischenko [1,26] standarta vērtību $\Delta H^\circ_{H_3O^+} = -285,809 \text{ kJ/mol}$ apstiprina nritalizācijas siltumefekta mērījumi:

$$\Delta H_{neutralisation} = -55,851 \text{ kJ/mol} \quad \Delta H_{Hess} = 2 \cdot \Delta H^\circ_{H_2O} - (\Delta H^\circ_{H_3O^+} + \Delta H^\circ_{OH^-}) = 2 \cdot -285,83 - (-285,809 - 230) = -55,851 \text{ kJ/mol}.$$

Viela	$\Delta H^\circ_{H_2O}$, kJ/mol	$\Delta S^\circ_{H_2O}$, J/mol/K	$\Delta G^\circ_{H_2O}$, kJ/mol	$\Delta H^\circ_{H_3O^+} = -285,809 \text{ kJ/mol}$ Mischenko 1972, Himia, Leningrad [1,26]
H₂O	-286,65	-453,188	-151,549	$\Delta G_H = \Delta H_H - T \cdot \Delta S_H = -286,65 - 298,15 \cdot -0,453188 = -151,549 \text{ kJ/mol}$; [8]
H₂O	-285,85	69,9565	-237,191	$\Delta G_H = \Delta H_H - T \cdot \Delta S_H = -285,85 - 298,15 \cdot -0,0699565 = -264,99 \text{ kJ/mol}$;
OH⁻	-230,00	-10,8	-157,2	CRC [1] $\Delta G^\circ_{OH^-} = \Delta H - T \cdot \Delta S = -230 - 298,15 \cdot -0,0108 = -226,78 \text{ kJ/mol}$;
H₃O⁺	-285,809	-737,98	-65,780	$\Delta G^\circ_{H_3O^+} = \Delta H - T \cdot \Delta S = -285,809 - 298,15 \cdot -737,98/1000 = -65,780 \text{ kJ/mol}$;
H₃O⁺	-285,809	-182,1905	-231,4889	$\Delta H - T \cdot \Delta S = -285,809 - 298,15 \cdot -0,1821905 = -231,4889 \text{ kJ/mol}$;
G_e- H₃O⁺	formation	-231,4889	26,121	$G_e = \Delta G^\circ_{H_3O^+} - G_{H_3O^+} + (1,5 \cdot G_{H_2}^{gas} + 0,5 \cdot G_{O_2}^{gas}) = 26,121 \text{ kJ/mol}$;
H₃O⁺	$K_{eq1} = 3,26 \cdot 10^{(-18)}$		22,44	The equilibrium state $\Delta G_{eq1} = G_{H_3O^+} + G_{OH^-} = 22,44 + 77,36 = 99,8 \text{ kJ/mol}$;
OH⁻	$K_{eq1} = 3,26 \cdot 10^{(-18)}$		77,36	is an attractor for all non-equilibrium states, including the maximal

$\Delta H_{Hess} = \Delta H^\circ_{H_3O^+} + \Delta H^\circ_{OH^-} - 2 \cdot \Delta H^\circ_{H_2O} = -285,809 - 230 - 2 \cdot -285,85 = 55,851 \text{ kJ/mol}$. Entalpija ir no [1,8,26]

$\Delta S_{Hess} = \Delta S^\circ_{H_3O^+} - \Delta S^\circ_{OH^-} - 2 \cdot \Delta S^\circ_{H_2O} = -182,1905 - 10,8 - 2 \cdot 69,956 = -332,9025 \text{ J/mol/K}$; Koriģēts $\Delta S^\circ_{H_3O^+} = -182,19 \text{ J/mol/K}$;

$\Delta G_{Hess_protolysis} = \Delta H_{Hess} - T \cdot \Delta S_{Hess} = 55,851 - 298,15 \cdot -0,319512 = 151,11 \text{ kJ/mol}$; Koriģēts $\Delta G^\circ_{H_3O^+} = -231,4889 \text{ kJ/mol}$;

$\Delta S_{dispersed} = -\Delta H_{Hess}/T = -55,851/298,15 = -187,325 \text{ J/mol/K}$;

$\Delta S_{total} = \Delta S_{Hess} + \Delta S_{dispersed} = -319,512 - 187,325 = -506,837 \text{ J/(mol K)}$;

$T \Delta S_{total} = \Delta G_{dispersed_or_dissipated_free_energy} \quad T \cdot \Delta S_{total} = -0,506837 \text{ J/K/mol} \cdot 298,15 \text{ K} = -151,1058 \text{ kJ/mol}$.

Visā nelīdzsvara stāvokļu kopā $\Delta G_{eq} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{non_equilibrium})$ ir viens stāvoklis ar mazāko absolūtās enerģijas izmaiņu $\Delta G_{eq} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{eq})$ Prigožina atraktors.

Protolīzei inversā ir neitralizācijas reakcija, siltuma efekta eksperiments, kurā tīrie reaģenti skābes H_3O^+ (HCl vai HNO_3) un hidroksīdi OH^- (NaOH vai KOH) reakcijā producē tīru ūdeni. Siltuma satura izdalīšanās tiek aprēķināta kā tīro produktu summa mīnus tīro reaģentu summa:

$$\Delta H_{Hess} = 2 \cdot \Delta H^\circ_{H_2O} - (\Delta H^\circ_{H_3O^+} + \Delta H^\circ_{OH^-}) = 2 \cdot -285,83 - (-285,809 - 230) = -55,851 \text{ kJ/mol}$$
. Entalpijas ir no {1,8,26},

kur temperatūras mērījumi $Q = -\Delta H_{eksperimentāls} = C_{H_2O} \cdot m_{H_2O} \cdot \Delta T/n = 4,184 \cdot 200 \cdot 2,1357935/0,032 = 55,851 \text{ kJ/mol}$ apstiprina $\Delta H^\circ_{H_3O^+} = -285,809 \text{ kJ/mol}$ [Mischenko](#) 1972, Himia, Leningrad datus [26]

Katra no nelīdzsvara reakcija stāvokļu kopas tiecas uz līdzsvara stāvokli ar minimālo enerģijas izmaiņu $\Delta G_{eq} = 99,8 \text{ kJ/mol}$, jo vielu maisījumā līdzsvara stāvoklī ar konstantu K_{eq} vērtību brīvās enerģijas izmaiņa

$\Delta G_{eq} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{eq})$ ir Prigožina atraktors:

$$\Delta G_{eq} = -R \cdot T \cdot \ln(K_{eq}) = -8,3144 \cdot 298,15 \cdot \ln(3,261 \cdot 10^{-18}) = G_{H_3O^+} + G_{OH^-} - (2 \cdot G_{H_2O}) = 22,44 + 77,36 - (2 \cdot 0) = 99,8 \text{ kJ/mol},$$

kas ir brīvās enerģijas izmaiņas absolūtās vērtības minimums ūdens protolīzē. [1,2,3,4]

Vidē ūdens aktivējas $G_{H_2O_Biochemistry} = \Delta G_{H_2O_Alberty} - (\Delta G^\circ_{H_2O}) = -151,549 - (-237,191) = 85,6 \text{ kJ/mol}$ pēc Alberty datiem. [8] Ūdens protolīze $H_3O^+ + OH^-$, ūdeņraža saišu bagātīga veidošanās, koordinācija ar donoru-akceptoru saitēm organismos ar ūdens resursiem bagātā bioķīmijas vidē aktivē efektīvu brīvās enerģijas uzkrājumu $G_{H_2O_Biochemistry} = 85,6 \text{ kJ/mol}$ no absolūtās nulles tīram destilētam ūdenim $G_{H_2O} = 0 \text{ kJ/mol}$.

References.

1. [W.M.Haynes. Handbook of Chemistry and Physics .97th ed. CRC Press Taylor and Francis Group; 2017](#) 2643.
2. Prigogine I, Defey R. Chemical Thermodynamics. Longmans Green & co ©; 1954.
3. Prigogine I, Nicolis G. Self-Organization in Non-Equilibrium Systems. Wiley, 1977.
4. [Prigogine I. Time, Structure and Fluctuations. Lecture, The Nobel Praise in Chemistry; 1977.](#)
5. [Kuman M. New light on the attractors creating order out of the chaos. *Int J Complement Alt Med.* **11**\(6\), 337, \(2018\) ;](#)
6. [Nelson DL, Cox MM. Lehninger Principles of Biochemistry. 5th ed. New York: W.H. Freeman and company; 2008.](#)
7. [Xing W, Yin G, Zhang J. Rotating Electrode Method and Oxygen Reduction Electrocatalysts. *Elsevier*; 6 \(2014\).](#)
8. [Alberty RA. Biochemical Thermodynamic's : Applications of Mathematics. John Wiley & Sons, Inc. 1-463, \(2006\).](#)
9. [Pinard MA, Mahon B, McKenna R. Probing the Surface of Human Carbonic Anhydrase for Clues towards the Design of Isoform Specific Inhibitors. *BioMed Research International*; **2015**, 3 \(2015\). .](#)
11. [Balodis J. PRAKTISKIE DARBI FIZIKĀLAJĀ ĶĪMIJĀ II DAĻA. Izdevniecība «Zvaigzne», Rīga, 1975, lapaspuse. 149. Latvian.](#)
14. [Kaksis A. The Biosphere Self-Organization Attractors drive perfect order homeostasis reactions to link bioenergetic with functionally activate oxygen and carbon dioxide molecules. 7th International Conference on New Trends in Chemistry September 25-26, 2021.](#)
15. [Kaksis A. HIGH RATE PROTOLYSIS ATTRACTORS ACTIVATE energy over zero \$\text{GH}_2\text{O}=\text{GCO}_2\text{gas}=0\$ kJ/mol of water and carbon dioxide. FREE ENERGY CONTENT as BIOSPHERE Self-ORGANIZATION creates PERFECT ORDER IRREVERSIBLE HOMEOSTASIS PROGRESS. 9th International Conference.](#)
16. Loach, P.A. (1976) In Handbook of Biochemistry and Molecular Biology, 3rd edn (Fasman, G.D. ed.), Physical and Chemical Data, Vol. 1, pp. 122-130 e, CRC Press, Boca Raton, FL
17. A.M. Suchotina, Handbook of Electro-Chemistry, Petersburg ,1981."Chimia"© Russian
18. S.Kortly and L.Shucha. Handbook of chemical equilibria in analytical chemistry. 1985.EllisHorwood Ltd.©
19. University Alberta Data Tables Molar Thermodynamic Properties of Pure Substances 1997.
<http://www.vhem.ualberta.ca/>
20. Boca Raton, FL. Free **FAD**; FAD bound to a specific flavo-protein (for example succinate dehydrogenase) a different E°
21. David A. Harris, "Bio-energetic at a Glance". **b** Blackwell Science Ltd ©, 1995, p.116.
22. Daniel C. Harris, "Quantitative chemical analysis". W.H.Freeman and Company New York ©, 7th ed.2007, p828
23. E. Newton Harvey, "The oxidation-reduction potential of the Luciferin-Oxyluciferin system". JGP.1927, p385
24. [https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_radii_of_the_elements_\(data_page\)#Atomic_radius](https://en.wikipedia.org/wiki/Atomic_radii_of_the_elements_(data_page)#Atomic_radius)
25. [Kaksis A, The discovery of Hydrogen electrode reference \$E^\circ_{\text{H}} = -0.2965\$ Volts in absolute potential scale synchronizes the sciences with absolute free energy scale. 10th International Conference on New Trends in Chemistry 19-21 April, 2024.p.25. BOOK OF ABSTRACTS.](#)
26. [K.P. Mishchenko, Thermodynamics of Electrolyte Solutions, MTP International Review of Sciences – Volume 10, Thermochemistry and Thermodynamics, \(Butterworths, London, 1972\)](#)
27. https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_dioxide
28. https://en.wikipedia.org/wiki/Ammonia_solution
29. https://en.wikipedia.org/wiki/Oxalic_acid
30. https://en.wikipedia.org/wiki/Hydrogen_sulfide
31. [David G. Wahman, Matthew D. Pinelli, Michael R. Schock, Darren A. Lytle, Theoretical equilibrium lead\(II\) solubility revisited: Open source code and practical relationships, AWWA Water Sci. 2021 October 26; 3\(5\): . doi:10.1002/aws2.1250.](#)
32. [Thuy Nguyen Thanh Tran, Susi Jin, Marine Cuisinier, Brian D Adams, Douglas G Ivey, Reaction mechanisms for electrolytic manganese dioxide in rechargeable aqueous zinc-ion batteries, Department of Chemical and Materials Engineering, University of Alberta, Edmonton, AB T6G 1H9 Canada, Salient Energy Inc., Dartmouth, NS B3B 1C4 Canada, Scientific Reports, 2021 Oct 21;11:20777. p. 3. email: \[tthuy@ualberta.ca\]\(mailto:tthuy@ualberta.ca\)](#)
33. [University of Rhode Island \$K_a\$, \$K_{sp}\$, \$K_f\$, Thermodynamic \$\Delta H\$ \$\Delta S\$ \$G\$, \$E^\circ_{\text{Classic}}\$, equations.](#)
34. D.D. Wagman, W.H. Evans, V.B. Parker, R.H. Schumm, I.B. Halow, M. Sylvia, K.L. Churney, R.L. Nuttal, The NBS tables of chemical thermodynamic properties. Selected values for inorganic and C1 and C2 organic substances in SI units, Journal of Physical and Chemical Reference Data 11 (1982) Supplement 2.
35. J.A.Bourdoiseau, R.Sabot, M.Jeannin, F.Termemil, Ph.Refait, Determination of standard Gibbs free energy of formation of green rusts and its application to the Fe(II–III) hydroxy-oxalate. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. **Volume 410**, ELSEVIER 2012, Pages 72-80.
36. [Keyvan Malaie, Fritz Scholz, Uwe Schröder, Harm Wulff, Heike Kahlert, Determining the Gibbs Energy Contributions of Ion and Electron Transfer for Proton Insertion in \$\epsilon\$ -MnO₂. ChemPhysChem published by Wiley-VCH GmbH, 2022 Oct 17;23\(24\):e202200364. doi: 10.](#)
37. [PH. Refait, C.Bon, L.Simon, G.Bourrie, F.Trolard, J.Bessiere and J.-M.R.Genin, Chemical composition and Gibbs standard free energy of formation of Fe\(II\)-Fe\(III\) hydroxysulphate green rust and Fe\(II\) hydroxide. Clay Minerals \(1999\) 34,499-510 .](#)

38. [D. D. PERRIN, DISSOCIATION CONSTANTS OF INORGANIC ACIDS AND BASES IN AQUEOUS SOLUTION. publications.iupac.org/pac/pdf/1969/pdf/2002x0133.pdf](http://publications.iupac.org/pac/pdf/1969/pdf/2002x0133.pdf)
39. wikipedia.org/Chromic_acid 2026.08.08..