BUDOWA ATOMU

Jądro atomowe

liczba protonów i elektronów w atomie obojętnym

$$p^+ = e^- = Z$$

Dotyczy atomu obojętnego; jon ma inną liczbę elektronów niż protonów. Z to liczba atomowa.

liczba neutronów ★ $N = A - Z$

W obojętnym atomie elektronów jest tyle samo co protonów, czyli Z. Jon o ładunku +2 ma o 2 elektrony mniej, a jon o ładunku −2 o 2 elektrony więcej niż obojętny atom. N to liczba neutronów, A to liczba masowa (protony i neutrony), Z to liczba atomowa (protony) danego izotopu; A ≥ Z.

Układ okresowy: liczby atomowe, masy i elektroujemności

Okres / grupa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 χ 2,2 **H** 1,008																	2 χ — **He** 4,00
2	3 χ 1,0 **Li** 6,94	4 χ 1,6 **Be** 9,01											5 χ 2,0 **B** 10,81	6 χ 2,6 **C** 12,01	7 χ 3,0 **N** 14,01	8 χ 3,4 **O** 16,00	9 χ 4,0 **F** 19,00	10 χ — **Ne** 20,18
3	11 χ 0,9 **Na** 22,99	12 χ 1,3 **Mg** 24,31											13 χ 1,6 **Al** 26,98	14 χ 1,9 **Si** 28,09	15 χ 2,2 **P** 30,97	16 χ 2,6 **S** 32,06	17 χ 3,2 **Cl** 35,45	18 χ — **Ar** 39,95
4	19 χ 0,8 **K** 39,10	20 χ 1,0 **Ca** 40,08	21 χ 1,4 **Sc** 44,96	22 χ 1,5 **Ti** 47,87	23 χ 1,6 **V** 50,94	24 χ 1,7 **Cr** 52,00	25 χ 1,6 **Mn** 54,94	26 χ 1,8 **Fe** 55,85	27 χ 1,9 **Co** 58,93	28 χ 1,9 **Ni** 58,69	29 χ 1,9 **Cu** 63,55	30 χ 1,7 **Zn** 65,38	31 χ 1,8 **Ga** 69,72	32 χ 2,0 **Ge** 72,63	33 χ 2,2 **As** 74,92	34 χ 2,6 **Se** 78,97	35 χ 3,0 **Br** 79,90	36 χ — **Kr** 83,80
5	37 χ 0,8 **Rb** 85,47	38 χ 1,0 **Sr** 87,62	39 χ 1,2 **Y** 88,91	40 χ 1,3 **Zr** 91,22	41 χ 1,6 **Nb** 92,91	42 χ 2,2 **Mo** 95,95	43 χ 2,1 **Tc** [97,91]	44 χ 2,2 **Ru** 101,07	45 χ 2,3 **Rh** 102,91	46 χ 2,2 **Pd** 106,42	47 χ 1,9 **Ag** 107,87	48 χ 1,7 **Cd** 112,41	49 χ 1,8 **In** 114,82	50 χ 2,0 **Sn** 118,71	51 χ 2,1 **Sb** 121,76	52 χ 2,1 **Te** 127,60	53 χ 2,7 **I** 126,90	54 χ — **Xe** 131,29
6	55 χ 0,8 **Cs** 132,91	56 χ 0,9 **Ba** 137,33	57–71 ↓	72 χ 1,3 **Hf** 178,49	73 χ 1,5 **Ta** 180,95	74 χ 1,7 **W** 183,84	75 χ 1,9 **Re** 186,21	76 χ 2,2 **Os** 190,23	77 χ 2,2 **Ir** 192,22	78 χ 2,2 **Pt** 195,08	79 χ 2,4 **Au** 196,97	80 χ 1,9 **Hg** 200,59	81 χ 1,8 **Tl** 204,38	82 χ 1,8 **Pb** 207,2	83 χ 1,9 **Bi** 208,98	84 χ 2,0 **Po** [208,98]	85 χ 2,2 **At** [209,99]	86 χ — **Rn** [222,02]
7	87 χ 0,7 **Fr** [223,02]	88 χ 0,9 **Ra** [226,03]	89–103 ↓	104 χ — **Rf** [267,12]	105 χ — **Db** [268,13]	106 χ — **Sg** [271,13]	107 χ — **Bh** [272,14]	108 χ — **Hs** [270,13]	109 χ — **Mt** [276,15]	110 χ — **Ds** [281,16]	111 χ — **Rg** [280,17]	112 χ — **Cn** [285,18]	113 χ — **Nh** [284,18]	114 χ — **Fl** [289,19]	115 χ — **Mc** [288,19]	116 χ — **Lv** [293,20]	117 χ — **Ts** [292,21]	118 χ — **Og** [294,21]
Lantanowce			57 χ 1,1 **La** 138,91	58 χ — **Ce** 140,12	59 χ — **Pr** 140,91	60 χ — **Nd** 144,24	61 χ — **Pm** [144,91]	62 χ — **Sm** 150,36	63 χ — **Eu** 151,96	64 χ — **Gd** 157,25	65 χ — **Tb** 158,93	66 χ — **Dy** 162,50	67 χ — **Ho** 164,93	68 χ — **Er** 167,26	69 χ — **Tm** 168,93	70 χ — **Yb** 173,05	71 χ — **Lu** 174,97	
Aktynowce			89 χ — **Ac** [227,03]	90 χ — **Th** 232,04	91 χ — **Pa** 231,04	92 χ — **U** 238,03	93 χ — **Np** [237,05]	94 χ — **Pu** [244,06]	95 χ — **Am** [243,06]	96 χ — **Cm** [247,07]	97 χ — **Bk** [247,07]	98 χ — **Cf** [251,08]	99 χ — **Es** [252,08]	100 χ — **Fm** [257,10]	101 χ — **Md** [258,10]	102 χ — **No** [259,10]	103 χ — **Lr** [262,11]	

- Wodór (grupa 1; nie jest litowcem)
- Litowce (grupa 1, bez H)
- Berylowce (grupa 2)
- Blok d (grupy 3–12)
- Borowce (grupa 13)
- Węglowce (grupa 14)
- Azotowce (grupa 15)
- Tlenowce (grupa 16)
- Fluorowce (grupa 17)
- Helowce (grupa 18)
- Lantanowce (La–Lu)
- Aktynowce (Ac–Lr)

W komórce: Z, symbol, masa atomowa [u], χ: elektroujemność Paulinga. —: brak wartości; [ ]: masa atomowa najtrwalszego izotopu w u, a nie liczba masowa. Wydzielone szeregi należą do okresów 6 i 7.

MOL I MASA MOLOWA

Mol i liczba drobin

liczba moli ★ $$n = \frac{m}{M}$$

Masa molowa związku to suma mas molowych wszystkich atomów z jego wzoru, z masami atomowymi z układu okresowego: M(H_2SO_4) = 2 · 1 + 32 + 4 · 16 = 98 g/mol. Liczymy atomy, nie cząsteczki pierwiastków: dla tlenu 16 g/mol, a nie 32.

liczba drobin $$N = nN_A$$

Masa atomowa i skład związku

średnia masa atomowa pierwiastka $$A = \frac{A_1 x_1 + A_2 x_2}{100\%}$$

Ta postać obejmuje dwa uwzględniane izotopy, których udziały procentowe sumują się do 100%. Przy większej liczbie izotopów zsumuj wkłady wszystkich izotopów.

zawartość procentowa pierwiastka $$w_E = \frac{iM_E}{M} \cdot 100\%$$

Z zawartości procentowych pierwiastków liczymy stosunek liczby moli atomów (procent dzielimy przez masę molową pierwiastka) i sprowadzamy go do najmniejszych liczb całkowitych: to wzór empiryczny. Dla związków zbudowanych z cząsteczek wzór rzeczywisty jest jego wielokrotnością, a krotność wyznacza masa molowa. W związkach jonowych (np. NaCl) wzór podaje tylko stosunek jonów.

masa molowa ze składu związku $$M = \sum_i \nu_i M_i$$

ν_i to liczba atomów pierwiastka i w jednostce stechiometrycznej, M_i masa molowa tego pierwiastka; zgodne jednostki g/mol.

STĘŻENIE PROCENTOWE I ROZPUSZCZALNOŚĆ

Stężenie procentowe

stężenie procentowe ★ $$C_p = \frac{m_s}{m_r} \cdot 100\%$$

masa roztworu $$m_r = m_s + m_w$$

Gęstość roztworu

gęstość $$d = \frac{m}{V}$$

Masa i objętość dotyczą tej samej próbki; przy masie w gramach i objętości w cm³ gęstość wychodzi w g/cm³.

gęstość roztworu $$d = \frac{m_r}{V_r}$$

Rozpuszczalność

stężenie roztworu nasyconego $$C_p = \frac{R}{R + 100\,\mathrm{g}} \cdot 100\%$$

Roztwór wodny nasycony w temperaturze, dla której podano R. R to masa substancji rozpuszczającej się w 100 g wody; C_p jest stężeniem procentowym masowym.

masa substancji w roztworze nasyconym $$m_s = \frac{R \cdot m_w}{100\,\mathrm{g}}$$

Roztwór wodny nasycony w temperaturze, dla której podano R. R to masa substancji rozpuszczającej się w 100 g wody, m_w to masa wody, m_s to masa rozpuszczonej substancji; masy w gramach.

Rozcieńczanie i mieszanie

rozcieńczanie i zatężanie $$C_{p1} m_{r1} = C_{p2} m_{r2}$$

Dolewanie wody nie zmienia masy substancji, tylko masę roztworu: $C_{p1} \cdot m_{r1} = C_{p2} \cdot m_{r2}$, gdzie m_{r2} to m_{r1} powiększone o masę dolanej wody. Przy odparowaniu wody masa roztworu maleje, o ile substancja nie paruje razem z wodą i nie wytrąca się z roztworu. Zmienia się tylko masa rozpuszczalnika, a masa substancji rozpuszczonej jest stała. Wzór nie dotyczy dosypania substancji ani dolania innego roztworu: wtedy użyj wzoru na mieszanie roztworów.

mieszanie roztworów o stężeniu procentowym

$$C_{p1} m_{r1} + C_{p2} m_{r2} = C_{p3} \left(m_{r1} + m_{r2}\right)$$

Gdy mieszamy dwa roztwory tej samej substancji, a nic się nie wytrąca ani nie ulatnia, masy roztworów są w stosunku $m_{r1} : m_{r2} = (C_{p3} - C_{p2}) : (C_{p1} - C_{p3})$. To ten sam wynik co ze wzoru na mieszanie, zapisany jako proporcja. Bilans oznaczanej substancji zakłada również, że nie reaguje ona podczas mieszania. Proporcja wymaga różnych stężeń wyjściowych, a C_{p3} musi leżeć między nimi; przy równych stężeniach każdy stosunek mas daje to samo stężenie. Bilans tej samej substancji bez reakcji, wytrącania ani ulatniania.

Dodatkowe miary składu

stężenie procentowe objętościowe $$C_{V/V} = \frac{V_s}{V_r} \cdot 100\%$$

Objętości mierzone w tych samych jednostkach i temperaturze; V_r to objętość gotowego roztworu, nie suma objętości przed mieszaniem.

stężenie procentowe masowo-objętościowe

$$C_{m/V} = \frac{m_s\,[\mathrm{g}]}{V_r\,[\mathrm{ml}]} \cdot 100\%$$

Zapis m/V oznacza liczbę gramów składnika w 100 ml roztworu; oznaczenie jednostek jest częścią definicji.

Tablica rozpuszczalności soli i wodorotlenków w wodzie: aniony, część 1

kation	Cl^-	Br^-	I^-	NO_3^-	CH_3COO^-	S^{2-}
Ag^+	T	T	T	R (234)	S (1,0) 20 °C	T
Al^{3+}	R (45,1)	R → d	R → d	R (68,9)	d	d
Ba^{2+}	R (37,0)	R (100)	R (221)	R (10,3)	R (79,2)	R → d
Ca^{2+}	R (81,3)	R (156)	R (215)	R (144)	R (34,7)	T → d

kation	Cl^-	Br^-	I^-	NO_3^-	CH_3COO^-	S^{2-}
Cr^{3+}	R	R	R	R (81,2)	R	T → d
Cu^{2+}	R (75,7)	R (126)	—	R (145)	R (6,8)	T
Fe^{2+}	R (65,0)	R (120)	R	R (87,5)	R	T
Fe^{3+}	R (91,2)	R (455)	d	R (87,2)	—	d
K^+	R (35,5)	R (67,8)	R (148)	R (38,3)	R (269)	R → d
Mg^{2+}	R (56,0)	R (102)	R (146)	R (71,2)	R (65,6)	d
Mn^{2+}	R (77,3)	R (151)	R → d	R (161)	R (41)	T
NH_4^+	R (39,5)	R (78,3)	R (178)	R (213)	R (148) 4 °C	R → d
Na^+	R (36,0)	R (94,6)	R (184)	R (91,2)	R (50,4)	R (20,6)
Pb^{2+}	S (1,1)	S (1,0)	S (0,1)	R (59,7)	R (44,3) 20 °C	T
Sn^{2+}	R (178) 10 °C	R (85) 0 °C	S (0,98) 20 °C	R → d	—	T
Zn^{2+}	R (408)	R (488)	R (438)	R (120)	R (30,0) 20 °C	T

Tablica rozpuszczalności soli i wodorotlenków w wodzie: aniony, część 2

kation	SO_3^{2-}	SO_4^{2-}	CO_3^{2-}	CrO_4^{2-}	PO_4^{3-}	OH^-
Ag^+	T	S (0,8)	T	T	T	T → d
Al^{3+}	—	R (38,5)	—	T	T	T
Ba^{2+}	T	T	T	T	T	R (4,9)
Ca^{2+}	T	S (0,2)	T	S (2,0)	T	S (0,2) 20 °C
Cr^{3+}	—	R (64)	—	T	T	T
Cu^{2+}	T	R (22)	T → d	T	T	T
Fe^{2+}	T	R (29,5)	T	—	T	T
Fe^{3+}	—	R (440) 20 °C	—	T	T	T
K^+	R (106)	R (12,0)	R (111)	R (65,0)	R (106)	R (121)
Mg^{2+}	S (0,5)	R (35,7)	T	R (54,8)	T	T
Mn^{2+}	T	R (63,7)	T	T	T	T
NH_4^+	R (64,2)	R (76,4)	R → d	R (37,0)	R (18,3)	R (44,9)
Na^+	R (30,7)	R (28,1)	R (30,7)	R (87,6)	R (14,4)	R (100)
Pb^{2+}	T	T	T	T	T	T
Sn^{2+}	—	R (18,8) 19 °C	—	—	T	T
Zn^{2+}	S (0,2)	R (57,7)	T	R (3,1)	T	T

Tablica rozpuszczalności soli i wodorotlenków w wodzie. Rozpuszczalność w g/100 g wody, zwykle w 25 °C (inne temperatury podano w komórkach). R: >2; S: 0,1–2; T: <0,1. d: rozkład w wodzie; —: związek nietrwały, nieotrzymany lub brak danych.

STĘŻENIE MOLOWE

Stężenie molowe

stężenie molowe ★ $$C_m = \frac{n}{V}$$

stężenie molowe z masy substancji $$C_m = \frac{m_s}{MV}$$

Przeliczanie stężeń

stężenie molowe ze stężenia procentowego ★

$$C_m = \frac{C_p d}{M \cdot 100\%}$$

Gęstość w tablicach jest zwykle w g/cm³. We wzorze $C_m = C_p \cdot d / (M \cdot 100\%)$ wstawiamy ją w g/dm³: 1 g/cm³ = 1000 g/dm³.

Rozcieńczanie i mieszanie

rozcieńczanie roztworu $$C_{m1}V_1 = C_{m2}V_2$$

Podczas rozcieńczania ilość substancji rozpuszczonej pozostaje stała. V_2 to objętość całego roztworu końcowego, a nie objętość dolanego rozpuszczalnika.

mieszanie roztworów o stężeniu molowym

$$C_{m1}V_1 + C_{m2}V_2 = C_{m3}\,(V_1 + V_2)$$

Wzór na mieszanie dotyczy roztworów tej samej substancji, która nie reaguje i nie wytrąca się. Zakłada też, że objętości się sumują; dla roztworów rozcieńczonych to dobre przybliżenie, a gdy znamy zmierzoną objętość końcową, lepiej jej użyć. Wzór z $V_1 + V_2$ zakłada addytywność objętości i brak reakcji. Dla zmierzonej objętości końcowej V_k użyj zamiast sumy równania $C_{m1}V_1 + C_{m2}V_2 = C_{m3}V_k$.

STECHIOMETRIA I WYDAJNOŚĆ

Równanie reakcji

prawo zachowania masy $$m_A + m_B = m_C + m_D$$

stosunek molowy reagentów ★ $$\frac{n_A}{n_B} = \frac{a}{b}$$

Gdy substraty zmieszano w innym stosunku niż w równaniu reakcji, ilość produktu wyznacza substrat, którego zabraknie pierwszego (odczynnik limitujący). Dla każdego substratu dzielimy liczbę moli przez jego współczynnik: najmniejszy wynik wskazuje odczynnik limitujący. Wyznaczona ilość produktu jest maksymalną ilością teoretyczną dla rozważanej reakcji, nie pomiarem rzeczywistej wydajności. n_A i n_B oznaczają ilości reagentów zużytych w reakcji zgodnej z równaniem o współczynnikach a i b. Początkowe ilości mogą mieć inny stosunek, gdy jeden reagent jest w nadmiarze.

Wydajność reakcji

W tej sekcji: Ilość teoretyczną wyznacza reagent ograniczający zgodnie ze współczynnikami rozważanej reakcji.

wydajność reakcji ★ $$W = \frac{m_{\mathrm{rz}}}{m_t} \cdot 100\%$$

m_{rz} to masa produktu rzeczywiście otrzymana, m_t to jego masa teoretyczna (m_t > 0). Porównujemy ten sam produkt, o tej samej czystości; W podajemy w procentach.

wydajność reakcji z liczby moli $$W = \frac{n_{\mathrm{rz}}}{n_t} \cdot 100\%$$

n_{rz} to ilość produktu rzeczywiście otrzymana, n_t to jego ilość teoretyczna (n_t > 0). Porównujemy ten sam produkt, o tej samej czystości; W podajemy w procentach.

GAZY

Warunki normalne

liczba moli gazu w warunkach normalnych ★ $$n = \frac{V}{V_m}$$

Temperatura 0 °C (273,15 K) i ciśnienie 1013,25 hPa. W modelu gazu doskonałego 1 mol zajmuje wtedy około 22,41 dm³ (karta wzorów CKE); w zadaniach często przyjmuje się 22,4 dm³. Gazy rzeczywiste mają objętość molową trochę inną.

Równanie Clapeyrona

równanie Clapeyrona ★ $$pV = nRT$$

R = 8,314 J/(mol · K) = 83,14 hPa · dm³/(mol · K). Przy ciśnieniu w hPa i objętości w dm³ bierzemy 83,14, a temperaturę zawsze w kelwinach: T = t + 273,15 dla wartości T w K i t w °C (w przybliżeniu T ≈ t + 273).

równanie Clapeyrona z masą gazu $$pV = \frac{m}{M}RT$$

Model gazu doskonałego: pV = (m/M)RT. Dla gazu rzeczywistego jest to przybliżenie stosowane tam, gdzie odstępstwa od modelu doskonałego są małe; temperatura w kelwinach.

SZYBKOŚĆ REAKCJI

Szybkość reakcji

średnia szybkość reakcji ★ $$v = \frac{\Delta c}{\Delta t}$$

Δc to wartość bezwzględna zmiany stężenia wybranego reagenta w czasie Δt > 0, więc wzór daje średnią szybkość zmiany stężenia tego reagenta. Szybkość całej reakcji dostajemy, dzieląc ją przez współczynnik stechiometryczny reagenta; obie wielkości są równe tylko przy współczynniku 1.

równanie kinetyczne $$v = k[\mathrm{A}]^a[\mathrm{B}]^b$$

Wykładniki a i b w równaniu kinetycznym to rzędy reakcji względem substratów A i B; wyznacza się je doświadczalnie, nie z równania reakcji. Ich suma to całkowity rząd reakcji. Gdy stężenie A rośnie dwa razy, przy stałej temperaturze i stężeniu B szybkość zmienia się 2^a razy: rośnie dla a > 0, maleje dla a < 0, a dla a = 0 się nie zmienia. Rzędy a i b mogą być ułamkowe, zerowe albo ujemne (inhibicja); stężenia [A] i [B] są dodatnie.

TERMOCHEMIA

Entalpia reakcji

entalpia reakcji z entalpii tworzenia ★

$$\Delta H^\circ = \Sigma n \Delta H^\circ_{\mathrm{tw,p}} - \Sigma n \Delta H^\circ_{\mathrm{tw,s}}$$

Przy stałym ciśnieniu, gdy układ wykonuje tylko pracę objętościową: ΔH < 0 oznacza reakcję egzoenergetyczną (układ oddaje ciepło otoczeniu), a ΔH > 0 endoenergetyczną (układ pobiera ciepło). Entalpia tworzenia pierwiastka w stanie standardowym (np. O_2, C grafit) jest równa zeru.

prawo Hessa ····· $\Delta H^\circ = \Delta H_1^\circ + \Delta H_2^\circ$

ΔH reakcji nie zależy od drogi, tylko od stanu początkowego i końcowego. Gdy równania etapów dodajesz, dodajesz ich ΔH; gdy równanie odwracasz, ΔH zmienia znak; gdy mnożysz równanie przez liczbę, mnożysz też ΔH.

entalpia reakcji z energii wiązań ····· $\Delta H = \Sigma E_{\text{zer}} - \Sigma E_{\text{utw}}$

Zerwanie wiązania pochłania energię, utworzenie wiązania ją oddaje. Tablice podają średnie energie wiązań, więc ΔH obliczone z nich jest przybliżone. Średnie energie wiązań dotyczą substancji w fazie gazowej. Gdy reagent jest cieczą albo ciałem stałym, uwzględnij entalpię przemiany fazowej albo licz z entalpii tworzenia w odpowiednich stanach skupienia.

Ciepło reakcji

ciepło reakcji dla n moli substancji ····· $Q = n \cdot |\Delta H_m|$

Q oznacza dodatnią ilość ciepła wydzielonego lub pochłoniętego, bez znaku. Przy wyznaczaniu ΔH_m wybierz znak ujemny dla reakcji egzotermicznej, a dodatni dla endotermicznej. n i molowa entalpia przemiany ΔH_m dotyczą tej samej wybranej substancji. Jeśli podano entalpię całej reakcji zapisanej równaniem, podziel ją przez współczynnik stechiometryczny tej substancji, aby otrzymać ΔH_m.

Standardowe entalpie tworzenia i spalania, część 1

związek / stan	typ entalpii	ΔH° [kJ/mol]
Al_2O_3(s)	tworzenia	–1 675,7
CO(g)	tworzenia	–110,5
CO_2(g)	tworzenia	–393,5
CaC_2(s)	tworzenia	–59,8
CaO(s)	tworzenia	–634,9
$Ca(OH)_2$(s)	tworzenia	–985,2
Cr_2O_3(s)	tworzenia	–1 139,7
FeO(s)	tworzenia	–272,0
Fe_2O_3(s)	tworzenia	–824,2
FeS(s)	tworzenia	–100,0
HBr(g)	tworzenia	–36,3
HCl(g)	tworzenia	–92,3
HF(g)	tworzenia	–273,3
HI(g)	tworzenia	26,5
H_2O(c)	tworzenia	–285,8
H_2O (g)	tworzenia	–241,8
H_2S(g)	tworzenia	–20,6
MgO(s)	tworzenia	–601,6
MnO_2(s)	tworzenia	–520,0
NH_3(g)	tworzenia	–45,9
NO(g)	tworzenia	91,3

Standardowe entalpie tworzenia i spalania, część 2

związek / stan	typ entalpii	ΔH° [kJ/mol]
NO_2(g)	tworzenia	33,2
NaCl(s)	tworzenia	–411,2
SiO_2(s)	tworzenia	–910,7
benzen(c)	spalania	–3 267
butan(g)	spalania	–2 878
etan(g)	spalania	–1 561
etanol(c)	spalania	–1 368
eten(g)	spalania	–1 411
etyn(g)	spalania	–1 300
glicerol(c)	spalania	–1 654
glukoza(s)	spalania	–2 802
heksan(c)	spalania	–4 163
kwas benzoesowy(s)	spalania	–3 228
kwas etanowy(c)	spalania	–875
kwas stearynowy(s)	spalania	–11 280
metan(g)	spalania	–891
metanol(c)	spalania	–726
pentan(c)	spalania	–3 509
propan(g)	spalania	–2 219
sacharoza(s)	spalania	–5 643
toluen(c)	spalania	–3 920

Standardowe entalpie tworzenia i spalania. Standardowe entalpie tworzenia i spalania w kJ/mol. Oznaczenia stanów: (s) ciało stałe, (c) ciecz, (g) gaz. Wartość dotyczy utworzenia albo spalenia 1 mola substancji wskazanej w wierszu.

RÓWNOWAGA CHEMICZNA

Stała równowagi

stała równowagi ★ $K_c = \frac{[\mathrm{C}]^c[\mathrm{D}]^d}{[\mathrm{A}]^a[\mathrm{B}]^b}$

Układ w równowadze reaguje na zmianę warunków tak, żeby osłabić jej skutek. Dodanie substratu w fazie gazowej lub roztworze może przesunąć równowagę ku produktom; dosypanie istniejącej czystej fazy stałej nie zmienia jej aktywności i nie przesuwa równowagi. Ogrzanie sprzyja kierunkowi endotermicznemu. Sprężanie układu gazowego przy stałej temperaturze sprzyja stronie z mniejszą liczbą moli gazu, o ile liczby te są różne. Dodanie gazu obojętnego przy stałej objętości nie przesuwa równowagi. Katalizator przyspiesza ustalanie się równowagi, nie zmieniając jej położenia ani stałej równowagi. Zapis stężeniowy dotyczy równowagi aA + bB ⇌ cC + dD. Czystych ciał stałych i czystych cieczy nie wpisuj do ilorazu; ich aktywności wynoszą 1.

Stałe dysocjacji kwasów i zasad w 25 °C

rodzaj	wzór	nazwa	etap	K	pK
kwas	HF	kwas fluorowodorowy	1	$6{,}31 \cdot 10^{-4}$	3,20
kwas	HCl	kwas chlorowodorowy	1	10^{7}	-7,0
kwas	HBr	kwas bromowodorowy	1	10^{9}	-9,0
kwas	HI	kwas jodowodorowy	1	10^{10}	-10,0
kwas	H_2S	kwas siarkowodorowy	1	$8{,}91 \cdot 10^{-8}$	7,05
kwas	H_2S	kwas siarkowodorowy	2	10^{-19}	19,0
kwas	H_2Se	kwas selenowodorowy	1	$1{,}29 \cdot 10^{-4}$	3,89
kwas	H_2Se	kwas selenowodorowy	2	10^{-11}	11,0
kwas	H_2Te	kwas tellurowodorowy	1 (18 °C)	$2{,}51 \cdot 10^{-3}$	2,6
kwas	H_2Te	kwas tellurowodorowy	2	10^{-11}	11,0
kwas	HClO	kwas chlorowy(I)	1	$3{,}98 \cdot 10^{-8}$	7,40
kwas	$HClO_2$	kwas chlorowy(III)	1	$1{,}15 \cdot 10^{-2}$	1,94
kwas	HNO_2	kwas azotowy(III)	1	$5{,}62 \cdot 10^{-4}$	3,25
kwas	H_2SO_3	kwas siarkowy(IV)	1	$1{,}41 \cdot 10^{-2}$	1,85
kwas	H_2SO_3	kwas siarkowy(IV)	2	$6{,}31 \cdot 10^{-8}$	7,2
kwas	H_2SO_4	kwas siarkowy(VI)	2	$1{,}02 \cdot 10^{-2}$	1,99
kwas	H_3BO_3	kwas borowy (20 °C)	1	$5{,}37 \cdot 10^{-10}$	9,27
kwas	H_3AsO_4	kwas ortoarsenowy(V)	1	$5{,}50 \cdot 10^{-3}$	2,26
kwas	H_3AsO_4	kwas ortoarsenowy(V)	2	$1{,}74 \cdot 10^{-7}$	6,76
kwas	H_3AsO_4	kwas ortoarsenowy(V)	3	$5{,}13 \cdot 10^{-12}$	11,29
kwas	H_3PO_4	kwas ortofosforowy(V)	1	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16
kwas	H_3PO_4	kwas ortofosforowy(V)	2	$6{,}17 \cdot 10^{-8}$	7,21

rodzaj	wzór	nazwa	etap	K	pK
kwas	H_3PO_4	kwas ortofosforowy(V)	3	$4{,}79 \cdot 10^{-13}$	12,32
kwas	H_4SiO_4	kwas ortokrzemowy (30 °C)	1	$1{,}26 \cdot 10^{-10}$	9,9
kwas	H_4SiO_4	kwas ortokrzemowy (30 °C)	2	$1{,}58 \cdot 10^{-12}$	11,8
kwas	H_4SiO_4	kwas ortokrzemowy (30 °C)	3	10^{-12}	12
kwas	H_4SiO_4	kwas ortokrzemowy (30 °C)	4	10^{-12}	12
kwas	H_2CO_3	kwas węglowy	1	$4{,}47 \cdot 10^{-7}$	6,35
kwas	H_2CO_3	kwas węglowy	2	$4{,}68 \cdot 10^{-11}$	10,33
kwas	$H_2C_2O_4$	kwas szczawiowy	1	$5{,}62 \cdot 10^{-2}$	1,25
kwas	$H_2C_2O_4$	kwas szczawiowy	2	$1{,}55 \cdot 10^{-4}$	3,81
kwas	HCOOH	kwas mrówkowy	1	$1{,}78 \cdot 10^{-4}$	3,75
kwas	CH_3COOH	kwas octowy	1	$1{,}75 \cdot 10^{-5}$	4,756
kwas	CH_3CH_2COOH	kwas propanowy	1	$1{,}35 \cdot 10^{-5}$	4,87
kwas	C_6H_5COOH	kwas benzoesowy	1	$6{,}25 \cdot 10^{-5}$	4,204
kwas	C_6H_5OH	fenol	1	$1{,}02 \cdot 10^{-10}$	9,99
zasada	NH_3	amoniak	1	$1{,}78 \cdot 10^{-5}$	4,75
zasada	CH_3NH_2	metanoamina	1	$4{,}57 \cdot 10^{-4}$	3,34
zasada	$CH_3CH_2NH_2$	etanoamina	1	$4{,}47 \cdot 10^{-4}$	3,35
zasada	$CH_3CH_2CH_2NH_2$	propano-1-amina	1	$3{,}47 \cdot 10^{-4}$	3,46
zasada	$(CH_3)_2NH$	N-metylometanoamina	1	$5{,}37 \cdot 10^{-4}$	3,27
zasada	$(CH_3)_3N$	N,N-dimetylometanoamina	1	$6{,}31 \cdot 10^{-5}$	4,20
zasada	$C_6H_5NH_2$	anilina	1	$7{,}41 \cdot 10^{-10}$	9,13

Stałe dysocjacji kwasów i zasad w 25 °C. Dla kwasów K oznacza K_a, dla zasad K oznacza K_β. W kolumnie pK podano $-\log_{10} K$, odpowiednio pK_a lub pK_β. Stałe dotyczą 25 °C, chyba że w wierszu podano inną temperaturę. Dla pierwszego etapu kwasu węglowego pKa = 6,35 jest wartością pozorną dla układu $CO_2(aq) + H_2CO_3$, stosowaną w zadaniach szkolnych; nie dotyczy wyłącznie cząsteczek H_2CO_3.

Iloczyny rozpuszczalności w 25 °C

wzór	nazwa	Ks	pKs
AgBr	bromek srebra(I)	$5{,}35 \cdot 10^{-13}$	12,27
AgCl	chlorek srebra(I)	$1{,}77 \cdot 10^{-10}$	9,75
AgI	jodek srebra(I)	$8{,}52 \cdot 10^{-17}$	16,07
Ag_3PO_4	ortofosforan(V) srebra(I)	$8{,}89 \cdot 10^{-17}$	16,05
Ag_2SO_4	siarczan(VI) srebra(I)	$1{,}20 \cdot 10^{-5}$	4,92
$AlPO_4$	ortofosforan(V) glinu	$9{,}84 \cdot 10^{-21}$	20,01
$BaCO_3$	węglan baru	$2{,}58 \cdot 10^{-9}$	8,59

wzór	nazwa	Ks	pKs
$BaCrO_4$	chromian(VI) baru	$1{,}17 \cdot 10^{-10}$	9,93
BaF_2	fluorek baru	$1{,}84 \cdot 10^{-7}$	6,74
$BaSO_4$	siarczan(VI) baru	$1{,}08 \cdot 10^{-10}$	9,97
$CaCO_3$	węglan wapnia	$3{,}36 \cdot 10^{-9}$	8,47
CaF_2	fluorek wapnia	$3{,}45 \cdot 10^{-11}$	10,46
$Ca(OH)_2$	wodorotlenek wapnia	$5{,}02 \cdot 10^{-6}$	5,30
$Ca_3(PO_4)_2$	ortofosforan(V) wapnia	$2{,}07 \cdot 10^{-33}$	32,68
$CaSO_4$	siarczan(VI) wapnia	$4{,}93 \cdot 10^{-5}$	4,31
$Cu_3(PO_4)_2$	ortofosforan(V) miedzi(II)	$1{,}40 \cdot 10^{-37}$	36,85
$FeCO_3$	węglan żelaza(II)	$3{,}13 \cdot 10^{-11}$	10,50
$Fe(OH)_2$	wodorotlenek żelaza(II)	$4{,}87 \cdot 10^{-17}$	16,31
$Fe(OH)_3$	wodorotlenek żelaza(III)	$2{,}79 \cdot 10^{-39}$	38,55
$KClO_4$	chloran(VII) potasu	$1{,}05 \cdot 10^{-2}$	1,98
$MgCO_3$	węglan magnezu	$6{,}82 \cdot 10^{-6}$	5,17
MgF_2	fluorek magnezu	$5{,}16 \cdot 10^{-11}$	10,29
$Mg(OH)_2$	wodorotlenek magnezu	$5{,}61 \cdot 10^{-12}$	11,25
$Mg_3(PO_4)_2$	ortofosforan(V) magnezu	$1{,}04 \cdot 10^{-24}$	23,98
$PbCl_2$	chlorek ołowiu(II)	$1{,}70 \cdot 10^{-5}$	4,77
PbI_2	jodek ołowiu(II)	$9{,}8 \cdot 10^{-9}$	8,01
$PbSO_4$	siarczan(VI) ołowiu(II)	$2{,}53 \cdot 10^{-8}$	7,60
$Zn(OH)_2$	wodorotlenek cynku	$3 \cdot 10^{-17}$	16,52
$ZnCO_3$	węglan cynku	$1{,}46 \cdot 10^{-10}$	9,84

Iloczyny rozpuszczalności w 25 °C. W przybliżeniu stężeniowym używamy stężeń równowagowych jonów w mol/dm³, tak jak we wzorze. pK_s jest ujemnym logarytmem dziesiętnym wartości liczbowej K_s w tej konwencji; większe pK_s oznacza mniejsze K_s. Potęgi jednostki K_s zależą od stechiometrii soli. Logarytm nie jest brany z wielkości z jednostką.

DYSOCJACJA I PH

Stopień dysocjacji

stopień dysocjacji ★ $$\alpha = \frac{c_{\text{zdys}}}{c_0}$$

Licznik odnosi się do zdysocjowanych jednostek początkowego elektrolitu, a nie do sumy stężeń wszystkich utworzonych jonów.

pH i pOH

pH ★ $$\mathrm{pH} = -\log[\mathrm{H^+}]$$

W temperaturze 25 °C: pH < 7 to odczyn kwasowy, pH = 7 obojętny, pH > 7 zasadowy. Zmiana pH o 1 to dziesięciokrotna zmiana aktywności jonów H^+; w rozcieńczonych roztworach w przybliżeniu także ich stężenia. Szkolne przybliżenie dla rozcieńczonego roztworu wodnego: używamy liczbowego stężenia H^+ w mol/dm³. Ścisła definicja wykorzystuje bezwymiarową aktywność jonów H^+.

pOH $$\mathrm{pOH} = -\log[\mathrm{OH^-}]$$

Zapis stężeniowy jest przybliżeniem dla rozcieńczonego roztworu; stężenie OH^- podaje się liczbowo w mol/dm³. Ścisła definicja używa bezwymiarowej aktywności jonów OH^-.

związek pH i pOH w 25 °C — $\mathrm{pH} + \mathrm{pOH} = 14$

Dla roztworu wodnego w 25 °C przy szkolnym przybliżeniu pKw = 14; dla innych temperatur pH + pOH = pKw(T).

stężenie H^+ w roztworze kwasu jednoprotonowego

$$[\mathrm{H^+}] = \alpha c_0$$

Kwas jednoprotonowy; α jako ułamek, nie procent. Brak innych źródeł jonów H^+; pomijamy autodysocjację wody.

Iloczyn jonowy wody i stałe dysocjacji

iloczyn jonowy wody — $K_w = [\mathrm{H^+}][\mathrm{OH^-}]$

Stężenia równowagowe jonów odnoszą się do tej samej temperatury i rozcieńczonego roztworu wodnego. W konwencji stężeniowej K_w zależy od temperatury; w 25 °C przyjmujemy około 10^{-14} mol²/dm⁶.

stała dysocjacji kwasu — $K_a = \dfrac{[\mathrm{H^+}][\mathrm{A^-}]}{[\mathrm{HA}]}$

W ilorazie występują stężenia równowagowe. Podana postać stężeniowa jest przybliżeniem dla dostatecznie rozcieńczonego roztworu.

prawo rozcieńczeń Ostwalda ★ — $K = \dfrac{\alpha^2 c_0}{1-\alpha}$

Słaby elektrolit w rozcieńczonym roztworze, który dysocjuje na dwa rodzaje jonów w stosunku 1:1; zamiast aktywności używamy stężeń. Pomijamy inne źródła tych jonów (wspólny jon, autodysocjację wody). Skrócona postać bez 1 − α wymaga jeszcze, żeby stopień dysocjacji był mały ($\alpha \ll 1$).

uproszczone prawo Ostwalda (α < 5%) — $K \approx \alpha^2 c_0$

Wzór K = $\alpha^2 \cdot c_0$ wystarcza, gdy stopień dysocjacji jest mały (α < 5%, np. przy $c_0/K > 400$). Inaczej trzeba rozwiązać pełny wzór. Przybliżenie dla słabego elektrolitu o stechiometrii dysocjacji 1:1, gdy α < 5% (α < 0,05).

związek stałych dysocjacji sprzężonej pary — $K_a K_b = K_w$

Iloczyn rozpuszczalności

iloczyn rozpuszczalności soli typu AB — $K_s = [\mathrm{A^+}][\mathrm{B^-}]$

rozpuszczalność molowa soli typu AB — $s = \sqrt{K_s}$

Sól AB dysocjuje na jony w stosunku 1:1. Roztwór nasycony w czystej wodzie; brak wspólnego jonu, istotnej hydrolizy i kompleksowania. Przybliżamy aktywności stężeniami. W tych warunkach $[\mathrm{A^+}] = [\mathrm{B^-}] = s$; podane stężenia jonów i s muszą być zgodne.

iloczyn rozpuszczalności soli ogólnej — $K_s = [\mathrm{A}]^p[\mathrm{B}]^q$

Rozpuszczanie $\mathrm{A}_p\mathrm{B}_q$(s) daje p jonów A i q jonów B. Stężenia równowagowe w mol/dm³; przybliżenie roztworu rozcieńczonego zamiast aktywności. Roztwór nasycony w równowadze z daną stałą fazą soli. Uwzględnij stężenia jonów pochodzących ze wszystkich źródeł; dla roztworu nienasyconego sam iloczyn stężeń nie jest równy K_s.

rozpuszczalność molowa soli ogólnej — $s = \left(\dfrac{K_s}{p^p q^q}\right)^{\frac{1}{p+q}}$

Sól $\mathrm{A}_p\mathrm{B}_q$ w czystej wodzie; brak wspólnego jonu, hydrolizy i kompleksowania; pełna dysocjacja; p,q dodatnie całkowite. Stężeniowe przybliżenie K_s. Z bilansu stechiometrycznego: $[\mathrm{A}] = ps$ oraz $[\mathrm{B}] = qs$, gdzie s to rozpuszczalność molowa soli.

Stałe dysocjacji grup funkcyjnych aminokwasów w 25 °C: grupy karboksylowe

kod	aminokwas	COOH przy Cα: Ka	COOH przy Cα: pKa	COOH dodatkowa: Ka	COOH dodatkowa: pKa
Ala	alanina	$4{,}68 \cdot 10^{-3}$	2,33	–	–
Arg	arginina	$9{,}33 \cdot 10^{-3}$	2,03	–	–
Asn	asparagina	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	–	–
Asp	kwas asparaginowy	$1{,}12 \cdot 10^{-2}$	1,95	$1{,}95 \cdot 10^{-4}$	3,71
Cys	cysteina	$1{,}23 \cdot 10^{-2}$	1,91	–	–
Gln	glutamina	$6{,}61 \cdot 10^{-3}$	2,18	–	–
Glu	kwas glutaminowy	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	$7{,}08 \cdot 10^{-5}$	4,15
Gly	glicyna	$4{,}57 \cdot 10^{-3}$	2,34	–	–
His	histydyna	$2{,}00 \cdot 10^{-2}$	1,70	–	–
Ile	izoleucyna	$5{,}50 \cdot 10^{-3}$	2,26	–	–
Leu	leucyna	$4{,}79 \cdot 10^{-3}$	2,32	–	–
Lys	lizyna	$7{,}08 \cdot 10^{-3}$	2,15	–	–
Met	metionina	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	–	–
Phe	fenyloalanina	$6{,}61 \cdot 10^{-3}$	2,18	–	–
Pro	prolina	$1{,}12 \cdot 10^{-2}$	1,95	–	–

kod	aminokwas	COOH przy Cα: Ka	COOH przy Cα: pKa	COOH dodatkowa: Ka	COOH dodatkowa: pKa
Ser	seryna	$7{,}41 \cdot 10^{-3}$	2,13	-	-
Thr	treonina	$6{,}31 \cdot 10^{-3}$	2,20	-	-
Trp	tryptofan	$4{,}17 \cdot 10^{-3}$	2,38	-	-
Tyr	tyrozyna	$5{,}75 \cdot 10^{-3}$	2,24	-	-
Val	walina	$5{,}37 \cdot 10^{-3}$	2,27	-	-

Stałe dysocjacji grup funkcyjnych aminokwasów w 25 °C: protonowane grupy zasadowe

kod	aminokwas	protonowana grupa aminowa przy Cα: Ka	protonowana grupa aminowa przy Cα: pKa	protonowana zasadowa grupa boczna: Ka	protonowana zasadowa grupa boczna: pKa
Ala	alanina	$1{,}95 \cdot 10^{-10}$	9,71	-	-
Arg	arginina	$1{,}00 \cdot 10^{-9}$	9,00	$7{,}94 \cdot 10^{-13}$	12,10
Asn	asparagina	$1{,}86 \cdot 10^{-9}$	8,73	-	-
Asp	kwas asparaginowy	$2{,}19 \cdot 10^{-10}$	9,66	-	-
Cys	cysteina	$5{,}25 \cdot 10^{-11}$	10,28	-	-
Gln	glutamina	$1{,}00 \cdot 10^{-9}$	9,00	-	-
Glu	kwas glutaminowy	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	-	-
Gly	glicyna	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	-	-
His	histydyna	$8{,}13 \cdot 10^{-10}$	9,09	$9{,}12 \cdot 10^{-7}$	6,04
Ile	izoleucyna	$2{,}51 \cdot 10^{-10}$	9,60	-	-
Leu	leucyna	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	-	-
Lys	lizyna	$6{,}92 \cdot 10^{-10}$	9,16	$2{,}14 \cdot 10^{-11}$	10,67
Met	metionina	$8{,}32 \cdot 10^{-10}$	9,08	-	-
Phe	fenyloalanina	$8{,}13 \cdot 10^{-10}$	9,09	-	-
Pro	prolina	$3{,}39 \cdot 10^{-11}$	10,47	-	-
Ser	seryna	$8{,}91 \cdot 10^{-10}$	9,05	-	-
Thr	treonina	$1{,}10 \cdot 10^{-9}$	8,96	-	-
Trp	tryptofan	$4{,}57 \cdot 10^{-10}$	9,34	-	-
Tyr	tyrozyna	$9{,}12 \cdot 10^{-10}$	9,04	-	-
Val	walina	$3{,}02 \cdot 10^{-10}$	9,52	-	-

Stałe dysocjacji grup funkcyjnych aminokwasów w 25 °C: pozostałe grupy

kod	aminokwas	inne grupy: Ka	inne grupy: pKa
Ala	alanina	-	-
Arg	arginina	-	-

kod	aminokwas	inne grupy: Ka	inne grupy: pKa
Asn	asparagina	–	–
Asp	kwas asparaginowy	–	–
Cys	cysteina	$7{,}24 \cdot 10^{-9}$	8,14 (-SH)
Gln	glutamina	–	–
Glu	kwas glutaminowy	–	–
Gly	glicyna	–	–
His	histydyna	–	–
Ile	izoleucyna	–	–
Leu	leucyna	–	–
Lys	lizyna	–	–
Met	metionina	–	–
Phe	fenyloalanina	–	–
Pro	prolina	–	–
Ser	seryna	–	–
Thr	treonina	–	–
Trp	tryptofan	–	–
Tyr	tyrozyna	$7{,}94 \cdot 10^{-11}$	10,10 (-OH)
Val	walina	–	–

Stałe dysocjacji grup funkcyjnych aminokwasów w 25 °C. Warunki i jednostki podano w nagłówkach i legendzie. Do obliczenia pI wybierz dwie kolejne wartości pKa rozdzielające formę o ładunku zero. Średnia z tych danych może różnić się od niezależnej wartości pI podanej przy strukturze aminokwasu.

część 1

x	$\log_{10} x$
0,01	-2,000
0,02	-1,699
0,03	-1,523
0,04	-1,398
0,05	-1,301
0,06	-1,222
0,07	-1,155
0,08	-1,097
0,09	-1,046
0,10	-1,000
0,11	-0,959
0,12	-0,921
0,13	-0,886
0,14	-0,854
0,15	-0,824

część 2

x	$\log_{10} x$
0,35	-0,456
0,36	-0,444
0,37	-0,432
0,38	-0,420
0,39	-0,409
0,40	-0,398
0,41	-0,387
0,42	-0,377
0,43	-0,367
0,44	-0,357
0,45	-0,347
0,46	-0,337
0,47	-0,328
0,48	-0,319
0,49	-0,310

część 3

x	$\log_{10} x$
0,69	-0,161
0,70	-0,155
0,71	-0,149
0,72	-0,143
0,73	-0,137
0,74	-0,131
0,75	-0,125
0,76	-0,119
0,77	-0,114
0,78	-0,108
0,79	-0,102
0,80	-0,097
0,81	-0,092
0,82	-0,086
0,83	-0,081

x	$\log_{10} x$	x	$\log_{10} x$	x	$\log_{10} x$
0,16	-0,796	0,50	-0,301	0,84	-0,076
0,17	-0,770	0,51	-0,292	0,85	-0,071
0,18	-0,745	0,52	-0,284	0,86	-0,066
0,19	-0,721	0,53	-0,276	0,87	-0,060
0,20	-0,699	0,54	-0,268	0,88	-0,056
0,21	-0,678	0,55	-0,260	0,89	-0,051
0,22	-0,658	0,56	-0,252	0,90	-0,046
0,23	-0,638	0,57	-0,244	0,91	-0,041
0,24	-0,620	0,58	-0,237	0,92	-0,036
0,25	-0,602	0,59	-0,229	0,93	-0,032
0,26	-0,585	0,60	-0,222	0,94	-0,027
0,27	-0,569	0,61	-0,215	0,95	-0,022
0,28	-0,553	0,62	-0,208	0,96	-0,018
0,29	-0,538	0,63	-0,201	0,97	-0,013
0,30	-0,523	0,64	-0,194	0,98	-0,009
0,31	-0,509	0,65	-0,187	0,99	-0,004
0,32	-0,495	0,66	-0,180	1,00	0,000
0,33	-0,481	0,67	-0,174		
0,34	-0,469	0,68	-0,167		

Tablica logarytmów dziesiętnych. Logarytm dziesiętny: podstawa 10. Wartości zaokrąglono do trzech miejsc. Czytaj kolejne bloki od góry do dołu.

Wskaźniki kwasowo-zasadowe: zakresy pH i barwy

wskaźnik	zakres pH	forma kwasowa	forma zasadowa
oranż metylowy	3,1–4,4	czerwona	żółta
czerwień Kongo	3,0–5,0	niebieskofioletowa	czerwona
zieleń bromokrezolowa	4,0–5,6	żółta	niebieska
błękit bromotymolowy	6,0–7,6	żółta	niebieska
czerwień fenolowa	6,4–8,0	żółta	czerwona
czerwień obojętna	6,8–8,0	czerwona	żółta
czerwień krezolowa	7,2–8,8	żółta	czerwona
fenoloftaleina	8,0–10,0	bezbarwna	różowoczerwona
tymoloftaleina	9,4–10,6	bezbarwna	niebieska
błękit Nilu	10,1–11,1	niebieska	czerwona

Wskaźniki kwasowo-zasadowe: zakresy pH i barwy. Warunki i jednostki podano w nagłówkach i legendzie.

OGNIWA

Ogniwo galwaniczne

SEM ogniwa ★ $\varepsilon = E_k - E_a$

W ogniwie galwanicznym katodą jest półogniwo o wyższym potencjale równowagowym (redukcja), a anodą półogniwo o niższym (utlenianie). W warunkach standardowych porównujemy potencjały standardowe. W innych warunkach używamy rzeczywistych potencjałów półogniw, wyznaczonych z równania Nernsta. Wzór z potencjałami standardowymi E_k i E_a opisuje SEM w warunkach standardowych: aktywności uczestniczących substancji wynoszą 1, a temperatura odpowiada wartościom tabelarycznym.

Standardowe potencjały redukcji w 25 °C, część 1

układ / reakcja	E° [V]
$Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$	0,800
$AgBr + e^- \rightleftharpoons Ag + Br^-$	0,071
$AgCl + e^- \rightleftharpoons Ag + Cl^-$	0,222
$Al^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Al$	−1,676
$Al(OH)_4^- + 3e^- \rightleftharpoons Al + 4OH^-$	−2,310
$Au^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Au$	1,498
$Ba^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ba$	−2,912
$Be^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Be$	−1,847
$Bi^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Bi$	0,308
$Br_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2\,Br^-$	1,066
$BrO_3^- + 6H^+ + 6e^- \rightleftharpoons Br^- + 3H_2O$	1,423
$BrO_3^- + 3H_2O + 6e^- \rightleftharpoons Br^- + 6OH^-$	0,61
$CO_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons HCOOH$	−0,199
$Ca^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ca$	−2,868
$Cd^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cd$	−0,403
$Cd(OH)_4^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons Cd + 4OH^-$	−0,658
$Cl_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2Cl^-$	1,358
$ClO_3^- + 6H^+ + 6e^- \rightleftharpoons Cl^- + 3H_2O$	1,451

Standardowe potencjały redukcji w 25 °C, część 2

układ / reakcja	E° [V]
$ClO_3^- + 3H_2O + 6e^- \rightleftharpoons Cl^- + 6OH^-$	0,62
$Co^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Co$	−0,28
$Co^{3+} + e^- \rightleftharpoons Co^{2+}$	1,92
$Cr^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cr$	−0,913
$Cr^{3+} + e^- \rightleftharpoons Cr^{2+}$	−0,407
$Cr^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Cr$	−0,744
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,36
$CrO_4^{2-} + 4H_2O + 3e^- \rightleftharpoons Cr(OH)_3 + 5OH^-$	−0,13
$Cs^+ + e^- \rightleftharpoons Cs$	−3,026
$Cu^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Cu$	0,342
$Cu_2O + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons 2Cu + 2OH^-$	−0,360
$2Cu(OH)_2 + 2e^- \rightleftharpoons Cu_2O + 2OH^- + H_2O$	−0,080
$F_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2F^-$	2,866
$Fe^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Fe$	−0,447
$Fe^{3+} + 3e^- \rightleftharpoons Fe$	−0,037
$Fe^{3+} + e^- \rightleftharpoons Fe^{2+}$	0,771
$2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2$	0,000
$2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$	−0,828

Standardowe potencjały redukcji w 25 °C, część 3

układ / reakcja	E° [V]
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	1,776
$Hg^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Hg$	0,851
$I_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2I^-$	0,536
$IO_3^- + 6H^+ + 6e^- \rightleftharpoons I^- + 3H_2O$	1,085
$K^+ + e^- \rightleftharpoons K$	−2,931
$Li^+ + e^- \rightleftharpoons Li$	−3,040
$Mg^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Mg$	−2,372
$Mn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Mn$	−1,185
$MnO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 2H_2O$	1,224
$MnO_4^- + e^- \rightleftharpoons MnO_4^{2-}$	0,558
$MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$	1,507
$MnO_4^- + 2H_2O + 3e^- \rightleftharpoons MnO_2 + 4OH^-$	0,595
$MnO_4^{2-} + 2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons MnO_2 + 4OH^-$	0,60
$NO_3^- + 4H^+ + 3e^- \rightleftharpoons NO + 2H_2O$	0,957
$2NO_3^- + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons N_2O_4 + 2H_2O$	0,803
$Na^+ + e^- \rightleftharpoons Na$	−2,71
$Ni^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Ni$	−0,257
$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2O_2$	0,695

Standardowe potencjały redukcji w 25 °C, część 4

układ / reakcja	E° [V]
$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O$	1,229
$O_2 + 2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons H_2O_2 + 2OH^-$	−0,146
$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightleftharpoons 4OH^-$	0,401
$Pb^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Pb$	−0,126
$PbO_2 + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2H_2O$	1,455
$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \rightleftharpoons PbSO_4 + 2H_2O$	1,691
$PbSO_4 + 2e^- \rightleftharpoons Pb + SO_4^{2-}$	−0,359
$Pt^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Pt$	1,18
$Rb^+ + e^- \rightleftharpoons Rb$	−2,98
$S + 2e^- \rightleftharpoons S^{2-}$	−0,476
$SO_4^{2-} + H_2O + 2e^- \rightleftharpoons SO_3^{2-} + 2OH^-$	−0,93
$Sn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Sn$	−0,138
$Sn^{4+} + 2e^- \rightleftharpoons Sn^{2+}$	0,151
$Sr^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Sr$	−2,899
$Zn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Zn$	−0,762
$Zn(OH)_4^{2-} + 2e^- \rightleftharpoons Zn + 4OH^-$	−1,199

Standardowe potencjały redukcji w 25 °C. Warunki i jednostki podano w nagłówkach tabeli.

CHEMIA ANALITYCZNA

Oznaczanie składu

stężenie z prostej kalibracyjnej ..... $c = \dfrac{y - b}{a}$

Kalibracja y = ac + b, a ≠ 0; zachowaj znak nachylenia. Wynik (y–b)/a musi być nieujemny i należeć do zwalidowanego zakresu kalibracji; uwzględnij rozcieńczenie próbki.

CHEMIA ORGANICZNA

Szeregi i budowa

wzór ogólny alkanów ..... $\mathrm{C}_n\mathrm{H}_{2n+2}$

Acykliczne nasycone węglowodory; n ≥ 1.

wzór ogólny alkenów ..... $\mathrm{C}_n\mathrm{H}_{2n}$

Węglowodory o otwartym łańcuchu z jednym wiązaniem podwójnym, a poza nim tylko z wiązaniami pojedynczymi; n ≥ 2. Ten sam wzór sumaryczny mają cykloalkany.

wzór ogólny alkinów ..... $\mathrm{C}_n\mathrm{H}_{2n-2}$

Acykliczne węglowodory z jednym wiązaniem potrójnym i pozostałymi pojedynczymi; n ≥ 2.

wzór ogólny nasyconych alkoholi monohydroksylowych

$$\mathrm{C}_n\mathrm{H}_{2n+1}\mathrm{OH}$$

Nasycone alkohole o otwartym łańcuchu z jedną grupą OH, zbudowane tylko z węgla, wodoru i tlenu (bez innych grup funkcyjnych); n ≥ 1.

wzór ogólny nasyconych kwasów monokarboksylowych

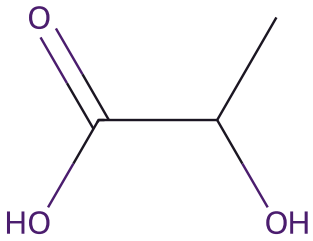
$$\mathrm{C}_n\mathrm{H}_{2n+1}\mathrm{COOH}$$

Nasycone acykliczne kwasy z jedną grupą COOH, bez dodatkowych grup funkcyjnych i heteroatomów; n ≥ 0 (n = 0 daje HCOOH). Cała cząsteczka ma n + 1 atomów węgla.

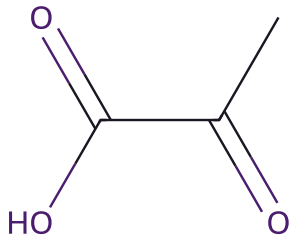
wzór ogólny α-aminokwasów ..... $\mathrm{RCH(NH_2)COOH}$

Dotyczy α-aminokwasów: grupa aminowa i grupa karboksylowa są przy tym samym atomie węgla (α); R to reszta boczna, różna w różnych aminokwasach.

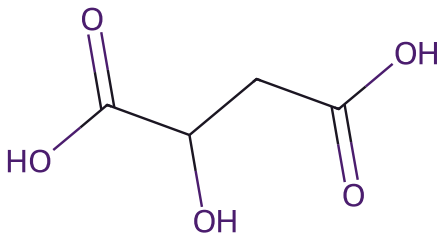
kwas mlekowy



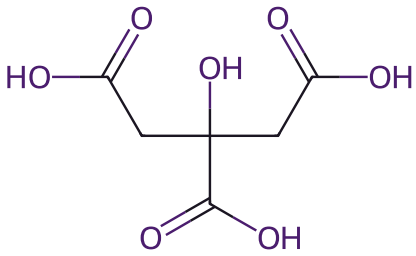
kwas pirogronowy



kwas jabłkowy

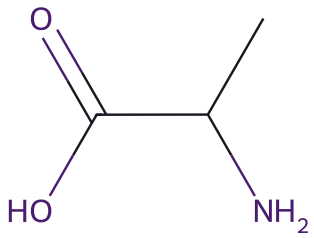


kwas cytrynowy

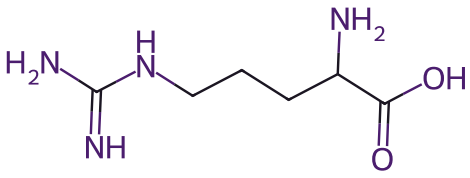


Wzory strukturalne wybranych kwasów organicznych. Przykłady struktur kwasów z dodatkowymi grupami funkcyjnymi. Hydroksykwasy, ketokwasy i kwasy wielokarboksylowe nie spełniają wzoru sumarycznego prostych nasyconych kwasów monokarboksylowych.

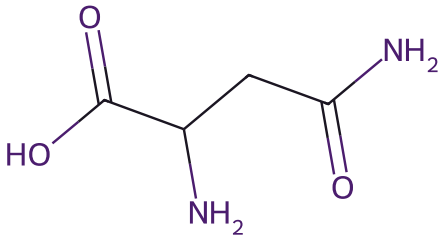
alanina · Ala · pI 6,00



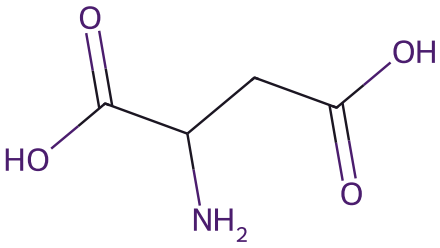
arginina · Arg · pI 10,76



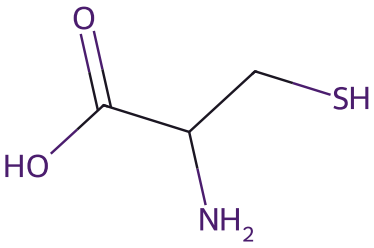
asparagina · Asn · pI 5,41



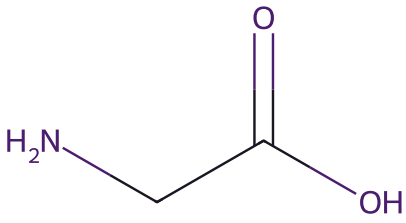
kwas asparaginowy · Asp · pI 2,77



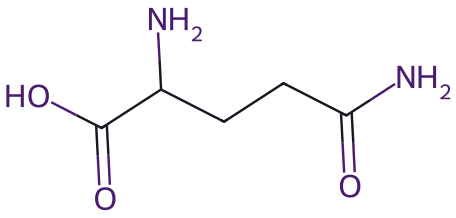
cysteina · Cys · pI 5,07



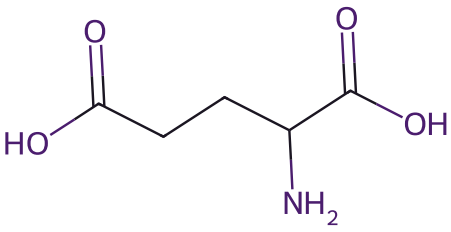
glicyna · Gly · pI 5,97



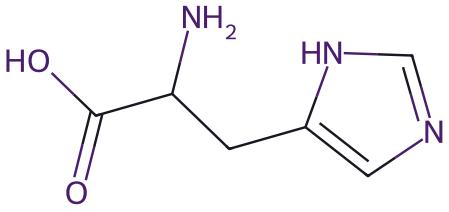
glutamina · Gln · pI 5,65



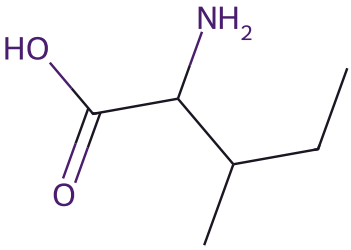
kwas glutaminowy · Glu · pI 3,22



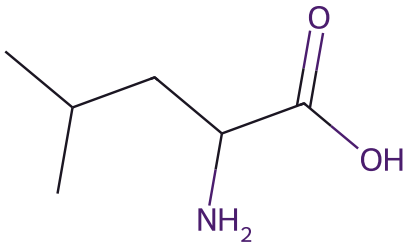
histydyna · His · pI 7,59



izoleucyna · Ile · pI 6,02

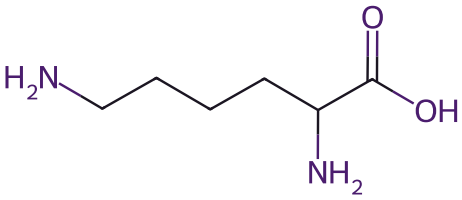


leucyna · Leu · pI 5,98

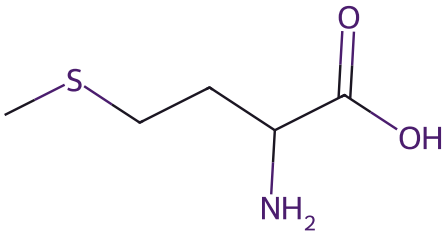


Aminokwasy: struktury, skróty i punkty izoelektryczne (część 1). Struktury przedstawiono w formie obojętnej. Punkt izoelektryczny pI oznacza pH, przy którym średni ładunek aminokwasu wynosi zero; rzeczywista forma jonowa zależy od pH. Tabelaryczne pI są wartościami referencyjnymi, a nie wynikami średniej z pKa z sąsiedniej tablicy. W zadaniu oblicz pI z pary pKa otaczającej formę obojętną elektrycznie; wynik zależy od użytego zestawu stałych.

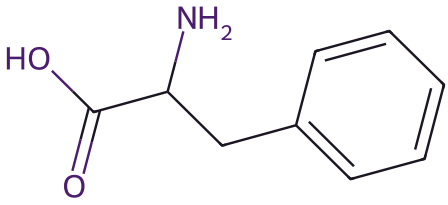
lizyna · Lys · pI 9,74



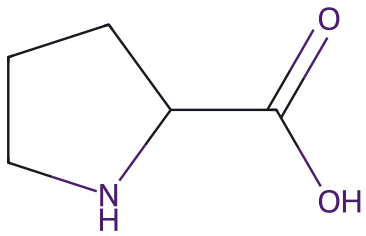
metionina · Met · pI 5,74



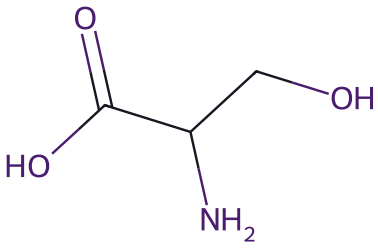
fenyloalanina · Phe · pI 5,48



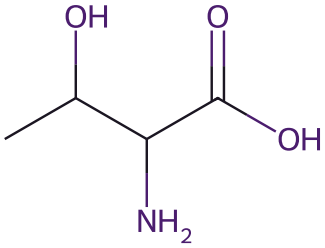
prolina · Pro · pI 6,30



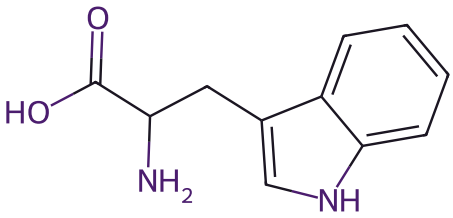
seryna · Ser · pI 5,68



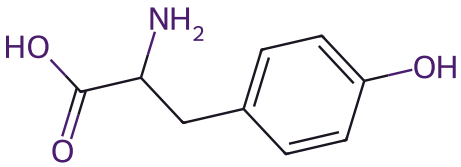
treonina · Thr · pI 5,60



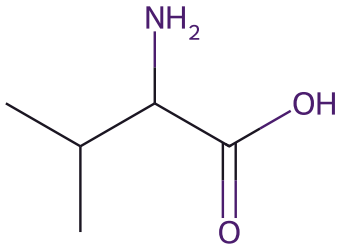
tryptofan · Trp · pI 5,89



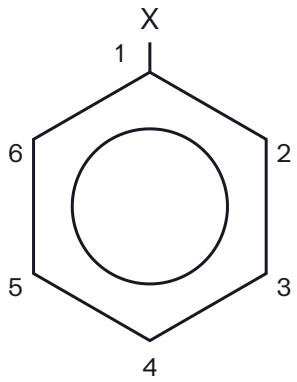
tyrozyna · Tyr · pI 5,66



walina · Val · pI 5,96



Aminokwasy: struktury, skróty i punkty izoelektryczne (część 2). Struktury przedstawiono w formie obojętnej. Punkt izoelektryczny pI oznacza pH, przy którym średni ładunek aminokwasu wynosi zero; rzeczywista forma jonowa zależy od pH. Tabelaryczne pI są wartościami referencyjnymi, a nie wynikami średniej z pKa z sąsiedniej tablicy. W zadaniu oblicz pI z pary pKa otaczającej formę obojętną elektrycznie; wynik zależy od użytego zestawu stałych.



Kierowanie podstawienia w pierścieniu aromatycznym, legenda

kierowanie	podstawniki
orto (2, 6) i para (4)	OH, O^-, OR, NH_2, NHR, NR_2, NHCOR
orto (2, 6) i para (4)	R, C_6H_5, Cl, Br, I
meta (3, 5)	CHO, COR, COOH, COOR, CN
meta (3, 5)	NO_2, NH_3^+, NR_3^+, SO_3H

Kierowanie podstawienia w pierścieniu aromatycznym. Reguły dotyczą podstawienia elektrofilowego w pierścieniu aromatycznym. Pozycje 2 i 6 są orto, 3 i 5 są meta, a 4 jest para względem podstawnika X.

część 1

wiązanie	d [pm]
Br–Br	228
C=C	134
C–C	153
C=O	121
Cl–Cl	199
N=O	118
H–H	74

część 2

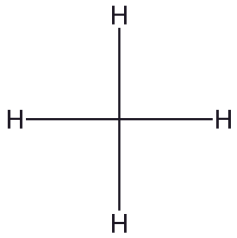
wiązanie	d [pm]
O=O	121
I–I	267
S=O	148
O–H	96
N≡N	113
H–F	92
C≡C	120

część 3

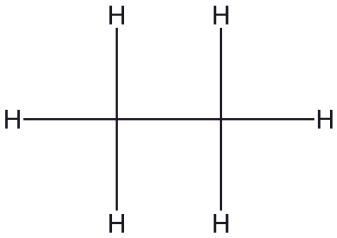
wiązanie	d [pm]
H–Cl	128
C≡N	116
H–Br	141
H–I	161
C–O	142
N–O	143

Długości wybranych wiązań chemicznych. Długości wybranych wiązań pojedynczych, podwójnych i potrójnych. Tabela pozwala porównać typy wiązań; nie wyznacza struktury związku z samego wzoru sumarycznego.

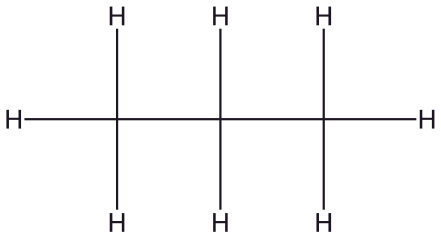
metan · CH_4



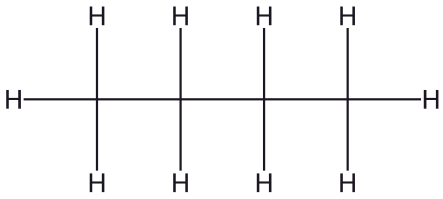
etan · C_2H_6



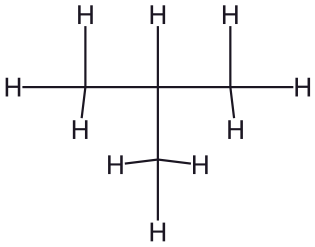
propan · C_3H_8



butan · C_4H_{10}

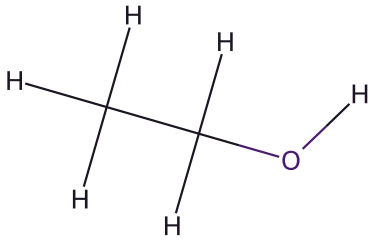


izobutan (2-metylopropan) · C_4H_{10}

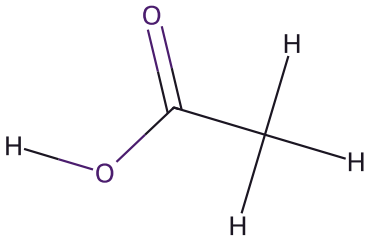


Alkany C1–C4: wzory strukturalne. Każdy kolejny alkan ma o jedną grupę CH_2 więcej (szereg homologiczny C_nH_{2n+2}). Butan i izobutan (2-metylopropan) mają ten sam wzór sumaryczny C_4H_{10}, ale inną budowę: to izomery.

etanol · C_2H_5OH

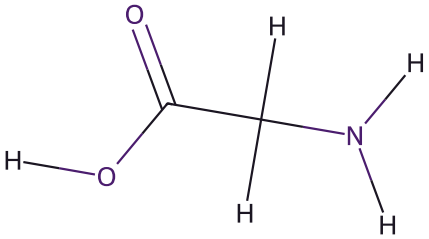


kwas octowy · CH_3COOH

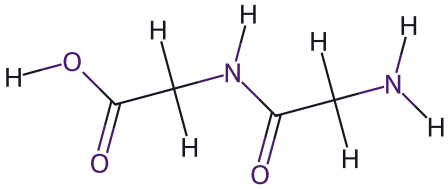


Etanol i kwas octowy: grupy funkcyjne. Etanol ma grupę hydroksylową –OH, kwas octowy (etanowy) grupę karboksylową –COOH; obie cząsteczki mają po dwa atomy węgla.

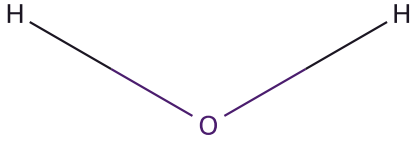
glicyna (dwie cząsteczki)



glicyloglicyna (dipeptyd)



woda



Kondensacja glicyny: wiązanie peptydowe. Grupa –COOH jednej cząsteczki glicyny reaguje z grupą $–NH_2$ drugiej: powstają dipeptyd glicyloglicyna i cząsteczka wody. Ugrupowanie –CO–NH– to wiązanie peptydowe.

STAŁE CHEMICZNE

stała Avogadra — $N_A \approx 6{,}022 \cdot 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$

objętość molowa gazu w warunkach normalnych

$$V_m \approx 22{,}41\ \mathrm{dm^3/mol}$$

warunki normalne

$$T = 273{,}15\ \mathrm{K}\ (0\ ^\circ\mathrm{C}), \quad p = 1013{,}25\ \mathrm{hPa}$$

stała gazowa

$$R \approx 8{,}314\ \mathrm{J/(K{\cdot}mol)} = 83{,}14\ \mathrm{hPa{\cdot}dm^3/(K{\cdot}mol)}$$

iloczyn jonowy wody w 25 °C

$$K_w = 1{,}0 \cdot 10^{-14}\ \mathrm{mol^2/dm^6}$$

jednostka masy atomowej — $1\ \mathrm{u} \approx 1{,}66 \cdot 10^{-24}\ \mathrm{g}$

gęstość wody (4 °C) — $d \approx 1{,}00\ \mathrm{g/cm^3}$