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.

pH roztworu buforowego $$\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_a + \log\frac{[\mathrm{A^-}]}{[\mathrm{HA}]}$$

Bufor pary sprzężonej HA/A^-; stężenia równowagowe w tych samych jednostkach. Zapis stężeniowy przybliża zależność opartą na aktywnościach w roztworze rozcieńczonym.

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 $$K_a = \frac{[\mathrm{H^+}][\mathrm{A^-}]}{[\mathrm{HA}]}$$

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

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

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 $1-\alpha$ 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 $$s = \left(\frac{K_s}{p^p q^q}\right)^{\frac{1}{p+q}}$$

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	-	-

kod	aminokwas	COOH przy Cα: Ka	COOH przy Cα: pKa	COOH dodatkowa: Ka	COOH dodatkowa: pKa
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	–	–
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	–	–

kod	aminokwas	protonowana grupa aminowa przy Cα: Ka	protonowana grupa aminowa przy Cα: pKa	protonowana zasadowa grupa boczna: Ka	protonowana zasadowa grupa boczna: pKa
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	–	–
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	–	–

kod	aminokwas	inne grupy : Ka	inne grupy : pKa
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.

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
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

rodzaj	wzór	nazwa	etap	K	pK
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.

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

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

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

x	$\log_{10} x$	x	$\log_{10} x$	x	$\log_{10} x$
0,10	-1,000	0,44	-0,357	0,78	-0,108
0,11	-0,959	0,45	-0,347	0,79	-0,102
0,12	-0,921	0,46	-0,337	0,80	-0,097
0,13	-0,886	0,47	-0,328	0,81	-0,092
0,14	-0,854	0,48	-0,319	0,82	-0,086
0,15	-0,824	0,49	-0,310	0,83	-0,081
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.

Symbole i jednostki

symbol	znaczenie	jednostka
$[\mathrm{A}]$	stężenie kationu A w roztworze	$\mathrm{mol/dm^3}$
$[\mathrm{A^+}]$	stężenie kationów w roztworze w równowadze z osadem tej soli	$\mathrm{mol/dm^3}$
$[\mathrm{A^-}]$	stężenie molowe anionów reszty kwasowej	$\mathrm{mol/dm^3}$
$[\mathrm{B}]$	stężenie anionu B w roztworze	$\mathrm{mol/dm^3}$
$[\mathrm{B^-}]$	stężenie anionów w roztworze w równowadze z osadem tej soli	$\mathrm{mol/dm^3}$
c_0	stężenie początkowe elektrolitu	$\mathrm{mol/dm^3}$
c_{zdys}	stężenie cząsteczek zdysocjowanych	$\mathrm{mol/dm^3}$
$[\mathrm{H^+}]$	stężenie molowe jonów wodorowych	$\mathrm{mol/dm^3}$
$[\mathrm{HA}]$	stężenie molowe cząsteczek niezdysocjowanego kwasu	$\mathrm{mol/dm^3}$
K	stała dysocjacji elektrolitu	$\mathrm{mol/dm^3}$
$K_a,\ K_b$	stała dysocjacji kwasu HA, stała dysocjacji sprzężonej z nim zasady A^- (obie w roztworze wodnym, w tej samej temperaturze)	$\mathrm{mol/dm^3}$
K_s	iloczyn rozpuszczalności	$\mathrm{mol^2/dm^6}$
K_s	stężeniowy iloczyn rozpuszczalności; jednostka $(\mathrm{mol/dm^3})$ do potęgi p+q	jednostka stężeniowa zależna od p i q
K_w	iloczyn jonowy wody (w 25 °C) = $1{,}0 \cdot 10^{-14}$	$\mathrm{mol^2/dm^6}$
$[\mathrm{OH^-}]$	stężenie molowe jonów wodorotlenkowych	$\mathrm{mol/dm^3}$
p	liczba kationów A z jednostki stechiometrycznej soli	1
pH	pH roztworu	—
$\mathrm{p}K_a$	ujemny logarytm stałej dysocjacji kwasu ($\mathrm{p}K_a = -\log K_a$, gdzie K_a to sama liczba z wartości w $\mathrm{mol/dm^3}$)	—
pOH	pOH roztworu	—
q	liczba anionów B z jednostki stechiometrycznej soli	1
s	rozpuszczalność molowa soli	$\mathrm{mol/dm^3}$
α	stopień dysocjacji (ułamek; razy 100% daje procent)	—
α	stopień dysocjacji kwasu jednoprotonowego	1