Spis treści



Potencjał wody w komórce roślinnej / Równanie Hardy'ego–Weinberga 4
Zasady azotowe / Wybrane kwasy organiczne / Hydroliza ATP..... 4
Podstawowe wzory ze statystyki / Kod genetyczny 5
Wybrane aminokwasy białkowe 6
Wybrane aminokwasy białkowe – cd. 7
Wpływ kierujący podstawników w pierścieniu aromatycznym 7
Stałe dysocjacji dla grup funkcyjnych aminokwasów w temperaturze 25 °C 8
Wartości stałej dysocjacji wybranych kwasów i zasad w temperaturze 25 °C 9
Średnie długości wiązań w cząsteczkach w fazie gazowej 9
Wartości iloczynu rozpuszczalności wybranych substancji w temperaturze 25 °C 10
Tabela wartości logarytmów dziesiętnych 10
Wybrane wskaźniki kwasowo-zasadowe 11
Potencjał standardowy redukcji 12
Wartości standardowej molowej entalpii tworzenia 13
Wartości standardowej molowej entalpii spalania 13
Rozpuszczalność soli i wodorotlenków w wodzie w temperaturze 25 °C 14
Układ okresowy pierwiastków 15
Kinematyka / Dynamika / Siły tarcia i sprężystości 16
Grawitacja i elementy astronomii 16
Drgania, fale mechaniczne i świetlne / Optyka geometryczna 17
Hydrostatyka, aerostatyka / Termodynamika 17
Elektrostatyka / Prąd elektryczny / Magnetyzm 18
Elementy mechaniki relatywistycznej / Elementy fizyki atomowej i jądrowej 19
Wybrane zależności / Podstawowe jednostki układu SI / Przedrostki jednostek miar 19
Wartości wybranych stałych fizycznych / Wybrane stałe i parametry astrofizyczne 20
Wybrane wartości jednostek spoza układu SI 20

Potencjał wody w komórce roślinnej

$\Psi_W = \Psi_S + \Psi_P$

gdzie:

Ψ_W – potencjał wody

Ψ_S – potencjał osmotyczny

Ψ_P – potencjał ciśnienia

Równanie Hardy'ego–Weinberga

$p + q = 1$

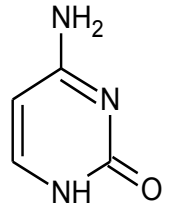
$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$

gdzie:

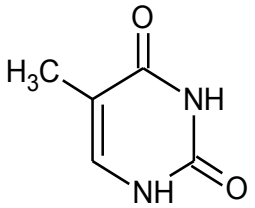
p – częstość allelu dominującego w populacji

q – częstość allelu recesywnego w populacji

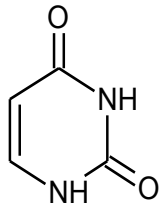
Zasady azotowe



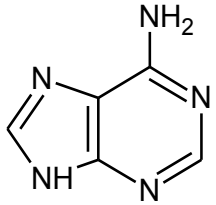
cytozyna (C)



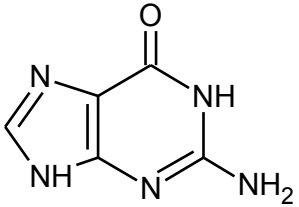
tymina (T)



uracyl (U)

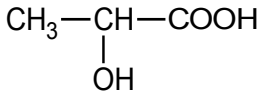


adenina (A)

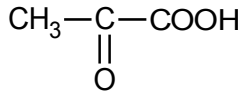


guanina (G)

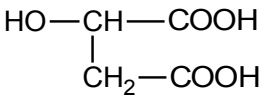
Wybrane kwasy organiczne



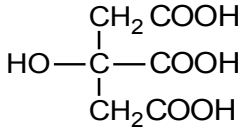
kwas mlekowy



kwas pirogronowy

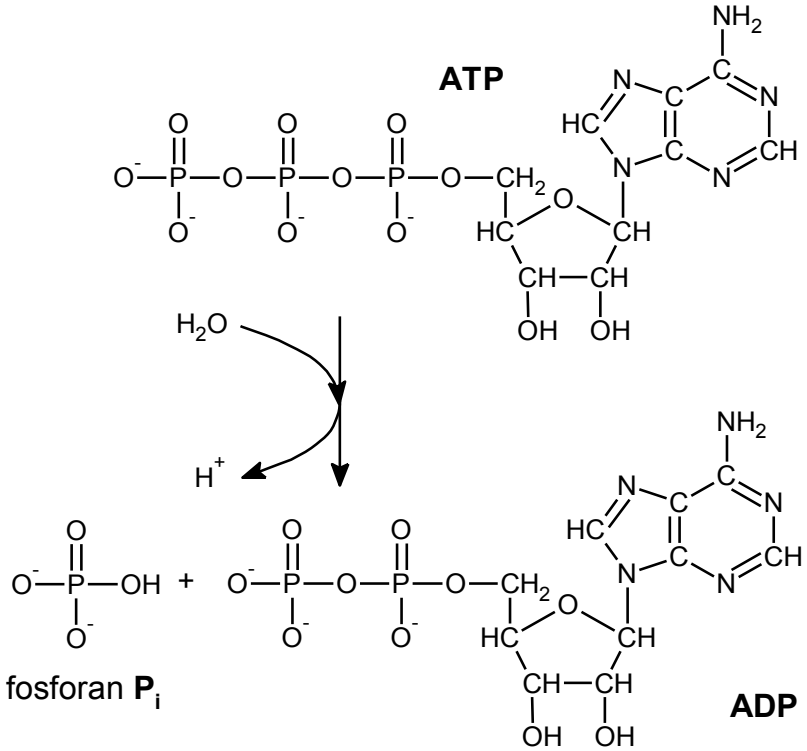


kwas jabłkowy



kwas cytrynowy

Hydroliza ATP



Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.

PODSTAWOWE WZORY ZE STATYSTYKI

Średnia arytmetyczna

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}$$

gdzie:

n – liczba obserwacji

$x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots, x_n$ – kolejne obserwacje

Średnia ważona

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} w_i x_i}{\sum_{i=1}^{n} w_i} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \cdots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \cdots + w_n}$$

gdzie:

n – liczba obserwacji

$x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots, x_n$ – kolejne obserwacje

$w_1, w_2, \ldots, w_i, \ldots, w_n$ – wagi kolejnych obserwacji

Odchylenie standardowe

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \cdots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

gdzie:

n – liczba obserwacji

$x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots, x_n$ – kolejne obserwacje

$\bar{x}$ – średnia arytmetyczna

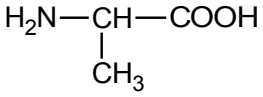
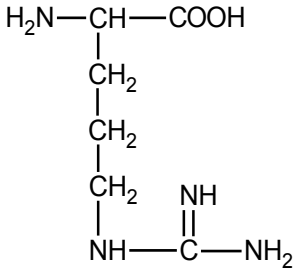
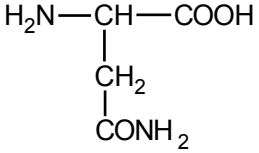
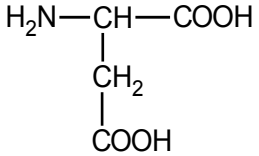
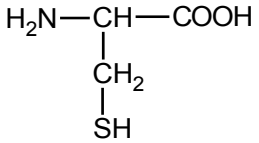
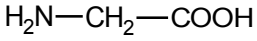
KOD GENETYCZNY

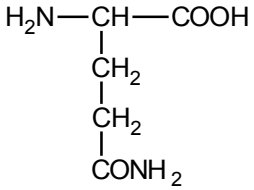
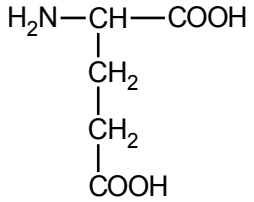
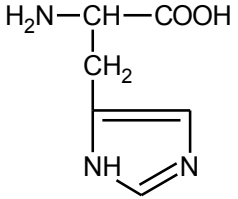
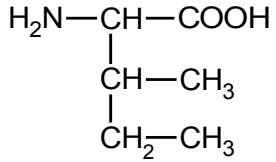
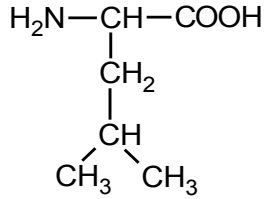
Pierwsza pozycja	Druga pozycja: U	Druga pozycja: C	Druga pozycja: A	Druga pozycja: G	Trzecia pozycja
U	UUU fenyloalanina UUC fenyloalanina UUA leucyna UUG leucyna	UCU seryna UCC seryna UCA seryna UCG seryna	UAU tyrozyna UAC tyrozyna UAA *STOP* UAG *STOP*	UGU cysteina UGC cysteina UGA *STOP* UGG tryptofan	**U** **C** **A** **G**
C	CUU leucyna CUC leucyna CUA leucyna CUG leucyna	CCU prolina CCC prolina CCA prolina CCG prolina	CAU histydyna CAC histydyna CAA glutamina CAG glutamina	CGU arginina CGC arginina CGA arginina CGG arginina	**U** **C** **A** **G**
A	AUU izoleucyna AUC izoleucyna AUA izoleucyna AUG metionina, *START*	ACU treonina ACC treonina ACA treonina ACG treonina	AAU asparagina AAC asparagina AAA lizyna AAG lizyna	AGU seryna AGC seryna AGA arginina AGG arginina	**U** **C** **A** **G**
G	GUU walina GUC walina GUA walina GUG walina	GCU alanina GCC alanina GCA alanina GCG alanina	GAU kw. asparaginowy GAC kw. asparaginowy GAA kw. glutaminowy GAG kw. glutaminowy	GGU glicyna GGC glicyna GGA glicyna GGG glicyna	**U** **C** **A** **G**

Na podstawie: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Utils/wprintgc.cgi

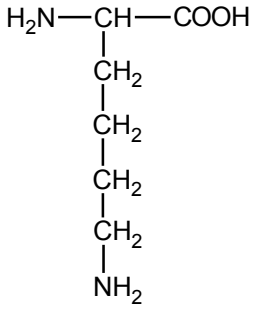
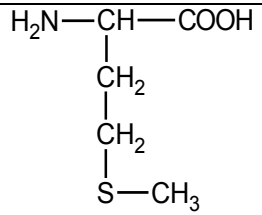
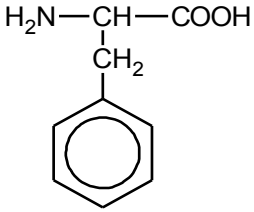
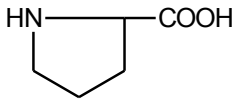
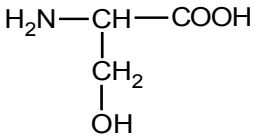
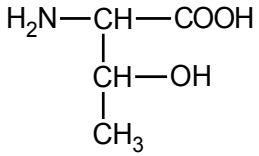
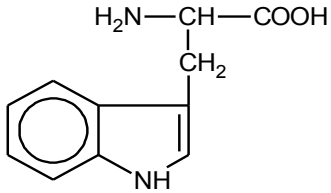
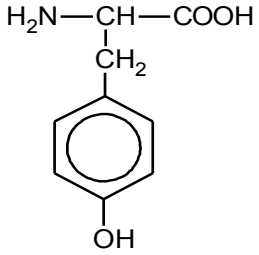
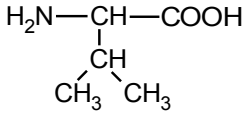


Uwaga: nie zachowano kolejności alfabetycznej.

WYBRANE AMINOKWASY BIAŁKOWE			
Nazwa aminokwasu	**Wzór**	**Kod**	**pI**
alanina		**Ala**	6,00
arginina		**Arg**	10,76
asparagina		**Asn**	5,41
kwas asparaginowy		**Asp**	2,77
cysteina		**Cys**	5,07
glicyna		**Gly**	5,97

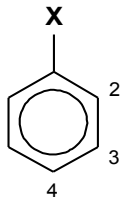
Nazwa aminokwasu	**Wzór**	**Kod**	**pI**
glutamina		**Gln**	5,65
kwas glutaminowy		**Glu**	3,22
histydyna		**His**	7,59
izoleucyna		**Ile**	6,02
leucyna		**Leu**	5,98

WYBRANE AMINOKWASY BIAŁKOWE – CD.

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
lizyna		**Lys**	9,74
metionina		**Met**	5,74
fenyloalanina		**Phe**	5,48
prolina		**Pro**	6,30
seryna		**Ser**	5,68
treonina		**Thr**	5,60
tryptofan		**Trp**	5,89
tyrozyna		**Tyr**	5,66
walina		**Val**	5,96

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.

WPŁYW KIERUJĄCY PODSTAWNIKÓW W PIERŚCIENIU AROMATYCZNYM



Podstawniki **X** kierujące w położenie 2- lub 4-	Podstawniki **X** kierujące w położenie 3-
–OH albo $–O^-$ albo –OR $–NH_2$ albo –NHR albo $–NR_2$ –NHCOR –R, $–C_6H_5$ –Cl, –Br, –I	–CHO, –COR –COOH albo –COOR –CN $–NO_2$ $–NH_3^+$ albo $–NR_3^+$ $–SO_3H$

R – grupa alkilowa



STAŁE DYSOCJACJI DLA GRUP FUNKCYJNYCH AMINOKWASÓW W TEMPERATURZE 25 °C											
Kod	**Nazwa aminokwasu**	**Dla grupy karboksylowej**				**Dla sprotonowanej grupy aminowej**				**Dla innych grup**	
		przy atomie Cα		**dodatkowej**		**przy atomie Cα**		**dodatkowej**			
		K_a	pK_a	K_a	pK_a	K_a	pK_a	K_a	pK_a	K_a	pK_a
Ala	alanina	$4{,}68 \cdot 10^{-3}$	2,33	–	–	$1{,}95 \cdot 10^{-10}$	9,71	–	–	–	–
Arg	arginina	$9{,}33 \cdot 10^{-3}$	2,03	–	–	$1{,}00 \cdot 10^{-9}$	9,00	$7{,}94 \cdot 10^{-13}$	12,10	–	–
Asn	asparagina	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	–	–	$1{,}86 \cdot 10^{-9}$	8,73	–	–	–	–
Asp	kwas asparaginowy	$1{,}12 \cdot 10^{-2}$	1,95	$1{,}95 \cdot 10^{-4}$	3,71	$2{,}19 \cdot 10^{-10}$	9,66	–	–	–	–
Cys	cysteina	$1{,}23 \cdot 10^{-2}$	1,91	–	–	$5{,}25 \cdot 10^{-11}$	10,28	–	–	$7{,}24 \cdot 10^{-9}$	8,14 (–SH)
Gln	glutamina	$6{,}61 \cdot 10^{-3}$	2,18	–	–	$1{,}00 \cdot 10^{-9}$	9,00	–	–	–	–
Glu	kwas glutaminowy	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	$7{,}08 \cdot 10^{-5}$	4,15	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	–	–	–	–
Gly	glicyna	$4{,}57 \cdot 10^{-3}$	2,34	–	–	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	–	–	–	–
His	histydyna	$2{,}00 \cdot 10^{-2}$	1,70	–	–	$8{,}13 \cdot 10^{-10}$	9,09	$9{,}12 \cdot 10^{-7}$	6,04	–	–
Ile	izoleucyna	$5{,}50 \cdot 10^{-3}$	2,26	–	–	$2{,}51 \cdot 10^{-10}$	9,60	–	–	–	–
Leu	leucyna	$4{,}79 \cdot 10^{-3}$	2,32	–	–	$2{,}63 \cdot 10^{-10}$	9,58	–	–	–	–
Lys	lizyna	$7{,}08 \cdot 10^{-3}$	2,15	–	–	$6{,}92 \cdot 10^{-10}$	9,16	$2{,}14 \cdot 10^{-11}$	10,67	–	–
Met	metionina	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$	2,16	–	–	$8{,}32 \cdot 10^{-10}$	9,08	–	–	–	–
Phe	fenyloalanina	$6{,}61 \cdot 10^{-3}$	2,18	–	–	$8{,}13 \cdot 10^{-10}$	9,09	–	–	–	–
Pro	prolina	$1{,}12 \cdot 10^{-2}$	1,95	–	–	$3{,}39 \cdot 10^{-11}$	10,47	–	–	–	–
Ser	seryna	$7{,}41 \cdot 10^{-3}$	2,13	–	–	$8{,}91 \cdot 10^{-10}$	9,05	–	–	–	–
Thr	treonina	$6{,}31 \cdot 10^{-3}$	2,20	–	–	$1{,}10 \cdot 10^{-9}$	8,96	–	–	–	–
Trp	tryptofan	$4{,}17 \cdot 10^{-3}$	2,38	–	–	$4{,}57 \cdot 10^{-10}$	9,34	–	–	–	–
Tyr	tyrozyna	$5{,}75 \cdot 10^{-3}$	2,24	–	–	$9{,}12 \cdot 10^{-10}$	9,04	–	–	$7{,}94 \cdot 10^{-11}$	10,10 (–OH)
Val	walina	$5{,}37 \cdot 10^{-3}$	2,27	–	–	$3{,}02 \cdot 10^{-10}$	9,52	–	–	–	–

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.



WARTOŚCI STAŁEJ DYSOCJACJI WYBRANYCH KWASÓW I ZASAD W TEMPERATURZE 25 °C

Kwasy nieorganiczne

Wzór kwasu	Nazwa	Etap	K_a	pK_a
HF	kwas fluorowodorowy		$6{,}31 \cdot 10^{-4}$	3,20
HCl	kwas chlorowodorowy		10^{7}	–7,0
HBr	kwas bromowodorowy		10^{9}	–9,0
HI	kwas jodowodorowy		10^{10}	–10,0
H_2S	kwas siarkowodorowy	1 2	$8{,}91 \cdot 10^{-8}$ 10^{-19}	7,05 19,0
H_2Se	kwas selenowodorowy	1 2	$1{,}29 \cdot 10^{-4}$ 10^{-11}	3,89 11,0
H_2Te	kwas tellurowodorowy	1 (18 °C) 2	$2{,}51 \cdot 10^{-3}$ 10^{-11}	2,6 11,0
HClO	kwas chlorowy(I)		$3{,}98 \cdot 10^{-8}$	7,40
$HClO_2$	kwas chlorowy(III)		$1{,}15 \cdot 10^{-2}$	1,94
HNO_2	kwas azotowy(III)		$5{,}62 \cdot 10^{-4}$	3,25
H_2SO_3	kwas siarkowy(IV)	1 2	$1{,}41 \cdot 10^{-2}$ $6{,}31 \cdot 10^{-8}$	1,85 7,2
H_2SO_4	kwas siarkowy(VI)	2	$1{,}02 \cdot 10^{-2}$	1,99
H_3BO_3	kwas borowy (20 °C)	1	$5{,}37 \cdot 10^{-10}$	9,27
H_3AsO_4	kwas ortoarsenowy(V)	1 2 3	$5{,}50 \cdot 10^{-3}$ $1{,}74 \cdot 10^{-7}$ $5{,}13 \cdot 10^{-12}$	2,26 6,76 11,29
H_3PO_4	kwas ortofosforowy(V)	1 2 3	$6{,}92 \cdot 10^{-3}$ $6{,}17 \cdot 10^{-8}$ $4{,}79 \cdot 10^{-13}$	2,16 7,21 12,32
H_4SiO_4	kwas ortokrzemowy (30 °C)	1 2 3 4	$1{,}26 \cdot 10^{-10}$ $1{,}58 \cdot 10^{-12}$ 10^{-12} 10^{-12}	9,9 11,8 12 12
H_2CO_3	kwas węglowy	1 2	$4{,}47 \cdot 10^{-7}$ $4{,}68 \cdot 10^{-11}$	6,35 10,33

Kwasy organiczne

Wzór kwasu	Nazwa	Etap	K_a	pK_a
$H_2C_2O_4$	kwas szczawiowy	1 2	$5{,}62 \cdot 10^{-2}$ $1{,}55 \cdot 10^{-4}$	1,25 3,81

Kwasy organiczne – cd.

Wzór kwasu	Nazwa	K_a	pK_a
HCOOH	kwas mrówkowy	$1{,}78 \cdot 10^{-4}$	3,75
CH_3COOH	kwas octowy	$1{,}75 \cdot 10^{-5}$	4,756
CH_3CH_2COOH	kwas propanowy	$1{,}35 \cdot 10^{-5}$	4,87
C_6H_5COOH	kwas benzoesowy	$6{,}25 \cdot 10^{-5}$	4,204
C_6H_5OH	fenol	$1{,}02 \cdot 10^{-10}$	9,99

Zasady

Wzór zasady	Nazwa	K_b	pK_b
NH_3	amoniak	$1{,}78 \cdot 10^{-5}$	4,75
CH_3NH_2	metanoamina	$4{,}57 \cdot 10^{-4}$	3,34
$CH_3CH_2NH_2$	etanoamina	$4{,}47 \cdot 10^{-4}$	3,35
$CH_3CH_2CH_2NH_2$	propano-1-amina	$3{,}47 \cdot 10^{-4}$	3,46
$(CH_3)_2NH$	*N*-metylometanoamina	$5{,}37 \cdot 10^{-4}$	3,27
$(CH_3)_3N$	*N*,*N*-dimetylometanoamina	$6{,}31 \cdot 10^{-5}$	4,20
$C_6H_5NH_2$	anilina	$7{,}41 \cdot 10^{-10}$	9,13

ŚREDNIE DŁUGOŚCI WIĄZAŃ W CZĄSTECZKACH W FAZIE GAZOWEJ

Wiązania pojedyncze		Wiązania wielokrotne	
Wiązanie	**Długość, pm**	**Wiązanie**	**Długość, pm**
Br–Br	228	C=C	134
C–C	153	C=O	121
Cl–Cl	199	N=O	118
H–H	74	O=O	121
I–I	267	S=O	148
O–H	96	N≡N	113
H–F	92	C≡C	120
H–Cl	128	C≡N	116
H–Br	141		
H–I	161		
C–O	142		
N–O	143		

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.



WARTOŚCI ILOCZYNU ROZPUSZCZALNOŚCI WYBRANYCH SUBSTANCJI W TEMPERATURZE 25 °C

Wzór	Nazwa	K_s	pK_s
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
$BaCrO_4$	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

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.

TABELA WARTOŚCI LOGARYTMÓW DZIESIĘTNYCH

x	$\log x$	x	$\log x$	x	$\log x$	x	$\log x$
0,01	–2,000	**0,26**	–0,585	**0,51**	–0,292	**0,76**	–0,119
0,02	–1,699	**0,27**	–0,569	**0,52**	–0,284	**0,77**	–0,114
0,03	–1,523	**0,28**	–0,553	**0,53**	–0,276	**0,78**	–0,108
0,04	–1,398	**0,29**	–0,538	**0,54**	–0,268	**0,79**	–0,102
0,05	–1,301	**0,30**	–0,523	**0,55**	–0,260	**0,80**	–0,097
0,06	–1,222	**0,31**	–0,509	**0,56**	–0,252	**0,81**	–0,092
0,07	–1,155	**0,32**	–0,495	**0,57**	–0,244	**0,82**	–0,086
0,08	–1,097	**0,33**	–0,481	**0,58**	–0,237	**0,83**	–0,081
0,09	–1,046	**0,34**	–0,469	**0,59**	–0,229	**0,84**	–0,076
0,10	–1,000	**0,35**	–0,456	**0,60**	–0,222	**0,85**	–0,071
0,11	–0,959	**0,36**	–0,444	**0,61**	–0,215	**0,86**	–0,066
0,12	–0,921	**0,37**	–0,432	**0,62**	–0,208	**0,87**	–0,060
0,13	–0,886	**0,38**	–0,420	**0,63**	–0,201	**0,88**	–0,056
0,14	–0,854	**0,39**	–0,409	**0,64**	–0,194	**0,89**	–0,051
0,15	–0,824	**0,40**	–0,398	**0,65**	–0,187	**0,90**	–0,046
0,16	–0,796	**0,41**	–0,387	**0,66**	–0,180	**0,91**	–0,041
0,17	–0,770	**0,42**	–0,377	**0,67**	–0,174	**0,92**	–0,036
0,18	–0,745	**0,43**	–0,367	**0,68**	–0,167	**0,93**	–0,032
0,19	–0,721	**0,44**	–0,357	**0,69**	–0,161	**0,94**	–0,027
0,20	–0,699	**0,45**	–0,347	**0,70**	–0,155	**0,95**	–0,022
0,21	–0,678	**0,46**	–0,337	**0,71**	–0,149	**0,96**	–0,018
0,22	–0,658	**0,47**	–0,328	**0,72**	–0,143	**0,97**	–0,013
0,23	–0,638	**0,48**	–0,319	**0,73**	–0,137	**0,98**	–0,009
0,24	–0,620	**0,49**	–0,310	**0,74**	–0,131	**0,99**	–0,004
0,25	–0,602	**0,50**	–0,301	**0,75**	–0,125	**1,00**	0,000



WYBRANE WSKAŹNIKI KWASOWO-ZASADOWE				
Wskaźnik	**Zakres pH zmiany barwy**	**Barwa w roztworze wodnym**		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
		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	

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.

POTENCJAŁ STANDARDOWY REDUKCJI	
Równanie reakcji	**$E°$, 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
$ClO_3^- + 3H_2O + 6e \rightleftharpoons Cl^- + 6OH^-$	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

POTENCJAŁ STANDARDOWY REDUKCJI – CD.	
Równanie reakcji	**$E°$, V**
$2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2$	0,000
$2H_2O + 2e \rightleftharpoons H_2 + 2OH^-$	–0,828
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons 2H_2O$	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
$O_2 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O$	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

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.



WARTOŚCI STANDARDOWEJ MOLOWEJ ENTALPII TWORZENIA	
Wzór związku	**ΔH_t^0, kJ · mol^{-1}**
Al_2O_3 (s)	–1675,7
CO (g)	–110,5
CO_2 (g)	–393,5
CaC_2 (s)	–59,8
CaO (s)	–634,9
$Ca(OH)_2$ (s)	–985,2
Cr_2O_3 (s)	–1139,7
FeO (s)	–272,0
Fe_2O_3 (s)	–824,2
FeS (s)	–100,0
HBr (g)	–36,3
HCl (g)	–92,3
HF (g)	–273,3
HI (g)	26,5
H_2O (c)	–285,8
H_2O (g)	–241,8
H_2S (g)	–20,6
MgO (s)	–601,6
MnO_2 (s)	–520,0
NH_3 (g)	–45,9
NO (g)	91,3
NO_2 (g)	33,2
NaCl (s)	–411,2
SiO_2 (s)	–910,7

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.

Objętość 1 mola gazu doskonałego w warunkach normalnych t = 0 °C oraz p = 1013,25 hPa	V = 22,41 dm^3 · mol^{-1}
Stała Faradaya	$F = N_A \cdot e$ $F \approx 9{,}6485 \cdot 10^4$ C · mol^{-1}

WARTOŚCI STANDARDOWEJ MOLOWEJ ENTALPII SPALANIA	
Nazwa związku	**ΔH_s^0, kJ · mol^{-1}**
benzen (c)	–3267
butan (g)	–2878
etan (g)	–1561
etanol (c)	–1368
eten (g)	–1411
etyn (g)	–1300
glicerol (c)	–1654
glukoza (s)	–2802
heksan (c)	–4163
kwas benzoesowy (s)	–3228
kwas etanowy (c)	–875
kwas stearynowy (s)	–11280
metan (g)	–891
metanol (c)	–726
pentan (c)	–3509
propan (g)	–2219
sacharoza (s)	–5643
toluen (c)	–3920

Na podstawie: https://webbook.nist.gov

Logarytmem $\log_a b$ liczby $b > 0$ przy podstawie a ($a > 0$ i $a \neq 1$) nazywamy wykładnik c potęgi, do której należy podnieść a, aby otrzymać b:

$$\log_a b = c \quad \text{wtedy i tylko wtedy, gdy} \quad a^c = b$$

Dla dowolnych liczb rzeczywistych $x > 0$, $y > 0$ oraz r prawdziwe są równości:

$$\log_a(x \cdot y) = \log_a x + \log_a y \qquad \log_a\left(\frac{x}{y}\right) = \log_a x - \log_a y \qquad \log_a x^r = r \cdot \log_a x$$

Zapisy $\log x$ oraz $\lg x$ oznaczają $\log_{10} x$.

Równanie kwadratowe $ax^2 + bx + c = 0$, gdzie $a \neq 0$, ma rozwiązania rzeczywiste wtedy i tylko wtedy, gdy $\Delta = b^2 - 4ac \geq 0$. Rozwiązania te wyrażają się wzorami:

$$x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a} \quad , \quad x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$$

ROZPUSZCZALNOŚĆ SOLI I WODOROTLENKÓW W WODZIE W TEMPERATURZE 25 °C, podane w g/100 g H_2O												
Jon	**Cl^-**	**Br^-**	**I^-**	**NO_3^-**	**CH_3COO^-**	**S^{2-}**	**SO_3^{2-}**	**SO_4^{2-}**	**CO_3^{2-}**	**CrO_4^{2-}**	**PO_4^{3-}**	**OH^-**
Ag^+	T	T	T	R (234)	S (1,0) $^{20\ °C}$	T	T	S (0,8)	T	T	T	T → d
Al^{3+}	R (45,1)	R → d	R → d	R (68,9)	d	d	—	R (38,5)	—	T	T	T
Ba^{2+}	R (37,0)	R (100)	R (221)	R (10,3)	R (79,2)	R → d	T	T	T	T	T	R (4,9)
Ca^{2+}	R (81,3)	R (156)	R (215)	R (144)	R (34,7)	T → d	T	S (0,2)	T	S (2,0)	T	S (0,2) $^{20\ °C}$
Cr^{3+}	R	R	R	R (81,2)	R	T → d	—	R (64)	—	T	T	T
Cu^{2+}	R (75,7)	R (126)	—	R (145)	R (6,8)	T	T	R (22)	T → d	T	T	T
Fe^{2+}	R (65,0)	R (120)	R	R (87,5)	R	T	T	R (29,5)	T	—	T	T
Fe^{3+}	R (91,2)	R (455)	d	R (87,2)	—	d	—	R (440) $^{20\ °C}$	—	T	T	T
K^+	R (35,5)	R (67,8)	R (148)	R (38,3)	R (269)	R → d	R (106)	R (12,0)	R (111)	R (65,0)	R (106)	R (121)
Mg^{2+}	R (56,0)	R (102)	R (146)	R (71,2)	R (65,6)	d	S (0,5)	R (35,7)	T	R (54,8)	T	T
Mn^{2+}	R (77,3)	R (151)	R → d	R (161)	R (41)	T	T	R (63,7)	T	T	T	T
NH_4^+	R (39,5)	R (78,3)	R (178)	R (213)	R (148) $^{4\ °C}$	R → d	R (64,2)	R (76,4)	R → d	R (37,0)	R (18,3)	R (44,9)
Na^+	R (36,0)	R (94,6)	R (184)	R (91,2)	R (50,4)	R (20,6)	R (30,7)	R (28,1)	R (30,7)	R (87,6)	R (14,4)	R (100)
Pb^{2+}	S (1,1)	S (1,0)	S (0,1)	R (59,7)	R (44,3) $^{20\ °C}$	T	T	T	T	T	T	T
Sn^{2+}	R (178) $^{10\ °C}$	R (85) $^{0\ °C}$	S (0,98) $^{20\ °C}$	R → d	—	T	—	R (18,8) $^{19\ °C}$	—	—	T	T
Zn^{2+}	R (408)	R (488)	R (438)	R (120)	R (30,0) $^{20\ °C}$	T	S (0,2)	R (57,7)	T	R (3,1)	T	T

R – substancja dobrze rozpuszczalna (>2 g/100 g H_2O)
S – substancja średnio rozpuszczalna (0,1 g–2 g/100 g H_2O)
T – substancja trudno rozpuszczalna (<0,1 g/100 g H_2O)
d – związek ulega rozkładowi w wodzie
— związek jest nietrwały, nie został otrzymany lub brak jest danych

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017.



UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW

1																	18
1H Wodór 1,008 2,2	2											13	14	15	16	17	2He Hel 4,00
3Li Lit 6,94 1,0	4Be Beryl 9,01 1,6											5B Bor 10,81 2,0	6C Węgiel 12,01 2,6	7N Azot 14,01 3,0	8O Tlen 16,00 3,4	9F Fluor 19,00 4,0	10Ne Neon 20,18
11Na Sód 22,99 0,9	12Mg Magnez 24,31 1,3	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13Al Glin 26,98 1,6	14Si Krzem 28,09 1,9	15P Fosfor 30,97 2,2	16S Siarka 32,06 2,6	17Cl Chlor 35,45 3,2	18Ar Argon 39,95
19K Potas 39,10 0,8	20Ca Wapń 40,08 1,0	21Sc Skand 44,96 1,4	22Ti Tytan 47,87 1,5	23V Wanad 50,94 1,6	24Cr Chrom 52,00 1,7	25Mn Mangan 54,94 1,6	26Fe Żelazo 55,85 1,8	27Co Kobalt 58,93 1,9	28Ni Nikiel 58,69 1,9	29Cu Miedź 63,55 1,9	30Zn Cynk 65,38 1,7	31Ga Gal 69,72 1,8	32Ge German 72,63 2,0	33As Arsen 74,92 2,2	34Se Selen 78,97 2,6	35Br Brom 79,90 3,0	36Kr Krypton 83,80
37Rb Rubid 85,47 0,8	38Sr Stront 87,62 1,0	39Y Itr 88,91 1,2	40Zr Cyrkon 91,22 1,3	41Nb Niob 92,91 1,6	42Mo Molibden 95,95 2,2	43Tc Technet [97,91] 2,1	44Ru Ruten 101,07 2,2	45Rh Rod 102,91 2,3	46Pd Pallad 106,42 2,2	47Ag Srebro 107,87 1,9	48Cd Kadm 112,41 1,7	49In Ind 114,82 1,8	50Sn Cyna 118,71 2,0	51Sb Antymon 121,76 2,1	52Te Tellur 127,60 2,1	53I Jod 126,90 2,7	54Xe Ksenon 131,29
55Cs Cez 132,91 0,8	56Ba Bar 137,33 0,9	57La* Lantan 138,91 1,1	72Hf Hafn 178,49 1,3	73Ta Tantal 180,95 1,5	74W Wolfram 183,84 1,7	75Re Ren 186,21 1,9	76Os Osm 190,23 2,2	77Ir Iryd 192,22 2,2	78Pt Platyna 195,08 2,2	79Au Złoto 196,97 2,4	80Hg Rtęć 200,59 1,9	81Tl Tal 204,38 1,8	82Pb Ołów 207,2 1,8	83Bi Bizmut 208,98 1,9	84Po Polon [208,98] 2,0	85At Astat [209,99] 2,2	86Rn Radon [222,02]
87Fr Frans [223,02] 0,7	88Ra Rad [226,03] 0,9	89Ac** Aktyn [227,03]	104Rf Rutherford [267,12]	105Db Dubn [268,13]	106Sg Seaborg [271,13]	107Bh Bohr [272,14]	108Hs Has [270,13]	109Mt Meitner [276,15]	110Ds Darmsztadt [281,16]	111Rg Roentgen [280,17]	112Cn Kopernik [285,18]	113Nh Nihon [284,18]	114Fl Flerow [289,19]	115Mc Moskow [288,19]	116Lv Liwermor [293,20]	117Ts Tenes [292,21]	118Og Oganeson [294,21]

Liczba atomowa (liczba porządkowa) — 20Ca — Symbol pierwiastka
Wapń — Nazwa
40,08 — Masa atomowa, u
Elektroujemność w skali Paulinga — 1,0

*	58Ce Cer 140,12	59Pr Prazeodym 140,91	60Nd Neodym 144,24	61Pm Promet [144,91]	62Sm Samar 150,36	63Eu Europ 151,96	64Gd Gadolin 157,25	65Tb Terb 158,93	66Dy Dysproz 162,50	67Ho Holm 164,93	68Er Erb 167,26	69Tm Tul 168,93	70Yb Iterb 173,05	71Lu Lutet 174,97
**	90Th Tor 232,04	91Pa Protaktyn 231,04	92U Uran 238,03	93Np Neptun [237,05]	94Pu Pluton [244,06]	95Am Ameryk [243,06]	96Cm Kiur [247,07]	97Bk Berkel [247,07]	98Cf Kaliforn [251,08]	99Es Einstein [252,08]	100Fm Ferm [257,10]	101Md Mendelew [258,10]	102No Nobel [259,10]	103Lr Lorens [262,11]

METALE
PÓŁMETALE
NIEMETALE
GAZY SZLACHETNE
BRAK PRZYPORZĄDKOWANIA

Dla pierwiastków promieniotwórczych, które nie mają stabilnych izotopów, podano masę atomową najtrwalszego izotopu.

Na podstawie: *CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition*, CRC Press 2017
oraz https://www.nist.gov/pml/atomic-weights-and-isotopic-compositions-relative-atomic-masses



Uwaga: W poniższym zestawie przedstawiono wybrane wzory oraz stałe fizyczne. Przy każdym wzorze zapisano nazwę wielkości lub prawa albo zjawiska, którego wzór dotyczy. Symboli wszystkich wielkości występujących we wzorach nie opisano – przyjęto dla nich powszechnie używane oznaczenia. Podobnie nie opisano warunków i zakresów stosowalności przedstawionych wzorów. Wartości wielkości wektorowych zapisano bez symbolu wektora.

KINEMATYKA

prędkość	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$
przyśpieszenie	$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$
prędkość kątowa	$\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$
związek między wartościami prędkości kątowej i liniowej	$v = \omega r$
związki w ruchu jednostajnym po okręgu	$\omega = \frac{2\pi}{T}$; $T = \frac{1}{f}$
przyśpieszenie dośrodkowe	$a_{do} = \frac{v^2}{r} = v\omega = \omega^2 r$
przyśpieszenie kątowe	$\epsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$
przyśpieszenie styczne	$a_{st} = \epsilon r$
prędkość w ruchu jednostajnie zmiennym prostoliniowym	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$
droga w ruchu jednostajnie zmiennym prostoliniowym	$s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

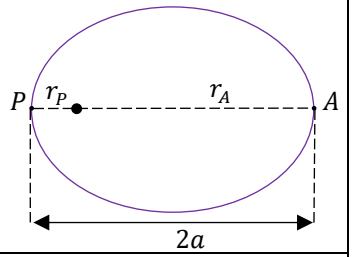
SIŁY TARCIA I SIŁA SPRĘŻYSTOŚCI

siła tarcia kinetycznego	$T_k = \mu_k F_N$
siła tarcia statycznego	$T_s \leq \mu_s F_N$
siła sprężystości	$\vec{F}_s = -k\vec{x}$
energia potencjalna sprężystości	$E_{pot} = \frac{1}{2}kx^2$

DYNAMIKA

pęd	$\vec{p} = m\vec{v}$
II zasada dynamiki (w układzie inercjalnym)	$m\vec{a} = \vec{F}$; $\frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$
wartość momentu pędu punktu materialnego	$L = rp \sin \sphericalangle(\vec{r}, \vec{p})$
wartość momentu siły	$M = rF \sin \sphericalangle\left(\vec{r}, \vec{F}\right)$
moment bezwładności	$I = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$
związek między wartościami prędkości kątowej i momentu pędu bryły sztywnej	$L = I\omega$
II zasada dynamiki ruchu obrotowego (zapis skalarny)	$I\epsilon = M$
praca siły, praca momentu siły	$W_F = F\Delta r \cos \sphericalangle(\vec{F}, \Delta \vec{r})$ $W_M = M\Delta\alpha$
moc	$P = \frac{W}{\Delta t}$
energia kinetyczna ruchu postępowego	$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$
energia kinetyczna ruchu obrotowego	$E_{kin} = \frac{1}{2}I\omega^2$

GRAWITACJA I ELEMENTY ASTRONOMII

prawo powszechnego ciążenia	$F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$
natężenie pola grawitacyjnego, przyśpieszenie grawitacyjne	$\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m}$; $\vec{a}_g = \vec{\gamma}$
energia potencjalna grawitacji	$E_{pot} = -\frac{Gm_1m_2}{r}$
zmiana energii potencjalnej przy powierzchni Ziemi	$\Delta E_p = mg\Delta h$
prędkość na orbicie kołowej	$v_{or} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$
prędkość ucieczki	$v_u = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$
orbita eliptyczna a – półoś wielka r_P – najmniejsza odległość do centrum r_A – największa odległość do centrum	
II prawo Keplera i zachowanie momentu pędu $\vec{L}$ na orbicie (ΔS – pole zakreślone przez promień wodzący planety)	$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const}$; $\vec{L} = \overrightarrow{\text{const}}$
III prawo Keplera (a jest promieniem orbity kołowej lub półosią wielką elipsy)	$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \text{const}$
prawo Hubble'a	$v = Hd$



DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE

równania ruchu harmonicznego	$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi_0)$ $v(t) = A\,\omega\cos(\omega t + \varphi_0)$ $a(t) = -A\omega^2\sin(\omega t + \varphi_0)$ $x_{max} = A \quad v_{max} = A\omega \quad a_{max} = A\omega^2$
siła harmoniczna	$\vec{F}_h = -m\omega^2\vec{x}$
częstość kołowa małych drgań masy na sprężynie i wahadła matematycznego	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}\,; \quad \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$
całkowita energia mechaniczna oscylatora	$E = E_k + E_p = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$
związki między parametrami ruchu fali	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f\,; \quad T = \frac{1}{f}$
faza fali w punkcie x i chwili t	$\varphi(t) = \frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x + \varphi_0$
warunki maksymalnego wzmocnienia i osłabienia fali w punkcie	$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi n$ $\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi\left(n + \frac{1}{2}\right)$
natężenie fali, jego związek z energią E i amplitudą A fali	$I = \frac{E}{S\Delta t}\,; \quad I \sim A^2$
zależność natężenia fali kulistej od odległości	$I \sim \frac{1}{r^2}$
załamanie fali na granicy ośrodków 1 i 2	$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$

wzory przybliżone na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła:

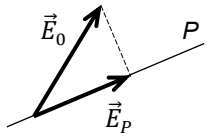
źródło oddala się	źródło zbliża się
$v_{źr} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{źr}\left(1 - \frac{\lvert v_{źr} - v_{ob}\rvert}{v_d}\right)$	$v_{źr} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{źr}\left(1 + \frac{\lvert v_{źr} - v_{ob}\rvert}{v_d}\right)$
$v_{źr} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{źr}\left(1 - \frac{v_{źr}}{c}\right)$	$v_{źr} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{źr}\left(1 + \frac{v_{źr}}{c}\right)$

DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE – CD.

wzory ścisłe na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła	$f_{ob} = f_{źr}\frac{v_d \mp v_{ob}}{v_d \pm v_{źr}}$ $f_{ob} = f_{źr}\sqrt{\frac{c \mp v_{źr}}{c \pm v_{źr}}}$
siatka dyfrakcyjna	$d\sin\alpha_n = n\lambda$

światło po przejściu przez polaryzator o osi polaryzacji *P*

amplitudy pola elektrycznego:
$\vec{E}_0$ – padającego na polaryzator
$\vec{E}_P$ – po przejściu przez polaryzator



OPTYKA GEOMETRYCZNA

kąt graniczny dla przejścia światła z ośrodka 2 do 1	$\sin\alpha_{2\,\mathrm{gr}} = \frac{n_1}{n_2}$
warunek polaryzacji światła przy odbiciu	$\alpha_{\mathrm{pad1}} + \alpha_{\mathrm{zał2}} = 90°$
równanie soczewki i zwierciadła:	$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}\,; \quad x > 0$

$y > 0\,, y < 0$ – położenie obrazu rzeczywistego, pozornego
$f > 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła skupiającego
$f < 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła rozpraszającego

wzór na ogniskową soczewki	$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{socz}}{n_{otocz}} - 1\right)\left(\pm\frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}\right)$

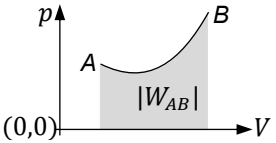
(+)/(–) – przy promieniu powierzchni wypukłej/wklęsłej

HYDROSTATYKA, AEROSTATYKA

siła parcia i ciśnienie	$F = p\Delta S, \quad \vec{F} \perp \Delta S$
zmiana ciśnienia hydro- i aerostatycznego	$\Delta p = \rho g \Delta h$
siła wyporu	$F_{wyp} = \rho V_{zan} g$

V_{zan} – objętość zanurzonej części ciała
ρ – gęstość cieczy (lub gazu)

TERMODYNAMIKA

I zasada termodynamiki	$\Delta U = Q + W$
praca siły parcia, gdy p = const	$\lvert W\rvert = p\lvert\Delta V\rvert$
związek pracy siły parcia z polem pod wykresem zależności $p(V)$ – ciśnienia od objętości $\lvert W_{AB}\rvert =$ Pole pod *AB*	

ciepło właściwe	$c_w = \frac{Q}{m\Delta T}$
ciepło molowe	$C = \frac{Q}{n\Delta T}$
ciepło przemiany fazowej	$L = \frac{Q}{m}$
średnia energia ruchu cząsteczki gazu doskonałego	$E_{śr} = \frac{s}{2}k_B T$

s – liczba współrzędnych opisujących położenie cząsteczki w przestrzeni

równanie stanu gazu doskonałego (Clapeyrona)	$pV = nRT$
związek między ciepłami molowymi gazu doskonałego	$C_p = C_V + R$
praca i ciepło w cyklu silnika i pompy cieplnej	$0 = Q_{calk} + W_{calk}$

Q_{calk} – całkowite ciepło wymienione w cyklu z otoczeniem
W_{calk} – całkowita praca mechaniczna wykonana w cyklu (nad i przez otoczenie)

sprawność silnika cieplnego	$\eta = \frac{\lvert W_{calk}\rvert}{\lvert Q_{pob}\rvert} = \frac{\lvert Q_{pob}\rvert - \lvert Q_{odd}\rvert}{\lvert Q_{pob}\rvert}$

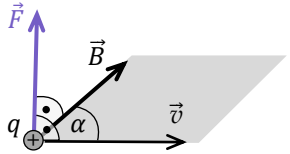
ELEKTROSTATYKA

prawo Coulomba	$F_e = \frac{kq_1q_2}{r^2}\ ;\ k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$
natężenie pola elektrycznego	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$
wartość natężenia pola na zewnątrz sferycznego rozkładu ładunku	$E = \frac{kQ}{r^2}$
napięcie pomiędzy punktami *A* i *B* pola elektrycznego	$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ W_{AB} – praca przeciw sile elektrycznej
związek napięcia z potencjałami elektrycznymi	$U_{AB} = V_B - V_A$
energia potencjalna elektryczna układu ładunków	$E_{pot} = \frac{kq_1q_2}{r}$
związek napięcia z natężeniem w polu jednorodnym	$U = Ed$
natężenie pola między płytami naładowanymi różnoimiennie	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\ ;\ \sigma = \frac{Q}{\Delta S} = \text{const}$
natężenie pola elektrycznego wewnątrz dielektryka	$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\varepsilon_r}$ $\vec{E}_0$ – natężenie zewnętrzne
pojemność kondensatora	$C = \frac{Q}{U}$
pojemność kondensatora płaskiego z dielektrykiem	$C = \varepsilon_r\varepsilon_0\frac{S}{d}$
energia elektryczna kondensatora	$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}U^2C$
własności pola wewnątrz i na powierzchni bryły przewodnika	$\vec{E}_{wew} = 0\ \ ;\ \ \vec{E}_{pow} \perp \Delta S$

PRĄD ELEKTRYCZNY

natężenie prądu	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
definicja oporu elektrycznego przewodnika	$R = \frac{U}{I}$
prawo Ohma (dla stałej temperatury przewodnika)	$\frac{U}{I} = \text{const}$
opór przewodnika z drutu	$R = \rho\frac{l}{S}$ ρ – opór właściwy
moc prądu stałego wydzielona na oporniku	$P = UI = I^2R = \frac{U^2}{R}$
zależność oporu metali od temperatury (w pewnym zakresie temperatur)	$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha\Delta T)\ ;$ $\Delta T = T - T_0$
dodawanie napięć pomiędzy punktami przewodnika	$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$
II prawo Kirchhoffa dla obwodu (lub oczka)	$\sum_{i=1}^{k}(\pm\mathcal{E}_i) - \sum_{j=1}^{n}(\pm U_j) = 0$
związek siły elektromotorycznej z napięciem na baterii	$\mathcal{E} = U + IR_w$
opór zastępczy oporników połączonych szeregowo	$R_z = \sum_{i=1}^{n} R_i$
opór zastępczy oporników połączonych równolegle	$\frac{1}{R_Z} = \sum_{i=1}^{n}\frac{1}{R_i}$

MAGNETYZM

siła Lorentza, wektor indukcji magnetycznej	$F = qvB\sin\alpha$  $\alpha = \sphericalangle(\vec{v},\vec{B})$ $\vec{F}\perp\vec{v}$ $\vec{F}\perp\vec{B}$
siła elektrodynamiczna	$F = I\Delta lB\sin\sphericalangle(\Delta\vec{l},\vec{B})$
pole w próżni dookoła długiego, prostoliniowego przewodnika	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
pole w próżni wewnątrz długiej, gęsto nawiniętej zwojnicy	$B = \mu_0\frac{NI}{L}$
wartość momentu siły działającego na pętlę z prądem w polu mag.	$M = ISB\sin\sphericalangle(\vec{S},\vec{B})$
strumień pola magnetycznego przez powierzchnię	$\Phi_B = BS\cos\sphericalangle(\vec{S},\vec{B})$
siła elektromotoryczna indukcji	$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$
siła elektromotoryczna prądnicy	$\mathcal{E} = NBS\omega\sin\sphericalangle(\vec{S},\vec{B})$ $\sphericalangle(\vec{S},\vec{B}) = \omega t + \varphi_0$
praca prądu sinusoidalnego w czasie okresu	$W = \frac{1}{2}U_0I_0T$
napięcie i natężenie skuteczne przebiegu sinusoidalnego	$I_{sk} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}\quad U_{sk} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$
uproszczony model transformatora	$I_1U_1 = I_2U_2\ ;\ \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

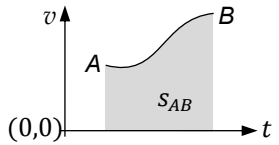
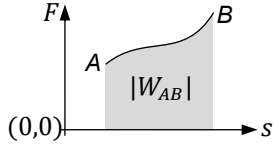
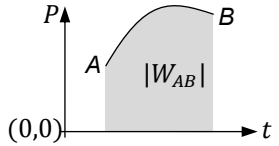
Elementy mechaniki relatywistycznej

energia całkowita ciała poruszającego się w układzie inercjalnym (t, x)	$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad ; \quad v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
równoważność masy i energii spoczynkowej	$E_0 = mc^2$
związek między zmianą masy układu a energią pochłoniętą / emitowaną przez układ	$\Delta E = \Delta m c^2$
pęd	$p = \frac{mv}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \quad ; \quad v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
niezmiennik relatywistyczny (dynamiczny)	$E_0^2 = E^2 - (cp)^2$
energia kinetyczna poruszającego się ciała	$E_{kin} = E - E_0$

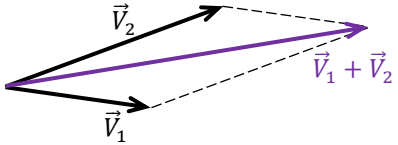
Elementy fizyki atomowej i jądrowej

prawo Wiena (b – stała Wiena)	$\lambda_{max} T = b$
prawo Stefana–Boltzmanna (moc wypromieniowana z jednostki powierzchni ciała)	$I = \sigma T^4 \quad ; \quad [I] = \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2}$
energia i pęd fotonu	$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda} \quad ; \quad p_f = \frac{h}{\lambda}$
zjawisko fotoelektryczne	$E_f = W_{el} + E_{kin\ el\ max}$
emisja lub absorpcja fotonu przez atom (E_m, E_n – energie elektronu w atomie)	$E_m - E_n = hf_{mn} + E_{\text{odrzutu}}$ $m > n$
poziomy energetyczne atomu wodoru	$E_n = -\frac{13{,}606\ \mathrm{eV}}{n^2}$
długość fali de Broglie'a cząstki swobodnej	$\lambda = \frac{h}{p}$
zasady zachowania (niektóre) w procesach na poziomie fundamentalnym	• zachowanie ładunku układu • zachowanie energii układu • zachowanie pędu układu • zachowanie liczby nukleonów w układzie
statystyczne prawo rozpadu promieniotwórczego	$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$

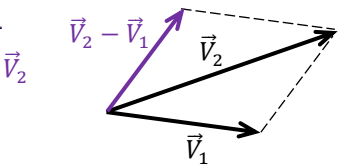
Wybrane zależności

środek masy układu n punktów materialnych	$\vec{r}_{SM} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i}$
związek drogi z polem pod wykresem zależności $v(t)$ – prędkości od czasu s_{AB} = Pole pod AB	
związek pracy z polem pod wykresem zależności $F(s)$ – siły od drogi $\lvert W_{AB}\rvert$ = Pole pod AB	
związek pracy z polem pod wykresem zależności $P(t)$ – mocy od czasu $\lvert W_{AB}\rvert$ = Pole pod AB	

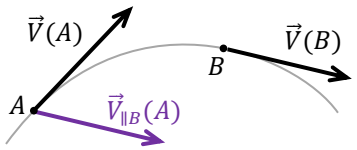
dodawanie wektorów



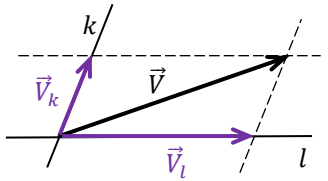
odejmowanie wektorów



przeniesienie równoległe



rozkład na składowe



Podstawowe jednostki układu SI

nazwa	**metr**	**kilogram**	**sekunda**	**amper**	**kelwin**	**mol**	**kandela**
symbol	m	kg	s	A	K	mol	cd
wielkość	długość	masa	czas	natężenie prądu	temperatura	liczność materii	światłość

Przedrostki jednostek miar

mnożnik	10^{24}	10^{21}	10^{18}	10^{15}	10^{12}	10^{9}	10^{6}	10^{3}	10^{2}	10^{1}	10^{0}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}	10^{-18}	10^{-21}	10^{-24}
nazwa	jotta	zetta	eksa	peta	tera	giga	mega	kilo	hekto	deka		decy	centy	mili	mikro	nano	piko	femto	atto	zepto	jokto
oznaczenie	Y	Z	E	P	T	G	M	k	h	da		d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y

Uwaga: Niektóre wartości stałych fizycznych oraz parametrów astronomicznych podano zaokrąglone z możliwie największą dokładnością – taką, aby ostatnia cyfra zaokrąglenia nie zmieniała się przy uwzględnieniu niepewności pomiaru. Wartości podano na podstawie: M. Tanabashi et al. (Particle Data Group), Physical Review *D 98, 030001 (2018) and 2019 update.*

WARTOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH FIZYCZNYCH

prędkość światła w próżni	c = 299 792 458 m/s (wartość dokładna)
stała Plancka	h = 6,626 070 15 ·10^{-34} J·s (wartość dokładna)
ładunek elementarny	e = 1,602 176 634 ·10^{-19} C (wartość dokładna)
stała Boltzmanna	k_B = 1,380 649 ·10^{-23} J/K (wartość dokładna)
stała Avogadro	N_A = 6,022 140 76 ·10^{23} mol^{-1} (wartość dokładna)
uniwersalna stała gazowa	R = 8,314 462 618 2 J/(K·mol) (wartość dokładna)
stała grawitacji	G = 6,674 ·10^{-11} N·m^2/kg^2
przenikalność magnetyczna próżni	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A^2
przenikalność elektryczna próżni, stała elektryczna	ε_0 = 8,854 187 81 ·10^{-12} C^2/(N·m^2) $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ = 8,987 551 8 · 10^9 N · m^2/C^2
związek między c, μ_0, ε_0	$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$
masa elektronu	m_e = 9,109 383 7 ·10^{-31} kg
masa protonu	m_p = 1,672 621 92 ·10^{-27} kg
masa neutronu	m_n = 1,674 927 49 ·10^{-27} kg
jednostka masy atomowej	1 u = 1,660 539 066 ·10^{-27} kg

WARTOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH FIZYCZNYCH – CD.

przyśpieszenie ziemskie (standardowe)	g = 9,806 65 m/s^2 (wartość dokładna odpowiadająca przyśpieszeniu na szerokości geograficznej ok. 45° na poziomie morza)
stała Wiena	b = 2,897 771 955…·10^{-3} m·K (wartość dokładna)
stała Stefana–Boltzmanna	σ = 5,670 374 419…·10^{-8} W/(m^2·K^4) (wartość dokładna)

WYBRANE STAŁE I PARAMETRY ASTROFIZYCZNE

jednostka astronomiczna	1 au = 1,495 978 707·10^{11} m (wartość dokładna)
parsek	1 pc = 3,085 677 581 49 ·10^{16} m (wartość dokładna)
rok świetlny	1 ly = 0,946 073…·10^{16} m = 0,306 601… pc
masa Słońca	M_S = 1,988 ·10^{30} kg
odległość Słońca od centrum galaktyki	$R_0 \approx$ 27 kly
masa Ziemi	M_Z = 5,972 ·10^{24} kg
promień równikowy Ziemi	R_Z = 6,378 ·10^6 m
stała Hubble'a	$H_0 \approx$ 70 (km/s)/Mpc
temperatura promieniowania tła	T_0 = 2,7 K

WARTOŚCI WYBRANYCH JEDNOSTEK SPOZA UKŁADU SI

1 eV = 1,602 176 634·10^{-19} J (wartość dokładna) 0 °C ≡ 273,15 K

1 atmosfera ≡ 101 325 Pa 1 G ≡ 10^{-4} T 1 Å = 0,1 nm

π = 3,141 592 653 589 793… (liczba pi) e = 2,718 281 828 459 045… (liczba Eulera)

