

Wybrane
wzory i stałe fizykochemiczne
na egzamin maturalny z biologii,
chemii i fizyki

Zespół redakcyjny:

dr Łukasz Banasiak (CKE)

Jadwiga Filipka (CKE)

Aleksandra Grabowska (CKE)

dr Takao Ishikawa (CKE)

Mariusz Mroczek (CKE)

Recenzenci:

dr Waldemar Berej (UMCS)

dr hab. inż. Maciej Dranka, prof. PW

Spis treści

Potencjał wody w komórce roślinnej / Równanie Hardy'ego–Weinberga	4
Zasady azotowe / Wybrane kwasy organiczne / Hydroliza ATP	4
Podstawowe wzory ze statystyki	5
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

$$\Psi_W = \Psi_S + \Psi_P$$

Ψ_W – potencjał wody

Ψ_S – potencjał osmotyczny

Ψ_P – potencjał ciśnienia

RÓWNANIE HARDY'EGO–WEINBERGA

$$p + q = 1$$

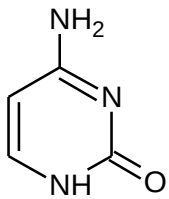
$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

gdzie:

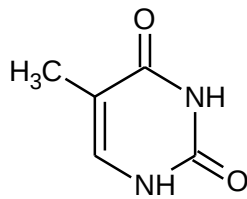
p – częstość allelu dominującego w populacji,

q – częstość allelu recesywnego w populacji.

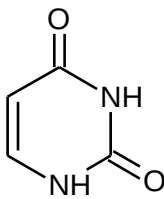
ZASADY AZOTOWE



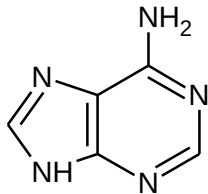
Cytozyna (C)



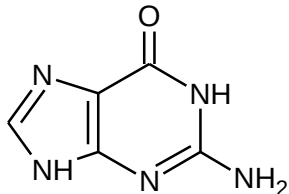
Tymina (T)



Uracyl (U)

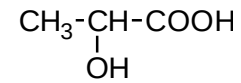


Adenina (A)

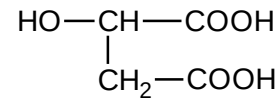


Guanina (G)

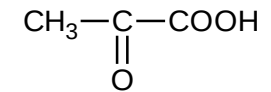
WYBRANE KWASY ORGANICZNE



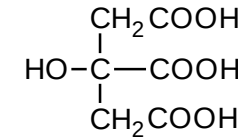
kwask mlekowy



kwask jabłkowy

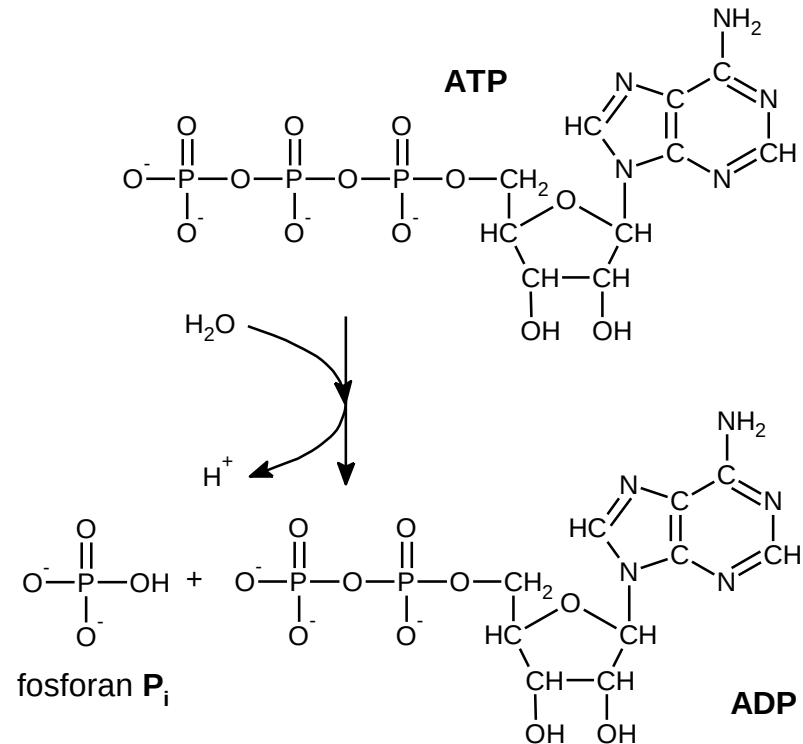


kwask pirogronowy



kwask cytrynowy

HYDROLIZA ATP

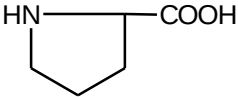


PODSTAWOWE WZORY ZE STATYSTYKI
Średnia arytmetyczna
$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$ n – liczebność próby $x_1, x_2, \dots, x_n$ – kolejne obserwacje
Średnia ważona
$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_n x_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n}$ n – liczebność próby $x_1, x_2, \dots, x_n$ – kolejne obserwacje $w_1, w_2, \dots, w_n$ – wagi przyporządkowane kolejnym obserwacjom
Asymptotycznie nieobciążony estymator odchylenia standardowego
$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$ x_i – i-ta obserwacja $\bar{x}$ – średnia arytmetyczna n – liczebność próby
Całka rozkładu normalnego – „reguła trzech sigm”
$P(\mu - 1\sigma \leq X \leq \mu + 1\sigma) \approx 68,27\%$ $P(\mu - 2\sigma \leq X \leq \mu + 2\sigma) \approx 95,45\%$ $P(\mu - 3\sigma \leq X \leq \mu + 3\sigma) \approx 99,73\%$ X – zmienna losowa z rozkładu normalnego o średniej μ i odchyleniu standardowym σ, tzn. $X \sim N(\mu, \sigma^2)$

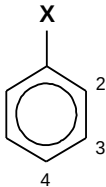
Błąd standardowy (odchylenie standardowe średniej)					
$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ n – liczebność próby σ – odchylenie standardowe					
Przybliżony wzór na przedział ufności dla średniej (dla $n > 30$)					
$P\left(\bar{x} - 2\frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + 2\frac{s}{\sqrt{n}}\right) \approx 95,45\%$ n – liczebność próby $\bar{x}$ – średnia arytmetyczna wyliczona z próby μ – średnia w populacji, z której była pobierana próba s – asymptotycznie nieobciążony estymator odchylenia standardowego					
KOD GENETYCZNY					
Pierwsza pozycja	Druga pozycja				Trzecia pozycja
	U	C	A	G	
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, <i>START</i>	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

WYBRANE AMINOKWASY BIAŁKOWE			
Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Alanina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	Ala	6,00
Arginina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH} \\ \quad \quad \\ \text{NH}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$	Arg	10,76
Asparagina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array}$	Asn	5,41
Kwas asparaginowy	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Asp	2,77
Cysteina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{SH} \end{array}$	Cys	5,07
Glicyna	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$	Gly	5,97

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Glutamina	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CONH}_2 \end{array}$	Gln	5,65
Kwas glutaminowy	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{COOH} \end{array}$	Glu	3,22
Histydyna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH} \quad \text{N} \end{array}$	His	7,59
Izoleucyna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}-\text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2-\text{CH}_3 \end{array}$	Ile	6,02
Leucyna	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array}$	Leu	5,98

WYBRANE AMINOKWASY BIAŁKOWE – CD.			
Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Lizyna	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $	Lys	9,74
Metionina	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{S}-\text{CH}_3 \end{array} $	Met	5,74
Feniloalanina	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} $	Phe	5,48
Prolina		Pro	6,30
Seryna	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{OH} \end{array} $	Ser	5,68

Nazwa aminokwasu	Wzór	Kod	pI
Treonina	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array} $	Thr	5,60
Tryptofan	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_8\text{H}_6\text{N}_2 \end{array} $	Trp	5,89
Tyrozyna	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{OH} \end{array} $	Tyr	5,66
Walina	$ \begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH} \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} $	Val	5,96

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 ₆ H ₅ -Cl, -Br, -I	-CHO, -COR -COOH albo -COOR -CN -NO ₂ -NH ₃ ⁺ albo -NR ₃ ⁺ -SO ₃ H
R – grupa alkilowa		

STAŁE DYSOCJACJI DLA GRUP FUNKCYJNYCH AMINOKWASÓW W TEMPERATURZE 25 °C

Skrót	Nazwa aminokwasu	dla grupy karboksylowej				dla sprotonowanej grupy aminowej				dla innych grup	
		przy atomie C α		dodatkowej		przy atomie C α		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	–	–	–	–

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 ₂ S	kwas siarkowodorowy	1 2	$8,91 \cdot 10^{-8}$ 10^{-19}	7,05 19,0
H ₂ Se	kwas selenowodorowy	1 2	$1,29 \cdot 10^{-4}$ 10^{-11}	3,89 11,0
H ₂ Te	kwas tellurowodorowy	1 2	$1,51 \cdot 10^{-3}$ 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 ₂ SO ₃	kwas siarkowy(IV)	1 2	$1,41 \cdot 10^{-2}$ $6,31 \cdot 10^{-8}$	1,85 7,20
H ₂ SO ₄	kwas siarkowy(VI)	2	$1,02 \cdot 10^{-2}$	1,99
H ₃ BO ₃	kwas borowy	1 2	$5,37 \cdot 10^{-10}$ 10^{-14}	9,27 14,0
H ₃ AsO 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 ₃ PO 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 ₄ SiO ₄	kwas ortokrzemowy	1 2 3 4	$1,26 \cdot 10^{-10}$ $1,58 \cdot 10^{-12}$ 10^{-12} 10^{-12}	9,9 11,8 12,0 12,0
H ₂ CO ₃	kwas węglowy	1 2	$4,47 \cdot 10^{-7}$ $4,68 \cdot 10^{-11}$	6,35 10,33
Kwasy organiczne				
H ₂ C ₂ O 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 ₃ COOH	kwas octowy	$1,75 \cdot 10^{-5}$	4,756
CH ₃ CH ₂ COOH	kwas propanowy	$1,35 \cdot 10^{-5}$	4,87
C ₆ H ₅ COOH	kwas benzoowy	$6,25 \cdot 10^{-5}$	4,20
C ₆ H ₅ OH	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 ₃ NH ₂	metanoamina	$4,57 \cdot 10^{-4}$	3,34
CH ₃ CH ₂ NH ₂	etanoamina	$4,47 \cdot 10^{-4}$	3,35
CH ₃ CH ₂ CH ₂ NH ₂	propano-1-amina	$3,47 \cdot 10^{-4}$	3,46
(CH ₃) ₂ NH	<i>N</i> -metylometanoamina	$5,37 \cdot 10^{-4}$	3,27
(CH ₃) ₃ N	<i>N,N</i> -dimetylometanoamina	$6,31 \cdot 10^{-5}$	4,20
C ₆ H ₅ NH 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		

WARTOŚCI ILOCZYNU ROZPUSTCZALNOŚCI 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 ₃ PO ₄	fosforan(V) srebra(I)	$8,89 \cdot 10^{-17}$	16,05
Ag ₂ SO ₄	siarczan(VI) srebra(I)	$1,20 \cdot 10^{-5}$	4,92
AlPO ₄	fosforan(V) glinu	$9,84 \cdot 10^{-21}$	20,0
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
Ba(OH) ₂	wodorotlenek baru	$2,55 \cdot 10^{-4}$	3,59
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	fosforan(V) wapnia	$2,07 \cdot 10^{-33}$	32,68
CaSO ₄	siarczan(VI) wapnia	$4,93 \cdot 10^{-5}$	4,31
CuBr	bromek miedzi(I)	$6,27 \cdot 10^{-9}$	8,20
Cu ₃ (PO ₄) ₂	fosforan(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
FePO ₄	fosforan(V) żelaza(III)	$9,91 \cdot 10^{-16}$	15,00
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	fosforan(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	$3,00 \cdot 10^{-17}$	16,52
ZnCO ₃	węglan cynku	$1,46 \cdot 10^{-10}$	9,84

TABELA WARTOŚCI LOGARYTMÓW DZIESIĘTYCH							
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																
		forma kwasowa	forma zasadowa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
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 metylowa	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															

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
$Au^{3+} + 3e \rightleftharpoons Au$	1,498
$Al^{3+} + 3e \rightleftharpoons Al$	-1,676
$Al(OH)_4^- + 3e \rightleftharpoons Al + 4OH^-$	-2,300
$Ba^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ba$	-2,912
$Be^{2+} + 2e \rightleftharpoons Be$	-1,847
$Bi^{3+} + 3e \rightleftharpoons Bi$	0,308
$Br_2(c) + 2e \rightleftharpoons 2 Br^-$	1,066
$BrO_3^- + 6H^+ + 6e \rightleftharpoons Br^- + 3H_2O$	1,423
$BrO_3^- + 3H_2O + 6e \rightleftharpoons Br^- + 6OH^-$	0,610
$CO_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons HCOOH$	-0,199
$Ca^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ca$	-3,800
$Cd^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cd$	-0,403
$Cd(OH)_4^{2-} + 2e \rightleftharpoons Cd + 4OH^-$	-0,658
$Cl_2(g) + 2e \rightleftharpoons 2Cl^-$	1,358
$ClO_3^- + 6H^+ + 6e \rightleftharpoons Cl^- + 3H_2O$	1,451
$ClO_3^- + 3H_2O + 6e \rightleftharpoons Cl^- + 6OH^-$	0,620
$Co^{2+} + 2e \rightleftharpoons Co$	-0,280
$Co^{3+} + e \rightleftharpoons Co^{2+}$	1,920
$Cr^{2+} + 2e \rightleftharpoons Cr$	-0,913
$Cr^{3+} + e \rightleftharpoons Cr^{2+}$	-0,407
$Cr^{3+} + 3e \rightleftharpoons Cr$	-0,744
$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$	1,360
$CrO_4^{2-} + 4H_2O + 3e \rightleftharpoons Cr(OH)_3 + 5OH^-$	-0,130
$Cs^+ + e \rightleftharpoons Cs$	-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
$Hg^{2+} + 2e \rightleftharpoons Hg$	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
$MnO_4^{2-} + 2H_2O + 2e \rightleftharpoons MnO_2 + 4OH^-$	0,600
$NO_3^- + 4H^+ + 3e \rightleftharpoons NO + 2H_2O$	0,957
$2NO_3^- + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons N_2O_4 + 2H_2O$	0,803
$Na^+ + e \rightleftharpoons Na$	-2,710
$Ni^{2+} + 2e \rightleftharpoons Ni$	-0,257
$O_2 + 2H^+ + 2e \rightleftharpoons H_2O_2$	0,695
$O_2 + 4H^+ + 4e \rightleftharpoons 2H_2O$	1,229
$O_2 + 2H_2O + 4e \rightleftharpoons 4OH^-$	0,401
$Pb^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pb$	-0,126
$PbO_2 + 4H^+ + 2e \rightleftharpoons Pb^{2+} + 2 H_2O$	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
$Pt^{2+} + 2e \rightleftharpoons Pt$	1,180
$Rb^+ + e \rightleftharpoons Rb$	-2,980
$S + 2e \rightleftharpoons S^{2-}$	-0,476
$SO_4^{2-} + H_2O + 2e \rightleftharpoons SO_3^{2-} + 2OH^-$	-0,930
$Sn^{2+} + 2e \rightleftharpoons Sn$	-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

WARTOŚCI STANDARDOWEJ MOŁOWEJ ENTALPII TWORZENIA	
Wzór związku	ΔH_f^0 , kJ · mol ⁻¹
Al ₂ O ₃ (s)	-1675,7
CO(g)	-110,5
CO ₂ (g)	-393,5
CaC ₂ (s)	-62,8
CaO(s)	-634,9
Ca(OH) ₂ (s)	-985,9
Cr ₂ O ₃ (s)	-1140,6
FeO(s)	-266,5
Fe ₂ O ₃ (s)	-822,1
FeS(s)	-95,1
HBr(g)	-36,3
HCl(g)	-92,3
HF(g)	-273,3
HI(g)	26,5
H ₂ O(c)	-285,8
H ₂ O(g)	-241,8
H ₂ S(g)	-20,6
MgO(s)	-601,6
MnO ₂ (s)	-521,9
NH ₃ (g)	-45,9
NO(g)	91,3
NO ₂ (g)	34,2
NaCl(s)	- 411,3
SiO ₂ (s)	- 910,7

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

WARTOŚCI STANDARDOWEJ MOŁOWEJ ENTALPII SPALANIA	
Nazwa związku	ΔH_s^0 , kJ · mol ⁻¹
benzen(c)	-3268,4
butan(g)	-2877,6
etan(g)	-1560,5
etanol(c)	-1357,2
eten(g)	-1411,1
etyn(g)	-1300,3
glicerol(c)	-1655,4
glukoza(s)	-2802,7
heksan(c)	-4163,2
kwas benzoesowy(s)	-3226,9
kwas etanowy(c)	-868,8
kwas stearynowy(s)	-11280,0
metan(g)	-890,6
metanol(c)	-726,3
pentan(c)	-3509,0
propan(g)	-2219,2
sacharoza(s)	-5640,2
toluen(c)	-3910,3

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

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

$$\log x \text{ oraz } \lg x \text{ oznaczają } \log_{10} x$$

Dla $x > 0$, $y > 0$ i $a > 0$ oraz $a \neq 0$ prawdziwa jest równość:

$$\log_a (x \cdot y) = \log_a x + \log_a y$$

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:

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

ROZPUSSCZALNOŚĆ SOLI I WODOROTLENKÓW W WODZIE W TEMPERATURZE 25 °C, g/(100 g H₂O)

Jon	Cl ⁻	Br ⁻	I ⁻	NO ₃ ⁻	CH ₃ COO ⁻	S ²⁻	SO ₃ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	CrO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	OH ⁻
Ag ⁺	T	T	T	R (235)	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 (216)	R (144)	R (34,7)	T → d	T	S (0,2)	T	S (2,0)	T	S (0,2)
Cr ³⁺	R	R	R	R (81,2)	R	T → d	—	R (64)	—	T	T	T
Cu ²⁺	R (75,8)	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 (87,2)	R	T	T	R (29,5)	T	—	T	T
Fe ³⁺	R (91,2)	R (455)	d	R (87,5)	—	d	—	R (440)	—	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 (49)	T	T	R (63,7)	T	T	T	T
NH ₄ ⁺	R (39,6)	R (78,3)	R (178)	R (213)	R (148)	d	R (64,2)	R (76,4)	R → d	R (37,4)	R (18,3)	R (44,9)
Na ⁺	R (35,9)	R (94,6)	R (184)	R (91,2)	R (50,5)	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)	T	T	T	T	T	T	T
Sn ²⁺	R (178) ^{10 °C}	R (85) ^{0 °C}	S (0,98)	R → d	—	T	—	R (18,8)	—	—	T	T
Zn ²⁺	R (408)	R (488)	R (438)	R (120)	R (30,0)	T	S (0,2)	R (57,7)	T	R (3,1)	T	T

R – substancja dobrze rozpuszczalna (>2 g/100 g H₂O); **S** – substancja średnio rozpuszczalna (0,1 g–2 g/100 g H₂O);

T – substancja trudno rozpuszczalna (<0,1 g/100 g H₂O); **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																	2He Hel 4,00
3Li Lit 6,94 1,0	4Be Beryl 9,01 1,6											13B Bor 10,81 2,0	14C Węgiel 12,01 2,6	15N Azot 14,01 3,0	16O Tlen 16,00 3,4	17F Fluor 19,00 4,0	18Ne Neon 20,18
11Na Sód 23,00 0,9	12Mg Magnez 24,31 1,3											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 2,0	34Se Selen 78,96 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 Darmstadt [281,17]	111Rg Roentgen [280,17]	112Cn Kopernik [285,18]	113Nh Nihon [284,18]	114Fl Flerow [289,19]	115Mc Moskow [288,19]	116Lv Livermor [293,20]	117Ts Teness [292,21]	118Og Oganesson [294,21]

Liczba atomowa
(liczba porządkowa)

20Ca

Symbol pierwiastka

Wapń

Nazwa

40,08

Masa atomowa, u

Elektroujemność
w skali Paulinga

1,0

METALE

PÓŁMETALE

NIEMETALE

GAZY
SZLACHETNE

*

**

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 173,04	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]

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

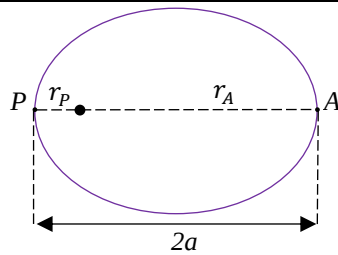
Na podstawie: CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition, CRC Press 2017
oraz <https://www.nist.gov/pml/atomic-weights-and-isotopic-compositions-relative-atomic-masses>

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 stosowności przedstawionych wzorów. Wartości wielkości wektorowych zapisano bez symbolu wektora.

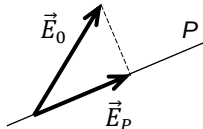
KINEMATYKA	
prędkość	$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$
przyspieszenie	$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$
prędkość kątowna	$\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$
związek między wartościami prędkości kątowej i liniowej	$v = \omega r$
związki w ruchu jednostajnym po okręgu	$\omega = \frac{2\pi}{T} ; \quad T = \frac{1}{f}$
przyspieszenie dośrodkowe	$a_{do} = \frac{v^2}{r} = v\omega = \omega^2 r$
przyspieszenie kątowe	$\epsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$
przyspieszenie 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	$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$

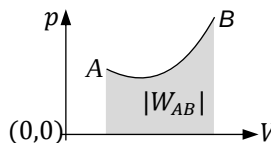
SIŁY TARCIA I SIŁA SPRĘŻYSTOŚCI	
siła tarcia kinetycznego	$T_k = \mu_k F_N$
siła tarcia statycznego	$T_s \leq \mu_s F_N$
siła sprężystości	$\vec{F}_s = -k\vec{x}$
energia potencjalna sprężystości	$E_{pot} = \frac{1}{2} kx^2$

DYNAMIKA	
pęd	$\vec{p} = m\vec{v}$
II zasada dynamiki (w układzie inercyjnym)	$m\vec{a} = \vec{F} ; \quad \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$
wartość momentu pędu punktu materialnego	$L = rp \sin \alpha(\vec{r}, \vec{p})$
wartość momentu siły	$M = rF \sin \alpha(\vec{r}, \vec{F})$
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	$W_F = F\Delta r \cos \alpha(\vec{F}, \Delta \vec{r})$ $W_M = M\Delta \alpha$
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	$F_g = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$
natężenie pola grawitacyjnego, przyspieszenie grawitacyjne	$\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m} ; \quad \vec{a}_g = \vec{\gamma}$
energia potencjalna grawitacji	$E_p = -\frac{Gm_1 m_2}{r}$
zmiana energii potencjalnej przy powierzchni Ziemi	$\Delta E_p = mg\Delta h$
prędkość na orbicie kołowej	prędkość ucieczki $v_{or} = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad v_u = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$
orbita eliptyczna a – półosć 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)	$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const} ; \quad \vec{L} = \text{const}$
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	$v = Hd$

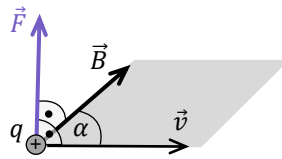
DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE							
równania ruchu harmonicznego	$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ $v(t) = A \omega \cos(\omega t + \varphi_0)$ $a(t) = -A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$ $x_{max} = A \quad v_{max} = A \omega \quad a_{max} = A \omega^2$						
siła harmoniczna	$\vec{F}_h = -m \omega^2 \vec{x}$						
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	$E = E_k + E_p = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2$						
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:	<table border="1"> <tr> <td>źródło oddala się</td><td>źródło zbliża się</td></tr> <tr> <td>$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 - \frac{ v_{\dot{z}r} - v_{ob} }{v_d}\right)$</td><td>$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 + \frac{ v_{\dot{z}r} - v_{ob} }{v_d}\right)$</td></tr> <tr> <td>$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 - \frac{v_{\dot{z}r}}{c}\right)$</td><td>$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 + \frac{v_{\dot{z}r}}{c}\right)$</td></tr> </table>	źródło oddala się	źródło zbliża się	$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 - \frac{ v_{\dot{z}r} - v_{ob} }{v_d}\right)$	$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 + \frac{ v_{\dot{z}r} - v_{ob} }{v_d}\right)$	$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 - \frac{v_{\dot{z}r}}{c}\right)$	$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 + \frac{v_{\dot{z}r}}{c}\right)$
źródło oddala się	źródło zbliża się						
$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 - \frac{ v_{\dot{z}r} - v_{ob} }{v_d}\right)$	$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 + \frac{ v_{\dot{z}r} - v_{ob} }{v_d}\right)$						
$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 - \frac{v_{\dot{z}r}}{c}\right)$	$f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 + \frac{v_{\dot{z}r}}{c}\right)$						

DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE – CD.	
wzory ściśle na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła	$f_{ob} = f_{\dot{z}r} \frac{v_d \mp v_{ob}}{v_d \pm v_{\dot{z}r}}$ $f_{ob} = f_{\dot{z}r} \sqrt{\frac{c \mp v_{\dot{z}r}}{c \pm v_{\dot{z}r}}}$
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	$\sin \alpha_{2 \text{ gr}} = \frac{n_1}{n_2}$
warunek polaryzacji światła przy odbiciu	$\alpha_{\text{pad1}} + \alpha_{\text{zał2}} = 90^\circ$
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	$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{socz}}}{n_{\text{otocz}}} - 1\right) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}\right)$
(+)/(-) – 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	$F_{\text{wyp}} = \rho V_{\text{zan}} g$
V_{zan} – objętość zanurzonej części ciała ρ – gęstość cieczy (lub gazu)	

TERMODYNAMIKA	
I zasada termodynamiki	$\Delta U = Q + W$
praca siły parcia, gdy $p = \text{const}$	$ W = p \Delta V $
związek pracy siły parcia z polem pod wykresem zależności $p(V)$ – ciśnienia od objętości	 $ W_{AB} = \text{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 cząsteczek gazu doskonałego	$E_{\text{sr}} = \frac{s}{2} k_B T$
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 ciepłej	$0 = Q_{\text{całk}} + W_{\text{całk}}$
$Q_{\text{całk}}$ – całkowite ciepło wymienione w cyklu z otoczeniem $W_{\text{całk}}$ – całkowita praca mechaniczna wykonana w cyklu (nad i przez otoczenie)	
sprawność silnika cieplnego	$\eta = \frac{ W_{\text{całk}} }{ Q_{\text{pob}} } = \frac{ Q_{\text{pob}} - Q_{\text{odd}} }{ Q_{\text{pob}} }$

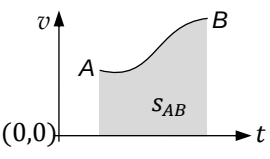
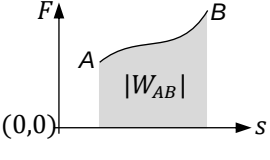
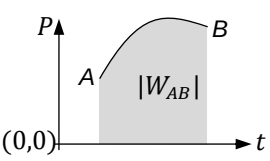
ELEKTROSTATYKA	
prawo Coulomba	$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} ; k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
wektor natężenia pola elektrycznego w punkcie p	$\vec{E}_p = \frac{\vec{F}_p}{q} \quad q - \text{ładunek w punkcie } p$
wartość natężenia na zewnątrz sferycznego rozkładu ładunku	$E = \frac{kQ}{r^2}$
napięcie pomiędzy punktami A i B pola elektrycznego	$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad W_{AB} - \text{praca przeciw sile elektrycznej}$
związek napięcia z potencjałami elektrycznymi	$U_{AB} = V_B - V_A$
energia potencjalna elektryczna układu ładunków	$\mathcal{E}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r}$
związek napięcia z natężeniem w polu jednorodnym	$U = Ed$
natężenie między płytami naładowanymi różnoimiennie	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} ; \sigma = \frac{Q}{\Delta S} = \text{const}$
natężenie pola elektrycznego wewnątrz dielektryka	$\vec{E}_r = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r} \quad \vec{E}_0 - \text{natężenie zewnętrzne}$
pojemność kondensatora	$C = \frac{Q}{U}$
pojemność kondensatora płaskiego z dielektrykiem	$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$
energia elektryczna kondensatora	$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} U^2 C$
własności pola wewnątrz i na powierzchni bryły przewodnika	$\vec{E}_{wew} = 0 ; \quad \vec{E}_{pow} \perp \Delta S$

PRĄD ELEKTRYCZNY	
natężenie prądu	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$
definicja oporu elektrycznego przewodnika	$R = \frac{U}{I}$
prawo Ohma (dla stałej temperatury przewodnika)	$\frac{U}{I} = \text{const}$
związek oporu R przewodnika z drutu z oporem właściwym ρ	$R = \rho \frac{l}{S}$
moc prądu stałego wydzielona na oporniku	$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$
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	$F = qvB \sin \alpha$
$\alpha = \angle(\vec{v}, \vec{B})$ $\vec{F} \perp \vec{v}$ $\vec{F} \perp \vec{B}$	
siła elektrodynamiczna	$F = I \Delta l B \sin \angle(\vec{l}, \vec{B})$
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.	$M = ISB \sin \angle(\vec{S}, \vec{B})$
strumień pola magnetycznego przez powierzchnię	$\Phi_B = BS \cos \angle(\vec{S}, \vec{B})$
siła elektromotoryczna indukcji	$\mathcal{E} = - \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$
siła elektromotoryczna prądnicy	$\mathcal{E} = NBS\omega \sin \angle(\vec{S}, \vec{B})$ $\angle(\vec{S}, \vec{B}) = \omega t + \varphi_0$
praca prądu sinusoidalnego w czasie okresu	$W = \frac{1}{2} U_0 I_0 T$
napięcie i natężenie skuteczne przebiegu sinusoidalnego	$I_{sk} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad U_{sk} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$
uproszczony model transformatora	$I_1 U_1 = I_2 U_2 ; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$

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

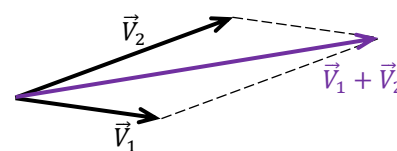
ELEMENTY FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ	
prawo Wiena (b – stała Wiena)	$\lambda_{max} T = b$
prawo Stefana–Boltzmann (moc wypromieniowana z jednostki powierzchni ciała)	$I = \sigma T^4$; $[I] = \frac{W}{m^2}$
energia i pęd fotonu	$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$; $p_f = \frac{h}{\lambda}$
Zjawisko fotoelektryczne	$E_f = W_{el} + E_{kin\ el\ max}$
emisja lub absorpcja fotonu przez atom (E_m, E_n – energie elektronu w atomie)	$E_m - E_n = hf_{mn} + E_{odrzutu}$ $m > n$
poziomy energetyczne atomu wodoru	$E_n = -\frac{13,606\ eV}{n^2}$
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 $S_{AB} = \text{Pole pod AB}$	
związek pracy z polem pod wykresem zależności $F(s)$ – siły od drogi $ W_{AB} = \text{Pole pod AB}$	
związek pracy z polem pod wykresem zależności $P(t)$ – mocy od czasu $ W_{AB} = \text{Pole pod AB}$	

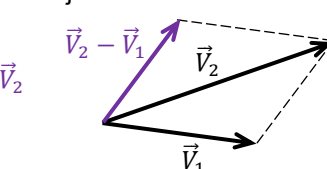
PODSTAWOWE JEDNOSTKI UKŁADU SI							
nazwa	metr	kilogram	sekunda	amper	kelwin	mol	kandela
symbol	m	kg	s	A	K	mol	cd
wielkość	długość	masa	czas	natężenie prądu	temperatura	liczność materii	światłość

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	ha	da		d	c	m	μ	n	p	f	a	z	y

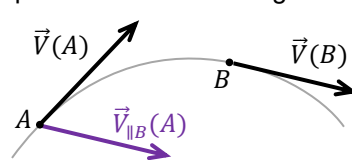
dodawanie wektorów



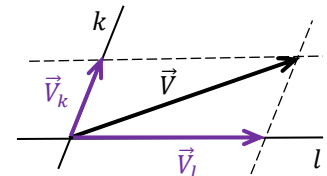
odejmowanie wektorów



przeniesienie równoległe



rozkład na składowe



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.

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

WARTOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH FIZYCZNYCH – CD.	
przyśpieszenie ziemskie (standardowe)	$g = 9,806\,65\text{ m/s}^2$ (wartość dokładna odpowiadająca przyśpieszeniu na szerokości geograficznej ok. $45,5^\circ$ na poziomie morza)
Stała Wiena	$b = 2,897\,771\,955 \dots \cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}$ (wartość dokładna)
Stała Stefana-Boltzmanna	$\sigma = 5,670\,374\,419 \dots \cdot 10^{-8}\text{ W/(m}^2\cdot\text{K}^4)$ (wartość dokładna)

WYBRANE STAŁE I PARAMETRY ASTROFIZYCZNE	
jednostka astronomiczna	$1\text{ au} = 1,49\,597\,870\,7 \cdot 10^{11}\text{ m}$ (wartość dokładna)
parsek	$1\text{ pc} = 3,085\,677\,581\,49 \cdot 10^{16}\text{ m}$ (wartość dokładna)
rok świetlny	$1\text{ ly} = 0,946\,073 \dots \cdot 10^{16}\text{ m} = 0,306\,601 \dots\text{ pc}$
masa Słońca	$M_S = 1,988 \cdot 10^{30}\text{ kg}$
odległość Słońca od centrum galaktyki	$R_0 = 27\text{ kly}$
masa Ziemi	$M_Z = 5,972 \cdot 10^{24}\text{ kg}$
nominalny promień równikowy Ziemi	$R_Z = 6,3781 \cdot 10^6\text{ m}$ (wartość dokładna)
stała Hubble'a	$H_0 \approx 70\text{ (km/s)/Mpc}$
temperatura promieniowania tła	$T_0 = 2,7\text{ K}$

WARTOŚCI WYBRANYCH JEDNOSTEK SPOZA UKŁADU SI		
$1\text{ eV} = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ (wartość dokładna)	$0^\circ\text{C} \equiv 273,15\text{ K}$	
$1\text{ atmosfera} \equiv 101\,325\text{ Pa}$	$1\text{ G} \equiv 10^{-4}\text{ T}$	$1\text{ \AA} = 0,1\text{ nm}$

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

Centralna Komisja Egzaminacyjna

ul. Józefa Lewartowskiego 6, 00-190 Warszawa
tel. 22 536 65 00
sekretariat@cke.gov.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Gdańsku

ul. Na Stoku 49, 80-874 Gdańsk
tel. 58 320 55 90
komisja@oke.gda.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Jaworznie

ul. Adama Mickiewicza 4, 43-600 Jaworzno
tel. 32 616 33 99
oke@oke.jaworzno.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Krakowie

os. Szkolne 37, 31-978 Kraków
tel. 12 683 21 99
oke@oke.krakow.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Łomży

al. Legionów 9, 18-400 Łomża
tel. 86 473 71 20
sekretariat@oke.lomza.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Łodzi

ul. Ksawerego Praussa 4, 94-203 Łódź
tel. 42 634 91 33
sekretariat@lodz.oke.gov.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Poznaniu

ul. Gronowa 22, 61-655 Poznań
tel. 61 854 01 60
sekretariat@oke.poznan.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna w Warszawie

pl. Europejski 3, 00-844 Warszawa
tel. 22 457 03 35
info@oke.waw.pl

Okręgowa Komisja Egzaminacyjna we Wrocławiu

ul. Tadeusza Zielińskiego 57, 53-533 Wrocław
tel. 71 785 18 94
sekretariat@oke.wroc.pl

