



Wybrane

wzory i stałe fizykochemiczne

na egzamin maturalny z biologii,
chemii i fizyki



CENTRALNA
KOMISJA
EGZAMINACYJNA

Zespół redakcyjny:

dr Łukasz Banasiak (CKE)

Jadwiga Filipowska (CKE)

Aleksandra Grabowska (CKE)

dr Takao Ishikawa (CKE)

Mariusz Mroczek (CKE)

Recenzenci:

dr Waldemar Berej (UMCS)

dr Michał Bykowski (UW)

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 / 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

$$p + q = 1$$

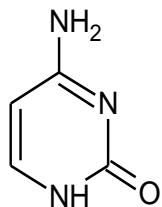
$$(p + q)^2 = p^2 + 2pq + q^2 = 1$$

gdzie:

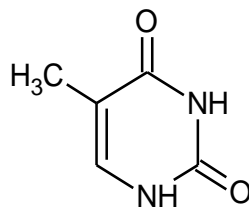
p – częstość allelu dominującego w populacji

q – częstość allelu recesywnego w populacji

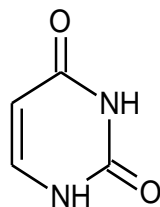
ZASADY AZOTOWE



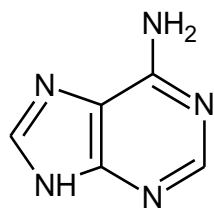
cytozyna (C)



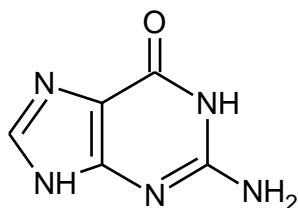
tymina (T)



uracyl (U)

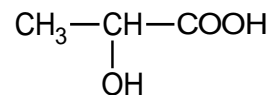


adenina (A)

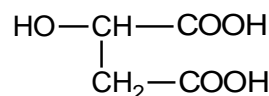


guanina (G)

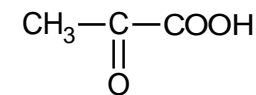
WYBRANE KWASY ORGANICZNE



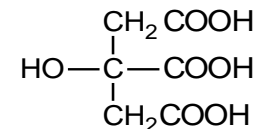
kwask mlekowy



kwask jabłkowy

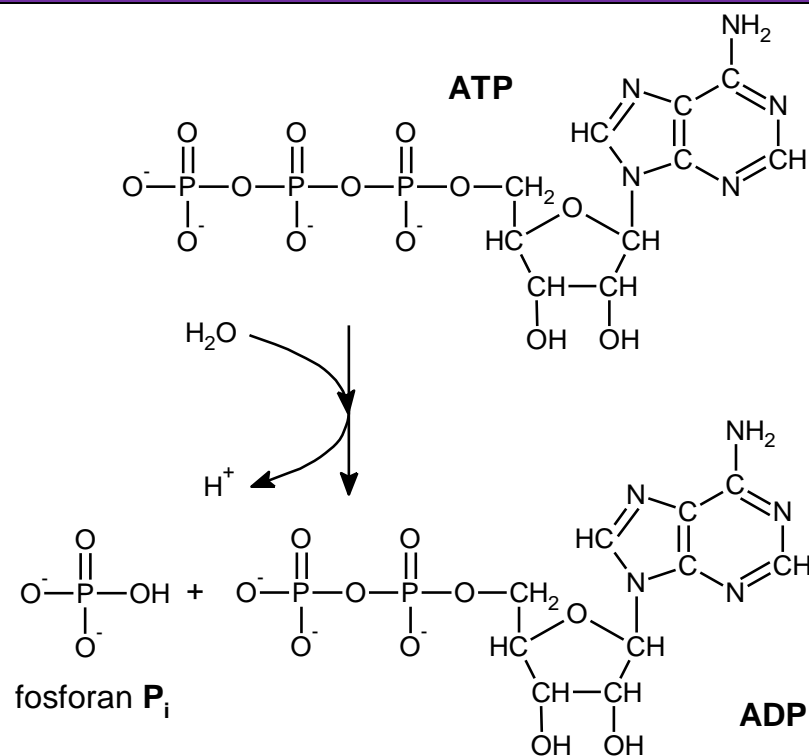


kwask pirogonyowy



kwask cytrynowy

HYDROLIZA ATP



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

PODSTAWOWE WZORY ZE STATYSTYKI

Średnia arytmetyczna

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

gdzie:

n – liczba obserwacji

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

Średnia ważona

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

gdzie:

n – liczba obserwacji

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

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

Odchylenie standardowe

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

gdzie:

n – liczba obserwacji

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

\bar{x} – średnia arytmetyczna

KOD GENETYCZNY

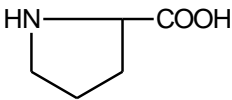
| Pierwsza pozycja | Druga pozycja | | | | Trzecia pozycja |
|------------------|-----------------------------|--------------|----------------------|---------------|-----------------|
| | U | C | A | G | |
| U | UUU fenyloalanina | UCU seryna | UAU tyrozyna | UGU cysteina | U |
| | UUC fenyloalanina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

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

Uwaga: nie zachowano kolejności alfabetycznej.

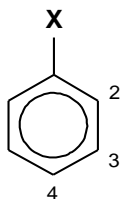
| WYBRANE AMINOKWASY BIAŁKOWE | | | |
|-----------------------------|---|-----|-------|
| Nazwa aminokwasu | Wzór | Kod | pI |
| alanina | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$ | Ala | 6,00 |
| arginina | $\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \\ \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH} \\ \quad \quad \\ \text{NH}-\text{C}-\text{NH}_2 \end{array}$ | 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 |
| kwaskwas 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 |
| kwaskwas 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} \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 |

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 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

| Kod | Nazwa aminokwasu | Dla grupy karboksylowej | | | | Dla sprotonowanej grupy aminowej | | | | Dla innych grup | |
|-----|------------------|-------------------------|---------|----------------------|---------|----------------------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|-------------|
| | | przy atomie C α | | dodatkowej | | przy atomie C α | | dodatkowej | | | |
| | | K_a | p K_a | K_a | p K_a | K_a | p K_a | K_a | p K_a | K_a | p K_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 | kw. 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 | kw. 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 ₂ S | kwas siarkowodorowy | 1 | $8,91 \cdot 10^{-8}$ | 7,05 |
| | | 2 | 10^{-19} | 19,0 |
| H ₂ Se | kwas selenowodorowy | 1 | $1,29 \cdot 10^{-4}$ | 3,89 |
| | | 2 | 10^{-11} | 11,0 |
| H ₂ Te | kwas tellurowodorowy | 1 (18 °C) | $2,51 \cdot 10^{-3}$ | 2,6 |
| | | 2 | 10^{-11} | 11,0 |
| HCIO | kwas chlorowy(I) | | $3,98 \cdot 10^{-8}$ | 7,40 |
| HCIO 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 | $1,41 \cdot 10^{-2}$ | 1,85 |
| | | 2 | $6,31 \cdot 10^{-8}$ | 7,2 |
| H ₂ SO ₄ | kwas siarkowy(VI) | 2 | $1,02 \cdot 10^{-2}$ | 1,99 |
| H ₃ BO ₃ | kwas borowy (20 °C) | 1 | $5,37 \cdot 10^{-10}$ | 9,27 |
| H ₃ AsO ₄ | kwas ortoarsenowy(V) | 1 | $5,50 \cdot 10^{-3}$ | 2,26 |
| | | 2 | $1,74 \cdot 10^{-7}$ | 6,76 |
| | | 3 | $5,13 \cdot 10^{-12}$ | 11,29 |
| H ₃ PO ₄ | kwas ortofosforowy(V) | 1 | $6,92 \cdot 10^{-3}$ | 2,16 |
| | | 2 | $6,17 \cdot 10^{-8}$ | 7,21 |
| | | 3 | $4,79 \cdot 10^{-13}$ | 12,32 |
| H ₄ SiO ₄ | kwas ortokrzemowy (30 °C) | 1 | $1,26 \cdot 10^{-10}$ | 9,9 |
| | | 2 | $1,58 \cdot 10^{-12}$ | 11,8 |
| | | 3 | 10^{-12} | 12 |
| | | 4 | 10^{-12} | 12 |
| H ₂ CO ₃ | kwas węglowy | 1 | $4,47 \cdot 10^{-7}$ | 6,35 |
| | | 2 | $4,68 \cdot 10^{-11}$ | 10,33 |
| Kwasy organiczne | | | | |
| H ₂ C ₂ O ₄ | kwas szczawiowy | 1 | $5,62 \cdot 10^{-2}$ | 1,25 |
| | | 2 | $1,55 \cdot 10^{-4}$ | 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 benzoesowy | $6,25 \cdot 10^{-5}$ | 4,204 |
| 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 | | |

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

| 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 | ortofosforan(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 | 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 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 | niebieskioletowa | czerwona | | | | | | | | | | | | | | | |
| zielen 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 |
| $Br_2 + 2e \rightleftharpoons 2Br^-$ | 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 MOŁOWEJ ENTALPII TWORZENIA | |
|--|--|
| Wzór związku | $\Delta H_f^0, \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ |
| Al ₂ O 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 ₂ O ₃ (s) | –1139,7 |
| FeO (s) | –272,0 |
| Fe ₂ O 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 ₂ O (c) | –285,8 |
| H ₂ O (g) | –241,8 |
| H ₂ S (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 $t = 0^\circ\text{C}$ 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 | $\Delta H_s^0, \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ |
| 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:

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

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:

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

**ROZPUSTCZALNOŚĆ SOLI I WODOROTLENKÓW W WODZIE W TEMPERATURZE 25 °C,
podane w 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 (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 H₂O)

T – substancja trudno rozpuszczalna (<0,1 g/100 g H₂O)

— związek jest nietrwały, nie został otrzymany lub brak jest danych

S – substancja średnio rozpuszczalna (0,1 g–2 g/100 g H₂O)

d – związek ulega rozkładowi w wodzie

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 22,99 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 2,2 | 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 Darmstadt [281,16] | 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 Tenness [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

BRAK
PRZYPORZĄDKOWANIA

*

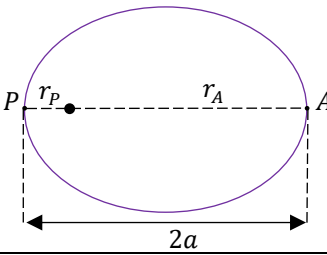
**

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 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] |

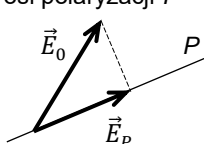
Dla pierwiastków promieniotwórczych, które nie mają stabilnych izotopów, podano masę atomową najtrwalszego izotopu.

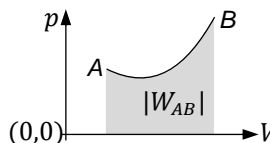
Na podstawie: CRC Handbook of Chemistry and Physics 97th Edition, CRC Press 2017
oraz <https://www.nist.gov/pml/atomic-weights-and-isotopic-compositions-relative-atomic-masses>

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 | | DYNAMIKA | | GRAWITACJA I ELEMENTY ASTRONOMII | |
|--|--|--|--|---|---|
| prędkość | $\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$ | pęd | $\vec{p} = m\vec{v}$ | prawo powszechnego ciążenia | $F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ |
| przyspieszenie | $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$ | II zasada dynamiki (w układzie inercjalnym) | $m\vec{a} = \vec{F}; \quad \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$ | natężenie pola grawitacyjnego, przyspieszenie grawitacyjne | $\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m}; \quad \vec{a}_g = \vec{\gamma}$ |
| prędkość kątowna | $\omega = \frac{\Delta \alpha}{\Delta t}$ | wartość momentu pędu punktu materialnego | $L = rp \sin \alpha(\vec{r}, \vec{p})$ | energia potencjalna grawitacji | $E_{pot} = -\frac{Gm_1m_2}{r}$ |
| związek między wartościami prędkości kątowej i liniowej | $v = \omega r$ | wartość momentu siły | $M = rF \sin \alpha(\vec{r}, \vec{F})$ | zmiana energii potencjalnej przy powierzchni Ziemi | $\Delta E_p = mg\Delta h$ |
| związki w ruchu jednostajnym po okręgu | $\omega = \frac{2\pi}{T}; \quad T = \frac{1}{f}$ | moment bezwładności | $I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$ | prędkość na orbicie kołowej | prędkość ucieczki |
| przyspieszenie dośrodkowe | $a_{do} = \frac{v^2}{r} = v\omega = \omega^2 r$ | związek między wartościami prędkości kątowej i momentu pędu bryły sztywnej | $L = I\omega$ | $v_{or} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ | $v_u = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$ |
| przyspieszenie kątowe | $\epsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ | II zasada dynamiki ruchu obrotowego (zapis skalarny) | $I\epsilon = M$ | <div> <p>orbita eliptyczna</p> <p>a – półosć wielka</p> <p>r_p – najmniejsza odległość do centrum</p> <p>r_A – największa odległość do centrum</p>  </div> | |
| przyspieszenie styczne | $a_{st} = \epsilon r$ | praca siły, praca momentu siły | $W_F = F\Delta r \cos \alpha(\vec{F}, \Delta \vec{r})$ $W_M = M\Delta \alpha$ | | |
| prędkość w ruchu jednostajnie zmiennym prostoliniowym | $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ | moc | $P = \frac{W}{\Delta t}$ | II prawo Keplera i zachowanie momentu pędu \vec{L} na orbicie (ΔS – pole zakreślone przez promień wodzący planety) | $\frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const};$ $\vec{L} = \text{const}$ |
| droga w ruchu jednostajnie zmiennym prostoliniowym | $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ | energia kinetyczna ruchu postępowego | $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$ | III prawo Keplera (a jest promieniem orbity kołowej lub półosią wielką elipsy) | $\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \text{const}$ |
| SIŁY TARCIA I SIŁA SPRĘŻYSTOŚCI | | energia kinetyczna ruchu obrotowego | $E_{kin} = \frac{1}{2}I\omega^2$ | prawo Hubble'a | $v = Hd$ |
| 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 | $E_{pot} = \frac{1}{2}kx^2$ | | | | |

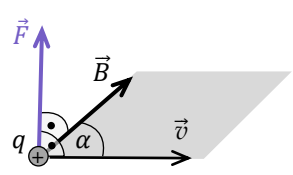
| DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE | | | |
|--|---|--|--|
| równania ruchu harmonicznego | $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ $v(t) = A \omega \cos(\omega t + \varphi_0)$ $a(t) = -A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$ $x_{max} = A \quad v_{max} = A \omega \quad a_{max} = A \omega^2$ | | |
| siła 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> <tr> <td>źródło oddala się $v_{\text{źr}} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 - \frac{ v_{\text{źr}} - v_{ob} }{v_d}\right)$ $v_{\text{źr}} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 - \frac{v_{\text{źr}}}{c}\right)$ </td><td>źródło zbliża się $v_{\text{źr}} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 + \frac{ v_{\text{źr}} - v_{ob} }{v_d}\right)$ $v_{\text{źr}} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 + \frac{v_{\text{źr}}}{c}\right)$ </td></tr> </table> | źródło oddala się $v_{\text{źr}} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 - \frac{ v_{\text{źr}} - v_{ob} }{v_d}\right)$ $v_{\text{źr}} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 - \frac{v_{\text{źr}}}{c}\right)$ | źródło zbliża się $v_{\text{źr}} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 + \frac{ v_{\text{źr}} - v_{ob} }{v_d}\right)$ $v_{\text{źr}} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 + \frac{v_{\text{źr}}}{c}\right)$ |
| źródło oddala się $v_{\text{źr}} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 - \frac{ v_{\text{źr}} - v_{ob} }{v_d}\right)$ $v_{\text{źr}} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 - \frac{v_{\text{źr}}}{c}\right)$ | źródło zbliża się $v_{\text{źr}} \ll v_d$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 + \frac{ v_{\text{źr}} - v_{ob} }{v_d}\right)$ $v_{\text{źr}} \ll c$ $f_{ob} \approx f_{\text{źr}} \left(1 + \frac{v_{\text{źr}}}{c}\right)$ | | |

| DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE – CD. | |
|---|--|
| wzory ścisłe na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła | $f_{ob} = f_{\text{źr}} \frac{v_d \mp v_{ob}}{v_d \pm v_{\text{źr}}}$ $f_{ob} = f_{\text{źr}} \sqrt{\frac{c \mp v_{\text{źr}}}{c \pm v_{\text{źr}}}}$ |
| 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 | $\sin \alpha_{2 \text{ gr}} = \frac{n_1}{n_2}$ |
| warunek polaryzacji światła przy odbiciu | $\alpha_{\text{pad1}} + \alpha_{\text{zał2}} = 90^\circ$ |
| równanie soczewki i zwierciadła: $y > 0, y < 0$ – położenie obrazu rzeczywistego, pozornego $f > 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła skupiającego $f < 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła rozpraszającego | $\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}; \quad x > 0$ $\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{socz}}}{n_{\text{otocz}}} - 1\right) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2}\right)$ (+)/(-) – przy promieniu powierzchni wypukłej/wklęsłej |
| wzór na ogniskową soczewki | |
| 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 V_{zan} – objętość zanurzonej części ciała ρ – gęstość cieczy (lub gazu) | $F_{\text{wyp}} = \rho V_{\text{zan}} g$ |

| 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 s – liczba współrzędnych opisujących położenie cząsteczki w przestrzeni | $E_{\text{śr}} = \frac{s}{2} k_B T$ |
| 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 Q_{calk} – całkowite ciepło wymienione w cyklu z otoczeniem W_{calk} – całkowita praca mechaniczna wykonana w cyklu (nad i przez otoczenie) | $0 = Q_{\text{calk}} + W_{\text{calk}}$ |
| sprawność silnika cieplnego | $\eta = \frac{ W_{\text{calk}} }{ Q_{\text{pob}} } = \frac{ Q_{\text{pob}} - Q_{\text{odd}} }{ Q_{\text{pob}} }$ |

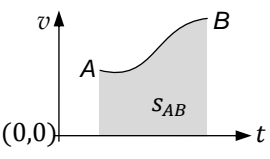
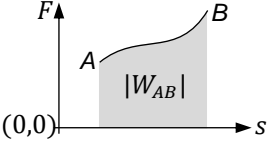
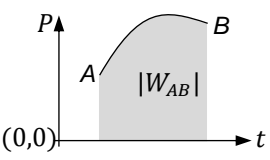
| ELEKTROSTATYKA | |
|---|--|
| prawo Coulomba | $F_e = \frac{kq_1q_2}{r^2}$; $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ |
| natężenie pola elektrycznego | $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$ |
| wartość natężenia pola na zewnątrz sferycznego rozkładu ładunku | $E = \frac{kQ}{r^2}$ |
| napięcie pomiędzy punktami A i 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 | $E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$; $\sigma = \frac{Q}{\Delta S} = \text{const}$ |
| natężenie pola elektrycznego wewnątrz dielektryka | $\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$ \vec{E}_0 – natężenie zewnętrzne |
| pojemność kondensatora | $C = \frac{Q}{U}$ |
| pojemność kondensatora płaskiego z dielektrykiem | $C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$ |
| energia elektryczna kondensatora | $W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2}QU = \frac{1}{2}U^2C$ |
| 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 | $F = qvB \sin \alpha$ |
| $\alpha = \angle(\vec{v}, \vec{B})$ $\vec{F} \perp \vec{v}$ $\vec{F} \perp \vec{B}$ |  |
| siła elektrodynamiczna | $F = I\Delta l B \sin \angle(\Delta \vec{l}, \vec{B})$ |
| 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. | $M = ISB \sin \angle(\vec{S}, \vec{B})$ |
| 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 | $W = \frac{1}{2}U_0I_0T$ |
| napięcie i natężenie skuteczne przebiegu sinusoidalnego | $I_{sk} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$ $U_{sk} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$ |
| 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) | $E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$; $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ |
| 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 | $E_{kin} = E - E_0$ |

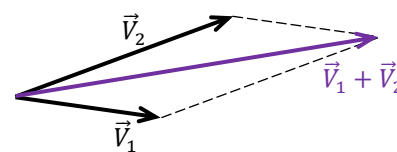
| ELEMENTY FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ | |
|---|--|
| prawo Wiena (b – stała Wiena) | $\lambda_{max} T = b$ |
| prawo Stefana–Boltzmanna (moc wypromieniowana z jednostki powierzchni ciała) | $I = \sigma T^4$; $[I] = \frac{W}{m^2}$ |
| energia i pęd fotonu | $E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$; $p_f = \frac{h}{\lambda}$ |
| 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 | <ul style="list-style-type: none"> • 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$ |  |

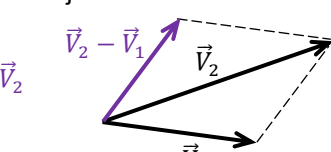
| PODSTAWOWE JEDNOSTKI UKŁADU SI | | | | | | | |
|--------------------------------|---------|----------|---------|-----------------|-------------|------------------|-----------|
| nazwa | metr | kilogram | sekunda | amper | kelwin | mol | kandela |
| symbol | m | kg | s | A | K | mol | cd |
| wielkość | 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 | h | da | | d | c | m | μ | n | p | f | a | z | y |

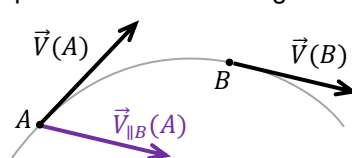
dodawanie wektorów



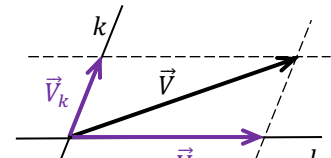
odejmowanie wektorów



przeniesienie równoległe



rozkład na składowe



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 | $c = 299\,792\,458\text{ m/s}$ (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 | $1\text{ u} = 1,660\,539\,066 \cdot 10^{-27}\text{ kg}$ |

| 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° na poziomie morza) |
| stała Wiena | $b = 2,897\,771\,955 \dots \cdot 10^{-3}\text{ m}\cdot\text{K}$ (wartość dokładna) |
| stała Stefana–Boltzmanna | $\sigma = 5,670\,374\,419 \dots \cdot 10^{-8}\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}^4)$ (wartość dokładna) |

| WYBRANE STAŁE I PARAMETRY ASTROFIZYCZNE | |
|--|--|
| jednostka astronomiczna | $1\text{ au} = 1,495\,978\,707 \cdot 10^{11}\text{ m}$ (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 | $R_0 \approx 27\text{ kly}$ |
| masa Ziemi | $M_Z = 5,972 \cdot 10^{24}\text{ kg}$ |
| promień równikowy Ziemi | $R_Z = 6,378 \cdot 10^6\text{ m}$ |
| 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) | $0\text{ }^\circ\text{C} \equiv 273,15\text{ K}$ |
| $1\text{ atmosfera} \equiv 101\,325\text{ Pa}$ | $1\text{ G} \equiv 10^{-4}\text{ T}$ $1\text{ Å} = 0,1\text{ nm}$ |

$\pi = 3,141\,592\,653\,589\,793 \dots$ (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

