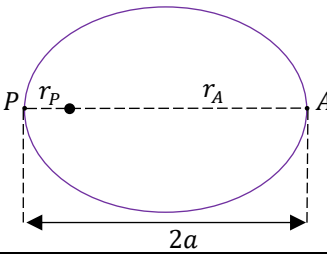
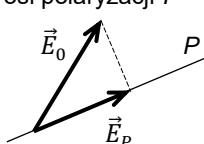
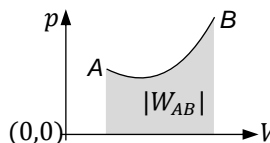


Uwaga: W poniższym zestawie przedstawiono wybrane wzory oraz stałe fizyczne. Przy każdym wzorze zapisano nazwę wielkości lub prawa albo zjawiska, którego wzór dotyczy. Symboli wszystkich wielkości występujących we wzorach nie opisano – przyjęto dla nich powszechnie używane oznaczenia. Podobnie nie opisano 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<br>(w układzie inercjalnym)                                   | $m\vec{a} = \vec{F}; \quad \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$            | natężenie pola grawitacyjnego,<br>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<br>punktu materialnego                                      | $L = rp \sin \alpha(\vec{r}, \vec{p})$   | energia potencjalna grawitacji  | $E_{pot} = -\frac{Gm_1m_2}{r}$  |
| związek między wartościami<br>prędkości kątowej i liniowej | $v = \omega r$                                   | wartość momentu siły   | $M = rF \sin \alpha(\vec{r}, \vec{F})$   | zmiana energii potencjalnej przy<br>powierzchni Ziemi   | $\Delta E_p = mg\Delta h$   |
| związki w ruchu jednostajnym<br>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<br>prędkości kątowej i momentu<br>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<br>obrotowego (zapis skalarny)                          | $I\epsilon = M$  | <div> <p>orbita eliptyczna</p> <p><math>a</math> – półosć wielka</p> <p><math>r_p</math> – najmniejsza odległość do centrum</p> <p><math>r_A</math> – największa odległość do centrum</p>  </div> |   |
| przyspieszenie styczne                                     | $a_{st} = \epsilon r$                            | praca siły,<br>praca momentu siły  | $W_F = F\Delta r \cos \alpha(\vec{F}, \Delta \vec{r})$<br>$W_M = M\Delta \alpha$ |   |   |
| prędkość w ruchu jednostajnie<br>zmiennym prostoliniowym   | $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$                 | moc  | $P = \frac{W}{\Delta t}$   | II prawo Keplera i zachowanie<br>momentu pędu $\vec{L}$ na orbicie<br>( $\Delta S$ – pole zakreślone przez<br>promień wodzący planety)  | $\frac{\Delta S}{\Delta t} = \text{const};$<br>$\vec{L} = \text{const}$ |
| droga w ruchu jednostajnie<br>zmiennym prostoliniowym      | $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$                    | energia kinetyczna ruchu<br>postępowego  | $E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$  | III prawo Keplera ( $a$ jest<br>promieniem orbity kołowej lub<br>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<br>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                           | $E_{pot} = \frac{1}{2}kx^2$                      |  |  |   |   |

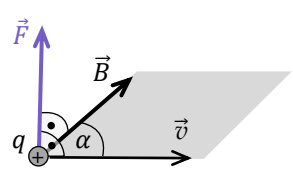
| DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE   |   |                   |                   |  |  |   |   |
|--|---|-------------------|-------------------|--|--|---|---|
| równania ruchu harmonicznego   | $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$<br>$v(t) = A \omega \cos(\omega t + \varphi_0)$<br>$a(t) = -A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$<br>$x_{max} = A \quad v_{max} = A \omega \quad a_{max} = A \omega^2$   |                   |                   |  |  |   |   |
| 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                                     | $\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi n$<br>$\varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \left(n + \frac{1}{2}\right)$   |                   |                   |  |  |   |   |
| 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</td><td>źródło zbliża się</td></tr> <tr> <td><math>f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 - \frac{ v_{\dot{z}r} - v_{ob} }{v_d}\right)</math></td><td><math>f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 + \frac{ v_{\dot{z}r} - v_{ob} }{v_d}\right)</math></td></tr> <tr> <td><math>f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 - \frac{v_{\dot{z}r}}{c}\right)</math></td><td><math>f_{ob} \approx f_{\dot{z}r} \left(1 + \frac{v_{\dot{z}r}}{c}\right)</math></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  | $f_{ob} = f_{\dot{z}r} \frac{v_d \mp v_{ob}}{v_d \pm v_{\dot{z}r}}$<br>$f_{ob} = f_{\dot{z}r} \sqrt{\frac{c \mp v_{\dot{z}r}}{c \pm v_{\dot{z}r}}}$                         |
| 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<br>$\vec{E}_p$ – 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<br>$f > 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła skupiającego<br>$f < 0$ – 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   | $F_{\text{wyp}} = \rho V_{\text{zan}} g$  |
| $V_{\text{zan}}$ – objętość zanurzonej części ciała<br>$\rho$ – 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  | <br>$ 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<br>$W_{\text{całk}}$ – całkowita praca mechaniczna wykonana w cyklu (nad i przez otoczenie) |  |
| sprawność silnika cieplnego  | $\eta = \frac{ W_{\text{całk}} }{ Q_{\text{pob}} } = \frac{ Q_{\text{pob}}  -  Q_{\text{odd}} }{ Q_{\text{pob}} }$     |

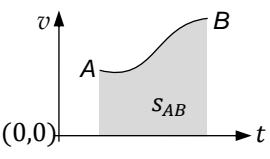
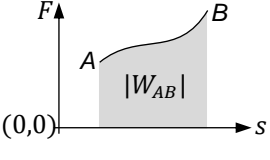
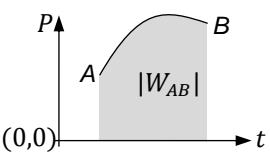
| ELEKTROSTATYKA  |  |
|---|--|
| prawo Coulomba  | $F_e = \frac{kq_1q_2}{r^2}$ ; $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$                   |
| natężenie pola elektrycznego                                    | $\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$  |
| wartość natężenia pola na zewnątrz sferycznego rozkładu ładunku | $E = \frac{kQ}{r^2}$   |
| 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   | $R = \rho \frac{l}{S}$ $\rho$ – 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) | $R(T) = R(T_0)(1 + \alpha\Delta T)$ ;<br>$\Delta T = T - T_0$   |
| 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   | $F = qvB \sin \alpha$  |
| $\alpha = \angle(\vec{v}, \vec{B})$<br>$\vec{F} \perp \vec{v}$<br>$\vec{F} \perp \vec{B}$ |                           |
| 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   | $\mathcal{E} = NBS\omega \sin \angle(\vec{S}, \vec{B})$<br>$\angle(\vec{S}, \vec{B}) = \omega t + \varphi_0$ |
| 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                                      | $E_{kin} = E - E_0$   |

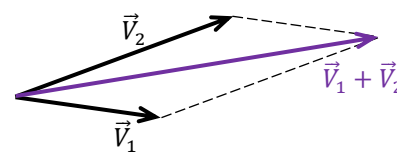
| ELEMENTY FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ   |  |
|---|--|
| prawo Wiena<br>( $b$ – stała Wiena)   | $\lambda_{max} T = b$  |
| prawo Stefana–Boltzmann<br>(moc wypromieniowana z jednostki powierzchni ciała)    | $I = \sigma T^4$ ; $[I] = \frac{W}{m^2}$   |
| energia i pęd fotonu  | $E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$ ; $p_f = \frac{h}{\lambda}$  |
| zjawisko fotoelektryczne  | $E_f = W_{el} + E_{kin\ el\ max}$  |
| emisja lub absorpcja fotonu przez atom ( $E_m, E_n$ – energie elektronu w atomie) | $E_m - E_n = hf_{mn} + E_{odrzutu}$<br>$m > n$   |
| 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"> <li>• zachowanie ładunku układu</li> <li>• zachowanie energii układu</li> <li>• zachowanie pędu układu</li> <li>• zachowanie liczby nukleonów w układzie</li> </ul> |
| 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<br><br>$S_{AB} = \text{Pole pod } AB$ |  |
| związek pracy z polem pod wykresem zależności $F(s)$ – siły od drogi<br><br>$ W_{AB}  = \text{Pole pod } AB$    |  |
| związek pracy z polem pod wykresem zależności $P(t)$ – mocy od czasu<br><br>$ W_{AB}  = \text{Pole pod } AB$    |  |

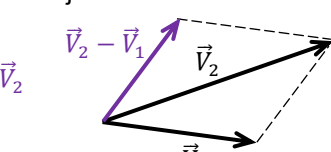
| PODSTAWOWE JEDNOSTKI UKŁADU SI |         |          |         |                 |             |                  |           |
|--------------------------------|---------|----------|---------|-----------------|-------------|------------------|-----------|
| nazwa                          | metr    | 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 <sup>24</sup> | 10 <sup>21</sup> | 10 <sup>18</sup> | 10 <sup>15</sup> | 10 <sup>12</sup> | 10 <sup>9</sup> | 10 <sup>6</sup> | 10 <sup>3</sup> | 10 <sup>2</sup> | 10 <sup>1</sup> | 10 <sup>0</sup> | 10 <sup>-1</sup> | 10 <sup>-2</sup> | 10 <sup>-3</sup> | 10 <sup>-6</sup> | 10 <sup>-9</sup> | 10 <sup>-12</sup> | 10 <sup>-15</sup> | 10 <sup>-18</sup> | 10 <sup>-21</sup> | 10 <sup>-24</sup> |
| 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                 |

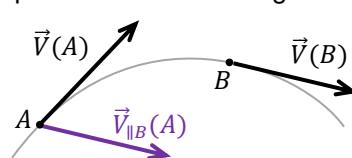
dodawanie wektorów



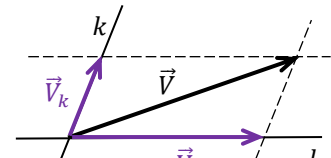
odejmowanie wektorów



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,<br>stała elektryczna | $\varepsilon_0 = 8,854\,187\,81 \cdot 10^{-12}\text{ C}^2/(\text{N}\cdot\text{m}^2)$<br>$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 8,987\,551\,8 \cdot 10^9\text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$ |
| związek między $c$ , $\mu_0$ , $\varepsilon_0$         | $c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0}$   |
| 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<br>(standardowe)    | $g = 9,806\,65\text{ m/s}^2$<br>(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<br>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)