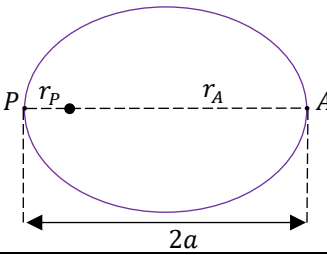
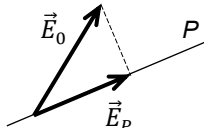
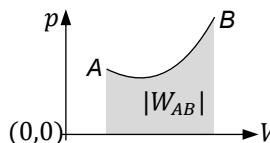


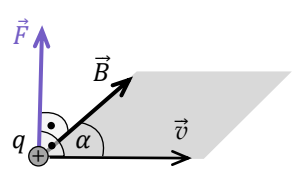
Uwaga: W poniższym zestawie przedstawiono wybrane wzory oraz stałe fizyczne. Przy każdym wzorze zapisano nazwę wielkości lub prawa albo zjawiska, którego wzór dotyczy. Symboli wszystkich wielkości występujących we wzorach nie opisano – przyjęto dla nich powszechnie używane oznaczenia. Podobnie nie opisano 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 $F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$
przyśpieszenie $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$	II zasada dynamiki (w układzie inercjalnym) $m\vec{a} = \vec{F}; \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}$	natężenie pola grawitacyjnego, przyśpieszenie grawitacyjne $\vec{\gamma} = \frac{\vec{F}_g}{m}; \vec{a}_g = \vec{\gamma}$
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 $\omega = \frac{2\pi}{T}; T = \frac{1}{f}$	moment bezwładności $I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$	prędkość na orbicie kołowej $v_{or} = \sqrt{\frac{GM}{r}}$
przyśpieszenie dośrodkowe $a_{do} = \frac{v^2}{r} = v\omega = \omega^2 r$	związek między wartościami prędkości kątowej i momentu pędu bryły sztywnej $L = I\omega$	prędkość ucieczki $v_u = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$
przyśpieszenie kątowe $\epsilon = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$	II zasada dynamiki ruchu obrotowego (zapis skalarny) $I\epsilon = M$	orbita eliptyczna a – półoś wielka r_p – najmniejsza odległość do centrum r_A – największa odległość do centrum 
przyśpieszenie 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 $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$	praca siły, praca momentu siły $W_F = F\Delta r \cos \alpha(\vec{F}, \Delta \vec{r})$ $W_M = M\Delta \alpha$	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 $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$	moc $P = \frac{W}{\Delta t}$	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		prawo Hubble'a $v = Hd$
siła tarcia kinetycznego $T_k = \mu_k F_N$	energia kinetyczna ruchu postępowego $E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2$	
siła tarcia statycznego $T_s \leq \mu_s F_N$	energia kinetyczna ruchu obrotowego $E_{kin} = \frac{1}{2} I \omega^2$	
siła sprężystości $\vec{F}_s = -k\vec{x}$		
energia potencjalna sprężystości $E_{pot} = \frac{1}{2} k x^2$		

DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE	
równania ruchu harmonicznego	$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ $v(t) = A \omega \cos(\omega t + \varphi_0)$ $a(t) = -A \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0)$ $x_{max} = A$ $v_{max} = A \omega$ $a_{max} = A \omega^2$
siła harmoniczna	$\vec{F}_h = -m \omega^2 \vec{x}$
częstość kołowa małych drgań masy na sprężynie i wahadła matematycznego	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$; $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$
całkowita energia mechaniczna oscylatora	$E = E_k + E_p = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2$
związki między parametrami ruchu fali	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$; $T = \frac{1}{f}$
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	$I = \frac{E}{S \Delta t}$; $I \sim A^2$
zależność natężenia fali kulistej od odległości	$I \sim \frac{1}{r^2}$
załamanie fali na granicy ośrodków 1 i 2	$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$
wzory przybliżone na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła:	
źródło oddala się	źródło zbliża się
$f_{ob} \approx f_{zr} \left(1 - \frac{ v_{zr} - v_{ob} }{v_d} \right)$	$f_{ob} \approx f_{zr} \left(1 + \frac{ v_{zr} - v_{ob} }{v_d} \right)$
$f_{ob} \approx f_{zr} \left(1 - \frac{v_{zr}}{c} \right)$	$f_{ob} \approx f_{zr} \left(1 + \frac{v_{zr}}{c} \right)$

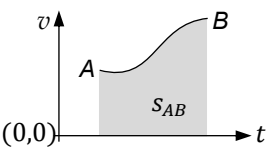
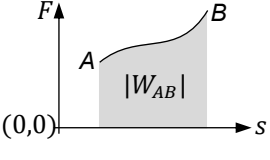
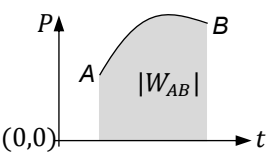
DRGANIA, FALE MECHANICZNE I ŚWIETLNE – CD.	
wzory ściśle na efekt Dopplera dla fali dźwiękowej i świetlnej w kierunku prędkości źródła	$f_{ob} = f_{zr} \frac{v_d \mp v_{ob}}{v_d \pm v_{zr}}$ $f_{ob} = f_{zr} \sqrt{\frac{c \mp v_{zr}}{c \pm v_{zr}}}$
siatka dyfrakcyjna	$d \sin \alpha_n = n \lambda$
światło 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	$\sin \alpha_{2gr} = \frac{n_1}{n_2}$
warunek polaryzacji światła przy odbiciu	$\alpha_{pad1} + \alpha_{zał2} = 90^\circ$
równanie soczewki i zwierciadła:	$\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f}$; $x > 0$
$y > 0, y < 0$ – położenie obrazu rzeczywistego, pozornego	
$f > 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła skupiającego	
$f < 0$ – ogniskowa soczewki/zwierciadła rozpraszającego	
wzór na ogniskową soczewki	$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{socz}}{n_{otocz}} - 1 \right) \left(\pm \frac{1}{R_1} \pm \frac{1}{R_2} \right)$
(+)/(–) – przy promieniu powierzchni wypukłej/wklęsłej	
HYDROSTATYKA, AEROSTATYKA	
siła parcia i ciśnienie	$F = p \Delta S, \quad \vec{F} \perp \Delta S$
zmiana ciśnienia hydro- i aerostaticznego	$\Delta p = \rho g \Delta h$
siła wyporu	$F_{wyp} = \rho V_{zan} g$
V_{zan} – objętość zanurzonej części ciała	
ρ – gęstość cieczy (lub gazu)	

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

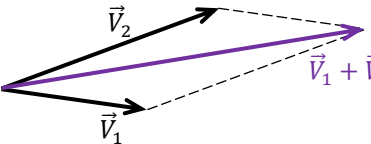
ELEKTROSTATYKA		PRĄD ELEKTRYCZNY		MAGNETYZM	
prawo Coulomba	$F_e = \frac{kq_1q_2}{r^2}; k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	natężenie prądu	$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$	siła Lorentza, wektor indukcji magnetycznej	$F = qvB \sin \alpha$
natężenie pola elektrycznego	$\vec{E} = \frac{\vec{F}_e}{q}$	definicja oporu elektrycznego przewodnika	$R = \frac{U}{I}$	$\alpha = \sphericalangle(\vec{v}, \vec{B})$ $\vec{F} \perp \vec{v}$ $\vec{F} \perp \vec{B}$	
wartość natężenia pola na zewnątrz sferycznego rozkładu ładunku	$E = \frac{kQ}{r^2}$	prawo Ohma (dla stałej temperatury przewodnika)	$\frac{U}{I} = \text{const}$	siła elektrodynamiczna	$F = I\Delta l B \sin \sphericalangle(\Delta \vec{l}, \vec{B})$
napięcie pomiędzy punktami A i B pola elektrycznego	$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ W_{AB} – praca przeciw sile elektrycznej	opór przewodnika z drutu	$R = \rho \frac{l}{S}$ ρ – opór właściwy	pole w próżni dookoła długiego, prostoliniowego przewodnika	$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$
związek napięcia z potencjałami elektrycznymi	$U_{AB} = V_B - V_A$	moc prądu stałego wydzielona na oporniku	$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$	pole w próżni wewnątrz długiej, gęsto nawiniętej zwojnicy	$B = \mu_0 \frac{NI}{L}$
energia potencjalna elektryczna układu ładunków	$E_{pot} = \frac{kq_1q_2}{r}$	zależność oporu metali od temperatury (w pewnym zakresie temperatur)	$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha\Delta T);$ $\Delta T = T - T_0$	wartość momentu siły działającego na pętlę z prądem w polu mag.	$M = ISB \sin \sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$
związek napięcia z natężeniem w polu jednorodnym	$U = Ed$	dodawanie napięć pomiędzy punktami przewodnika	$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$	strumień pola magnetycznego przez powierzchnię	$\Phi_B = BS \cos \sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$
natężenie pola między płytami naładowanymi różnoimiennie	$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}; \sigma = \frac{Q}{\Delta S} = \text{const}$	II prawo Kirchhoffa dla obwodu (lub oczka)	$\sum_{i=1}^k (\pm \mathcal{E}_i) - \sum_{j=1}^n (\pm U_j) = 0$	siła elektromotoryczna indukcji	$\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$
natężenie pola elektrycznego wewnątrz dielektryka	$\vec{E} = \frac{\vec{E}_0}{\epsilon_r}$ \vec{E}_0 – natężenie zewnętrzne	związek siły elektromotorycznej z napięciem na baterii	$\mathcal{E} = U + IR_w$	siła elektromotoryczna prądnicy	$\mathcal{E} = NBS\omega \sin \sphericalangle(\vec{S}, \vec{B})$ $\sphericalangle(\vec{S}, \vec{B}) = \omega t + \varphi_0$
pojemność kondensatora	$C = \frac{Q}{U}$	opór zastępczy oporników połączonych szeregowo	$R_z = \sum_{i=1}^n R_i$	praca prądu sinusoidalnego w czasie okresu	$W = \frac{1}{2} U_0 I_0 T$
pojemność kondensatora płaskiego z dielektrykiem	$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$	opór zastępczy oporników połączonych równolegle	$\frac{1}{R_z} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$	napięcie i natężenie skuteczne przebiegu sinusoidalnego	$I_{sk} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad U_{sk} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$
energia elektryczna kondensatora	$W = \frac{Q^2}{2C} = \frac{1}{2} QU = \frac{1}{2} U^2 C$			uproszczony model transformatora	$I_1 U_1 = I_2 U_2; \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$
własności pola wewnątrz i na powierzchni bryły przewodnika	$\vec{E}_{wew} = 0; \vec{E}_{pow} \perp \Delta S$				

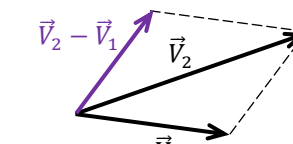
ELEMENTY MECHANIKI RELATYWISTYCZNEJ	
energia całkowita ciała poruszającego się w układzie inercjalnym (t, x)	$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$; $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
równoważność masy i energii spoczynkowej	$E_0 = mc^2$
związek między zmianą masy układu a energią pochłoniętą / emitowaną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

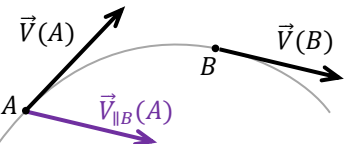
ELEMENTY FIZYKI ATOMOWEJ I JĄDROWEJ	
prawo Wiena (b – stała Wiena)	$\lambda_{max} T = b$
prawo Stefana–Boltzmana (moc wypromieniowana z jednostki powierzchni ciała)	$I = \sigma T^4$; $[I] = \frac{W}{m^2}$
energia i pęd fotonu	$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda}$; $p_f = \frac{h}{\lambda}$
zjawisko fotoelektryczne	$E_f = W_{el} + E_{kin\ el\ max}$
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	$N(t) = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$

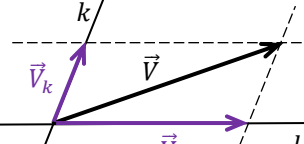
WYBRANE ZALEŻNOŚCI	
środek masy układu n punktów materialnych	$\vec{r}_{SM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$
związek drogi z polem pod wykresem zależności $v(t)$ – prędkości od czasu	 $S_{AB} = \text{Pole pod } AB$
związek pracy z polem pod wykresem zależności $F(s)$ – siły od drogi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

dodawanie wektorów 

odejmowanie wektorów 

przeniesienie równoległe 

rozkład na składowe 

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

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

WARTOŚCI WYBRANYCH STAŁYCH FIZYCZNYCH	
prędkość światła w próżni	$c = 299\,792\,458$ m/s (wartość dokładna)
stała Plancka	$h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ J·s (wartość dokładna)
ładunek elementarny	$e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C (wartość dokładna)
stała Boltzmanna	$k_B = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ J/K (wartość dokładna)
stała Avogadro	$N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ mol ⁻¹ (wartość dokładna)
uniwersalna stała gazowa	$R = 8,314\,462\,618\,2$ J/(K·mol) (wartość dokładna)
stała grawitacji	$G = 6,674 \cdot 10^{-11}$ N·m ² /kg ²
przenikalność magnetyczna próżni	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ N/A ²
przenikalność elektryczna próżni, stała elektryczna	$\epsilon_0 = 8,854\,187\,81 \cdot 10^{-12}$ C ² /(N·m ²) $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,987\,551\,8 \cdot 10^9$ N · m ² /C ²
związek między c , μ_0 , ϵ_0	$c^2 = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$
masa elektronu	$m_e = 9,109\,383\,7 \cdot 10^{-31}$ kg
masa protonu	$m_p = 1,672\,621\,92 \cdot 10^{-27}$ kg
masa neutronu	$m_n = 1,674\,927\,49 \cdot 10^{-27}$ kg
jednostka masy atomowej	$1\text{ u} = 1,660\,539\,066 \cdot 10^{-27}$ kg

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

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

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

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