

Tadeusz M.Molenda
Instytut Fizyki US
Metrologia

Międzynarodowy układ jednostek miar SI

Układ SI jest dziesiętnym systemem metrycznym opartym na siedmiu wielkościach podstawowych i ich jednostkach

Jednostki w układzie SI dzielą się na **podstawowe** i **pochodne**

*Międzynarodowa Konferencja Miar i Wag
w Paryżu - 1960 rok*

Układ SI

(od 30 czerwca 1966 roku, zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów -Dziennik Ustaw Nr 25 z dnia 30 czerwca 1966, poz.154.),

W Polsce układ SI obowiązuje od 1966 i obecnie został oficjalnie przyjęty przez wszystkie kraje świata z wyjątkiem Stanów Zjednoczonych, Liberii i Birmy .

Wielkości podstawowe i ich jednostki

Obecnie układ SI zawiera 7 jednostek podstawowych

Nr	Wielkość fizyczna		Jednostka		
	Nazwa	Symbol (oznaczenie)	Nazwa	Symbol (oznaczenie)	Wymiar (oznacz.)
1.	długość	l, L, s, b, h, r, d	metr	m	L
2.	masa	m, M	kilogram	kg	M
3.	czas	$t (T)$	sekunda	s	T
4.	natężenie prądu elektrycznego	I	amper	A	I
5.	temperatura	$T (\theta)$	kelwin	K	Θ
6.	światłość	$I (J)$	kandela	cd	J
7.	liczność materii	n, ν	mol	mol	N

l - długość, L - długość krzywej, s - droga,
 b - szerokość, h - wysokość, r - promień, d - średnica

Wszystkie pozostałe jednostki wielkości fizycznych
to **jednostki pochodne**

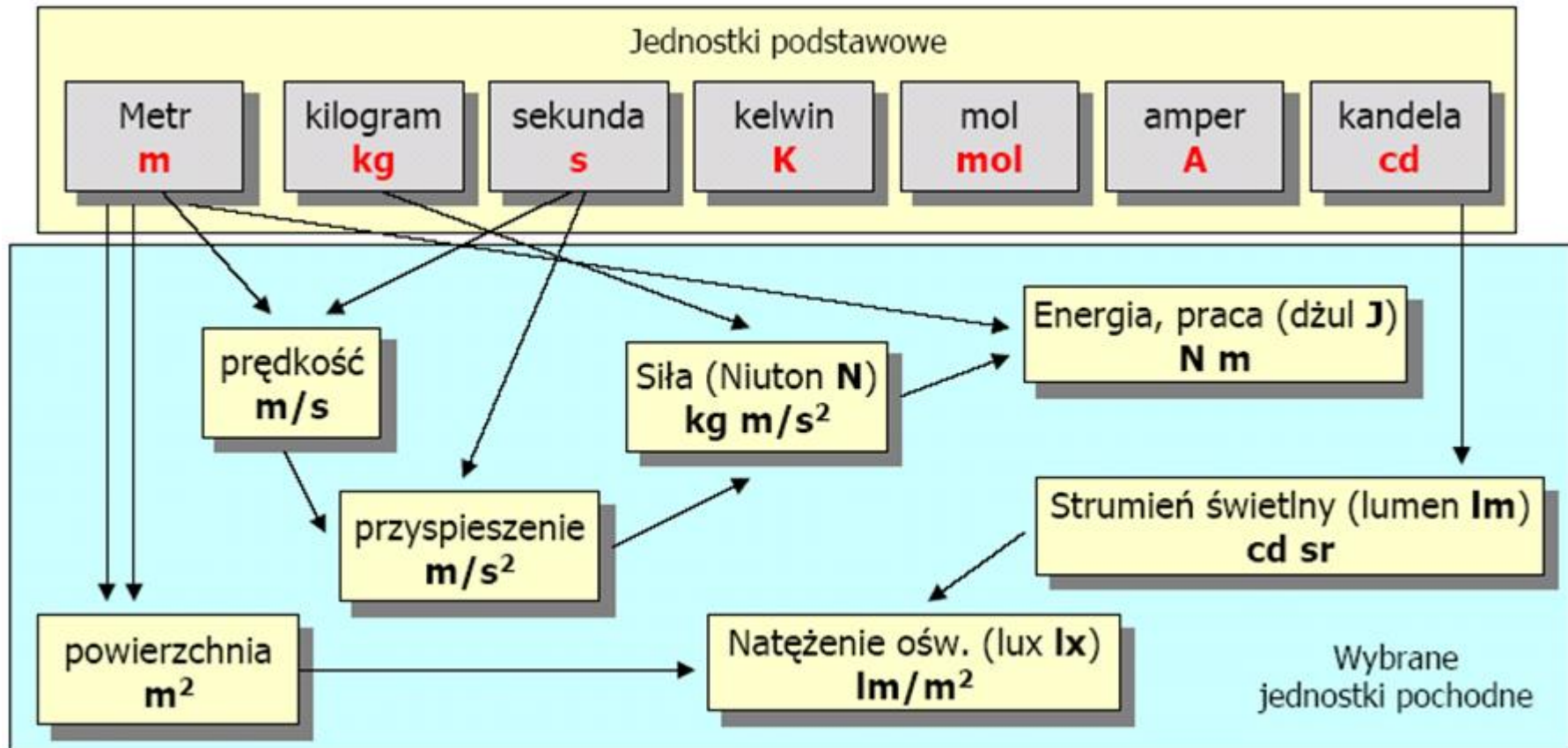
- posiadające własne nazwy:
np. **wat (W), niuton (N), dioptria (brak symbolu jednostki), itp.**
- wyrażane za pomocą jednostek podstawowych,
np. za pomocą **metra i sekundy** (prędkość, przyspieszenie)
- tzw. *uzupełniające (do 1995r):* **radian i steradian**

1	kąt płaski	α, β, φ	radian	rad
2	kąt bryłowy	Ω, ω	steradian	sr

Międzynarodowy układ jednostek SI

W 2019 r. następuje redefinicja jednostek,
Gruntowna „rewolucja” objęła cztery jednostki miar: kilogram, amper, mol i kelwin
patrz Redefinicja układu SI - broszura GUM

https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Publikacje/Redefinicja_SI_broszura.pdf



Definicje jednostek wielkości podstawowych

W 2019 r. następuje redefinicja jednostek,

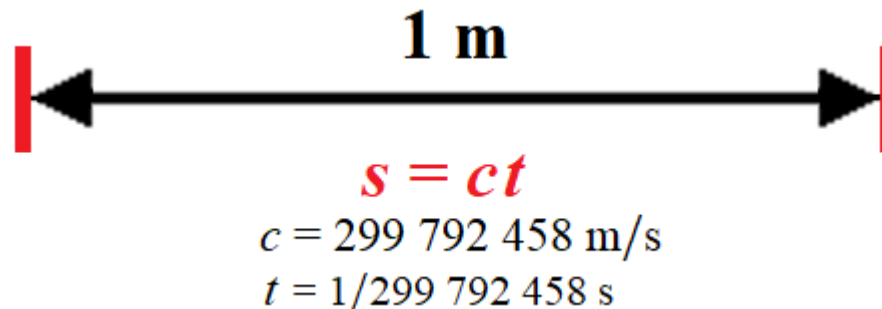
Gruntowna „rewolucja” objęła cztery jednostki miar: kilogram, amper, mol i kelwin

patrz Redefinicja układu SI - broszura GUM

https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Publikacje/Redefinicja_SI_broszura.pdf

długość → metr → m

Metr, oznaczenie m, jest to jednostka długości w SI. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej prędkości światła w próżni c , wynoszącej 299 792 458, wyrażonej w jednostce m s^{-1} , przy czym sekunda zdefiniowana jest za pomocą częstotliwości cezowej $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ (zmiana)



Długość drogi przebytej przez światło w próżni w przedziale czasu równym
 $1/299\,792\,458 \text{ s}$

Poprzednio: Metr - jednostka równa 1 650 763,73 długości fali promieniowania w próżni, odpowiadającego przejściu pomiędzy poziomami $2p_{10}$ oraz $5d_s$ atomu izotopu kryptonu 86.

Definicje jednostek wielkości podstawowych

W 2019 r. następuje redefinicja jednostek,

Gruntowna „rewolucja” objęła cztery jednostki miar: kilogram, amper, mol i kelwin

patrz Redefinicja układu SI - broszura GUM

https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Publikacje/Redefinicja_SI_broszura.pdf

czas → sekunda → s

Sekunda, oznaczenie s, jest to jednostka czasu w SI. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej częstotliwości cezowej $\Delta \nu_{CS}$, to jest częstotliwości nadsubtelnego przejścia w atomach cezu 133 w niezaburzonym stanie podstawowym, wynoszącej 9 192 631 770, wyrażonej w jednostce Hz, która jest równa s^{-1} .

(zmiana)

Jedna sekunda jest równa czasowi trwania 9 192 631 770 okresów promieniowania odpowiadającego przejściu pomiędzy dwoma nadsubtelnymi poziomami niezaburzonego stanu podstawowego atomu cezu 133.

Definicje jednostek wielkości podstawowych

W 2019 r. następuje redefinicja jednostek,

Gruntowna „rewolucja” objęła cztery jednostki miar: kilogram, amper, mol i kelwin

patrz Redefinicja układu SI - broszura GUM

https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Publikacje/Redefinicja_SI_broszura.pdf

masa → kilogram → kg

Kilogram, oznaczenie kg, jest to jednostka masy w SI. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Plancka h , wynoszącej $6,626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$, wyrażonej w jednostce J s, która jest równa $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, przy czym metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą c i $\Delta \nu_{\text{Cs}}$.

(gruntowna zmiana)

Nowa, proponowana definicja, określa jednostkę $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ (jest to jednostka wielkości fizycznych działania i momentu pędu). W połączeniu z definicją metra (m) i sekundy (s) prowadzi to do określenia jednostki masy (kg), wyrażonej przy użyciu wartości stałej Plancka h .

Poprzednio: Jednostka masy, która jest równa masie międzynarodowego prototypu kilograma przechowywanego w Międzynarodowym Biurze Miar w Sèvres.

(masa walca o wysokości i średnicy podstawy 39 mm wykonany ze stopu platyny z irydem)
Wzorzec kilograma został zatwierdzony uchwałą I Generalnej Konferencji Miar w 1889 r. 8

Definicje jednostek wielkości podstawowych

W 2019 r. następuje redefinicja jednostek,

Gruntowna „rewolucja” objęła cztery jednostki miar: kilogram, amper, mol i kelwin

patrz Redefinicja układu SI - broszura GUM

https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Publikacje/Redefinicja_SI_broszura.pdf

prąd elektryczny → amper → A

Amper, oznaczenie A, jest to jednostka prądu elektrycznego w SI. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej ładunku elementarnego e , wynoszącej $1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$, wyrażonej w jednostce C, która jest równa A s, gdzie sekunda zdefiniowana jest za pomocą c i $\Delta \nu_{CS}$.

(gruntowna zmiana)

Zgodnie z proponowaną definicją jeden amper jest prądem elektrycznym odpowiadającym przepływowi $1/(1,602\ 176\ 634 \times 10^{-19})$ ładunków elementarnych na sekundę.

Poprzednio: prąd elektryczny niezmienny się, który, płynąc w dwóch równoległych prostoliniowych, nieskończenie długich przewodach o przekroju kołowym znikomo małym, umieszczonych w próżni w odległości 1 metra od siebie, wywołałby między tymi przewodami siłę 2×10^{-7} niutona na każdy metr długości.

Definicje jednostek wielkości podstawowych

W 2019 r. następuje redefinicja jednostek,

Gruntowna „rewolucja” objęła cztery jednostki miar: kilogram, amper, mol i kelwin

patrz Redefinicja układu SI - broszura GUM

https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Publikacje/Redefinicja_SI_broszura.pdf

temperatura termodynamiczna → kelwin → K

Kelwin, oznaczenie K, jest to jednostka temperatury termodynamicznej w SI.

Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej

Boltzmannna k , wynoszącej $1,380\ 649 \times 10^{-23}$, wyrażonej w jednostce J K^{-1} ,

która jest równa $\text{kg m}^2 \text{m s}^{-2} \text{K}^{-1}$, gdzie kilogram, metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą h , c i $\Delta \nu_{\text{CS}}$.

(gruntowna zmiana)

Zgodnie z proponowaną definicją jeden kelwin jest równy zmianie temperatury termodynamicznej, która skutkuje zmianą energii kT o $1,380\ 649 \times 10^{-23}$ J.

Poprzednio: 1/273,16 część temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody.

Punkt potrójny - stan, w jakim dana substancja może istnieć w trzech stanach skupienia równocześnie w równowadze termodynamicznej.

Temperatura w kelwinach = Temperatura w stopniach Celsjusza + 273,15

$$\text{Temp. } t \text{ w } ^\circ\text{C} = \text{temp. } T \text{ w K} - 273,15 \quad t/^\circ\text{C} = T/\text{K} - 273,15$$

Definicje jednostek wielkości podstawowych

W 2019 r. następuje redefinicja jednostek,

Gruntowna „rewolucja” objęła cztery jednostki miar: kilogram, amper, mol i kelwin

patrz Redefinicja układu SI - broszura GUM

https://www.gum.gov.pl/ftp/pdf/Publikacje/Redefinicja_SI_broszura.pdf

liczność materii → mol → mol

Mol, oznaczenie mol, jest to jednostka ilości substancji w SI. Jeden mol zawiera dokładnie $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ obiektów elementarnych. Ta liczba jest ustaloną wartością liczbową stałej Avogadra N_A wyrażonej w jednostce mol^{-1} i jest nazywana liczbą Avogadra. Ilość substancji, symbol n , układu jest miarą liczby obiektów elementarnych danego rodzaju. Obiektem elementarnym może być atom, cząsteczka, jon, elektron, każda inna cząstka lub grupa cząstek danego rodzaju **(gruntowna zmiana)**

Zgodnie z proponowaną definicją jeden mol jest to ilość substancji układu zawierającego $6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ obiektów elementarnych danego rodzaju.

UWAGA odnośnie zmian konstrukcji jednostek układu SI

Patrz np.: A. Zięba - *Kwantowy układ SI i jego jednostki elektryczne*. Foton 127 (4/2014) s. 26-35; <http://www.foton.if.uj.edu.pl/documents/12579485/f4a67c41-8eef-4145-856d-0214c47ae05a>

W aktualnym sformułowaniu układu SI, po ustaleniu wartości prędkości światła w próżni: $c = 299\,792\,458$ m/s umożliwiło, eliminację niezależnego wzorca długości.

Podobnie można by postąpić dla wybranym podstawowym stałych fizycznych.

Z podstawowych stałych fizycznych można utworzyć układ jednostek, na co już zwrócił uwagę w 1899 r. Max Planck.

Wybrane jednostki mechaniczne Plancka (patrz: https://pl.wikipedia.org/wiki/Jednostki_Plancka)

Czas Plancka $t_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} \approx 5,391 \cdot 10^{-44}$ s

Długość Plancka $l_P = ct_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} \approx 1,6162 \cdot 10^{-35}$ m

Masa Plancka $m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} \approx 2,1765 \cdot 10^{-8}$ kg

Wielkości te odgrywają istotną rolę w kwantowej teorii grawitacji, kosmologii.

Kwantowy układ SI

może być uważany za kontynuację idei Plancka, ma się opierać o ustalone wartości podstawowych stałych fizycznych. Definicje jednostek makroskopowych będą sformułowane zasadniczo tak samo: wartość danej jednostki makroskopowej (ampera, kilograma, oma, kelwina itd.) jest taka, by wyrażone w tych jednostkach wartości stałych fizycznych były równe dokładnie:

- prędkość światła w próżni $c = 299\,792\,458$ m/s,
- stała Plancka $h = 6,626\,06X \cdot 10^{-34}$ J·s,
- ładunek elementarny $e = 1,602\,17X \cdot 10^{-19}$ C,
- stała Boltzmannna $k_B = 1,380\,6X \cdot 10^{-24}$ J/K,
- stała Avogadra $N_A = 6,022\,14X \cdot 10^{23}$ 1/mol

(symbol X oznacza cyfry jeszcze nieuzgodnione). Sekundę definiuje umownie częstotliwość $9\,192\,631\,770$ Hz dla przejścia kwantowego w atomach ^{133}Cs wykorzystywanego w zegarze atomowym. Pozafizyczne jednostki oświetlenia (kandela, lumen, luks) pozostają poza konstrukcją tego układu).

Definicja sekundy może zostać w nieodległej przyszłości zmieniona ze względu na rozwój metod pomiaru czasu.

Przedrostki wielokrotne i podwielokrotne układu SI

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

Wiele wykładników liczby dziesięć zostało nazwanych aby ułatwić opis wielkości np. *femtosekundowy impuls optyczny* zamiast *0, 000 000 000 000 001 sekundowy impuls* 14

Przykłady

Yg – jottagram, Zm – zettametr, EB – eksabajt, Ps – petasekunda,
Tm – terametr, GHz – gigaherc, MHz – megaherc, kcal – kilokaloria,
hl – hektolitr, dag – dekagram, m – metr, g – gram, dm – decymetr,
cm – centymetr, mm – milimetr, μm – mikrometr, nF – nanofarad,
pF – pikofarad, fm – femtometr, as – attosekunda, zN – zeptoniuton,
yg – juktogram

Wyjątki: *nie stosujemy przedrostków do jednostek kąta rad, sr*

Przykłady wielkości i jednostek pochodnych

- **Niuton, N – jednostka siły**

1 N (jeden niuton) jest siłą, która w kierunku jej działania ciała o masie 1 kg nadaje przyspieszenie 1 m/s² (jeden metr na kwadrat sekundy)

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 1 \text{ m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ m kg s}^{-2}$$

- **Dżul, J – jednostka pracy, energii i ciepła**

1 J (jeden dżul) jest równy pracy wykonanej przez siłę 1 N (jednego niutona), gdy przesunięcie wynosi 1 m (jeden metr), a kierunek i zwroty siły i przesunięcia są zgodne

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ kg} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 1 \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ m}^2 \text{ kg s}^{-2}$$

Definicje – patrz T.Molenda, J.Stelmach: Fizyka dla ... (prościej, jaśniej)

Z def. kąta płaskiego (TMM, JS)

Radian (rad) – jednostka miary łukowej kąta płaskiego, a ponadto niemianowana jednostka pochodna układu SI, zdefiniowana jako równość długości l łuku okręgu o środku w wierzchołku kąta i jego promienia r .

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

$$1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} \approx 57,3^\circ$$

$$\alpha \text{ (rad)} = \frac{\alpha (^\circ) \cdot \pi}{180^\circ} \text{ rad}$$

Kilogram siła, kG

$$1 \text{ kG} = 9,81 \text{ N}$$

Kaloria, cal;

$$1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$$

Kilowatogodzina, kWh;

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$$

Koń mechaniczny, KM;

$$1 \text{ KM} = 735,5 \text{ W}$$

CGS, MKSA

Zapis jednostek złożonych

Jednostki złożone, tworzone jako ilorazy jednostek miar, można zapisywać na trzy sposoby:

- 1) w postaci ułamka z kreską ułamkową skośną (ukośnikiem prawym) – wówczas mianownik zawierający więcej niż jedno oznaczenie jednostki miary ujmuje się w nawias;
- 2) w postaci ułamka z kreską ułamkową poziomą;
- 3) w postaci iloczynu potęg jednostek miar.

Oznaczenia jednostek miar złożonych, tworzonych jako iloczyny jednostek miar, można zapisać:

- 1) **stosując znak mnożenia**, w postaci kropki umieszczanej w połowie wysokości wiersza, pomiędzy oznaczeniami jednostek miar tworzących jednostkę złożoną;
- 2) **oddzielając** oznaczenia jednostek miar pojedynczym odstępem.

W uzasadnionych przypadkach, a w szczególności w maszynopisach, dopuszcza się pisanie kropki na dole wiersza.

Znaku mnożenia nie używa się w pisowni oznaczeń jednostek o nazwach jednowyrazowych oraz ich krotności, np.: watogodzina (Wh, kWh, MWh, GWh), amperogodzina (Ah), lumenogodzina (lmh), niutonometr (Nm), omometr (Ω m).

Oznaczenie „kV” należy wymawiać „ka-we”, a nie „ka-fau”,
oznaczenie „kVA” należy wymawiać „ka-we-a”, a nie „ka-fau-a”.

W nazwie „simens” należy wymawiać „s” bez zmiękczenia,
jak w słowie „sinus”.

Wymawianie litery „v” jako „we” to staranna polska wymowa,
jednak wg słownika można wymieniać inaczej.

Przykłady

Jednostkę współczynnika rozszerzalności objętościowej można zapisać następująco:

$$1/K \quad \text{lub} \quad \frac{1}{K} \quad \text{lub} \quad K^{-1}$$

i wymawia się odpowiednio:

jeden na kelwin, jeden na kelwin, kelwin do potęgi minus jeden.

Jednostkę przyśpieszenia można zapisać następująco:

$$m/s^2 \quad \text{lub} \quad \frac{m}{s^2} \quad \text{lub} \quad m \cdot s^{-2}$$

i wymawia się odpowiednio:

metr na kwadrat sekundy, metr na kwadrat sekundy, metr razy sekunda do potęgi minus drugiej.

Jednostkę współczynnika przewodności cieplnej (konduktywności cieplnej) można zapisać następująco:

$$W/(m \cdot K) \quad \text{lub} \quad \frac{W}{m \cdot K} \quad \text{lub} \quad W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

i wymawia się odpowiednio:

wat na metr i kelwin, wat na metr i kelwin

bądź wat razy metr do potęgi minus jeden i razy kelwin do potęgi minus jeden.

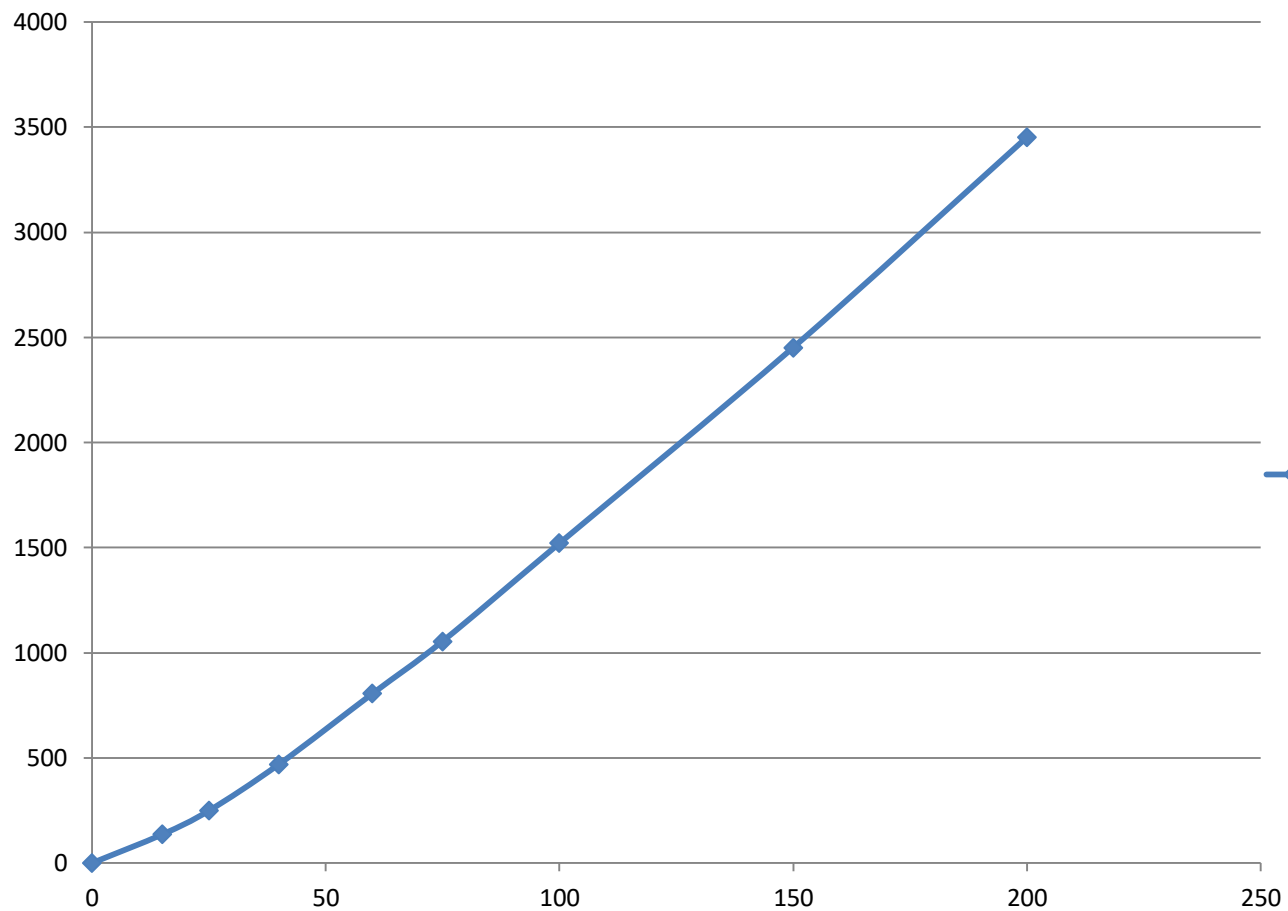
Warto zwrócić uwagę, że w dwóch pierwszych zapisach brak znaku mnożenia, przy niewyraźnej spacji, mógłby prowadzić do mylnej interpretacji – wat na milikelwin.

Przykład dla wielkości cechujących „żarówkę”

Znamionowy strumień świetlny lampy (Φ), która ma zastąpić żarówkę, lm			Deklarowana moc równoważnej żarówki
Świetlówka kompaktowa	Żarówka halogenowa	LED i inne lampy	W
125	119	136	15
229	217	249	25
432	410	470	40
741	702	806	60
970	920	1055	75
1398	1326	1521	100
2253	2137	2452	150
3172	3009	3452	200

strumień świetlny Led, lm

Moc żar.	Led
W	lm
0	0
15	136
25	249
40	470
60	806
75	1 055
100	1 521
150	2 452
200	3 452



Moc zwykłej żarówki, W

Przeliczenie - jednostki gęstości

$$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 0,001 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 1 \frac{\frac{1}{1000} \text{kg}}{\frac{1}{1000000} \text{m}^3} = \frac{1}{1000} \cdot 1000000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Przeliczenia patrz np. <http://miary.hoga.pl/>

Wybrane jednostki pozaukładowe

Jednostki miar o specjalnych nazwach i oznaczeniach

Wielkość	jednostka	symbol	Relacje, Def. podst jedn SI
objętość	litr	l, L*	$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ m}^3$
masa	tona	t	$1 \text{ t} = 1\,000 \text{ kg}$
czas	godzina	h	$1 \text{ h} = 3\,600 \text{ s}$
prędkość	km/h	km/h	$1 \text{ km/h} = 1/3,6 \text{ m/s}$
ciśnienie	atmosfera	atm	$1 \text{ atm} = 101\,325 \text{ Pa} = 760 \text{ Tr}$
	tor	Tr	$1 \text{ Tr} = 133 \text{ Pa}$
	mmHg	mmHg	$1 \text{ mmHg} = 1 \text{ Tr}$
	bar	bar	$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
	mmH₂O	mmH₂O	$1 \text{ mmH}_2\text{O} = 9,81 \text{ Pa}$
kąt płaski	stopień	°	$1^\circ = 0,01745 \text{ rad}$

gęstość wody = 999,8 kg/m³

360° = 2π rad

Upowszechnia się ozn. „L”. W Polsce od 2010 r. – tylko „l”.

Jednostki ciśnienia

Jednostka wyjściowa	Pascal	Bar	atmosfera techniczna	atmosfera fizyczna	Tor, mm Hg	mmH ₂ O	Psi
	1 Pa	1 bar	1 at	1 atm	1 Tr, 1 mmHg	1 mmH ₂ O	1 psi
1 Pa	1	10 ⁻⁵	1,02·10 ⁻⁵	9,869·10 ⁻⁶	7,50·10 ⁻³	0,102	1,45·10 ⁻⁴
1 bar	10 ⁵	1	1,02	0,9869	750	10 197,4	14,50
1 at	98 066,5	0,9807	1	0,9678	735,6	10 000,03	735,6
1 atm	101 325	1,013	1,033	1	760	10 332,6	14,7
1 Tr, mm Hg	133,322	1,333·10 ⁻³	13,595·10 ⁻⁴	13,595·10 ⁻⁴	1	13,595	13,6
1 mm H ₂ O	9,806	9,806·10 ⁻⁵	1,00·10 ⁻⁴	9,678·10 ⁻⁵	7,356·10 ⁻²	1	7,36·10 ⁻²
1 psi	6894,757	6894,757	7,031·10 ²	6,805·10 ⁻²	6,89·10 ⁻³	7,03·10 ²	1

1 atm czyli atmosfera fizyczna z definicji wynosi 1013,25 hPa.

Atmosfera techniczna - ozn. at, z kolei odpowiada naciskowi 1 kg na powierzchnię 1 cm² gdy przyspieszenie ziemskie ma wartość standardową 9.80665 m/s². Z tego wynika, że 1 at = 98066.5 Pa.

Tor, Tr zdefiniowano w ten sposób, że 760 Tr wynosi dokładnie 1 atm. Zatem tor jest praktycznie równoważny ciśnieniu 1 mmHg (dokładnie 1 mmHg = 1.000000142 Tr).

1 mmHg czyli milimetr słupa rtęci jest ciśnieniem wywieranym przez słup rtęci o wysokości 1mm i o gęstości 13,5951 g/cm³ gdy przyspieszenie ziemskie ma wartość standardową 9,80665 m/s². W przybliżeniu 1 atm = 760 mmHg.

1 mmH₂O czyli milimetr słupa wody odpowiada ciśnieniu wywieranemu przez słup wody o wysokości 1 mm gdy przyspieszenie ziemskie ma wartość standardową 9.80665 m/s².

psi czyli funt siła na cal kwadratowy (pound per square inch) odpowiada naciskowi jednego funta na powierzchnię cala kwadratowego gdy przyspieszenie ziemskie ma wartość standardową 9,80665 m/s². W przybliżeniu 1 psi = 6895 Pa.

Literatura

1. *The International System of Units (SI)*, 8th edition, BIPM, S`evres, 2006;
http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf;
SI Brochure: *The International System of Units (SI)* [8th edition, 2006; updated in 2014];
www.bipm.org/en/publications/si-brochure/
2. a) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 listopada 2006 r. w sprawie legalnych jednostek miar. Dz. U. nr 225, poz. 1638; <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20062251638>
b) Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 12 stycznia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie legalnych jednostek miar. Dz. U. nr 9, poz. 61.
3. Nelson R.A.: *Guide for Metric Practice, Physics Today*, August 1996, BG 15; August 1998, BG 13;
http://www.public.iastate.edu/~bkh/teaching/518/metric_practice.pdf
4. Massalski J. M., Studnicki J.: *Legalne jednostki miar i stałe fizyczne*. Wyd. IV, poprawione i poszerzone. PWN, Warszawa 1999.
5. Massalski J. M.: *O układzie SI i symbolach*, *Postępy Fizyki* 48, 227 (1997) <http://pf.ptf.net.pl/PF-1997-3/docs/PF-1997-3.pdf>
6. Molenda T. M.: *Uwagi o zapisie wielkości fizycznych i pewnych nieprawidłowościach w tym zakresie*. FOTON 131 <http://www.foton.if.uj.edu.pl/documents/12579485/cb289cdc-65ba-4770-8dbf-9685be2f466f>
http://dydaktyka.fizyka.szc.pl/plik/Zapis_Wielkosci_Fizycznych.pdf
7. Musiał E.: *Pisownia oraz wymowa nazw i oznaczeń jednostek miar*.
http://redinpe.d2.pl/attachments/article/231/INPE_175-176-art_01.pdf
8. A. Zięba - *O definicji i realizacji ampera w fizyce klasycznej*. Foton 125 (3/2014) s. 31-40,
<http://www.foton.if.uj.edu.pl/documents/12579485/e1cd8e37-6d66-4f07-b12b-8e9728caa516>

Analiza wymiarowa

Każda wielkość fizyczna może być wyrażone jedynie poprzez te siedem jednostek miar.

Każdą pozostałą wielkość fizyczną możemy wyrazić za pomocą tych jednostek podstawowych. Jednostki podstawowe oznaczają się literami (początkowymi od angielskich wyrazów): długość – L, masa – M, czas – T itd.

Wymiar jednostki pochodnej, oznaczonej za Maxwella przez $[A]$, wyraża się przez wymiar jednostek podstawowych w postaci iloczynu ich potęg, gdzie potęgi są liczbami wymiernymi, które mogą być zarówno liczbami dodatnimi, ujemnymi, jak i równymi zero.

Zasada jednorodności wymiarowej

(sformułowanej jeszcze przez Fouriera) w prostszej formie:

wszystkie równania opisujące dowolne zjawisko fizyczne mają taką postać, że wchodzące w jego skład człony mają jednakowe wymiary, a argumenty funkcji trygonometrycznych, logarytmicznych, wykładniczych itp., są bezwymiarowe.

$$A = C \prod_j A_j^{a_j}$$

gdzie – A_j – wielkości fizyczne, a_j – nieznane współczynniki liczbowe

Przykład 1. Znaleźć okres wahań wahadła matematycznego.

Wypiszmy wielkości fizyczne określające sobą okres wahań wahadła.

Wygodnie jest je zapisać w tabeli:

Wielkość fizyczna	Oznaczenie	Wymiar
Okres wahań	t	T (s)
Masa wahadła	m	M (kg)
Przyspieszenie ziemskie	g	LT^{-2} ($m\ s^{-2}$)
Długość wahadła	l	L (m)
Kąt wychylenia	φ	

Zależność funkcyjna między tymi wielkościami jest następująca

$$t = f(m, g, l, \varphi).$$

Z zasady jednorodności wymiarowej zależność tą piszemy w postaci jednomianu

$$t = C m^a g^b l^c \varphi^d$$

Równanie wymiarowe ma postać:

$$[t] = [C m^a g^b l^c \varphi^d] = [C][m^a][g^b][l^c][\varphi^d] = [m]^a [g]^b [l]^c$$

$$[t] = T = M^\alpha (LT^{-2})^b L^c$$

lub dla zapisu na jednostkach

$$s = kg^\alpha (m\ s^{-2})^b m^c$$

Z warunku, że wykładniki potęg przy jednostkach podstawowych w obu częściach równania są sobie równe, uzyskujemy następujący układ równań:

$$\text{dla wykładników przy } L \text{ (m): } 0 = b + c$$

$$\text{dla wykładników przy } M \text{ (kg): } 0 = a$$

$$\text{dla wykładników przy } T \text{ (s): } 1 = -2b$$

Stąd

$$b = -\frac{1}{2}, \quad c = -b.$$

Zatem

$$t = C \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Stałą C nie można wyznaczyć tą metodą, $C = 2\pi$.

Czyli

$$t \sim \sqrt{l} \quad \text{lub} \quad t^2 \sim l$$

Mamy więc istotną informację o zależności funkcyjnej między t i l .

Badając zależność między t i l możemy wyznaczyć współczynnik proporcjonalności.

Analiza wymiarowa jest skuteczną i szybką metoda otrzymywania wzorów.

Wstępne jej zastosowanie w sposób widoczny informuje nas o związkach zachodzących między występującymi wielkościami w danym zjawisku.

Przeprowadzając ścisłą analizę tego zjawiska lub wykonując eksperyment, możemy się skupić na wielkościach istotnych dla jego przebiegu.

Ponadto, w wielu przypadkach, gdy nie jesteśmy pewni co do słuszności danego wzoru, możemy się upewnić stosując tę metodę. Możliwość szybkiego sprawdzenia poprawności wzoru uchroni znających tę metodę od częstokroć nieprawidłowego ich wypisywania

kryterium konieczne poprawności wzoru,

często stosowane przy rozwiązywaniu zadania.