Redefinicja Międzynarodowego Układu Jednostek Miar SI

Autor : Paweł Fotowicz
Opublikowane przez : Adam Żeberkiewicz

Zgodnie z rezolucją 26. Generalnej Konferencji Miar 20 maja 2019 roku, w dniu obchodów Światowego Dnia Metrologii, upamiętniającego 144. rocznicę podpisania Konwencji Metrycznej weszły w życie nowe definicje podstawowych jednostek miar SI.

Co to jest Międzynarodowy Układ Jednostek Miar SI?

Międzynarodowy Układ Jednostek Miar jest to układ jednostek zatwierdzony i przyjęty do powszechnego stosowania na całym świecie przez Generalną Konferencję Miar (dopisek SI to swoisty znak rozpoznawczy tego Układu wywodzący się z francuskiego *Système international d'unités*). Zaistniał na mocy rezolucji jedenastej Generalnej Konferencji Miar w 1960 roku. Pierwotnie obejmował sześć podstawowych jednostek miar, w tym sekundę, metr, kilogram, amper, kelwin i kandelę. Później dołączył do nich mol. Obecnie składa się z siedmiu podstawowych jednostek, odnoszących się do siedmiu wielkości podstawowych takich jak: czas, długość, masa, prąd elektryczny, temperatura termodynamiczna, ilość substancji i światłość.

Wielkość podstawowa	Jednostka podstawowa	
Nazwa	Nazwa	Symbol
Czas	sekunda	s

Wielkość podstawowa	Jednostka podstawowa	
Długość	metr	m
Masa	kilogram	kg
Prąd elektryczny	amper	A
Temperatura termodynamiczna	kelwin	K
Ilość substancji	mol	mol
Światłość	kandela	cd

W Polsce Układ SI został przyjęty na mocy ustawy z 1966 roku, a historycznie wywodzi się z metrycznego układu jednostek miar, nazywanego również dziesiętnym systemem metrycznym.

Krótka historia metrycznego układu jednostek miar

Układ metryczny narodził się wraz z uchwałą Zgromadzenia Francuskiego w 1791 roku, dotyczącą pierwszej definicji metra, podstawowej jednostki miary długości. W roku 1799 z platyny wykonano wzorzec końcowy metra i wraz z platynowym wzorcem kilograma zdeponowano je w Archives de la République w Paryżu. Był to pierwszy krok ku stworzeniu spójnego układu jednostek miar. Taki układ proponuje w 1832 roku Gauss, opierając go na trzech jednostkach: sekundzie, milimetrze i gramie. W roku 1874, na wniosek Maxwella i Thomsona, Brytyjskie Stowarzyszenie BAAS (British Association for the Advancement of Science) promuje układ CGS oparty na trzech jednostkach podstawowych: centymetrze, gramie i sekundzie wraz z jednostkami pod i wielokrotnymi, z zastosowaniem przedrostków od mikro do mega, dla ich wyrażania. Po Konwencji Metrycznej, podpisanej w 1875 roku, gdy pierwsza Generalna Konferencja Miar w 1889 roku zatwierdziła międzynarodowe prototypy metra i kilograma, wraz z sekundą powstał układ MKS, składający się z tych jednostek podstawowych. Na początku dwudziestego wieku Giorgi zaproponował, żeby do układu MKS dołączyć jeszcze czwartą jednostkę

związaną z elektrycznością. W ten sposób zaistniał układ MKSA oparty na czterech jednostkach: metrze, kilogramie, sekundzie i amperze, jako jednostce natężenia prądu elektrycznego, który oficjalnie został zatwierdzony przez Międzynarodowy Komitet Miar w 1946 roku. Dziesiąta Generalna Konferencja Miar w 1954 roku dołączyła do tego Układu jednostki temperatury termodynamicznej i natężenia światła, w postaci kelwina i kandeli. W ten sposób wyłonił się w 1960 roku Międzynarodowy Układ Jednostek Miar SI składający się z sześciu podstawowych jednostek miar: metra, kilograma, sekundy, ampera, kelwina i kandeli. W roku 1971 dołączyła do nich siódma jednostka ilości substancji o nazwie mol. Należy jeszcze dodać, że w 1983 roku nastąpiła redefinicja metra, do obecnej jej postaci. Był to również przełomowy krok w sposobie definiowania jednostki miary w Układzie SI, gdyż oparto ją na stałej fizycznej w postaci prędkości światła. W podobny sposób zostały zdefiniowane wszystkie podstawowe jednostki miar w nowym SI.

Nowy SI

Nowy Układ Jednostek Miar SI oparty jest na niezmiennych stałych podstawowych, fizycznych lub technicznych, uniezależniając ich definicje od artefaktów i zjawisk fizycznych, charakteryzujących się niepewnością i niestabilnością odtwarzanych wartości wielkości. Do stałych tych są zaliczane:

1. częstotliwość promieniowania przejścia kwantowego między dwoma nadsubtelnymi poziomami atomu cezu 133 w stanie podstawowym: $\Delta\nu_{Cs}$ = 9 192 631 770 Hz,
2. prędkość światła w próżni: c = 299 792 458 m s^{-1},
3. stała Plancka: h = 6,626 070 15 x 10^{-34} kg m^2 s^{-1},
4. ładunek elementarny: e = 1,602 176 634 x 10^{-19} A s,
5. stała Boltzmanna: k = 1,380 649 x 10^{-23} kg m^2 s^{-2} K^{-1},
6. stała Avogadra: N_A = 6,022 140 76 x 10^{23} mol^{-1},
7. skuteczność świetlna źródła promieniowania o częstotliwości 540 THz

$K_{cd} = 683$ cd sr kg^{-1} m^{-2} s^{3}.

Jednostka miary		Odniesienie	
Nazwa	Symbol	Nazwa	Symbol
sekunda	s	częstotliwość cezowa	$\Delta\nu_{Cs}$
metr	m	prędkość światła	c
kilogram	kg	stała Plancka	h
amper	A	ładunek elementarny	e
kelwin	K	stała Boltzmanna	k
mol	mol	stała Avogadra	N_A
kandela	cd	skuteczność świetlna	K_{cd}

Stałe podstawowe pełnią rolę odniesień przy definiowaniu jednostek miar, dlatego też nazywane są stałymi definiującymi. Wśród nich pięć to stałe fizyczne: c, h, e, k i N_A, a dwie należą do kategorii stałych technicznych: $\Delta\nu_{Cs}$ i K_{cd}. Przyjęto umowę, że z każdą z tych stałych związana jest zerowa niepewność, gdyż traktowane są jak wartości prawdziwe. Kluczowym odniesieniem dla całego Układu SI jest częstotliwość promieniowania atomu cezu 133. Jej wartość bowiem pojawia się definicyjnie prawie w każdej jednostce podstawowej z wyjątkiem mola.

Definicje podstawowych jednostek miar SI:

1. sekunda, symbol s, jest to jednostka SI czasu. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej częstotliwości cezowej $\Delta\nu_{Cs}$, to jest częstotliwości nadsubtelnego przejścia w atomie cezu 133 w niezaburzonym stanie podstawowym, wynoszącej

9 192 631 770, wyrażonej w jednostce Hz, która jest równa s^{-1},

2. metr, symbol m, jest to jednostka SI długości. 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 $\Delta\nu_{Cs}$,

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

4. amper, symbol A, jest to jednostka SI prądu elektrycznego. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej ładunku elementarnego *e*, wynoszącej 1,602 176 634 x 10^{-19}, wyrażonej w jednostce C, która jest równa A s, gdzie sekunda zdefiniowana jest za pomocą $\Delta\nu_{Cs}$,

5. kelwin, symbol K, jest to jednostka SI temperatury termodynamicznej. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Boltzmanna *k*, wynoszącej 1,380 649 x 10^{-23}, wyrażonej w jednostce J K^{-1}, która jest równa kg m^2 s^{-2} K^{-1}, gdzie kilogram, metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą *h*, *c* i $\Delta\nu_{Cs}$,

6. mol, symbol mol, jest to jednostka SI ilości substancji. Jeden mol zawiera dokładnie 6,022 140 76 x 10^{23} obiektów elementarnych. Liczba ta 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 danego

rodzaju grupa cząstek,

7. kandela, symbol cd, jest to jednostka SI światłości w określonym kierunku. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej skuteczności świetlnej monochromatycznego promieniowania o częstotliwości 540 x 10^{12} Hz, K_{cd}, wynoszącej 683, wyrażonej w jednostce lm W^{-1}, która jest równa cd sr W^{-1} lub cd sr kg^{-1} m^{-2} s^{3}, gdzie kilogram, metr i sekunda są zdefiniowane za pomocą h, c i $\Delta\nu_{Cs}$.

Zalety nowego SI

Nowy SI charakteryzuje się spójnością przyjętych definicji jednostek miar. Bazową jednostką jest sekunda, od której wywodzą się definicje pozostałych jednostek miar, z wyjątkiem mola. Prędkość światła, jako stała fizyczna, zawiera dwie jednostki ze sobą powiązane: sekundę i metr (m s^{-1}). Znając jej wartość, można zatem wyznaczyć definicyjnie miarę długości SI. Z kolei znając wartość stałej Plancka, która zawiera trzy powiązane jednostki (kg m^{2} s^{-1}),

mając zdefiniowaną jednostkę czasu i długości, można określić kilogram. Przy tak zdefiniowanych trzech jednostkach podstawowych SI, poprzez stałą Boltzmanna, która obejmuje cztery powiązane jednostki (kg m^2 s^{-2} K^{-1}), można zdefiniować jednostkę temperatury, kelwin. Podobnie jest również z amperem, który został zdefiniowany poprzez stałą w postaci elektrycznego ładunku elementarnego zawierającego powiązane dwie jednostki (A s).

Cechą nowego SI jest uniezależnienie definicji jednostki miary od jej realizacji. Stwarza to możliwość opracowywania zupełnie nowych i dokładniejszych metod praktycznych realizacji jednostek miar, gdyż technologie mogą się zmieniać i doskonalić, bez konieczności zmiany ich definicji. Zatem realizacja jednostek miar nie jest ograniczona przez dzisiejszy stan wiedzy i technologię, a przyszły rozwój może prowadzić do pracowania nowych sposobów ich odtwarzania z jeszcze większą dokładnością.

Zbiór siedmiu stałych definiujących został wybrany, aby zapewnić podstawowe, stabilne i uniwersalne odniesienie, który jednocześnie pozwala na praktyczne realizacje jednostek przy najmniejszych niepewnościach.

Zastosowane w definicjach rozwiązania możliwe są m. in. dzięki fundamentalnym osiągnięciom fizyki dwudziestego wieku. Jedną z nich jest zasada Plancka, która mówi, że promieniowanie rozchodzi się w postaci skończonych porcji energii, zwanych kwantami. Energia kwantu E jest proporcjonalna do jego częstotliwości ν:

$$E = h\nu$$

gdzie h to stała Plancka. Biorąc pod uwagę wzór Einsteina na masę relatywistyczną w postaci:

$$E = mc^2$$

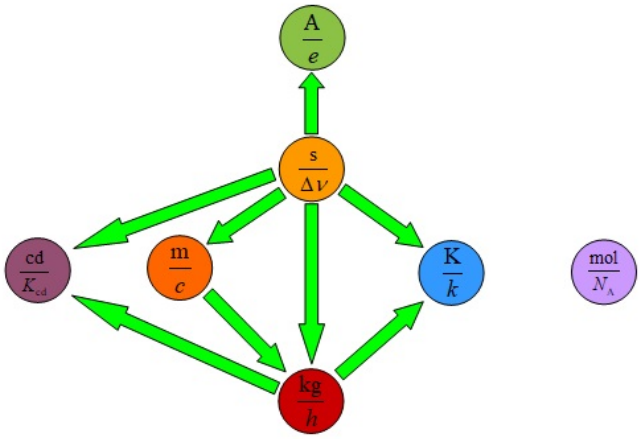
można w prosty sposób zdefiniować samą masę:

$$m = h\nu / c^2$$

Na zależności tej opiera się współczesna definicja kilograma. Z kolei przyjęcie prędkości światła w próżni jako stałej fizycznej wynika ze szczególnej teorii względności Einsteina i jest odkryciem naukowym Michelsona. Stałą tę można zastosować do zdefiniowania metra, wykorzystując tą właściwość światła, że iloczyn długości λ i częstotliwości ν jego fali w próżni jest równy jego prędkości:

$$c = \lambda\nu$$

W obu powyższych równaniach czynnikiem łączącym jest częstotliwość kwantu ν, która z kolei służy do zdefiniowania sekundy. Dzięki tym zależnościom można powiązać ze sobą definicje trzech podstawowych jednostek miar SI: sekundy, metra i kilograma. W podobny sposób powiązane są pozostałe podstawowe jednostki miar SI z wyjątkiem mola, co przedstawia poniższy schemat.



Metody eksperymentalne stosowane do realizacji jednostek, wykorzystujące równania fizyki nazywane są metodami pierwotnymi. Podstawową cechą metody pierwotnej jest to, że umożliwia pomiar danej wielkości w określonej jednostce bezpośrednio z jej definicji przy użyciu innych wielkości i stałych, które same nie zawierają tej jednostki. Użytkownik może teraz dowolnie wybierać dogodne równanie fizyki, które łączy stałe definiujące z wielkością, która ma być mierzona. Przyszłe rozwiązania mogą prowadzić do jeszcze

lepszych sposobów odtwarzania jednostek miar z mniejszą niepewnością, gdyż przyjęte definicje, co do zasady, nie ograniczają dokładności, z jaką jednostka może być realizowana.

PLIKI DO POBRANIA

Dlaczego-zmieniaja-sie-definicje-jednostek-miar- Paweł Fotowicz (pdf, 686.76 KB)21.12.2022 10:03