

Historia metra

Autor : Paweł Fotowicz
Opublikowane przez : Adam Żeberkiewicz

Stworzenie uniwersalnej jednostki miary długości, opartej na naturalnych odniesieniach, było postulowane przez uczonych już w drugiej połowie XVII wieku. Uważano, że odniesieniem tym mogłoby być wahadło matematyczne lub wymiary Ziemi. W dobie Rewolucji Francuskiej, w 1790 r., Akademia Francuska, zobowiązana dekretem Zgromadzenia Narodowego, wyłoniła specjalną komisję, w skład której wchodziło pięciu uczonych: Jean Borda, Joseph Lagrange, Pierre Laplace, Gaspard Monge i Nicolas Condorcet. Komisja zdecydowała, że odniesieniem będą wymiary Ziemi, wyrażone w postaci części długości południka, co nie oznaczało całkowitego porzucenia idei wahadła matematycznego, umożliwiającą wyznaczenie długości wzorca prowizorycznego, przed wykonaniem pomiarów samego południka. 26 marca 1791 r. Zgromadzenie Narodowe podjęło uchwałę w sprawie definicji metra. Wówczas zdefiniowano metr jako jedną dziesięciomilionową połowy południka ziemskiego przechodzącego przez Paryż. Długość ta była bardzo zbliżona do długości wahadła sekundowego o okresie drgań 2 s. Na podstawie pomiarów południka ziemskiego, wykonanych w latach 1792–1798 i niezbędnych obliczeń, w roku 1799 stworzono platynowy wzorzec metra w postaci wzorca końcowego, który został zdeponowany w Archiwum Republiki. Nad powstaniem pierwszego wzorca metra intensywnie pracowali Borda, Cassini, Lavoisier, dostarczając niezbędnych narzędzi pomiarowych dwóm zespołom geodezyjnym, kierowanym przez Jeana Delambre'a i Pierre'a Mechaina, mierzących południk ziemski. Pomiar odbywał się na odcinkach pomiędzy Dunkierką i Barceloną. Istotny wkład w powstanie wzorca metra wniósł paryski rzemieślnik Etienne Lenoir, wykonując aparaturę wahadła sekundowego, umożliwiającą stworzenie pierwszego wzorca prowizorycznego z mosiądzu i jego kopii. Wzorzec docelowy z platyny został wykonany przez Lenoira w 1799 r. i pełnił tę rolę aż do 1878 r.

Po podpisaniu 20 maja 1875 roku Konwencji Metrycznej, wzorzec platynowy Lenoira został zastąpiony wzorcem wykonanym ze stopu platynowo-irydowego, dostarczonego przez firmę brytyjską Johnson and Matthey. Był to wzorzec kreskowy, w którym długość jednego metra zawarta była pomiędzy wygrawerowanymi kresami. Pełnił on rolę wzorca międzynarodowego do 1960 r. Wzorzec został zatwierdzony na mocy decyzji pierwszej Generalnej Konferencji Miar w 1889 r., choć szczegółowa,

związana z nim, definicja metra oficjalnie została podana w 1927 r.

Pod koniec XIX wieku Albert Michelson proponuje oparcie definicji metra na długości fali światła. W latach 1892–1893, w siedzibie Międzynarodowego Biura Miar wykonuje porównanie długości fali światła, emitowanej przez monochromatyczną lampę kadmową, z międzynarodowym wzorcem metra, na skonstruowanym przez siebie interferometrze. W wyniku przeprowadzonego eksperymentu stwierdza, że metr to 1 553 163,5 długości fali czerwonej linii widmowej kadmu. Wynik ten stał się nową, nieoficjalną, definicją jednostki długości, opartej na zjawisku fizycznym, a nie na artefakcie. Oficjalna decyzja w sprawie nowej definicji metra zapadła na jedenastej Generalnej Konferencji Miar w 1960 r., wraz z ustanowieniem Międzynarodowego Układu Jednostek Miar SI. Definicja ta odwoływała się do długości pomarańczowej linii widmowej kryptonu, przyjmując, że metr to 1 650 763,73 długości promieniowania atomu kryptonu.

Przełomowym odniesieniem dla definicji metra była odkryta przez Alberta Michelsona stałość prędkości światła w próżni i jej niezmienniczy związek z częstotliwością i długością fali elektromagnetycznej, który powoduje powiązanie czasu z długością, jak w wahadle matematycznym, za pośrednictwem przyspieszenia ziemskiego. Dla zastosowania tego zjawiska w definicji metra kluczową kwestią było wyznaczenie tej prędkości z jak największą dokładnością. Naturalne źródła promieniowania tego nie zapewniły. Przełom nastąpił dopiero w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku, za sprawą wynalezienia wymuszonego źródła promieniowania w postaci lasera. Pomiar długości i częstotliwości fali lasera stabilizowanego dawał pożądany efekt, gdyż iloczyn tych wielkości jest miarą prędkości światła w próżni. Budowy odpowiedniego lasera stabilizowanego podjął się zespół naukowców z JILA (Joint Institute for Laboratory Astrophysics, USA), pod kierownictwem Johna Halla, laureata Nagrody Nobla z fizyki. W 1972 r. naukowcy wyznaczyli prędkość światła z niepewnością 1,1 m/s, a piętnasta Generalna Konferencja Miar przyjęła w 1975 r. jego wartość jako równą 299 792 458 m/s. Wartość ta stała się podstawą dla nowej definicji metra mówiącej, że jest to długość drogi przebytej przez światło w próżni w czasie $1/299\,792\,458$ s, uchwalonej przez siedemnastą Generalną Konferencję Miar w 1983 r.

Realizacja jednostki długości, zgodnie z przyjętą definicją metra, wymaga odpowiednich optycznych źródeł promieniowania. Jest nim laser helowo-neonowy stabilizowany jodem, generujący stabilną czerwoną pojedynczą linię widmową promieniowania. Jednak, aby ściśle powiązać jednostkę długości z jednostką czasu, istotną kwestią do rozwiązania była synchronizacja częstotliwości optycznej z częstotliwością mikrofalową definiującą sekundę. Proces ten jest bardzo skomplikowany, na skutek konieczności zastosowania licznych powielaczy częstotliwości, umożliwiających przejście od częstotliwości gigahercowej do częstotliwości terahercowej. Rozwiązanie tego problemu przedstawili i zrealizowali Theodor Hansch i John Hall w postaci grzebienia częstotliwości optycznych, za które

otrzymali w 2005 r. Nagrodę Nobla. Stworzyli laser impulsowy, który generuje impulsy świetlne w regularnych odstępach czasowych, tworząc rodzaj liniiki częstotliwościowej. Częstotliwość pojawiania się tych impulsów można już synchronizować z częstotliwością atomowego zegara cezowego, generującego wzorcową sekundę. Jednocześnie można określić wartość częstotliwości optycznej każdego impulsu tego lasera, który staje się swoistym wskaźnikiem liniiki częstotliwościowej. Z tymi wskaźnikami można już porównywać dowolne częstotliwości optyczne, np. interferometrów laserowych służących do pomiaru długości, poprzez pomiar częstotliwości zdudnień sygnałów tych urządzeń. W ten sposób grzebienie częstotliwości optycznych mogą pełnić rolę wzorców jednostki długości.

Bibliografia:

1. Z. Kowalczevska: Historia system metrycznego. Przegląd techniczny nr 13 i 14, tom LIX, 1921, s. 85-89.
2. W. A. Smeaton: The Foundation of the Metric System in France in the 1790s. *Platinum Metals Rev.*, 2000, 44, (3), 125-134.