

NOVI SI SISTEM JEDINICA

THE NEW SI SYSTEM OF UNITS

Daut Denjo, v.prof.dr.
Senada Pobrić, v.prof.dr.
Univerzitet „Džemal Bijedić“, Mašinski fakultet
Mostar
Nermína Zaimović – Uzunović, prof.dr.
Univerzitet u Zenici, Mašinski fakultet
Zenica

REZIME

Iako je trenutni SI sistem u velikoj mjeri u skladu sa trenutnim zahtjevima nauke i tehnologije, još uvijek je daleko od idealnog "za sve narode, za sva vremena". Zbog toga je urađen pothvat od strane Konvencije o metru, koliko je to moguće jedinice SI sistema povezati na prirodne konstante, kao što je već učinjeno za sekundu i metar. U ovom radu su navedene prirodne konstante sa numeričkim vrijednostima na koje će se povezati osnovne jedinice, kao i značaj novog SI sistema u nauci i tehnici.

Ključne riječi: metrologija, prirodne konstante, nove definicije jedinica

ABSTRACT

Although the current SI system is largely in line with the current requirements of science and technology, it is still far from ideal "for all peoples for all time". For this reason, it has been undertaken by the Convention on the Meter, how much is it possible for the units of SI system to connect to natural constants, as already done for a second and a meter. In this paper are given the natural constants with numerical values to which basic units will be connected, as well as the importance of the new SI system in science and technology.

Keywords: metrology, natural constants, new definitions of units

1. UVOD

Ideja definisanja mjernih jedinica, koja se temelji na prirodnim konstantama u načelu nije nova. Ono što je počelo sa definisanjem sekunde pomoću atomskih satova prije 50 godina i definisanjem metra brzinom svjetlosti prije više od 30 godina, sada će se nastaviti za sve jedinice u Međunarodnom sistemu jedinica. Četiri druge konstante igraju glavne uloge: Planck-ova konstanta h , Avogadro-va konstanta N_A , Boltzman-ova konstanta k_B i naboj elektrona e . U posljednjih nekoliko godina u mjeriteljskim laboratorijama provedeni su složeni eksperimenti kako bi se te konstante što je bolje moguće izmjerile. Ova mjerenja, koja su se uglavnom provodila u velikim nacionalnim mjeriteljskim institutima kao što su PTB (Njemačka) i NIST (SAD) ili NMIJ (Japan) i NRC (Kanada), su bila uspješna: prethodno postavljeni ciljevi, a time

su i postignute mjerne nesigurnosti nezavisnih eksperimenata [4]. Na osnovu ovih mjerenja, vrijednosti relevantnih prirodnih konstanti mogu se vrlo precizno odrediti.

U novom SI više neće biti nikakvih kolebanja vezanih za definicije jedinica, jer prirodne konstante dobijaju fiksne određene vrijednosti. Tako će novo definirani kilogram biti stabilan za sva vremena. Pra kilogram čija se masa mjenja, je istorija. Sve električne jedinice, uključujući Amper, postaju dio sistema kvantne realizacije (preko Jozephson-va i kvantnog Hall-ovog efekta ili "jednostavno" brojanjem elektrona po vremenu), [4]. I posljednje, ali ne i najmanje važno, mol je takođe prikazan definicijom preko određenog broja čestica (Avogadrova konstanta) određene supstance.

2. JEDINICE I NJIHOVE PRIRODNE KONSTANTE

Na 26. Generalnoj konferenciji o mjerama i tegovima (CGPM), 16. novembra 2018. godine u Versaju, države Konvencije o metru usvojile su temeljnu reviziju Međunarodnog sistema jedinica (SI). U budućnosti će se sve SI jedinice odnositi na određene vrijednosti sedam odabranih prirodnih konstanti. Generalna konferencija stoga slijedi preporuku Međunarodnog komiteta za mjere i tegove (CIPM), najvišeg tijela stručnjaka u svijetu mjeriteljstva. Nove definicije će stupiti na snagu 20. maja 2019. godine, za svjetski dan mjeriteljstva [4]. U tabeli 1. je dato sedam prirodnih konstanti u novom SI, brojne vrijednosti dolaze iz CODATA 2017 [1].

Tabela 1. Prirodne konstante sa brojnim vrijednostima [1]

Fizikalna veličina	Osnovna jedinica	Definirajuća prirodna konstanta
Vrijeme	sekunda	$\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ (Prelaz hiperfine strukture)
		Frekvencija $\Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ prelaza hiperfine strukture osnovnog stanja atoma cezijuma je tačno jednaka 9 192 631 770 Hertz-a, Hz.
Dužina	metar	c (brzina svjetlosti)
		Brzina svjetlosti u vakuumu c je tačno jednaka 299 792 458 metar po sekundi, m s^{-1}
Masa	kilogram	h (Planck-konstanta)
		Planck-konstanta h je tačno jednaka $6,626\ 070\ 15 \cdot 10^{-34}$ Joulesekunda, J s. ($\text{J s} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$)
Jačina električne struje	Amper	e (Elementarni naboj)
		Elementarni naboj e je tačno jednak $1,602\ 176\ 634 \cdot 10^{-19}$ Coulomb, C. ($\text{C} = \text{A s}$)
Temperatura	Kelvin	k_B (Boltzmann-konstanta)
		Boltzmann-konstanta k_B je tačno jednaka $1,380\ 649 \cdot 10^{-23}$ Joule po Kelvinu, J K^{-1} . ($\text{J K}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$)
Količina materije	mol	N_A (Avogadro-konstanta)
		Avogadro-konstanta N_A je tačno jednaka $6,022\ 140\ 76 \cdot 10^{23}$ po molu, mol^{-1} .
Jačina svjetlosti	Kandela	K_{CD} (ekvivalent fotometrijskog zračenja)
		Fotometrijski ekvivalent zračenja K_{CD} monokromatskog zračenja frekvencije $540 \cdot 10^{12}$ je tačno jednak 683 Lumen po Wattu, lm W^{-1} .

3. NOVI SISTEM U NAUCI

Novi sistem jedinica je prekretnica u historiji nauke, a u doglednoj budućnosti nakon novih definicija i u historiji tehnologije. Istovremeno je mnogo više zbog svoje univerzalnosti. To je prekretnica u historiji kulture. Od srednjeg vijeka sve do 18./19. i u 19. vijeku jedinice su bile "kneževine" i suštinski regionalne. Tada se desila revolucija u Francuskoj krajem 18. stoljeća. Sada stopala, lakti, milje, linije, stijene i šipke zamjenjene su mjerama koje su izvedene iz planete Zemlje - svijet je svjedočio o rođenju metra i sa njim kilograma. Sa Metarskom konvencijom (1875) i svim državama koje su pristupile, ove jedinice su postale globalne. Danas živimo na našoj planeti u potpunosti sa jedinstvenim sistemom mjerenja u nauci (i uglavnom u svakodnevnom životu). Pristup prirodnim konstantama čini u principu, jedinstvene definicije univerzalnim. Za nauku je ovo veliki korak naprijed iz sistematskih razloga. Sistematičnost podrazumjeva područje primjene SI i njegovu unutrašnju "logiku", [2]. Dakle, u novom SI, je izbrisana razlika između osnovnih jedinica i izvedenih jedinica. Umjesto toga, sve jedinice se potom "izvode" iz prirodnih konstanti i ekvivalentne su u tom smislu.

Stoga u novom SI se može mjeriti tačnije, jedinice se mogu tačnije realizirati bez promjena osnovnih definicija. U visokom tehničkom svijetu, gdje neće prestati podjela dužine nanometrima niti podjele femtosekundnog vremena, tehnička otvorenost novog SI je veliki dobitak nad svim budućim napredovanjima u tačnosti, [3]. Stoga, revizija sistema jedinica stvara bolje uslove za inovacije gdje god je potreban najviši nivo tačnosti mjerenja - u razvoju kvantnih tehnologija, kao i u dijagnostičkim mogućnostima medicine, povećanju efikasnosti u proizvodnji energije ili metodama analize klime, [3]. Ova otvorenost se primjenjuje na cijelu skalu odgovarajuće jedinice, jer prirodne konstante ne naglašavaju određeni dio skale. Ovo je sasvim u suprotnosti sa trenutnom situacijom, u kojoj je kilogram fiksiran samo jednom tačkom na masenoj skali, odnosno tačkom od 1 kg, ili trojna tačka vode se također fiksira na samo jednu vrijednost, tačku 0.01°C na temperaturnoj skali, [4].

4. NOVI SISTEM U TEHNICI

Nove definicije sistema jedinica potpuno eliminiraju nedostatke prethodnog sistema, pri čemu promjene u svakodnevnom životu nisu vidljive. Tako novi SI formira neku vrstu univerzalnog jezika, o čemu se sada složila svjetska zajednica. Za nauku, odmah čim se usvoje nove definicije dolazi napredak. Za tehniku, napredak će se pokazati kao dugoročni efekat. Pametna stvar u vezi sa novim sistemom jedinica je da više ne uključuje tehničke barijere, [4]. Kolebanje u prisutnom sistemu oko mase pra kilograma u nekom redu veličina, tako da je najbolja ostvariva tačnost vaganja time ograničena. U novom SI, sa druge strane, nema više kolebanja (variranja), s obzirom da prirodnom konstantom povezujemo utvrđene dobijene vrijednosti. Tako će definicija kilograma biti nezavisna od mogućih driftova mase bilo kojeg utjelovljenja. Sve električne jedinice, uključujući Amper, postaju dio sistema kvantnih realizacija (putem Džozefsona i kvantnog efekta Halla ili "jednostavno" prebrojavanjem elektrona po vremenu), [4]. I posljednja, ali ne manje važna jedinica mol je sada prikazana definicijom preko određenog broja čestica (Avogadro konstanta) određene supstance. Prema tome u novom SI važi: ako se mjerenje može tačnije izvesti, jedinice se mogu preciznije realizovati – bez promjena osnovne definicije, [3].

5. ZAKLJUČAK

Međunarodni sistem jedinica (SI) se suočava sa fundamentalnim promjenama. Naime metrolozi slijede cilj da se sve osnovne jedinice SI sistema izvedu na prirodne konstante. Na ovim osnovama stoje nove definicije kilograma i Mola, Ampera i Kelvina. I sekunda također prilagođava svoju definiciju današnjim mogućnostima mjerenja. Sistem jedinica bi dobio tako

temeljni oslonac koji bi počivao na fiksnim utvrđenim prirodnim konstantama, kao što su brzina svjetlosti, Avogadro-va konstanta, Planckova konstanta, elementarni naboj i Bolcmanova konstanta, [3].

Efekat na naš svakodnevni život, industrijsku proizvodnju ili nadzor parametara životne sredine bi vjerojatno bio jedva primjetan. Radio budilnik koji nas budi u krevetu će i dalje to raditi kao do sada, vage u supermarketu neće nam pokazivati druge vrijednosti, dijelovi proizvedeni na lokacijama širom svijeta za tehničke uređaje će se uklapati u završnoj montaži lako i precizno sa mikrometarskom tačnošću i doktori će nastaviti raditi sa svojim monitorima krvnog pritiska, ergometerima ili EKG uređajima, [3]. Ova svakodnevna mjerenja koja u većini slučajeva nisu oslonjena na najmanju ostvarivu nesigurnost, dakle ne utiču na nove definicije jedinica. Međutim, konceptualno se nešto događa vrlo temeljito, jer je pristup definicijama jedinica na fundamentalnim konstantama nezavisn od prostora i vremena. Bez obzira da li je mjerenje urađeno u Japanu, SAD, Njemačkoj ili na Marsu, osigurat će isti rezultat. Ovaj cilj je naučno postignut (to je suštinka pretpostavka), ako izvodimo sva relevantna precizna mjerenja s dovoljno malim nesigurnostima, tako da je realizacija novih jedinica barem tako dobro moguća, kao i starih jedinica. Sa revizijom sistema jedinica, odnosno u novom sistemu bilo koja brzina može se izraziti u odnosu na brzinu svjetlosti ili bilo koji električni naboj u odnosu na elementarni naboj elektrona, [3]. U tom smislu jedinice u novom sistemu nisu više postavljene, naprotiv one su izračunate na osnovu datih prirodnih konstanti. Naravno da npr., standardna tjelesna temperatura zdravih ljudi bi bila i u novom sistemu 37°C ili da tjelesna težina nije smetnja kako je definisan kilogram.

6. REFERENCE

- [1] PTB-Infoblatt - Das neue Internationale Einheitensystem (SI), www.ptb.de, Stand: 3/2017
- [2] E. O. Göbel, Kleine Einführung in das Internationale Einheitensystem, PTB MITTEILINGEN, Fachjournal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Das System der Einheiten, Heft 1, März 2012.
- [3] P. Becker, M. Borys, M. Gläser, B. Güttler, und D. Schiel, Masse und Stoffmenge – Die SI Basiseinheiten Kilogramm und Mol, PTB MITTEILINGEN, Fachjournal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Das System der Einheiten, Heft 1, März 2012.
- [4] J. Simon, Punktlandung – Weltweite Messwerte am Stichtag, PTB, Masstabe, Maße für alle, Heft 14, November 2018.
- [5] J. Stenger und B. R. L. Siebert: Naturkonstanten und das „neue SI“ PTB MITTEILINGEN, Fachjournal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt - Das System der Einheiten, 122. Jahrgang, Heft 1, März 2012.