

# NOVE OSNOVNE JEDINICE SI

Tekst je prevod iz knjige: “Kostić (2019) *Metrology Companion - the new SI e-book on concepts and computations in measurements*”

SY422 • 10. mart 2022.

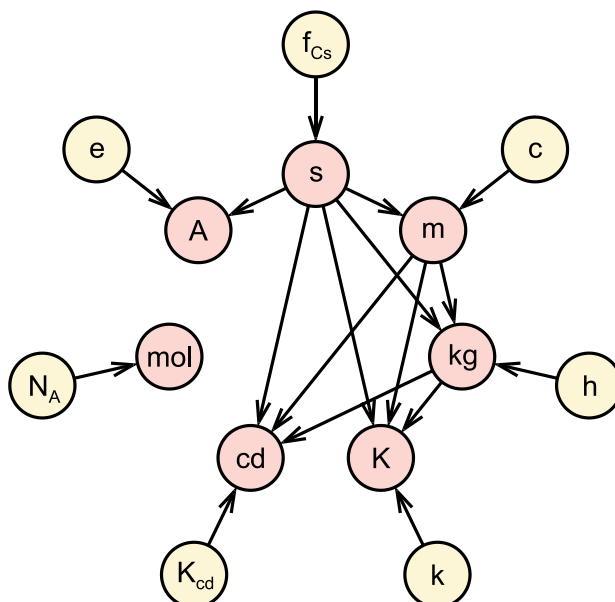
Goran Kostić

**Ključne reči:** Generalna konferencija za tegove i mere (CGPM), „Publikacija SI“, Međunarodni sistem jedinica (SI), definišuća konstanta, osnovna jedinica SI, brzina svetlosti u vakuumu, Plankova konstanta, elementarno naelektrisanje, Bolcmanova konstanta, Avogadrova konstanta, svetlosna efikasnost, sekunda, metar, kilogram, amper, kelvin, mol, kandela.

## 1 Uvod

Sadašnji Međunarodni sistema jedinica (SI) je nastao njegovom možda najznačajnijom revizijom do sada. Ova revizija je izglasana na 26. Generalnoj konferenciji za tegove i mere (CGPM) novembra 2018. godine. Revizijom su promenjene definicije osnovnih jedinica SI koje su sada suštinski drugačije od prethodnih. Sada se sedam osnovnih jedinica definišu korišćenjem samo sedam „definišućih konstanti“ čije se vrednosti uzimaju za savršeno tačne. Definicije su objavljene u 9. izdanju „Publikacije SI“ koja se primenjuje od 20. maja 2019. godine.

Kao i u prethodnim revidiranjima SI, prelaz na sadašnje definicije je obavljen tako da su [merenja zasnovana na prethodnim jedinicama ostala važeća u granicama njihovih mernih nesigurnosti](#). Zahvaljujući tome, revidiranje nije proizvelo primetni uticaj na svakodnevni život.



**Slika 2.1.** Osnovne jedinice SI su definisane korišćenjem samo skupa sa sedam definišućih konstanti (datih u spoljnim krugovima) čije se vrednosti uzimaju za tačne. Svaka osnovna jedinica je definisana ili korišćenjem odgovarajuće definišuće konstante iz pomenutog skupa, ili korišćenjem konstante iz tog skupa i drugih osnovnih jedinica koje su takođe definisane korišćenjem konstanti iz tog skupa. Videti tabelu 2.1.

**Tabela 2.1** Definicije osnovnih jedinica SI [SI] 2.2, 2.3.1

Definišuća konstanta			
Oznaka	Definicija		
$f_{\text{Cs}}$	Frekvencija zračenja proizvedenog pri prelazu između dva hiperfina nivoa atoma cezijuma 133, u nepobuđenom osnovnom stanju, je tačno 9 192 631 770 Hz.		
$c$	Brzina svetlosti u vakuumu je tačno 299 792 458 m / s.		
$h$	Plankova konstanta je tačno $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ J · s.		
$e$	Elementarno naelektrisanje je tačno $1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$ C.		
$k$	Bolcmanova konstanta je tačno $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$ J / K.		
$N_{\text{A}}$	Avogadrova konstanta je tačno $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ navedenih elementarnih jedinica po molu.		
$K_{\text{cd}}$	Svetlosna efikasnost monohromatske svetlosti frekvencije $540 \cdot 10^{12}$ Hz je tačno 683 lm / W.		
Definicija osnovne jedinice SI			
Naziv osnovne veličine SI	Osnovna jedinica SI		
	Naziv	Oznaka	Definicija
vreme	sekunda	s	$1 \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{f_{\text{Cs}}}$
dužina	metar	m	$1 \text{ m} = \frac{c}{299\,792\,458} \text{ s}$
masa	kilogram	kg	$1 \text{ kg} = \frac{h}{6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}} \frac{\text{s}}{\text{m}^2}$
električna struja	amper	A	$1 \text{ A} = \frac{e}{1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}} \frac{1}{\text{s}}$
termodinamička temperatura	kelvin	K	$1 \text{ K} = \frac{1,380\,649 \cdot 10^{-23}}{k} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
količina supstance	mol	mol	$1 \text{ mol} = \frac{6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}}{N_{\text{A}}}$
svetlosna jačina	kandela	cd	$1 \text{ cd} = \frac{K_{\text{cd}}}{683} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3 \cdot \text{sr}}$

## 2 Osnovne jedinice SI

Sedam osnovnih jedinica SI su definisane korišćenjem samo sedam definišućih konstanti. Za **definišuće konstante** je uzeto sedam fundamentalnih fizičkih konstanti koje su visoke reproduktivnosti. Za vrednosti tih konstanti su uzete vrednosti za koje je utvrđeno da su dobro procene u vreme neposredno pre donošenja odluke o revidiranju SI. Tako je SI skaliran na sedam fizičkih konstanti koje su time postale savršeno tačne. Videti sliku 2.1 i tabelu 2.1. Referentne definicije osnovnih jedinica su objavljene u „Publikaciji SI“, videti [SI].

Sadašnje definicije osnovnih jedinica SI su donele važne pogodnosti. Najznačajnije su:

- 1) veliki broj fizičkih konstanti su postale ili tačno poznate, ili poznate sa većom tačnošću
- 2) vrednosti veličina koje su mnogo manje ili mnogo veće od osnovnih jedinica se mogu izmeriti sa nesmanjenom tačnošću
- 3) metrologija mase je oslobođena od osnovne jedinice zasnovane na etalonu mase koji se nesumnjivo menja tokom vremena
- 4) mogućnost korišćenja Džozefsonove pojave i kvantne Holove pojave za neposredno ostvarivanje definicija većine električnih jedinica
- 5) definicija kelvina sada ne upućuje na vodu definisanog izotopskog sastava.

Neke od posledica sadašnjih definicija su da sledeće konstante nisu tačno poznato, pa se moraju izmeriti:

- 1) električna konstanta, magnetska konstanta i karakteristična impedansa vakuuma
- 2) temperatura trojne tačke vode
- 3) molarna masa ugljenika 12.

U narednom tekstu je dato tumačenje definicija osnovnih jedinica.

**Sekunda** je trajanje od 9 192 631 770 perioda zračenja proizvedenog pri prelazu između dva hiperfina nivoa atoma cezijuma 133 kada bi bio potpuno nepobuđen, u mirovanju i u odsustvu električnog i magnetskog polja.

Ovako definisana sekunda je jedinica vremena u skladu sa opštom teorijom relativnosti. Značajni relativistički i drugi uticaji, koje definicija sekunde isključuje, moraju se proceniti i izvršiti korekcija da bi se dobila sopstvena vrednost sekunde na mestu ostvarivanja, na primer, na priključku etalona frekvencije. Značajni uticaji potiču od Doplerovog efekta usled kretanja atoma, termičkog zračenja okoline, i drugih efekata u vezi sa konstrukcijom instrumenata.

**Metar** je dužina putanje koju u vakuumu pređe svetlost za vreme od  $\frac{1}{299792458}$  sekunde.

**Kilogram** je masa koja ima vrednost jednaku Plankovoj konstanti podeljenoj sa  $6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 / \text{s}$ .

**Amper** je stalni protok, kroz navedenu površinu, od  $\frac{1}{1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}}$  elementarnih naelektrisanja u sekundi.

**Kelvin** je promena termodinamičke temperature koja proizvede promenu energije  $k \cdot T$  za  $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$  J. Skala temperature u kelvinima,  $T$ , ima nulu na teoretski najnižoj temperaturi (koja je nedostižna) na kojoj je kinetička energija molekula jednaka nuli.

**Termodinamička temperatura (temperatura)** je veličina proporcionalna prosečnoj kinetičkoj energiji jedinki koje razmatramo kao celine. Jedinke mogu biti bilo šta, na primer: elektroni, molekuli, tegovi od 1 kg.

Temperatura izražena u kelvinima,  $T$ , pri prosečnoj kinetičkoj energiji  $\bar{E}$  po stepenu slobode jedinki koje razmatramo kao celine, data je obrascem  $T = 2 \cdot \frac{\bar{E}}{k}$ .

**Mol** je količina supstance od  $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$  elementarnih jedinki.

Kada se koristi mol, navode se konkretna supstanca i elementarna jedinka. Jedinaka može biti: elektron, jon, atom, molekul i druge čestice ili grupe tih čestica.

**Kandela** je svetlosna jačina izvora monohromatske svetlosti frekvencije  $540 \cdot 10^{12}$  herca (talasna dužina 555 nm) u određenom smeru u kome ima jačinu zračenja jednaku  $\frac{1}{683}$  vata po steradianu.

**Steradian** je prostorni ugao ograničen proizvoljnom konusnom površinom, ali koja je takva da obuhvata površinu od  $1 \text{ m}^2$  na sferi sa poluprečnikom od 1 m i sa centrom na vrhu te konusne površine.

Osnovnu jedinicu je moguće ostvariti samo etalonom u lokalnom prostoru u kome se radi merenja poredi sa drugom veličinom koja je u tom prostoru. Tada je vrednost ostvarene jedinice sopstvena vrednost koja se koristi za izražavanje rezultata merenja.

Definicije osnovnih jedinica ne ograničavaju načine ostvarivanja jedinica. (Za sada je izuzetak definicija sekunde čiji primarni etalon, ne i drugi etaloni, mora da koristi mikrotalasno zračenje atoma cezijuma 133.) Jedinica se može ostvariti na bilo koji način koji obezbeđuje dovoljnu tačnost i koji daje vrednost veličine sledivu do sedam definišućih konstanti. U Dodatku 2, „Publikacije SI“, date su osnove za ostvarivanje osnovnih i drugih važnih jedinica. Videti [SI realization].

Osnovne kao i izvedene jedinice može da ostvari svako ko može da obavi dovoljno tačna merenja posredstvom definišućih konstanti.

### 3 Termini

**Definicija** pojma je određenje tog pojma.

**Dobra procena** je vrednost procenjena po određenim zahtevima i na osnovu raspoloživih podataka.

**Etalon** je merna sprava kojom se ostvaruje, reprodukuje ili određuje vrednost veličine da bi se koristila kao osnova za merenja.

**Fizička konstanta** (ili **univerzalna konstanta**, ili **iskustvena konstanta**) je vrednost veličine koja je ista u istim uslovima.

**Fundamentalna fizička konstanta (fundamentalna konstanta)** je fizička konstanta koja ima visoku reproduktivnost.

**Izvor sledivosti** je veličina koja je na početku lanca sledivosti.

**Konstanta** je vrednost koja se smatra nepromenljivom u toku određenog razmatranja.

**Lanac sledivosti** je neprekidan niz etaloniranja i sledivih rezultata tih etaloniranja.

**Lokalni prostor** je (mali) prostor sa ujednačenim gravitacionim poljem bilo kog intenziteta, na bilo kom mestu, u relativnom mirovanju ili kretanju.

**Metrološka sledivost (sledivost)** je odlika rezultata merenja koja znači da specifikacija njegove kombinovane standardne nesigurnosti obuhvata nesigurnosti svih njegovih komponentnih vrednosti počevši od izvora sledivosti.

**Opšta teorija relativnosti** je teorija koja potpuno opisuje gravitaciju, prostor i vreme.

**Prosek** vrednosti je aritmetička sredina tih vrednosti.

**Reproduktivnost rezultata merenja (reproduktivnost)** označava bliskost rezultata merenja iste veličine u promenjenim uslovima merenja.

**Rezultat merenja (krajnji rezultat merenja, ili izmerena vrednost, ili procenjena vrednost)** je vrednost pripisana merenoj veličini na osnovu jednog ili više rezultata merenja.

**Sopstvena vrednost** (eng. *proper value*) je vrednost veličine koja je ostvarena u lokalnom prostoru, u kome se radi merenja poredi sa drugom veličinom koja je u tom prostoru.

**Tačnost vrednosti (tačnost)** je kvalitativni pojam koji znači bliskost ove vrednosti i referentne vrednosti.

## 4 Reference

Ian M. Mills, Peter J. Mohr, Terry J. Quinn, Barry N. Taylor, Edwin R. Williams; *Redefinition of the kilogram, ampere, kelvin and mole: a proposed approach to implementing CIPM recommendation 1 (CI-2005)*; *Metrologia*, Vol. 43, No. 3, 2006.

D. B. Newell, F. Cabiati, J. Fischer, K. Fujii, S. G. Karshenboim, H. S. Margolis, E. de Mirandés, P. J. Mohr, F. Nez, K. Pachucki; *The CODATA 2017 values of  $h$ ,  $e$ ,  $k$ , and  $N_A$  for the revision of the SI*; *Metrologia*, Vol. 55, No. 1, 2018.

[SI] BIPM; *The International System of Units (SI) (9th ed.)*, [Preface...](#), [1](#), [2.2](#), [2.3.1](#), [2.3.4](#); *International Committee for Weights and Measures*, 2019. (Downloadable via Internet site of the BIPM: <http://www.bipm.org/>.)

[SI realization] BIPM; *The International System of Units (SI) (9th ed.)*, Appendix 2, *Practical realization of the definitions of some important units*, [Mise en pratique for the definition of the second in the SI](#); *International Committee for Weights and Measures*, 2019. (Appendix 2 is published in electronic form only, and is downloadable via Internet site of the BIPM: [www.bipm.org](http://www.bipm.org/).)

Claude Audoin, Bernard Guinot; *The Measurement of Time: Time, Frequency and the Atomic Clock*, [3](#); Cambridge University Press, Cambridge, 2001.

Richard P. Feynman, Robert B. Leighton, Matthew Sands; *The Feynman Lectures on Physics, Volume I*, [39-4](#), [39-5](#); Basic Books, Philadelphia, 2010.

Komunikacija sa inž. Sinišom Hristovim, nezavisnim razvojnim inženjerom, Niš.

S. Klioner, N. Capitaine, W. Folkner, B. Guinot, T.-Y. Huang, S. Kopeikin, E. Pitjeva, P. K. Seidelmann, M. Soffel; *Units of relativistic time scales and associated quantities*; *IAU Symposium 261: Relativity in Fundamental Astronomy: Dynamics, Reference Frames, and Data Analysis*, Virginia Beach, 2009.