



Međunarodni sustav jedinica

SI

8. izdanje
2006.

Međunarodni
ured
za utege
i mjere

Međunarodna
organizacija
Dogovora
o metru

ΒΙΡΜ



ΜΕΤΡΩ ΧΡΩ



**Međunarodni sustav
jedinica (SI)**

**Le Système International
d'Unités (SI)**

**Međunarodni ured
za utege i mjere**

**Međunarodni sustav
jedinica
(SI)**

**Le Système International
d'Unités
(SI)**

8. izdanje 2006. godine

**Međuvladina organizacija
Dogovora o metru**

Napomena za uporabu engleskog teksta

Kako bi što bolje predstavio svoj rad, Međunarodni odbor za utege i mjere objavio je englesku inačicu tih dokumenata. Čitatelji moraju imati na umu da je službeni tekst međutim uvijek onaj koji je napisan na francuskome jeziku. Taj je tekst mjerodavan ako je nužno upućivanje ili ako postoji sumnja o tumačenju teksta.

Potpuni ili djelomični prijevodi ove brošure (ili njezinih prethodnih izdanja) objavljeni su na različitim jezicima i to na bugarskome, češkome, engleskome, japanskome, kineskome, korejskome, njemačkome, portugalskome, rumunjskome i španjolskome jeziku. ISO je kao i brojne države tiskao norme i upute za uporabu SI jedinica.

NASLOV IZVORNIKA:

Le Système International d'Unités • The International System of Units

NAKLADNIK: *Državni zavod za mjeriteljstvo* • ZA IZDAVAČA: *Mirko Vuković* • PREVEO S ENGLSKOG JEZIKA: *Mirko Vuković* • LEKTORIRAO, IZVRŠIO PREGLED PRIJEVODA I USKLAĐENJE S FRANCUSKIM IZVORNIKOM: *Luka Vukojević* • KORIGIRAO: *Domagoj Škarica* • PRIPREMA SLOGA: *LASERplus d.o.o., Zagreb* • Zagreb, studenoga 2007.

ISBN 978-953-6783-04-5

BIPM i Dogovor o metru

Međunarodni ured za utege i mjere (Bureau International des Poids et Mesures; BIPM) osnovan je Dogovorom o metru (franc.: Convention du Metre) koji je tijekom završne sjednice Diplomatske konferencije o metru u Parizu 20. svibnja 1875. godine potpisalo sedamnaest država. Taj je dogovor 1921. godine dopunjen dodatkom.

Sjedište BIPM-a nalazi se u blizini Pariza, na zemljištu (43 520 m²) Pavillona de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) koji mu je na raspolaganje stavila francuska vlada; njegovo održavanje zajednički financiraju zemlje članice Dogovora o metru.

Zadatak je BIPM-a osigurati svjetsko ujednačivanje fizikalnih mjera; on je dakle zadužen:

- za uspostavljanje temeljnih etalona i mjernih ljestvica glavnih fizikalnih veličina i održavanje međunarodnih pramjera
- za provođenje usporedbe nacionalnih i međunarodnih etalona
- za osiguranje usklađivanja odgovarajućih mjernih metoda
- za provođenje i usklađivanje mjerenja temeljnih fizikalnih stalnica koje su bitne za te djelatnosti.

BIPM djeluje pod isključivim nadzorom Međunarodnog odbora za utege i mjere (CIPM), koji djeluje pod okriljem Opće konferencije za utege i mjere (CGPM) i izvješćuje ju o radu koji provodi BIPM.

Izaslanici iz svih zemalja članica Dogovora o metru prisustvuju Općoj konferenciji koja se trenutačno sastaje svake četiri godine. Svrha je tih sastanaka:

- rasprava i poticanje potrebnih mjera za osiguranje širenja i poboljšavanja međunarodnog sustava jedinica (SI), koji je suvremeni oblik metričkog sustava
- potvrđivanje rezultata novih temeljnih mjeriteljskih određivanja i prihvaćanje različitih znanstvenih zaključaka od međunarodne važnosti
- prihvaćanje svih važnih odluka koje se odnose na financije, ustrojstvo i razvoj BIPM-a.

Međunarodni je odbor sastavljen od osamnaest članova od kojih su svi iz različitih država; on se trenutačno sastaje svake godine. Ured tog odbora podnosi vladama država članica Dogovora o metru godišnji izvještaj o upravnome i financijskome stanju BIPM-a. Glavna je svrha CIPM-a osigurati svjetsku ujednačenost mjernih jedinica. On to čini izravnim djelovanjem ili podnošenjem prijedloga CGPM-u.

Djelatnost BIPM-a, koja je na početku bila ograničena na mjere duljine i mase te mjeriteljska proučavanja koja se odnose na te veličine, proširena je na mjerne etalone u području elektriciteta (1927.), fotometrije i radiometrije (1937.), ionizacijskih zračenja (1960.), vremenske ljestvice (1988.) i kemije (2000.). U tu su svrhu prvi laboratoriji koji su izgrađeni od 1876. do 1878. godine bili 1929. godine prošireni, od 1963. do 1964. izgrađene su nove zgrade za laboratorije za ionizacijsko zračenje, 1984. za rad na laserima, a 1988. godine otvorena je nova zgrada za knjižnicu, urede i prostorije za sastanke.

Na dan 31. prosinca 2005. godine bila je pedeset i jedna zemlja članica Dogovora o metru:

Argentina, Australija, Austrija, Belgija, Brazil, Bugarska, Republika Češka, Čile, Danska, Demokratska Republika Koreja, Dominikanska Republika, Egipat, Finska, Francuska, Indija, Indonezija, (Islamska Republika) Iran, Irska, Italija, Izrael, Japan, Južna Afrika, Kamerun, Kanada, Mađarska, Malezija, Meksiko, Narodna Republika Kina, Nizozemska, Norveška, Novi Zeland, Njemačka, Pakistan, Poljska, Portugal, Republika Koreja, Rumunjska, Ruska Federacija, SAD, Slovačka, Španjolska, Srbija i Crna Gora, Švedska, Švicarska, Tajland, Turska, Ujedinjeno Kraljevstvo, Urugvaj i Venezuela.

Dvadeset država i gospodarskih entiteta bili su pridruženi članovi Opće konferencije: Bjelorusija, CARICOM, Ekvator, Estonija, Filipini, Hong Kong (Kina), Hrvatska, Jamajka, Kazahstan, Kenija, Kineski Tajpei, Kostarika, Kuba, Latvija, Litva, Malta, Panama, Slovenija, Ukrajina i Vijetnam.

U laboratorijima BIPM-a radi oko četrdeset pet fizičara i tehničara. Oni uglavnom provode mjeriteljska istraživanja, međunarodne usporedbe ostvarenja jedinica i umjeravanje etalona. U godišnjemu izvještaju, *Izvještaju ravnatelja o djelatnosti Međunarodnog ureda za utege i mjere i upravljanju njime* daju se pojedinosti o radu koji je u tijeku.

S obzirom na proširenje posla koji je povjeren BIPM-u 1927. godine, CIPM je pod nazivom *savjetodavni odbori* osnovao tijela koja će mu davati obavijesti o pitanjima koje im on upućuje na proučavanje i mišljenje. Ti savjetodavni odbori, koji za proučavanje posebnih predmeta mogu osnivati privremene ili trajne radne skupine, odgovorni su za usklađivanje međunarodnog rada koji se provodi na njihovim područjima i predlažu preporuke CIPM-u koje se odnose na jedinice.

Savjetodavni odbori imaju opća pravila (PV, 1963, **31**, 97). Oni se ne sastaju u pravilnim vremenskim razmacima. Predsjednika svakoga savjetodavnog odbora, koji je obično član CIPM-a, imenuje CIPM. Članovi su savjetodavnih odbora mjeriteljski laboratoriji i specijalizirani instituti, čiji je popis ustanovio CIPM, koji šalju izaslanike po svojem izboru. Osim toga oni obuhvaćaju pojedinačne članove koje pojedinačno imenuje CIPM i jednoga predstavnika BIPM-a (Kriteriji za članstvo u savjetodavnim odborima, BIPM Proc-Verb. Com. Int. Poids et Mesures, 1996, **64**, 124). Trenutačno postoji deset takvih odbora:

1. Savjetodavni odbor za elektricitet i magnetizam (CCEM), novo ime dano 1997. godine Savjetodavnomu odboru za elektricitet (CCE) osnovanu 1927. godine
2. Savjetodavni odbor za fotometriju i radiometriju (CCPR), novo ime dano 1971. godine Savjetodavnomu odboru za fotometriju osnovanu 1933. godine [između 1930. i 1933. godine pitanjima koja se odnose na fotometriju bavio se odbor (CCE)]
3. Savjetodavni odbor za termometriju (CCT), osnovan 1937. godine
4. Savjetodavni odbor za duljinu (CCL), novo ime dano 1997. godine Savjetodavnomu odboru za definiciju metra (CCDM) osnovanu 1952. godine
5. Savjetodavni odbor za vrijeme i frekvenciju (CCTF), novo ime dano 1997. godine Savjetodavnomu odboru za definiciju sekunde (CCDS) osnovanu 1956. godine
6. Savjetodavni odbor za ionizacijsko zračenje (CCRI), novo ime dano 1997. godine Savjetodavnomu odboru za etalone ionizacijskog zračenja (CCEMRI) osnovanu 1958. godine (1969. godine taj je odbor uspostavio četiri odsjeka: odsjek I. (mjerjenje X i γ -zraka, elektrone), odsjek II. (mjerjenje radionuklida), odsjek III. (mjerjenja neutrona), odsjek IV. (etalone α -energije). Odsjek IV. raspušten je 1975. godine, a odsjek II. postao je odgovoran za njegovo područje djelovanja)
7. Savjetodavni odbor za jedinice (CCU) osnovan 1964. (Taj je odbor zamijenio Povjerenstvo za sustav jedinica koje je CIPM osnovao 1954. godine.)
8. Savjetodavni odbor za masu i srodne veličine (CCM), osnovan 1980. godine
9. Savjetodavni odbor za količinu tvari: Mjeriteljstvo u kemiji (CCQM) osnovan 1993. godine
10. Savjetodavni odbor za akustiku, ultrazvuk i vibracije (CCAUV), osnovan 1999. godine

Rasprave Opće konferencije i Međunarodnog odbora objavljuje BIPM u ovim periodičnim izdanjima:

- *Comptes rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CR)*
- *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures (PV)*

CIPM je 2003. godine odlučio da izvještaje sa sastanaka savjetodavnih odbora više ne tiska nego da se na njihovu izvornome jeziku stavljaju na mrežnu stranicu BIPM-a.

BIPM također objavljuje monografije o posebnim mjeriteljskim predmetima i, pod naslovom *Međunarodni sustav jedinica (SI)*, brošuru koja se periodično posuvremenjuje, a u kojoj su sabrane sve odluke i preporuke koje se odnose na jedinice.

Zbirka *Travaux et Memoires du Bureau International des Poids et Mesures* (između 1881. i 1966. objavljena su 22 sveska) i *Recueil de Travaux du Bureau International des Poids et Mesures* (između 1966. i 1998. objavljeno je 11 svezaka) prekinuta je odlukom CIPM-a.

Znanstveni radovi BIPM-a objavljuju se u znanstvenoj literaturi, a godišnji popis tih radova daje se u *Izveštaju ravnatelja o djelatnosti Međunarodnog ureda za utege i mjere i upravljanju njime*.

Od 1965. godine međunarodni časopis *Metrologia*, koji se izdaje pod pokroviteljstvom CIPM-a, objavljuje članke o važnijim radovima iz znanstvenog mjeriteljstva, o poboljšanju mjernih metoda, radu na etalonima i jedinicama te izvještaje koji se odnose na djelatnosti, odluke i preporuke različitih tijela koja su osnovana u okviru Dogovora o metru.

Međunarodni sustav jedinica

Sadržaj

BIPM i Dogovor o metru	5
Predgovor 8. izdanju	11
1 Uvod	13
1.1 Veličine i jedinice	13
1.2 Međunarodni sustav jedinica (SI) i odgovarajući sustav veličina	14
1.3 Dimenzije veličina	15
1.4 Suvisle jedinice, izvedene jedinice s posebnim nazivima i predmetci SI jedinica	16
1.5 SI jedinice u okviru opće teorije relativnosti	16
1.6 Jedinice za veličine koje opisuju biološka djelovanja	17
1.7 Zakonodavstvo o jedinicama	17
1.8 Povijesna bilješka	18
2 SI jedinice	20
2.1 Osnovne jedinice SI-a	20
2.1.1 Definicije	20
2.1.1.1 Jedinica duljine (metar)	21
2.1.1.2 Jedinica mase (kilogram)	21
2.1.1.3 Jedinica vremena (sekunda)	21
2.1.1.4 Jedinica električne struje (amper)	22
2.1.1.5 Jedinica termodinamičke temperature (kelvin)	22
2.1.1.6 Jedinica količine tvari (mol)	23
2.1.1.7 Jedinica svjetlosne jakosti (kandela)	24
2.1.2 Znakovi za sedam osnovnih jedinica	25
2.2 Izvedene jedinice SI-a	25
2.2.1 Jedinice koje se izražavaju s pomoću osnovnih jedinica	25
2.2.2 Jedinice s posebnim nazivima i znakovima; jedinice koje uključuju jedinice s posebnim nazivima i znakovima	26
2.2.3 Jedinice za nedimenzijske veličine, koje se također nazivaju veličinama dimenzije jedan	29
3 Desetični višekratnici i nižekratnici SI jedinica	30
3.1 SI predmetci	30
3.2 Kilogram	31

4 Jedinice izvan Međunarodnog sustava	32
4.1 Jedinice izvan SI-a koje su prihvaćene za uporabu sa SI-em i jedinice koje se temelje na temeljnim stalnicama	32
4.2 Druge jedinice izvan SI-a koje se ne preporučuju za uporabu	38
5 Pisanje naziva i znakova jedinica i izražavanje vrijednosti veličina	39
5.1 Znakovi jedinica	39
5.2 Nazivi jedinica	40
5.3 Pravila i način pisanja vrijednosti veličina	40
5.3.1 Vrijednost i brojčana vrijednost veličine i uporaba računa s veličinama	40
5.3.2 Znakovi veličina i jedinica	41
5.3.3 Pisanje vrijednosti veličine	42
5.3.4 Pisanje brojeva i desetičnog znaka	42
5.3.5 Izražavanje mjerne nesigurnosti vrijednosti veličine	42
5.3.6 Množenje ili dijeljenje znakova veličina, vrijednosti veličina ili brojeva	43
5.3.7 Iskazivanje vrijednosti nedimenzijskih veličina ili veličina dimenzije jedan	43
Dodatak 1. – Odluke CGPM-a i CIPM-a	45
Dodatak 2. – Praktično ostvarenje definicija nekih važnih jedinica	79
Dodatak 3. – Jedinice za fotokemijske i fotobiološke veličine	80
Popis kratica	82
Kazalo	84

Predgovor 8. izdanju

Zadovoljstvo nam je predstaviti 8. izdanje ove publikacije, koja se općenito naziva SI brošura, koja definira i prikazuje Međunarodni sustav jedinica (SI). Ova je brošura objavljena kao tiskovina, a dostupna je i u elektroničkome obliku na mrežnoj stranici www.bipm.org/en/si/si_brochure/.

Od 1970. godine Međunarodni ured za utege i mjere (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) objavio je sedam prijašnjih izdanja ovoga dokumenta. Glavna mu je svrha definirati i promicati SI koji se od njegova prihvatanja 1948. godine odlukom 9. opće konferencije za utege i mjere (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM) u svijetu upotrebljava kao glavni jezik znanosti i tehnike.

SI je naravno živ sustav koji se razvija i koji odražava trenutačnu najbolju mjeriteljsku praksu. Ovo 8. izdanje prema tomu sadržava velik broj promjena od prethodnog izdanja. Kao i prije, u njemu se daje popis definicija svih osnovnih jedinica i svih zaključaka i preporuka Opće konferencije za utege i mjere i Međunarodnog odbora za utege i mjere (Comité International des Poids et Mesures, CIPM) koje se odnose na Međunarodni sustav jedinica. Službene uputnice na odluke CGPM-a i CIPM-a nalaze se u periodičnim izdanjima *Comptes rendus* CGPM-a (CR) i *Procès-Verbaux* CIPM-a (PV); mnoge od njih također su objavljene u *Metrologiji*. Da bi se pojednostavnila praktična uporaba sustava, ovaj tekst daje objašnjenja tih odluka, a prvo poglavlje daje opći uvod u uspostavljanje sustava jedinica i posebno SI-a. Definicije i praktična ostvarenja svih jedinica također se razmatraju u sklopu opće teorije relativnosti. Prvi put je uključena kratka rasprava o jedinicama pridruženim biološkim veličinama.

U dodatku 1. kronološkim se redom pretiskavaju sve odluke (zaključci, preporuke, izjave) koje su CGPM i CIPM proglasili od 1889. godine o mjernim jedinicama i međunarodnome sustavu jedinica.

Dodatak 2. postoji samo u elektroničkome obliku koji je dostupan na mrežnoj stranici www.bipm.org/en/si/si_brochure/appendix2/. On u općim crtama daje praktično ostvarenje nekih važnih jedinica u skladu s definicijama danim u glavnome tekstu koje mjeriteljski laboratoriji mogu primjenjivati za ostvarivanje fizikalnih jedinica i za umjeravanje tvornih etalona i mjerila najveće kakvoće. Taj će se dodatak redovito posuvremenjivati kako bi odražavao poboljšanja u eksperimentalnim metodama ostvarivanja jedinica.

Dodatak 3. prikazuje jedinice koje se upotrebljavaju za mjerenje aktiničnih djelovanja u biološkim tvarima.

Savjetodavni odbor za jedinice (Comité Consultatif des Unités, CCU) odgovoran je za sastavljanje ovoga dokumenta, a konačni su tekst odobrili CCU i CIPM. Ovo 8. izdanje preradba je 7. izdanja (1998.); ono uzima u obzir odluke koje su od objavljivanja 7. izdanja donijeli CGPM i CIPM.

Ovaj se dokument više od tridesetpet godina upotrebljava kao referentni rad u mnogim državama, organizacijama i znanstvenim udrugama. Da bi se njegov sadržaj učinio dostupnim većemu broju čitatelja, CIPM je 1985. godine odlučio u 5. izdanje uključiti i en-

glesku verziju teksta; taj se dvostruki prikaz nastavlja u svim potonjim izdanjima. Za prvu englesku verziju BIPM je nastojao izraditi vjeran prijevod francuskog izvornika tijesnom suradnjom s Nacionalnim laboratorijem za fiziku (National Physical Laboratory, Teddington, Ujedinjeno Kraljevstvo) i Nacionalnim institutom za etalone i tehnologiju (National Institute for Standards and Technology, Gaithersburg, SAD) (u to vrijeme Nacionalni ured za etalone). Za ovo izdanje francusku i englesku verziju priredio je CCU u suradnji s BIPM-om.

Godine 2003., na temelju odluke CIPM-a iz 1997. godine, 22. CGPM odlučio je da "desetični znak mora biti točka ili zarez". Na temelju te odluke i običaja u dva jezika u ovom se izdanju kao desetični znak u engleskome tekstu upotrebljava točka, a u francuskome zarez. To nema nikakve posljedice za prijevod desetičnog znaka u druge jezike. Treba napomenuti da se u zemljama engleskoga govornog područja u pisanju pojavljuju male jezične varijacije (npr. "metre" i "meter", "litre" i "liter"). U takvim slučajevima ovdje dan engleski tekst slijedi međunarodnu normu ISO 31, *Veličine i jedinice*.

Čitateljima treba napomenuti da je službeni tekst uvijek francuski tekst. On se mora upotrebljavati kad se zahtijevaju mjerodavna upućivanja ili kad postoji sumnja u tumačenju teksta.

Ožujak, 2006.



E. Göbel
Predsjednik CIPM-a



I. M. Mills
Predsjednik CCU-a



A. J. Wallard
Direktor BIPM-a

1 Uvod

1.1 Veličine i jedinice

Vrijednost se veličine općenito izražava kao umnožak broja i jedinice. Jedinica je jednostavno poseban primjerak dotične veličine koji se upotrebljava kao referencija, a broj je omjer vrijednosti veličine i jedinice. Za posebnu veličinu može se upotrebljavati više različitih jedinica. Naprimjer, brzina v čestice može se izraziti u obliku $v = 25 \text{ m/s} = 90 \text{ km/h}$, gdje su metar u sekundi i kilometar u satu alternativne jedinice za izražavanje vrijednosti iste veličine brzine. Međutim zbog važnosti skupa dobro definiranih i lako dostupnih jedinica univerzalno dogovorenih za većinu mjerenja na koja se oslanja današnje složeno društvo jedinice treba birati tako da budu svima lako dostupne, da budu vremenski i prostorno nepromjenjive te da se lako ostvaruju s visokom točnošću.

Kako bi se uspostavio sustav jedinica kao što je Međunarodni sustav jedinica (SI), potrebno je najprije uspostaviti sustav veličina i jednačaba koje određuju odnose između tih veličina. To je potrebno jer jednačbe između veličina određuju jednačbe koje povezuju jedinice, kako je opisano u nastavku. Također je prikladno odabrati definicije za manji broj jedinica koje nazivamo *osnovnim jedinicama* i nakon toga za sve druge veličine definirati jedinice kao umnoške potencija osnovnih jedinica koje nazivamo *izvedenim jedinicama*. Na sličan se način odgovarajuće veličine opisuju kao *osnovne veličine* i *izvedene veličine*, a jednačbe koje daju izvedene veličine s pomoću osnovnih veličina upotrebljavaju se za određivanje izraza za izvedene jedinice s pomoću osnovnih jedinica (vidi točku 1.4 u nastavku). Prema tomu u logičkome razvoju ovoga predmeta prvo se odabiru veličine i jednačbe koje povezuju te veličine, a nakon toga jedinice.

Sa znanstvenog stajališta podjela veličina u osnovne i izvedene stvar je dogovora, a nije bitna za fiziku predmeta. Za odgovarajuće je jedinice međutim važno da se svaka osnovna jedinica definira s posebnom pozornošću kako bi se zadovoljili zahtjevi koji su u općim crtama dani u prvome stavku jer one osiguravaju temelj za cijeli sustav jedinica. Tada iz jednačaba kojima se s pomoću osnovnih veličina definiraju izvedene veličine proizlaze definicije izvedenih jedinica s pomoću osnovnih jedinica. Prema tomu uspostavljanje sustava jedinica, što je predmet ove brošure, tijesno je povezano s algebarskim jednačbama koje povezuju odgovarajuće veličine.

Broj se izvedenih veličina za koje postoji interes u znanosti i tehnici naravno može neograničeno širiti. Kako se razvijaju nova područja znanosti, istraživači smisle nove veličine za koje postoji interes u tome području, a s tim novim veličinama dolaze nove jednačbe koje ih povezuju s otprije poznatim veličinama i konačno s osnovnim veličinama. Na taj se način uvijek mogu definirati izvedene jedinice koje se trebaju upotrebljavati s tim novim veličinama kao umnošci potencija prije odabranih osnovnih jedinica.

Nazivi **veličina** i **jedinica** definirani su u *Međunarodnome rječniku osnovnih i općih naziva u mjeriteljstvu* (VIM).

Veličina brzina (v) može se izraziti s pomoću veličina duljine (x) i vremena (t) jednačbom $v = dx/dt$. U većini sustava veličina i jedinica duljina x i vrijeme t smatraju se osnovnim veličinama za koje se kao osnovne jedinice mogu odabrati metar (m) i sekunda (s). Brzina v tada se uzima kao izvedena veličina s izvedenom jedinicom metrom u sekundi (m/s).

Naprimjer, u elektrokemiji električna pokretljivost iona (u) definira se kao omjer njihove brzine v i jakosti električnoga polja (E): $u = v/E$. Izvedena jedinica za električnu pokretljivost tada je dana kao $(\text{m/s})/(\text{V/m}) = \text{m}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$, u jedinicama koje se mogu lako povezati s odabranim osnovnim jedinicama (V je znak za izvedenu SI jedinicu volt).

1.2 Međunarodni sustav jedinica (SI) i odgovarajući sustav veličina

Ova se brošura bavi prikazom podataka potrebnih za definiranje i uporabu Međunarodnog sustava jedinica koji je općenito poznat pod nazivom SI (od francuskog naziva *Système International d'Unités*). SI je uspostavila i definirala Opća konferencija za utege i mjere (CGPM) (vidi povijesnu bilješku u odsječku 1.8 u nastavku)*.

Naziv Međunarodni sustav jedinica i kraticu SI odredio je 11. CGPM 1960. godine.

Sustav veličina, uključujući jednadžbe koje povezuju veličine koje se upotrebljavaju sa SI, u stvari su upravo fizikalne jednadžbe koje su dobro poznate svim znanstvenicima, tehničarima i inženjerima. One se navode u mnogim knjigama i referentnim publikacijama, ali svaki takav popis može biti samo neki izbor mogućih veličina i jednačaba koji je neograničen. Velik broj veličina, njihovih preporučenih naziva te znakova i jednačaba koje ih povezuju dani su u međunarodnim normama ISO 31 i IEC 60027 koje je izradio Tehnički odbor 12 Međunarodne organizacije za normizaciju i Tehnički odbor 25 Međunarodnog elektrotehničkog povjerenstva IEC/TC 25. Norme ISO 31 i IEC 60027 trenutačno zajednički prerađuju te dvije organizacije. Prerađena usklađena norma imat će oznaku ISO/IEC 80000, *Veličine i jedinice*, u kojoj će biti predloženo da se veličine i jednadžbe koje se upotrebljavaju sa SI-em nazovu međunarodnim sustavom veličina.

Primjeri su jednačaba koje povezuju veličine koje se upotrebljavaju u SI-u
Newtonova jednadžba tromosti koja povezuje silu (F) s masom (m) i ubrzanjem (a) čestice: $F = ma$ i jednadžba koja daje kinetičku energiju T čestice koja se kreće brzinom v :
 $T = mv^2/2$.

Osnovne veličine koje se upotrebljavaju u SI-u jesu duljina, masa, vrijeme, električna struja, termodinamička temperatura, količina tvari i svjetlosna jakost. Osnovne veličine dogovorno se smatraju neovisnima. CGPM je odabrao da odgovarajuće osnovne jedinice SI-a budu metar, kilogram, sekunda, amper, kelvin, mol i kandela. Definicije tih osnovnih jedinica prikazane su u odsječku 2.1.1 u idućemu poglavlju. Izvedene SI jedinice tada se tvore kao umnošci potencija osnovnih jedinica u skladu s algebarskim odnosima kojima su definirane odgovarajuće izvedene veličine s pomoću osnovnih veličina, vidi odsječak 1.4 u nastavku.

U rijetkim slučajevima neki odabir može dovesti do različitih oblika odnosa između veličina. Važan se primjer pojavljuje u definiciji elektromagnetskih veličina. U tome se slučaju racionalizirane elektromagnetske jednadžbe s četiri veličine koje se upotrebljavaju sa SI-em temelje na duljini, masi, vremenu i električnoj struji. U tim jednadžbama električna stalnica ϵ_0 (permitivnost vakuumu) i magnetska stalnica μ_0 (permeabilnost vakuumu) imaju takve dimenzije i vrijednosti da je $\epsilon_0\mu_0 = 1/c_0^2$, gdje je c_0 brzina svjetlosti u vakuumu. Coulombov zakon o elektrostatičkim silama između dviju čestica s nabojima q_1 i q_2 na međusobnoj udaljenosti r piše se**:

$$\mathbf{F} = \frac{q_1 q_2 \mathbf{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

a odgovarajuća jednadžba za magnetsku silu između dvaju tankih elemenata žica koje nose električne struje $i_1 d\mathbf{l}_1$ i $i_2 d\mathbf{l}_2$ piše se:

$$d^2\mathbf{F} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{i_1 d\mathbf{l}_1 \times (i_2 d\mathbf{l}_2 \times \mathbf{r})}{r^3}$$

gdje je $d^2\mathbf{F}$ dvostruki diferencijal sile $\mathbf{F}$. Te se jednadžbe, na kojima se temelji SI, razlikuju od onih jednačaba koje se upotrebljavaju u CGS-ESU, CGS-EMU i Gaussovu

* Akronimi koji se upotrebljavaju u ovoj brošuri dani su na stranici 84 zajedno s njihovim značenjem.

** Znakovi tiskani masno označuju vektore.

CGS-sustavu u kojima su ε_0 i μ_0 nedimenzijske veličine koje su odabrane da budu jednake jedan i u kojima ne postoje racionalizacijski faktori 4π .

1.3 Dimenzije veličina

Fizikalne su veličine dogovorno organizirane u sustav dimenzija. Za svaku od sedam osnovnih veličina koje se upotrebljavaju u SI-u smatra se da ima svoju vlastitu dimenziju, koja se simbolički prikazuje jednim velikim slovom neserifnog tipa. Znakovi koji se upotrebljavaju za osnovne veličine i znakovi koji se upotrebljavaju za označivanje njihovih dimenzija daju se na sljedeći način:

Osnovne veličine i dimenzije koje se upotrebljavaju u SI-u

Osnovna veličina	Znak veličine	Znak dimenzije
duljina	l, x, r itd.	L
masa	m	M
vrijeme, trajanje	t	T
električna struja	I, i	I
termodinamička temperatura	T	Θ
količina tvari	n	N
svjetlosna jakost	I_v	J

Znakovi veličina uvijek se pišu kurzivom, a znakovi dimenzija velikim slovima neserifnim pismom. Za neke veličine može se upotrebljavati više različitih znakova kako je pokazano za duljinu i električnu struju. Napominjemo da su znakovi veličina samo *preporuke* za razliku od znakova jedinica koji se pojavljuju drugdje u ovoj brošuri čiji su način i oblik pisanja *obvezatni* (vidi poglavlje 5).

Sve druge veličine izvedene su veličine koje se mogu napisati s pomoću osnovnih veličina s pomoću fizikalnih jednačaba. Dimenzije izvedenih veličina pišu se kao umnošci potencija dimenzija osnovnih veličina uporabom jednačaba koje se odnose na izvedene veličine prema osnovnim veličinama. Općenito dimenzija neke veličine Q piše se u obliku dimenzijskoga umnoška:

$$\dim Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma I^\delta \Theta^\epsilon N^\zeta J^\eta$$

pri čemu se eksponenti $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \zeta$ i η , koji su općenito mali cijeli brojevi koji mogu biti pozitivni, negativni ili jednaki ničtici, nazivaju dimenzijskim eksponentima. Dimenzija izvedene veličine daje iste informacije o odnosu te veličine s osnovnim veličinama koje daje i SI jedinica izvedene veličine kao umnožak potencija osnovnih SI jedinica.

Postoje neke izvedene veličine Q čija je definicijska jednadžba takva da su svi dimenzijski eksponenti u izrazu za dimenziju veličine Q jednaki ničtici. To je posebno točno za veličinu koja se definira kao omjer dviju veličina iste vrste. Takve se veličine opisuju kao *nedimenzijske* ili, alternativno, kao veličine *dimenzije jedan*. Suvisla izvedena jedinica za takve nedimenzijske veličine uvijek je broj jedan (1), jer je ona omjer dviju istovjetnih jedinica za veličine iste vrste.

Postoje također određene veličine koje se uopće ne mogu opisati s pomoću tih sedam osnovnih veličina SI-a, ali čije su vrijednosti određene brojenjem. Primjeri su broj molekula, degeneracija u kvantnoj mehanici (broj neovisnih stanja iste energije) i funkcija particije u statističkoj termodinamici (broj toplinski dostupnih stanja). Takve veličine koje su određene brojenjem obično se također smatraju nedimenzijskim veličinama ili veličinama dimenzije jedan s jedinicom jedan (1).

Za znakove dimenzija i eksponenta upotrebljavaju se uobičajena algebarska pravila. Naprimjer, dimenzija ploštine piše se kao L^2 , dimenzija brzine kao LT^{-1} , dimenzija sile kao LMT^{-2} i dimenzija energije kao L^2MT^{-2} .

Naprimjer, indeks loma definira se kao omjer brzine svjetlosti u vakuumu i u određenoj sredini te je prema tomu omjer dviju veličina iste vrste. On je prema tomu nedimenzijska veličina. Drugi su primjeri nedimenzijskih veličina ravninski kut, udio mase, relativna permitivnost, relativna permeabilnost i finoća Fabry-Perotove šupljine.

1.4 Suvisle jedinice, izvedene jedinice s posebnim nazivima i predmetci SI jedinica

Izvedene jedinice definiraju se kao umnošci potencija osnovnih jedinica. Kad umnožak potencija ne uključuje brojčani faktor različit od jedinice, izvedene se jedinice nazivlju *suvislim izvedenim* jedinicama. Osnovne i suvisle izvedene SI jedinice čine suvisao skup koji se naziva skupom *suvislih SI jedinica*. Riječ suvisao upotrebljava se ovdje u sljedećem smislu: kad se upotrebljavaju suvisle jedinice, jednadžbe između brojčanih vrijednosti veličina poprimaju točno isti oblik kao jednadžbe između samih veličina. Prema tomu samo ako se upotrebljavaju jedinice iz suvislog skupa nikad se ne zahtijevaju faktori pretvorbe između jedinica.

Izraz za suvislu jedinicu izvedene veličine može se dobiti iz dimenzijskog umnoška te veličine zamjenom znaka za svaku dimenziju znakom odgovarajuće osnovne jedinice.

Nekim suvislim izvedenim jedinicama u SI-u dani su posebni nazivi kako bi se pojednostavnio njihov izraz (vidi podtočku 2.2.2, str. 26). Važno je naglasiti da svaka fizikalna veličina ima samo jednu suvislu SI jedinicu, čak i ako se ta jedinica može izraziti u različitim oblicima uporabom nekih posebnih naziva i znakova. Obrnuto međutim nije točno: u nekim slučajevima ista SI jedinica može se upotrijebiti za izražavanje vrijednosti nekoliko različitih veličina (vidi str. 28).

Opća je konferencija nadalje prihvatila niz predmetaka za tvorbu desetičnih višekratnika i nižekratnika suvislih SI jedinica (vidi 3.1, str. 30, gdje su navedeni svi nazivi i znakovi predmetaka). Oni su prikladni za izražavanje vrijednosti veličina koje su mnogo veće ili mnogo manje od suvisle jedinice. Prema 1. preporuci (1969.) (vidi str. 62) CIPM-a taj se skup predmetaka naziva *SI predmetcima*. (Ti predmetci također se katkad upotrebljavaju s drugim jedinicama izvan SI-a, kako je opisano u poglavlju 4 u nastavku). Međutim kad se upotrebljavaju predmetci sa SI jedinicama, dobivene jedinice više nisu suvisle jer predmetak na izvedenoj jedinici stvarno uvodi brojčani faktor u izraz za izvedenu jedinicu u odnosu na osnovne jedinice.

Kao iznimka, naziv kilogram, koji je osnovna jedinica mase, uključuje predmetak kilo iz povijesnih razloga. Ipak se on uzima kao osnovna SI jedinica. Višekratnici i nižekratnici kilograma tvore se dodavanjem naziva predmetaka jedinici "gram" i znakova predmetaka te jedinice znaku "g" (vidi 3.2, str. 31). Prema tomu 10^{-6} kg se piše kao miligram (mg), a ne kao mikrokilogram (μ kg).

Potpun skup SI jedinica, koji uključuje skup suvislih jedinica te višekratnike i nižekratnike tih jedinica koji se tvore njihovom kombinacijom sa SI predmetcima, naziva se potpunim skupom SI jedinica ili jednostavno SI jedinicama ili jedinicama SI-a. Napominjemo međutim da desetični višekratnici i nižekratnici SI jedinica ne tvore suvisao skup.

Kao primjer posebnoga naziva, posebnoj kombinaciji osnovnih jedinica m^2kg^{-2} za energiju dan je posebni naziv džul (znak J), gdje je po definiciji $J = \text{m}^2\text{kg}^{-2}$.

Duljinu kemijske veze prikladnije je davati u nanometrima (nm) nego u metrima (m), udaljenost od Londona do Pariza prikladnije je davati u kilometrima (km) nego u metrima (m).

Metar u sekundi (znak m/s) suvisla je SI jedinica brzine. Kilometar u sekundi (km/s), centimetar u sekundi (cm/s) i milimetar u sekundi (mm/s) također su SI jedinice, ali nisu suvisle SI jedinice.

1.5 SI jedinice u okviru opće teorije relativnosti

Definicije osnovnih SI jedinica usklađivale su se u kontekstu koji ne uzima u obzir relativistička djelovanja. Kad se ona uzmu u obzir, jasno je da se definicije primjenjuju samo na malo prostorno područje koje sudjeluje u kretanju etalona koji ih ostvaruju. Osnovne su jedinice prema tomu *prave jedinice*; one se ostvaruju mjesnim pokusima, u kojima treba uzeti u obzir djelovanja specijalne teorije relativnosti. Fizikalne stalnice mjesne su veličine čije se vrijednosti izražavaju u pravim jedinicama.

Pitanje pravih jedinica obrađeno je u Zaključku A4 koji je prihvatila XXI. opća skupština Međunarodne astronomske udruge (International Astronomical Union, IAU) 1991. godine i u izvješčaju radne skupine CCDS-a o primjeni opće teorije relativnosti u mjeriteljstvu (*Metrologia*, 1997, **34**, 261–290).

Ostvarenja kakve jedinice uporabom različitih etalona obično se mjesno uspoređuju. Za frekvencijske etalone ipak je moguće provesti takve usporedbe na daljinu s pomoću elektromagnetskih signala. Za tumačenje tih rezultata zahtijeva se opća teorija relativnosti jer ona između ostalog predviđa frekvencijski pomak između etalona za oko 10^{16} po metru razlike nadmorskih visina na površini Zemlje. Djelovanja te veličoće ne mogu se zanemariti kad se uspoređuju s najboljim frekvencijskim etalonima.

1.6 Jedinice za veličine koje opisuju biološka djelovanja

Jedinice za veličine koje opisuju biološka djelovanja često je teško povezati sa SI jedinicama jer one u tipičnome slučaju uključuju težinske faktore koji ne moraju biti precizno poznati ili definirani i koji mogu biti ovisni o energiji i frekvenciji. Te jedinice koje nisu SI jedinice ukratko se opisuju u ovome odsječku.

Optičko zračenje može izazvati kemijske promjene u živim bićima ili neživim gradivima: to se svojstvo naziva *aktiničnošću*, a zračenje koje može izazvati takve promjene naziva se *aktinичnim zračenjem*. U nekim slučajevima, mjerni rezultati fotokemijskih i fotobioloških veličina te vrste mogu se izražavati s pomoću SI jedinica. O tome se ukratko raspravlja u dodatku 3.

Zvuk izazivaju male promjene tlaka u zraku, superponirane na normalni atmosferski tlak koje osjeća ljudsko uho. Osjetljivost uha ovisi o frekvenciji zvuka, ali to nije jednostavno funkcija promjena tlaka ili funkcija frekvencije. Prema tomu u akustici se za približenje načina na koji se osjeća zvuk upotrebljavaju frekvencijski ponderirane veličine. Takve se frekvencijski ponderirane veličine upotrebljavaju naprimjer u radu za zaštitu od oštećenja sluha. Djelovanja ultrazvučnih akustičnih valova imaju sličan učinak u medicinskoj dijagnostici i terapiji.

Ionizantno zračenje deponira energiju u ozračenu tvar. Omjer deponirane energije prema masi naziva se *apsorbiranom dozom*. Visoke doze ionizacijskog zračenja ubijaju stanice, a ono se upotrebljava u radijacijskoj terapiji. Za usporedbu terapijskih djelovanja različitih obradba zračenjima upotrebljavaju se odgovarajuće biološke ponderirane funkcije. Niske doze koje nisu smrtonosne mogu izazvati oštećenja živih organizama, npr. izazvati rak. Na nižim se dozama kao temelj za propise za zaštitu od zračenja upotrebljavaju odgovarajuće funkcije ponderirane rizikom.

Postoji razred jedinica za kvantificiranje biološke aktivnosti određenih tvari koje se upotrebljavaju u medicinskoj dijagnostici i terapiji koje se još ne mogu definirati s pomoću osnovnih SI jedinica. Tome je uzrok što mehanizam posebnoga biološkog djelovanja koje daje tim tvarima njihova medicinska uporaba nije još dostatno shvaćen da bi se njihov fizičko-kemijski parametri mogli kvantificirati. S obzirom na njihovu važnost za ljudsko zdravlje, Svjetska zdravstvena organizacija (WHO) preuzela je odgovornost za definiranje međunarodnih jedinica (IU) WHO-a za biološku aktivnost takvih tvari.

1.7 Zakonodavstvo o jedinicama

Pojedine su države zakonima uspostavile pravila koja se odnose na uporabu jedinica na nacionalnoj razini, bilo za opću uporabu bilo u posebnim područjima kao što su npr. trgovina, zdravstvo, javna sigurnost, školstvo itd. U sve većemu broju zemalja to se zakonodavstvo temelji na uporabi Međunarodnog sustava jedinica.

Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo (L'Organisation Internationale de Métrologie Légale; OIML), utemeljena 1955. godine, zadužena je za međunarodno usklađivanje tih zakonodavstava.

1.8 Povijesna bilješka

Prethodni stavci ovoga poglavlja daju kratki pregled načina na koji su uspostavljeni sustav jedinica i posebno Međunarodni sustav jedinica. Ova bilješka daje kratki prikaz povijesnog razvitka Međunarodnog sustava.

Deveti CGPM (1948., 6. zaključak; CR, 64) dao je u zadatak Međunarodnomu odboru:

- da prouči uspostavljanje potpunog skupa pravila za mjerne jedinice
- da u tu svrhu službenim upitom istraži mišljenje koje prevladava u znanstvenim, tehničkim i obrazovnim krugovima u svim zemljama te
- da izradi preporuke za uspostavu *praktičnog sustava mjernih jedinica* koji bi bio prihvatljiv za sve zemlje potpisnice Dogovora o metru.

Ta je ista Opća konferencija također prihvatila 7. zaključak (CR, 70) koji utvrđuje opća načela za pisanje znakova jedinica te dala popis nekoliko suvislih jedinica koje imaju poseban naziv.

Kao osnovne jedinice toga praktičnog sustava jedinica 10. CGPM (1954., 6. zaključak; CR, 80) i 14. CGPM (1971., 3. zaključak; CR, 78 i *Metrologia*, 1972., 8, 36) prihvatili su jedinice ovih sedam veličina: duljine, mase, vremena, električne struje, termodinamičke temperature, količine tvari i svjetlosne jakosti.

Za taj praktični sustav mjernih jedinica 11. je CGPM (1960., 12. zaključak; CR, 87) prihvatio naziv *Međunarodni sustav jedinica* (*Système International d'Unités*) s međunarodnom kraticom SI i postavio pravila za predmetke, izvedene jedinice i bivše dopunske jedinice te druga pitanja, uspostavljajući tako cjelovit sustav pravila za mjerne jedinice. Otad je na idućim sastancima CGPM-a i CIPM-a upotpunjavan i po potrebi preinačivan izvorni ustroj SI-a kako bi se uzeo u obzir napredak znanosti i potrebe korisnika.

Povijesni slijed koji je doveo do tih važnih odluka CGPM-a može se sažeti ovako.

- Prvim se korakom u razvoju sadašnjega Međunarodnog sustava jedinica može smatrati stvaranje desetičnoga metričkog sustava u vrijeme Francuske revolucije te potom pohranjivanje dvaju platinskih etalona koji predstavljaju metar i kilogram (22. lipnja 1799.) u Arhivu Republike u Parizu.
- Godine 1832. Gauss je čvrsto zagovarao primjenu toga metričkog sustava, zajedno sa sekundom određenom u astronomiji, kao suvislog sustava jedinica za fizikalne znanosti. Gauss je prvi proveo *apsolutna* mjerenja magnetskoga polja Zemlje na temelju desetičnog sustava koji se temeljio na *trima mehaničkim jedinicama*: milimetru, gramu i sekundi, redom za veličine: duljinu, masu i vrijeme. Poslije su Gauss i Weber ta mjerenja proširili kako bi se uključile električne pojave.
- Te primjene u području elektriciteta i magnetizma dalje su se od 1860. godine razvijale pod aktivnim vodstvom Maxwella i Thomsona u krugu Britanske udruge za unapređenje znanosti (engl.: British Association for the Advancement of Science; BAAS). Oni su uspostavili pravila tvorbe *suvislog sustava jedinica* sastavljena od *osnovnih i izvedenih jedinica*. BAAS je 1874. godine uveo *CGS sustav*, trodimenzijski suvisli

sustav jedinica koji se temeljio na tri mehaničke jedinice: centimetru, gramu i sekundi, i uporabom predmetaka u području od mikro do mega za izražavanje desetičnih niže-kratnika i višekratnika. Daljnji napredak fizike kao eksperimentalne znanosti treba najvećim dijelom zahvaliti uporabi tog sustava.

- Dovršenje na suvisao način sustava CGS za područje elektriciteta i magnetizma pokazalo se neprilagođenim praksi, tako da su 1880. godine BASS i Međunarodni elektrotehnički kongres (prethodnik Međunarodnoga elektrotehničkog povjerenstva (IEC)) odobrili uzajamno suvisao skup *praktičnih jedinica*. Među njima su bili om za električni otpor, volt za elektromotornu silu i amper za električnu struju.
- Nakon potpisivanja *Dogovora o metru* 20. svibnja 1875. godine, kojim je stvoren BIPM i uspostavljeni CGPM i CIPM, započeo je rad na izradbi novih međunarodnih pramjera metra i kilograma. Međunarodne pramjere za metar i kilogram ozakonio je 1889. godine 1. CGPM. Zajedno s astronomskom sekundom kao jedinicom vremena te su jedinice činile trodimenzijski mehanički sustav jedinica sličan CGS sustavu, ali s osnovnim jedinicama metrom, kilogramom i sekundom (MKS sustav).
- Godine 1901. Giorgi je pokazao da je mehaničke jedinice sustava kilogram-metar-sekunda moguće povezati s praktičnim električnim jedinicama kako bi se stvorio samo jedan suvisao četverodimenzijski sustav dodavanjem trima osnovnim jedinicama četvrte jedinice električne naravi, npr. ampera ili oma, i pisanjem jednačaba koje se pojavljuju u elektromagnetizmu u tzv. racionaliziranome obliku. Giorgijev prijedlog otvorio je put nizu novih proširenja.
- O Giorgijevu su prijedlogu, nakon što je 1921. godine 6. CGPM pregledao *Dogovor o metru*, čime je proširen djelokrug rada i odgovornost BIPM-a na druga područja fizike, te nakon što je 1927. godine 7. CGPM osnovao Savjetodavni odbor za elektricitet (CCE), temeljito raspravljali IEC, Međunarodna unija za čistu i primijenjenu fiziku (International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP) te druge međunarodne organizacije. To je navelo CCE da 1939. godine predloži prihvaćanje četverodimenzijskog sustava utemeljena na metru, kilogramu, sekundi i amperu (MKSA sustav); taj je prijedlog odobrio CIPM 1946. godine.
- Slijedom međunarodnih anketa koje je provodio BIPM počevši od 1948. godine 10. je CGPM 1954. godine odobrio uvođenje *ampera*, *kelvina* i *kandele* kao osnovnih jedinica redom za električnu struju, termodinamičku temperaturu i svjetlosnu jakost. Naziv *Međunarodni sustav jedinica* (*Système International d'Unités*), s kraticom SI, sustavu je dao 11. CGPM 1960. godine. Na 14. CGPM-u 1971. godine dovršena je sadašnja verzija SI-a dodavanjem *mola* kao osnovne jedinice za količinu tvari, čime je ukupni broj osnovnih jedinica postao sedam.

2 SI jedinice

2.1 Osnovne jedinice SI-a

Službene definicije svih SI jedinica odobrava CGPM. Prve dvije definicije odobrene su 1889., a posljednja 1983. godine. Te se definicije s vremena na vrijeme preinačuju kako bi se pratio razvoj znanosti.

2.1.1 Definicije

Sadašnje definicije osnovnih jedinica uzete iz *Izveštaja (Comptes Rendus, CR)* odgovarajućega CGPM-a koji ih je odobrio ovdje se prikazuju uvučeno i masnim niserifnim tiskom. Odgovarajuće odluke koje objašnjavaju te definicije, ali koje nisu njihov sastavni dio, preuzete iz *Izveštaja* odgovarajućega CGPM-a ili *Zapisnika (Procès-Verbaux, PV)* CIPM-a također se prikazuju uvučeno, ali normalnim niserifnim tiskom. Osnovni tekst daje povijesne napomene i objašnjenja, ali nije sastavni dio definicija.

Važno je razlikovati definiciju jedinice i njezino ostvarenje. Definicija svake osnovne SI jedinice pažljivo je sastavljena tako da bude jedinstvena i da osigurava čvrst teoretski temelj na kojemu se mogu provoditi najtočnija i najobnovljivija mjerenja. Ostvarenje definicije jedinice postupak je kojim se definicija može upotrebljavati za uspostavljanje vrijednosti i pridružene nesigurnosti veličine iste vrste kao jedinica. Opis kako se definicije nekih važnih jedinica ostvaruju u praksi dan je na mrežnoj stranici BIPM-a:

www.bipm.org/en/si/si_brochure/appendix2/.

Izvedene suvisle SI jedinice definiraju se na jedinstven način i samo s obzirom na osnovne SI jedinice. Naprimjer, suvisla izvedena SI jedinica otpora om, znak Ω , definirana je na jedinstven način odnosom $\Omega = \text{m}^2\text{kg}^{-3}\text{A}^{-2}$, koji slijedi iz definicije veličine električnog otpora. Međutim za ostvarenje neke SI jedinice može se upotrijebiti svaka metoda koja je u skladu s fizikalnim zakonima. Naprimjer, jedinica om može se ostvariti s visokom točnošću uporabom kvantnog Hallova pojava i vrijednosti von Klitzingove stalnice koju je preporučio CIPM (vidi redom str. 70 i 73, dodatak 1).

Konačno, treba priznati da premda se sedam osnovnih jedinica – duljina, masa, vrijeme, električna struja, termodinamička temperatura, količina tvari i svjetlosna jakost – dogovorno smatraju neovisnim, njihove su odgovarajuće osnovne jedinice – metar, kilogram, sekunda, amper, kelvin, mol i kandela – u velikome broju slučajeva međusobno ovisne. Tako definicija metra uključuje sekundu; definicija ampera uključuje metar, kilogram i sekundu; definicija mola uključuje kilogram, a definicija kandeले uključuje metar, kilogram i sekundu.

2.1.1.1 Jedinica duljine (metar)

Definiciju metra iz 1889. godine koja se temeljila se na međunarodnoj pramjeri od platino-iridija 11. CGPM (1960.) zamijenio je definicijom koja se temeljila na valnoj duljini zračenja kriptona 86. Ta je promjena prihvaćena kako bi se poboljšala točnost s kojom se može ostvariti definicija metra, ostvarenje se postiže uporabom interferometra s putujućim mikroskopom za mjerenje promjene optičkoga puta brojenjem svijetlih i tamnih pojasova dobivenih interferencijom. Nju je pak 1983. godine 17. CGPM (zaključak 1; CR, 97 i *Metrologia*, 1984, **20**, 25) zamijenio ovom definicijom:

Metar je duljina puta koji u vakuumu prijeđe svjetlost u vremenskome odsječku od 1/299 792 458 sekunde.

Iz toga proizlazi da je brzina svjetlosti u vakuumu jednaka točno 299 792 458 metara u sekundi, $c_0 = 299\,792\,458$ m/s.

Znak c_0 (ili katkad jednostavno c) dogovorni je znak za brzinu svjetlosti u vakuumu.

Izvorna međunarodna pramjera metra koju je ozakonio 1. CGPM 1889. godine (CR, 34–38) još se čuva u BIPM-u pod uvjetima utvrđenim 1889. godine.

2.1.1.2 Jedinica mase (kilogram)

Međunarodna pramjera kilograma načinjena od platino-iridija čuva se u BIPM-u pod uvjetima koje je odredio 1. CGPM 1889. godine (CR, 34–38) kad je ozakonio tu pramjeru i objavio:

Ta se pramjera odsad nadalje ima smatrati jedinicom mase.

Treći je CGPM (1901.; CR, 70) u proglasu kojim se namjeravalo ukloniti dvoznačnost koja je u svakodnevnoj uporabi postojala u značenju riječi "težina" potvrdio da je:

Kilogram jedinica mase: ona je jednaka masi međunarodne pramjere kilograma.

Cijeli se proglas nalazi na str. 51.

Iz toga proizlazi da je masa međunarodne pramjere kilograma uvijek točno jednaka 1 kilogram ($m(\mathcal{K}) = 1$ kg). Međutim zbog neizbježnih taloženja nečistoća na površinama, međunarodna pramjera izložena je povratnomu onečišćenju površine koje se približava 1 μ g godišnje u masi. Iz tih je razloga CIPM proglasio da je, dok traje daljnje istraživanje, referentna masa međunarodne pramjere masa nakon čišćenja i pranja posebnom metodom (PV, 1989, **57**, 104–105 i PV, 1990, **58**, 95–97). Prema tomu se tako definirana referentna masa upotrebljava za umjeravanje nacionalnih etalona slitine platine i iridija (*Metrologia*, 1994, **31**, 317–336).

Znak $m(\mathcal{K})$ upotrebljava se za označivanje mase međunarodne pramjere kilograma ($\mathcal{K}$).

2.1.1.3 Jedinica vremena (sekunda)

Jedinica vremena sekunda smatrala se jedno vrijeme jednakom 1/86 400 dijelu srednjega sunčanog dana. Točna definicija "srednjega sunčanog dana" prepuštena je astronomima. Mjerenja su međutim pokazala da ta definicija nije zadovoljavajuća zbog nepravilnosti Zemljine vrtnje. Da bi se točnije definirala jedinica vremena, 11. CGPM (1960.; CR, 86) prihvatio je definiciju koju je dala Međunarodna astronomska udruga, a koja se temeljila na tropskoj godini 1900. Pokusi su međutim već bili pokazali da bi se atomski etalon

vremena koji bi se temeljio na prijelazu između energetske razina atoma ili molekule mogao mnogo točnije ostvarivati i obnavljati. Uzimajući u obzir da je za potrebe znanosti i tehnike prijeko potrebna veoma točna definicija jedinice vremena, 13. CGPM (1967.–1968., 1. zaključak; CR, 103 i *Metrologia*, 1968, 4, 43) zamijenio je definiciju sekunde ovom definicijom:

Sekunda je trajanje od 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfina razina osnovnog stanja cezijeva atoma 133.

Iz toga proizlazi da je hiperfino razdvajanje u osnovnome stanju cezijeva atoma 133 točno 9 192 631 770 herca, $\nu(\text{hfs Cs}) = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$.

Na svojem sastanku 1997. godine CIPM je potvrdio da se:

ta definicija odnosi na cezijev atom u mirovanju na temperaturi od 0 K.

Svrha je te napomene da se objasni da se definicija SI sekunde temelji na cezijevu atomu neporemećenu zračenjem crnoga tijela, tj. u okolišu čija je termodinamička temperatura jednaka 0 K. Frekvencije svih primarnih frekvencijskih etalona trebaju se prema tomu ispraviti za pomak zbog zračenja okoliša, kako je utvrđeno na sastanku Savjetodavnog odbora za vrijeme i frekvenciju 1999. godine.

Znak $\nu(\text{hfs Cs})$ upotrebljava se za oznaku frekvencije hiperfinoga prijelaza u osnovnome stanju cezijeva atoma.

2.1.1.4 Jedinica električne struje (amper)

Električne jedinice za struju i otpor, koje su se nazivale "međunarodnim jedinicama", uvedene su na Međunarodnome elektrotehničkom kongresu koji je održan u Chicagu 1893. godine, a definicije "međunarodnog ampera" i "međunarodnog oma" potvrdila je Međunarodna konferencija u Londonu 1908. godine.

Premda je već prilikom 8. CGPM-a (1933.) bilo očito da postoji jednodušna želja da se te "međunarodne jedinice" zamijene tzv. "apsolutnim jedinicama", službenu odluku o ukidanju tih jedinica donio je tek 9. CGPM (1948.), koji je za jedinicu električne struje (amper) prihvatio ovu definiciju koju je predložio CIPM (1946, zaključak 2; PV, 20, 129–137):

Amper je ona stalna struja koja bi kad bi se održavala u dva ravna usporedna vodiča neizmjerne duljine i zanemariva kružnoga poprečnog presjeka postavljena u vakuumu na međusobnoj udaljenosti od 1 m proizvodila između tih vodiča silu jednaku 2×10^{-7} njutna po metru duljine.

Iz toga proizlazi da je magnetska stalnica (μ_0), koja se također naziva permeabilnošću slobodnoga prostora, jednaka točno $4\pi \times 10^{-7}$ henrija po metru ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\text{ H/m}$).

Izraz "MKS jedinica sile" koji se pojavljuje u izvornome tekstu iz 1946. godine zamijenjen je ovdje "njutnom", nazivom koji je za tu jedinicu prihvatio 9. CGPM (1948, 7. zaključak; CR, 70).

2.1.1.5 Jedinica termodinamičke temperature (kelvin)

Definiciju jedinice termodinamičke temperature dao je u biti 10. CGPM (1954, 3. zaključak; CR, 79) koji je odabrao trojnu točku vode kao temeljnu čvrstu točku i dodijelio joj po definiciji temperaturu od 273,16 K. Umjesto "stupnja Kelvina" (znak °K) 13. CGPM (1967–1968, 3. zaključak; CR, 104 i *Metrologia*, 1968, 4, 43) prihvatio je naziv kelvin (znak K) i ovako definirao jedinicu termodinamičke temperature (1967.–1968., 4. zaključak; CR, 104 i *Metrologia*, 1968, 4, 43):

Kelvin (jedinica termodinamičke temperature) je dio 1/273,16 termodinamičke temperature trojne točke vode.

Iz toga proizlazi da je termodinamička temperatura trojne točke vode jednaka točno 273,16 kelvina, $T_{\text{tpw}} = 273,16 \text{ K}$.

Na sastanku 2005. godine CIPM je potvrdio da se:

Ta definicija odnosi na vodu koja ima sastav izotopa točno definiran sljedećim omjerom količina tvari: 0,000 155 76 mola ^2H po molu ^1H , 0,000 379 9 mola ^{17}O po molu ^{16}O i 0,002 005 2 mola ^{18}O po molu ^{16}O .

Znak T_{tpw} upotrebljava se za označivanje termodinamičke temperature trojne točke vode.

Zbog načina na koji su se obično definirale temperaturne ljestvice ostala je opća praksa da se termodinamička temperatura (znak T) izražava s pomoću njezine razlike u odnosu prema referentnoj temperaturi $T_0 = 273,15 \text{ K}$ (ledište). Ta se temperaturna razlika naziva Celzijevom temperaturom (znak t) i definira veličinskom jednadžbom:

$$t = T - T_0.$$

Jedinica Celzijeve temperature Celzijeve je stupanj (znak $^{\circ}\text{C}$), koji je po definiciji po veličini jednak jedinici "kelvin". Temperaturna razlika ili interval može se izražavati u kelvinima ili Celzijevim stupnjevima (13. CGPM, 1967–1968, 3. zaključak, vidi gore). Međutim brojčana je vrijednost Celzijeve temperature t koja se izražava Celzijevim stupnjevima dana izrazom:

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

Kelvin i Celzijeve stupanj također su jedinice Međunarodne temperaturne ljestvice iz 1990. godine (ITS-90) koju je prihvatio CIPM 1989. godine svojom 5. preporukom (CI-1989) (PV, 57, 115 i *Metrologia*, 1990, 27, 13).

2.1.1.6 Jedinica količine tvari (mol)

Od otkrića temeljnih zakona kemije za određivanje količina kemijskih počela ili spojeva upotrebljavale su se jedinice količine tvari koje su se nazivale, npr. "gramatom" i "grammolekula". Te su jedinice bile u izravnoj vezi s "atomske težinama" i "molekularnim težinama" koje su u stvari bile relativne mase. "Atomske težine" izvorno su se davale u odnosu na atomsku težinu kisika (za koju je općim dogovorom prihvaćeno da je jednaka 16). Međutim dok su fizičari izotope odvajali u masenim spektrografima i vrijednost 16 pripisivali jednomu od izotopa kisika, kemičari su tu istu vrijednost (neznatno promjenljivo) pripisivali smjesi izotopa 16, 17 i 18 koji je za njih bio prirodno počelo kisika. Konačno je sporazum između Međunarodne udruge za čistu i primijenjenu fiziku (International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP) i Međunarodne udruge za čistu i primijenjenu kemiju (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) ukinuo (1959./1960.) tu dvojnost. Fizičari i kemičari otada su se dogovorili da izotopu ugljika s masenim brojem 12 (ugljik 12, ^{12}C) dodijele vrijednost 12 (točno), koja se ispravnije naziva relativnom atomskom masom $A_r(^{12}\text{C})$. Tako dobivena ujednačena ljestvica daje vrijednosti relativnih atomskih i molekularnih masa, koje se također nazivaju redom atomskim i molekularnim masama.

Preporučeni je znak za relativnu atomsku masu (atomsku težinu) $A_r(\text{X})$, pri čemu se treba specificirati atomska jedinka X, a za relativnu molekularnu masu molekule (molekularnu težinu) to je znak $M_r(\text{X})$, pri čemu se treba specificirati molekularna jedinka X.

Veličina koju upotrebljavaju kemičari za specifikaciju količine kemijskih elemenata ili kemijska smjesa naziva se sada "količinom tvari". Utvrđuje se da je količina tvari razmjerna broju specificiranih elementarnih jedinka u uzorku, pri čemu je stalnica razmjernosti univerzalna stalnica koja je ista za sve uzorke. Jedinica količine tvari naziva se sada *mol* (znak mol), a mol se definira kao masa ugljika 12 koja čini jedan mol atoma ugljika 12. Međunarodnim je sporazumom za nju utvrđena vrijednost od 0,012 kg, tj. 12 g.

Slijedeći prijedloge IUPAP-a, IUPAC-a i ISO-a, CIPM je 1967. dao i 1969. potvrdio definiciju mola. Nju je prihvatio 14. CGPM (1971., 3. zaključak; CR, 78 i *Metrologia*, 1972, 8, 36):

1. **Mol je količina tvari u sustavu koji sadržava onoliko elementarnih jedinka koliko ima atoma u 0,012 kilograma ugljika 12; njegov znak je "mol".**
2. **Kad se upotrebljava mol, moraju se navesti elementarne jedinice, a to mogu biti atomi, molekule, ioni, elektroni, druge čestice ili pojedinačno navedene skupine takvih čestica.**

Molarna masa atoma ili molekule X označuje se $M(X)$ ili M_X , a to je masa po molu atoma ili molekule X.

Iz toga proizlazi da je molarna masa ugljika 12 jednaka točno 12 grama po molu $M(^{12}\text{C}) = 12 \text{ g/mol}$.

Godine 1980. CIPM je odobrio izvještaj CCU-a (1980.) koji je utvrdio:

U toj se definiciji mola podrazumijeva da se pod ugljikom misli na nevezane atome ugljika 12 u mirovanju i u njihovu osnovnome stanju.

Kad se navodi definicija mola, obično se također uključuje ta primjedba.

Definicija mola također omogućuje da se odredi vrijednost univerzalne stalnice koja se odnosi na broj jedinka količine tvari za neki uzorak. Ta se stalnica naziva Avogadrovom stalnicom (znak N_A ili L). Ako $N(X)$ označuje broj jedinka X u specificiranome uzorku i ako $n(X)$ označuje količinu tvari jedinka X u istome uzorku, taj je odnos:

$$n(X) = N(X)/N_A.$$

Napominjemo da budući da je $N(X)$ nedimenzijska veličina, a $n(X)$ ima SI jedinicu mol, Avogadrova stalnica ima suvislu SI jedinicu recipročni mol.

U nazivu "količina tvari" riječ "tvari" može se zbog jednostavnosti zamijeniti riječima kojima se specificira dotična tvar u nekoj posebnoj primjeni, tako da se može npr. govoriti o "količini vodikova klorida, HCl", ili "količini benzena, C_6H_6 ". Važno je uvijek dati točnu specifikaciju uključene jedinice (kako je naglašeno u drugoj rečenici definicije mola); to se treba po mogućnosti izvesti navođenjem kemijske formule dotične tvari. Premda riječ "količina" ima opću definiciju u rječniku, zbog kratkoće se može upotrebljavati taj kraći oblik punog naziva "količina tvari". To se također primjenjuje na izvedene veličine kao što su "koncentracija količine tvari", koje se jednostavno mogu nazivati "koncentracijom količine". Međutim u području kliničke kemije naziv "količina koncentracije tvari" općenito se skraćuje na "koncentraciju tvari".

2.1.1.7 Jedinica svjetlosne jakosti (kandela)

Jedinice svjetlosne jakosti koje su se temeljile na etalonima s plamenom ili sa žarnom niti, koje su do 1948. godine bili u uporabi u različitim zemljama, u početku su zamijenjene "novom svijećom" koja se temeljila na svjetljivosti (luminanciji) Planckova izvora zračenja (crno tijelo) na temperaturi krutišta platine. Tu preinaku, koju su već 1937. godine pripremili Međunarodno povjerenstvo za rasvjetu (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) i CIPM, donio je CIPM 1946. godine i nakon toga ju je odobrio CGPM 1948. godine, koji je za tu jedinicu prihvatio novi međunarodni naziv *kandela* (znak cd); 13. CGPM (5. zaključak, CR, 104 i *Metrologia*, 1968., 4, 43–44) dao je 1967. godine i dopunjenu verziju definicije iz 1946. godine.

Zbog eksperimentalnih poteškoća u ostvarenju Planckova izvora zračenja na visokim temperaturama i novih mogućnosti koje nudi radiometrija, tj. mjerenja optičke snage

zračenja, 1979. godine 16. CGPM (1979., 3. zaključak; CR, 100 i *Metrologia*, 1980., 16, 56) prihvatio je ovu novu definiciju kande:le:

Kandela je svjetlosna jakost izvora koji, u danome smjeru, zrači jednobojno zračenje frekvencije 540×10^{12} herca i koji ima jakost zračenja u tome smjeru od $1/683$ vata po steradianu.

Iz toga proizlazi da je djelotvornost spektralne svjetline za jednobojno zračenje frekvencije od 540×10^{12} herca jednaka točno 683 lumena po vatu, $K = 683 \text{ lm/W} = 683 \text{ cd sr/W}$.

2.1.2 Znakovi za sedam osnovnih jedinica

Osnovne jedinice Međunarodnog sustava dane su u tablici 1., koja za svaku od sedam osnovnih jedinica povezuje osnovnu veličinu s nazivom i znakom jedinice [10. CGPM (1954., 6. zaključak; CR, 80) 11. CGPM (1960., 12. zaključak, CR, 87); 13. CGPM (1967.–1968., 3. zaključak, CR, 104 i *Metrologia*, 1968., 4, 43); 14. CGPM (1971., 3. zaključak; CR, 78 i *Metrologia*, 1972., 8, 36)].

Tablica 1.: Osnovne SI jedinice

Osnovna veličina		Osnovna SI jedinica	
Naziv	Znak	Naziv	Znak
duljina	$l, x, r \text{ itd.}$	metar	m
masa	m	kilogram	kg
vrijeme, trajanje	t	sekunda	s
električna struja	I, i	amper	A
termodinamička temperatura	T	kelvin	K
količina tvari	n	mol	mol
svjetlosna jakost	I_v	kandela	cd

Znakovi veličina općenito su pojedinačna slova latinice ili grčkog alfabeta tiskana kurzivom i smatraju se *preporukama*.

Znakovi su jedinica *obvezatni*, vidi poglavlje 5.

2.2 Izvedene jedinice SI-a

Izvedene su jedinice umnošci potencija osnovnih jedinica. Suvisle izvedene jedinice umnošci su potencija osnovnih jedinica koje ne uključuju brojčani faktor različit od 1. Osnovne i suvisle izvedene SI jedinice čine suvisao skup, koji se naziva skupom *suvislih SI jedinica* (vidi 1.4, str. 16).

2.2.1 Jedinice koje se izražavaju s pomoću osnovnih jedinica

Broj veličina u znanosti nije ograničen, te nije moguće dati potpun popis izvedenih veličina i izvedenih jedinica. Ipak se u tablici 2. daje nekoliko primjera izvedenih jedinica i odgovarajućih suvislih izvedenih jedinica koje su izražene izravno s pomoću osnovnih jedinica.

Tablica 2.: Primjeri suvislih izvedenih SI jedinica koje su izražene s pomoću osnovnih jedinica

Izvedena veličina		Izvedena suvisla SI jedinica	
Naziv	Znak	Naziv	Znak
ploština	A	četvorni metar	m^2
obujam	V	kubični metar	m^3
brzina	v	metar u sekundi	m/s
ubrzanje	a	metar u sekundi na kvadrat	m/s^2
valni broj	$\sigma, \tilde{\nu}$	recipročni metar	m^{-1}
gustoća, gustoća mase	ρ	kilogram po kubičnome metru	kg/m^3
površinska gustoća	ρ_A	kilogram po četvornome metru	kg/m^2
specifični obujam	v	kubični metar po kilogramu	m^3/kg
gustoća struje	j	amper po četvornome metru	A/m^2
jakost magnetskoga polja	H	amper po metru	A/m
koncentracija ^(a)	c	mol po kubičnome metru	mol/m^3
masena koncentracija	ρ, γ	kilogram po kubičnome metru	kg/m^3
osvjetljenje	L_v	kandela po četvornome metru	cd/m^2
indeks loma ^(b)	n	(broj) jedan	1
relativna permitivnost ^(b)	μ_r	(broj) jedan	1

(a) U području kliničke kemije ta se veličina također naziva koncentracijom tvari.

(b) Te nedimenzijske veličine ili veličine dimenzije jedan i znak "1" za jedinicu (broj "jedan") općenito se izostavljaju pri specificiranju vrijednosti nedimenzijskih veličina.

2.2.2 Jedinice s posebnim nazivima i znakovima; jedinice koje sadržavaju jedinice s posebnim nazivima i znakovima

Određenim su izvedenim jedinicama zbog prikladnosti dani posebni nazivi i znakovi. Postoje 22 takve jedinice koje su navedene u tablici 3. Ti se posebni nazivi i znakovi mogu sami upotrebljavati u kombinaciji s nazivima i znakovima osnovnih i drugih izvedenih jedinica za izražavanje jedinica drugih izvedenih veličina. U tablici 4. prikazano je nekoliko primjera. Posebni nazivi i znakovi jednostavno su sažet oblik za izražavanje kombinacija osnovnih jedinica koje se češće upotrebljavaju, ali u mnogim slučajevima one također služe kako bi se podsjetilo čitatelja na uključene veličine. Sa svim posebnim nazivima i znakovima mogu se upotrebljavati SI predmetci, ali, kad se to čini, dobivena jedinica neće više biti suvisla.

Među tim nazivima i znakovima posebnu pozornost treba obratiti na posljednja četiri naziva i znaka koja se nalaze na dnu tablice 3. jer ih je prihvatio 15. CGPM (1975., 8. i 9. zaključak; CR, 105 i *Metrologia*, 1975., **11**, 180) i 16. CGPM (1979., 5. zaključak; CR, 100 i *Metrologia*, 1980., **16**, 56) i 21. CGPM (1999., zaključak 12; CR, 334–335 i *Metrologia*, 2000., **37**, 95) posebno radi zaštite ljudskog zdravlja.

U posljednjemu stupcu tablica 3. i 4. prikazano je kako se dotične SI jedinice mogu izraziti s pomoću osnovnih SI jedinica. U tome se stupcu faktori kao naprimjer m^0 , kg^0 itd. koji su jednaki 1, općenito ne prikazuju izravno.

Tablica 3.: Izvedene suvisle SI jedinice s posebnim nazivima i znakovima

Izvedena veličina	Izvedena suvisla SI jedinica ^(a)			
	Naziv	Znak	Izražena s pomoću drugih SI jedinica	Izražena s pomoću osnovnih SI jedinica
ravninski kut	radijan ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
prostorni kut	steradian ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
frekvencija	herc ^(d)	Hz		s ⁻¹
sila	njutn	N		m kg s ⁻²
tlak, naprezanje	paskal	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
energija, rad, količina topline	džul	J	N m	m ² kg s ⁻²
snaga, izračen tijekom	vat	W	J/s	m ² kg s ⁻³
električni naboj, količina elektriciteta	kulon	C		s A
razlika električnih potencijala, elektromotorna sila	volt	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
kapacitet	farad	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
električni otpor	om	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
električna vodljivost	simens	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
magnetski tok	veber	Wb	V s	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
gustoća magnetskoga toka	tesla	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
indukcija	henri	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
Celzijeva temperatura	Celzijev stupanj ^(e)	°C		K
svjetlosni tok	lumen	lm	cd sr ^(c)	cd
osvjetljenje	luks	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
aktivnost radionuklida	bekerel ^(d)	Bq		s ⁻¹
apsorbirana doza, specifična (predana) energija, kerma	grej	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
dozni ekvivalent, okolišni dozni ekvivalent, usmjereni dozni ekvivalent, osobni dozni ekvivalent	sivert ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
katalitička aktivnost	katal	kat		s ⁻¹ mol

(a) Predmetci SI mogu se upotrebljavati sa svim posebnim nazivima i znakovima, ali u tome slučaju dobivena jedinica nije više suvisla.

(b) Radijan i steradian mogu se upotrebljavati u izrazima za izvedene jedinice kako bi se razlikovale veličine različite naravi, a iste dimenzije. U praksi se upotrebljavaju znakovi rad i sr gdje je to prikladno, ali se izvedena jedinica "1" općenito izostavlja u kombinaciji s kakvom brojčanom vrijednošću.

(c) U fotometriji se u izrazima za jedinice obično zadržava naziv steradian i znak sr.

(d) Herc se upotrebljava samo za periodične pojave, a bekerel se upotrebljava samo za stohastičke procese u aktivnosti koja se odnosi na radionuklide.

(e) Celzijev stupanj posebni je naziv za kelvin koji se upotrebljava za izražavanje Celzijevih temperatura. Celzijev stupanj i kelvin jednaki su po iznosu, tako da je brojčana vrijednost razlike ili intervala temperature ista kad se izražava u Celzijevim stupnjevima ili u kelvinima.

(f) Aktivnost radionuklida katkad se neispravno naziva radioaktivnošću.

(g) Vidi 2. preporuku CIPM-a (CI-2002), str. 75, o uporabi siverta (PV, 2002., **70**, 205).

Tablica 4.: Primjeri izvedenih suvislih SI jedinica čiji nazivi i znakovi uključuju izvedene suvisle SI jedinice s posebnim nazivima i znakovima

Izvedena veličina	Izvedena suvisla SI jedinica		
	Naziv	Znak	Izražena s pomoću osnovnih SI jedinica
dinamička viskoznost	paskal u sekundi	Pa s	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-1}$
moment sile	njutmeter	N m	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$
površinska napetost	njutm po metru	N/m	kg s^{-2}
kutna brzina	radijan u sekundi	rad/s	$\text{m m}^{-1} \text{s}^{-1} = \text{s}^{-1}$
kutno ubrzanje	radijan u sekundi na drugu	rad/s ²	$\text{m m}^{-1} \text{s}^{-2} = \text{s}^{-2}$
gustoća toplinskoga tijeka, zračivost	vat po četvornome metru	W/m ²	kg s^{-3}
toplinski kapacitet, entropija	džul po kelvinu	J/K	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$
specifični toplinski kapacitet, specifična entropija	džul po kilogramu kelvinu	J/(kg K)	$\text{m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$
specifična energija	džul po kilogramu	J/kg	$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$
toplinska vodljivost	vat po metru kelvinu	W/(m K)	$\text{m kg s}^{-3} \text{K}^{-1}$
gustoća energije	džul po kubičnome metru	J/m ³	$\text{m}^{-1} \text{kg s}^{-2}$
jakost električnoga polja	volt po metru	V/m	$\text{m kg s}^{-3} \text{A}^{-1}$
gustoća električnog naboja	kulon po kubičnome metru	C/m ³	$\text{m}^{-3} \text{s A}$
površinska gustoća naboja	kulon po četvornome metru	C/m ²	$\text{m}^{-2} \text{s A}$
gustoća električnoga tijeka, električni pomak	kulon po četvornome metru	C/m ²	$\text{m}^{-2} \text{s A}$
permitivnost	farad po metru	F/m	$\text{m}^{-3} \text{kg}^{-1} \text{s}^4 \text{A}^2$
permeabilnost	henri po metru	H/m	$\text{m kg s}^{-2} \text{A}^{-2}$
molarna energija	džul po molu	J/mol	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{mol}^{-1}$
molarna entropija, molarni toplinski kapacitet	džul po molu kelvinu	J/(mol K)	$\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
izlaganje (X-zrakama i γ -zrakama)	kulon po kilogramu	C/kg	$\text{kg}^{-1} \text{s A}$
brzina apsorbirane doze	grej u sekundi	Gy/s	$\text{m}^2 \text{s}^{-3}$
jakost zračenja	vat po steradianu	W/sr	$\text{m}^4 \text{m}^{-2} \text{kg s}^{-3} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
radijancija	vat po četvornome metru steradianu	W/(m ² sr)	$\text{m}^2 \text{m}^{-2} \text{kg s}^{-3} = \text{kg s}^{-3}$
koncentracija katalitičke aktivnosti	katal po kubičnome metru	kat/m ³	$\text{m}^{-3} \text{s}^{-1} \text{mol}$

Vrijednosti nekoliko fizikalnih veličina mogu se izražavati uporabom istih naziva i znakova za SI jedinicu. Tako je džul po kelvinu SI jedinica i za toplinski kapacitet i za entropiju. Slično je amper SI jedinica i za osnovnu veličinu električnu struju i za izvedenu veličinu magnetomotornu silu. Prema tomu je važno da se za specifikaciju veličine ne upotrebljava samo naziv. To se pravilo primjenjuje ne samo na znanstvene i tehničke tekstove nego i na mjerila (tj. mjerila trebaju pokazivati ne samo jedinicu nego i odgovarajuću mjernu veličinu).

Izvedena jedinica može se često izražavati na više različitih načina kombinacijom naziva osnovnih jedinica i izvedenih jedinica s posebnim nazivima. Naprimjer umjesto džula

može se pisati njutnmetar ili čak kilogram četvorni metar u sekundi na drugu. Ipak tu algebarsku slobodu ograničuju fizikalni razlozi koje nalaže zdrav razum; neki oblici u danoj situaciji mogu biti korisniji od drugih.

U praksi se, kako bi se smanjio rizik od brkanja između veličina iste dimenzije, prednost daje uporabi određenih posebnih naziva jedinica ili određenih kombinacija naziva jedinica. Kad se ta sloboda upotrebljava potrebno je podsjetiti se na način kako je definirana ta jedinica. Naprimjer, veličina moment može se smatrati vektorskim umnoškom sile i udaljenosti, što navodi uporabu jedinice njutnmetar ili se može smatrati energijom po kutu, što navodi na uporabu jedinice džul po radijanu. SI jedinica za frekvenciju dana je kao herc, što podrazumijeva jedinicu ciklus u sekundi, SI jedinica kutne brzine dana je kao radijan u sekundi, a SI jedinica aktivnosti kao bekerel, što podrazumijeva jedinicu događaja u sekundi. Premda bi formalno bilo ispravno sve tri jedinice pisati kao recipročna sekunda uporabom različitih naziva, ističe se različita narav dotičnih veličina. Uporabom jedinice radijan u sekundi za kutnu brzinu i jedinice herc za frekvenciju također se ističe da je brojčana vrijednost kutne brzine u radijanima u sekundi 2π puta veća od brojčane vrijednosti odgovarajuće frekvencije u hercima.

U području ionizacijskog zračenja na isti se način SI jedinica aktivnosti naziva bekerel, a ne recipročna sekunda, a SI jedinice apsorbirane doze i doznog ekvivalenta nazivlju se redom grej i sivert, a ne džul po kilogramu. Posebni nazivi bekerel, grej i sivert posebno su uvedeni zbog opasnosti koje bi za ljudsko zdravlje mogle nastati iz pogrešne uporabe jedinica recipročna sekunda i džul po kilogramu u slučaju da se zabunom uzme da te jedinice označuju druge uključene veličine.

CIPM je, znajući posebnu važnost jedinica koje su povezane s ljudskim zdravljem, za 5. izdanje ove brošure prihvatio posebno objašnjenje o sivertu: vidi 1. preporuku (CI-1984) koju je prihvatio CIPM (PV, 1984., 52, 31 i *Metrologia*, 1985., 21, 90) i 2. preporuku (CI-2002), koju je prihvatio CIPM (PV, 70, 205), vidi redom str. 68 i 75.

2.2.3 Jedinice za nedimenzijske veličine, koje se također nazivaju veličinama dimenzije jedan

Neke se veličine definiraju kao omjeri dviju veličina iste vrste, pa prema tomu nemaju dimenziju ili imaju dimenziju koja se može izraziti brojem jedan. Suvisla SI jedinica svih takvih nedimenzijskih veličina, ili veličina dimenzije jedan, broj je jedan jer ta jedinica mora biti omjer dviju istovjetnih SI jedinica. Vrijednosti svih takvih jedinica izražavaju se jednostavno brojevima, a jedinica jedan izravno se ne prikazuje. Primjeri su takvih veličina indeks loma, relativna permeabilnost i faktor trenja. Postoje također neke veličine koje se definiraju kao složeniji umnožak jednostavnijih veličina tako da njihov umnožak nema dimenziju. Primjeri su "karakteristični brojevi" kao što su Reynoldsov broj $Re = \rho v l / \eta$, pri čemu je ρ gustoća mase, η dinamička viskoznost, v brzina i l duljina. U svim takvim slučajevima jedinica se može smatrati brojem jedan, što je izvedena nedimenzijska jedinica.

Drugi su razred nedimenzijskih veličina brojevi koji prikazuju kakav rezultat brojenja, kao što su broj molekula, degeneracija (broja energetske razina) i funkcija particije u statističkoj termodinamici (broj toplinski dostupnih stanja). Sve te brojive veličine također se opisuju kao nedimenzijske ili veličine dimenzije jedan, te se uzima da imaju SI jedinicu jedan, premda se jedinica veličina dobivenih brojenjem ne može opisati kao izvedena jedinica koja se izražava s pomoću osnovnih SI jedinica. Za takve se veličine jedinica jedan može smatrati dodatnom osnovnom jedinicom.

U nekim slučajevima međutim jedinici jedan daje se poseban naziv kako bi se olakšala identifikacija uključene veličine. To je slučaj za radijan i steradian. Radijan i steradian CGPM je utvrdio kao posebne nazive za suvislu jedinicu jedan koji se upotrebljavaju za izražavanje vrijednosti redom ravninskoga kuta i prostornoga kuta, te su prema tomu uključene u tablicu 3.

3 Desetični višekratnici i nižekratnici SI jedinica

3.1 SI predmetci

11. CGPM (1960., 12. zaključak; CR, 87) prihvatio je prvi niz predmetaka i znakova predmetaka za tvorbu naziva i znakova desetičnih višekratnika i nižekratnika SI jedinica u području od 10^{12} do 10^{-12} . Predmetke za 10^{-15} i 10^{-18} dodao je 12. CGPM (1964., 8. zaključak; CR, 94), predmetke za 10^{15} i 10^{18} 15. CGPM (1975., 10. zaključak; CR, 106 i *Metrologia*, 1975., **11**, 180–181), a predmetke za 10^{21} , 10^{24} , 10^{-21} i 10^{-24} 19. CGPM (1991., 4. zaključak; CR, 185 i *Metrologia*, 1992, **29**, 3). U tablici 5. daju se svi odobreni predmetci i njihovi znakovi.

Tablica 5.: SI predmetci

Faktor	Naziv	Znak	Faktor	Naziv	Znak
10^1	deka	da	10^{-1}	deci	d
10^2	hekto	h	10^{-2}	centi	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}	ato	a
10^{21}	zeta	Z	10^{-21}	zepto	z
10^{24}	jota	Y	10^{-24}	jokto	y

Ti SI predmetci strogo se odnose na potencije broja 10. Oni se ne smiju upotrebljavati za označivanje potencija broja 2 (naprimjer jedan kilobit prikazuje 1000 bita, a ne 1024 bita). IEC je prihvatio predmetke za binarne potencije u međunarodnoj normi IEC 60027-2:2005, treće izdanje, *Slovni znakovi u elektrotehnici – 2. dio: Telekomunikacije i elektronika*. Nazivi i znakovi predmetaka koji odgovaraju potencijama 2^{10} , 2^{20} , 2^{30} , 2^{40} , 2^{50} , 2^{60} i redom su: kibi (Ki), mebi (Mi), gibi (Gi), tebi (Ti), pebi (Pi) i eksbi (Ei). Prema tomu npr. jedan kibibajt bi se pisao $1 \text{ KiB} = 2^{10} \text{ B} = 1024 \text{ B}$, gdje B označuje bajt. Premda ti predmetci nisu dio SI-a, trebaju se upotrebljavati u području informacijske tehnike kako bi se izbjegla neispravna uporaba SI predmetaka.

Znakovi predmetaka tiskaju se uspravno, kao i znakovi jedinica, bez obzira na tip koji se upotrebljava u ostalome tekstu i pridružuju se znakovima jedinica bez razmaka između znaka predmetka i znaka jedinice. S iznimkom da (deka), h (hekto) i k (kilo), svi znakovi predmetaka višekratnika pišu se velikim slovom, a svi znakovi predmetaka nižekratnika malim slovima. Svi nazivi predmetaka pišu se malim slovima, osim na početku rečenice.

Primjeri uporabe predmetaka:
pm (pikometar)
mmol (milimol)
GΩ (gigaom)
THz (teraherc)

Pridruživanjem znaka predmetka znaku jedinice tvori se novi neodvojivi znak jedinice (koja čini višekratnik ili nižekratnik dotične jedinice) koji se može potencirati i kombinirati s drugim znakovima jedinica za tvorbu složenih znakova jedinica.

Primjeri: $2,3 \text{ cm}^3 = 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
 $1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}$
 $1 \text{ V/cm} = (1 \text{ V})/(10^{-2} \text{ m}) = 10^2 \text{ V/m} = 100 \text{ V/m}$
 $5000 \mu\text{s}^{-1} = 5000 (\mu\text{s})^{-1} = 5000 (10^{-6} \text{ s})^{-1} = 5 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$

Slično su nazivi predmetaka također neodvojivi od naziva jedinica kojima su pridruženi. Prema tomu npr. mililitra, mikropaskal i meganjutn jedna su riječ.

Znakovi složenih predmetaka tj. znakovi koji se tvore supostavljanjem dvaju ili više znakova predmetaka nisu dopušteni. To se pravilo primjenjuje i na nazive složenih predmetaka.

nm (nanometar), *ali ne* mμm (milimikrometar)

Znakovi predmetaka ne mogu stajati sami niti se mogu pridruživati broju 1, znaku za jedinicu jedan. Isto tako se nazivi predmetaka ne mogu pridruživati nazivu jedinice jedan, tj. riječi "jedan".

Broj atoma olova u uzorku
 $N(\text{Pb}) = 5 \times 10^6$, *ali ne*
 $N(\text{Pb}) = 5 \text{ M}$, gdje je
 predviđeno da M bude
 predmetak mega koji stoji
 sam.

Nazivi i znakovi predmetaka upotrebljavaju se s nizom jedinica izvan SI-a (vidi poglavlje 5), ali oni se nikad ne upotrebljavaju s jedinicama vremena: minutom (min), satom (h) i danom (d). Međutim astronomi upotrebljavaju lučnu milisekundu koju označuju kao mas i lučnu mikrosekundu (μas) koje upotrebljavaju kao jedinice za mjerenje veoma malih kutova.

3.2 Kilogram

Među osnovnim jedinicama Međunarodnog sustava jedinica jedina je jedinica mase čiji naziv iz povijesnih razloga sadržava predmetak. Nazivi i znakovi za desetične višekratnike i nižekratnike jedinice mase tvore se dodavanjem naziva predmetka nazivu "gram", a znakovi predmetaka znaku jedinice "g" (CIPM, 1967., 2. preporuka; PV, 35, 29 i *Metrologia*, 1968., 4, 45).

$10^{-6} \text{ kg} = 1 \text{ mg}$ (1 miligram),
ali ne $1 \mu\text{kg}$
 (1 mikrokilogram)

4 Jedinice izvan međunarodnog sustava

Međunarodni sustav jedinica (SI) sustav je jedinica koji je prihvatio CGPM koji osigurava međunarodno dogovorenu referenciju s pomoću koje se danas definiraju sve druge jedinice. Preporučuje se za uporabu u znanosti, tehnici i trgovini. Osnovne SI jedinice i suvisle izvedene SI jedinice, uključujući jedinice s posebnim nazivima, imaju važnu prednost jer čine suvisao skup, što ima za posljedicu da se ne zahtijeva pretvorba jedinica kad se umjesto veličina u veličinske jednadžbe uvrštavaju posebne vrijednosti. Budući da je SI jedini sustav jedinica koji je globalno prihvaćen, on također ima očitu prednost za uspostavljanje svjetskoga dijaloga. Konačno, ako svatko upotrebljava taj sustav, on pojednostavnjuje učenje znanosti i tehnike idućoj generaciji.

Ipak se priznaje da se neke jedinice izvan SI-a još uvijek pojavljuju u znanstvenoj, tehničkoj i trgovinskoj literaturi, a neke će se vjerojatno i dalje još dugo upotrebljavati. Neke jedinice izvan SI-a imaju povijesno značenje u osnovnoj literaturi. Druge jedinice izvan SI-a, kao naprimjer jedinice vremena i kuta, tako su duboko ukorijenjene u povijest i kulturu ljudske rase da će se i dalje upotrebljavati i u doglednoj budućnosti. Pojedini znanstvenici trebaju katkad također imati slobodu upotrebljavati jedinice izvan SI-a za koje misle da su posebno prikladne za njihov znanstveni rad. Primjer je uporaba jedinica Gaussova CGS-sustava u teoriji elektromagnetizma primijenjenoj na kvantnu elektrodinamiku i relativnost. Iz tih je razloga korisno dati popis nekih važnijih jedinica izvan SI-a kako je učinjeno u nastavku. Međutim, kad se upotrebljavaju te jedinice, treba uvijek imati na umu da se time gubi prednost SI-a.

Uključivanje jedinica izvan SI-a u ovaj tekst ne treba tumačiti kao poticaj za uporabu tih jedinica. Iz već navedenih razloga SI jedinicama se uvijek daje prednost. Poželjno je također izbjegavati kombinacije jedinica izvan SI-a sa SI jedinicama; posebno kombinacije takvih jedinica sa SI jedinicama u tvorbi složenih jedinica treba ograničiti na posebne slučajeve kako bi se zadržala suvislost koja je postignuta uporabom SI jedinica. Konačno, kad se upotrebljavaju neke od jedinica izvan SI-a iz tablica 7., 8. i 9. dobra je praksa da se jedinica izvan SI-a definira s pomoću odgovarajućih SI jedinica.

4.1 Jedinice izvan SI-a koje su prihvaćene za uporabu sa SI-em i jedinice koje se temelje na temeljnim stalnicama

CIPM je (2004. godine) izmijenio razredbu jedinica izvan SI-a danu u prijašnjemu 7. izdanju ove brošure. Tablica 6. daje jedinice izvan SI-a koje je CIPM prihvatio za uporabu s Međunarodnim sustavom jer se široko upotrebljavaju sa SI-em u svakodnevnome životu. Očekuje se da će se njihova uporaba i dalje nastaviti, a svaka ima točnu definiciju s pomoću SI jedinica. U tablicama 7., 8. i 9. nalaze se jedinice koje se upotrebljavaju

samo u posebnim okolnostima. Jedinice u tablici 7. odnose se na temeljne stalnice, a njihove se vrijednosti trebaju određivati pokusima. Tablice 8. i 9. sadržavaju jedinice koje imaju točno definirane vrijednosti s pomoću SI jedinica i upotrebljavaju se u posebnim okolnostima za zadovoljavanje potreba trgovine, zakona i posebnih znanstvenih interesa. Vjerojatno će se te jedinice i dalje još dugo upotrebljavati. Mnoge od tih jedinica također su važne za tumačenje starijih znanstvenih tekstova. O svakoj od tablica 6., 7., 8. i 9. raspravlja se u nastavku.

U tablicu 6. uključene su tradicionalne jedinice vremena i kuta. Ona također sadržava hektar, litru i tonu koje su sve u uobičajenoj svakodnevnoj uporabi u cijelome svijetu i koje se razlikuju od odgovarajućih suvislih SI jedinica za cjelobrojnu potenciju broja deset. S nekim od tih jedinica upotrebljavaju se SI predmetci, ali ne i s jedinicama vremena.

Tablica 6.: Jedinice izvan SI-a koje se upotrebljavaju s Međunarodnim sustavom jedinica

Veličina	Naziv jedinice	Znak	Vrijednost u SI jedinicama
vrijeme	minuta	min	1 min = 60 s
	sat ^(a)	h	1 h = 60 min = 3 600 s
	dan	d	1 d = 24 h = 86 400 s
ravninski kut	stupanj ^(b, c)	°	1° = (π/180) rad
	minuta	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad
	sekunda ^(d)	''	1'' = (1/60)' = (π/648 000) rad
ploština	hektar ^(e)	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²
obujam	litra ^(f)	L, l	1 L = 1 l = 1 dm ³ = 10 ³ cm ³ = 10 ⁻³ m ³
masa	tona ^(g)	t	1 t = 10 ³ kg

- (a) Znak te jedinice uključen je u 7. zaključak 9. CGPM-a (1948.; CR, 70).
- (b) ISO 31 preporučuje da se stupanj dijeli desetično, a ne uporabom minuta i sekunda. Međutim u navigaciji i geodeziji minuta ima prednost jer na površini Zemlje jedna minuta zemljopisne širine odgovara (približno) jednoj morskoj milji.
- (c) Gon (ili grad, pri čemu je grad drugi naziv za gon) druga je jedinica ravninskoga kuta jedinici stupanj, koja se definira kao (π/200) rad. Prema tomu 100 gona je pravi kut. Potencijalna je vrijednost gona u navigaciji u tome što je udaljenost od pola do Zemljina ekvatora približno jednaka 10 000 km, 1 km na površini Zemlje odgovara kutu iz središta Zemlje od jednog centigona. Međutim gon se rijetko upotrebljava.
- (d) U primjenama u astronomiji mali se kutovi mjere lučnim sekundama (tj. sekundama ravninskoga kuta), koje se označuju kao '' ili lučnim milisekundama, lučnim pikosekundama redom s oznakama mas, μas, pas, gdje je lučna sekunda drugi naziv za sekundu ravninskoga kuta.
- (e) Jedinicu hektar i njezin znak ha prihvatio je CIPM 1879. godine (PV, 1879., 41). Hektar se upotrebljava za izražavanje površine zemljišta.
- (f) Litru i njezin znak l prihvatio je CIPM 1879. godine (PV, 1879., 41). Drugi znak (veliko slovo L) prihvatio je 16. CGPM (1979., 6. zaključak i *Metrologia*, 1980., 16, 56–57) da bi se izbjegla opasnost od brkanja slova l (el) i brojke 1 (jedan).
- (g) Tonu i njezin znak t prihvatio je CIPM 1879. (PV, 1879., 41). U zemljama engleskoga govornog područja ta se jedinica obično naziva "metričkom tonom".

Tablica 7. sadržava jedinice čije se vrijednosti u SI jedinicama trebaju određivati pokušom, te im je prema tomu pridružena određena nesigurnost. S iznimkom astronomske jedinice sve su druge jedinice iz tablice 7. povezane s temeljnim fizikalnim stalnicama. Prve tri jedinice, jedinice izvan SI-a redom elektronvolt (znak eV), dalton ili atomsku jedinicu mase (znak Da ili u) i astronomsku jedinicu (znak ua), prihvatio je CIPM za uporabu sa SI-em. Jedinice iz tablice 7. igraju važne uloge u velikome broju specijaliziranih područja u kojima se mjerni rezultati ili izračuni najprikladnije i najkorisnije izražavaju u tim jedinicama. Vrijednosti elektronvolta i daltona ovise redom o elementarnome naboju e i Avogadrovoj stalnici N_A .

Postoji velik broj drugih jedinica te vrste jer postoje mnoga područja u kojima je rezultate eksperimentalnih opažanja ili teoretskih izračuna najprikladnije izražavati s pomoću temeljnih prirodnih stalnica. Dva su najvažnija takva sustava koja se temelje na temeljnim stalnicama sustav prirodnih jedinica (natural units, n.u.) koji se upotrebljava u fizici visokih energija ili fizici čestica i sustav atomskih jedinica (atomic units, a.u.) koji se upotrebljava u atomskoj fizici i kvantnoj kemiji. U sustavu n.u. osnovne su veličine redom za mehaniku brzina svjetlosti u vakuumu c_0 , Planckova stalnica h podijeljena s 2π , koja se naziva Planckovom reduciranom stalnicom sa znakom $\hbar$ i masa elektrona m_e . Općenito tim jedinicama nisu dodijeljeni nikakvi posebni nazivi ni znakovi nego se jednostavno nazivaju n.u. brzine (znak c_0), n.u. djelovanja (znak $\hbar$) i n.u. mase (znak m_e). U tome je sustavu vrijeme izvedena jedinica te je n.u. vremena izvedena jedinica jednaka kombinaciji osnovnih jedinica $\hbar/m_e c_0^2$. Slično se u a.u. sustavu bilo koje četiri od pet veličina naboj, masa, djelovanje, duljina i energija uzimaju kao osnovne veličine. Odgovarajuće su osnovne jedinice elementarni naboj e , masa elektrona m_e , djelovanje $\hbar$, Bohrov polumjer (ili bor) a_0 i Hartreejeva energija (ili hartri) E_h . U tome je sustavu opet vrijeme izvedena veličina, a a.u. vremena izvedena jedinica jednaka kombinaciji jedinica $\hbar/E_h$. Napominjemo da je $a_0 = \alpha/(4\pi R_\infty)$, gdje je α stalnica fine strukture, a R_∞ Rydbergova stalnica; a $E_h = e^2/(4\pi\epsilon_0 a_0) = 2R_\infty hc_0 = \alpha^2 m_e c_0^2$, gdje je ϵ_0 električna stalnica i ima točnu vrijednost u SI-u.

Za obavijest u tablici 7. također je dan popis tih deset prirodnih i atomskih jedinica s njihovim vrijednostima u SI-u. Budući da se sustavi veličina na kojima se te jedinice temelje tako temeljito razlikuju od onog na kojemu se temelji SI one se obično ne upotrebljavaju sa SI-em, te ih CIPM nije službeno prihvatio za uporabu s Međunarodnim sustavom. Kako bi se osiguralo razumijevanje, konačni se mjerni rezultat ili izračun izražen u prirodnim ili atomskim jedinicama treba također uvijek izražavati u odgovarajućim SI jedinicama. Prirodne jedinice (n.u.) i atomske jedinice (a.u.) upotrebljavaju se samo u njihovim posebnim područjima u fizici čestica i atomskoj fizici, odnosno u kvantnoj kemiji. Standardne nesigurnosti u njihovim najmanje važnim brojkama prikazane su u zagradama nakon svake brojčane vrijednosti.

Tablica 7.: Jedinice izvan SI-a čije se vrijednosti u SI jedinicama dobivaju pokusom

Veličina	Naziv jedinice	Znak jedinice	Vrijednost u SI jedinicama ^(a)
Jedinice prihvaćene za uporabu sa SI			
energija	elektronvolt ^(b)	eV	1 eV = 1,602 176 53 (14) × 10 ⁻¹⁹ J
masa	dalton ^(c)	Da	1 Da = 1,660 538 86 (28) × 10 ⁻²⁷ kg
	jedinica atomske mase	u	1 u = 1 Da
duljina	astronomska jedinica ^(d)	ua	1 ua = 1,495 978 706 91 (6) × 10 ¹¹ m
Prirodne jedinice (n.u.)			
brzina	n.u. brzine (brzina svjetlosti u vakuumu)	<i>c</i> ₀	299 792 458 m/s (točno)
djelovanje	n.u. djelovanja (reducirana Planckova stalnica)	<i>ħ</i>	1,054 571 68 (18) × 10 ⁻³⁴ J s
masa	n.u. mase (masa elektrona)	<i>m</i> _e	9,109 3826 (16) × 10 ⁻³¹ kg
vrijeme	n.u. vremena	<i>ħ/m_ec₀²</i>	1,288 088 6677 (86) × 10 ⁻²¹ s
Atomske jedinice (a.u.)			
naboj	a.u. naboja (elementarni naboj)	<i>e</i>	1,602 176 53 (14) × 10 ⁻¹⁹ C
masa	a.u. mase (masa elektrona)	<i>m</i> _e	9,109 3826 (16) × 10 ⁻³¹ kg
djelovanje	a.u. djelovanja (reducirana Planckova stalnica)	<i>ħ</i>	1,054 571 68 (18) × 10 ⁻³⁴ J s
duljina	a.u. duljine, bor (Bohrov polumjer)	<i>a</i> ₀	0,529 177 2108 (18) × 10 ⁻¹⁰ m
energija	a.u. energije, hartri (Hartreejeva energija)	<i>E_h</i>	4,359 744 17 (75) × 10 ⁻¹⁸ J
vrijeme	a.u. vremena	<i>ħ/E_h</i>	2,418 884 326 505 (16) × 10 ⁻¹⁷ s
(a) Vrijednosti u SI jedinicama svih jedinica u toj tablici osim astronomske jedinice uzete su iz 2002. CODATA skupa preporučenih vrijednosti temeljnih fizikalnih stalnica, P.J. Mohr i B.N. Taylor, <i>Rev. Mod. Phys.</i>, 2005., 77, 1–107. Standardna nesigurnost dviju posljednjih znamenaka dana je u zagradama (vidi 5.3.5, str. 42). (b) Elektronvolt je kinetička energija koju zadobije elektron pri prolazu kroz potencijalnu razliku od 1 volt u vakuumu. Elektronvolt se često kombinira sa SI predmetcima. (c) Dalton (Da) i atomska jedinica mase (u) drugi su nazivi (i znakovi) za istu jedinicu jednaku 1/12 mase atoma slobodnog ugljika 12 u mirovanju i njegovu osnovnome stanju. Dalton se često kombinira sa SI predmetcima naprimjer za izražavanje masa velikih molekula u kilodaltonima (kDa) ili megadaltonima (MDa) ili za izražavanje vrijednosti malih razlika mase atoma ili molekula u nanodaltonima (nDa) ili čak pikodaltonima (pDa). (d) Astronomska jedinica približno je jednaka srednjoj udaljenosti između Zemlje i Sunca. Ona je jednaka polumjeru neporemećene Newtonove orbite oko Sunca čestice koja ima infinitezimalnu masu sa srednjim kretanjem od 0,017 202 098 95 radijana u danu (poznata kao Gaussova stalnica). Vrijednost dana za astronomsku jedinicu navodi se u IERS Conventions 2003 (D.D. McCarty i G. Petit eds., <i>IERS Technical Note 32</i>, Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2004., 12). Vrijednost astronomske jedinice u metrima dolazi iz JPL efemerida DE403 (Standish E.M., Izvještaj IAU WGAS podskupine o brojčanim normama, <i>Highlights of Astronomy</i>, Appenzeller ed., Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1995., 180–184).			

Tablice 8. i 9. sadržavaju jedinice izvan SI-a koje upotrebljavaju posebne interesne skupine iz niza različitih razloga. Premda se uporabi SI jedinica daje prednost iz već navedenih razloga, autori koji vide posebnu prednost uporabe jedinica izvan SI-a trebaju imati slobodu upotrebljavati jedinice koje smatraju najprikladnijim za njihovu svrhu. Budući da su SI jedinice međunarodni temelj s pomoću kojih se definiraju sve druge jedinice, oni koji upotrebljavaju jedinice iz tablice 8. i 9. trebaju uvijek dati definiciju jedinica koje upotrebljavaju s pomoću SI jedinica.

Tablica 8. daje također jedinice logaritamskih omjera veličina, nepera, bela i decibela. To su nedimenzijske jedinice koje se ponešto razlikuju po svojoj prirodi od drugih nedimenzijskih jedinica te neki znanstvenici čak smatraju da se one ne bi smjele nazivati jedinicama. One se upotrebljavaju za prijenos podataka o naravi dotičnoga logaritamskog omjera veličina. Neper (Np) se upotrebljava za izražavanje vrijednosti veličina čije se brojčane vrijednosti temelje na uporabi Neperovih (ili prirodnih) logaritama ($\ln = \log_e$). Bel i decibel (B i dB), pri čemu je $1 \text{ dB} = (1/10) \text{ B}$, upotrebljavaju se za izražavanje logaritamskih omjera veličina čije se brojčane vrijednosti temelje na desetačnim (dekadskim) logaritmima ($\lg = \log_{10}$). Način na koji se te jedinice tumače opisan je u fusnotama (g) i (h) tablice 8. Brojčane vrijednosti tih jedinica rijetko se zahtijevaju. Jedinice neper, bel i decibel prihvatio je CIPM za uporabu s Međunarodnim sustavom, ali ih ne smatra SI jedinicama.

SI predmetci upotrebljavaju se s dvije jedinice iz tablice 8., naime s barom (npr. milibar, mbar) i s belom, posebno decibel (dB). Decibel se navodi izrijekom u tablici 8. jer se bel rijetko upotrebljava bez toga predmetka.

Tablica 8.: Druge jedinice izvan SI-a

Veličina	Naziv jedinice	Znak jedinice	Vrijednost u SI jedinicama
tlak	bar ^(a)	bar	$1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 100 \text{ kPa} = 10^5 \text{ Pa}$
	milimetar žive ^(b)	mmHg	$1 \text{ mmHg} \approx 133,322 \text{ Pa}$
duljina	angstrom ^(c)	Å	$1 \text{ Å} = 0,1 \text{ nm} = 100 \text{ pm} = 10^{-10} \text{ m}$
udaljenost	morska milja ^(d)	M	$1 \text{ M} = 1852 \text{ m}$
ploština	barn ^(e)	b	$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = (10^{-12} \text{ cm})^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$
brzina	čvor ^(f)	kn	$1 \text{ kn} = (1852/3600) \text{ m/s}$
logaritamski omjer veličina	neper ^(g,i)	Np	[vidi fusnotu (j) koja se odnosi na brojčanu vrijednost nepera, bela i decibela]
	bel ^(h,i)	B	
	decibel ^(h,i)	dB	

(a) Bar i njegov znak uključeni su u 7. zaključak 9. CGPM-a (1948; CR, 70). Od 1982. godine jedan se bar upotrebljava kao normirani tlak za tablično prikazivanje termodinamičkih podataka. Do 1982. kao normirani tlak upotrebljavala se normirana atmosfera jednaka 1,013 25 bar ili 101 325 Pa.

(b) Milimetar žive zakonita je jedinica za mjerenje krvnoga tlaka u nekim zemljama.

(c) Angstrom se široko upotrebljava u rendgenskoj kristalografiji i strukturalnoj kemiji jer sve kemijske veze leže u području od 1 do 3 angstrema. Međutim CIPM i CGPM nisu ga službeno prihvatili.

(d) Morska je milja posebna jedinica koja služi za izražavanje udaljenosti u pomorskoj i zračnoj navigaciji. Ovdje danu dogovorenu vrijednost prihvatila je Prva međunarodna izvanredna hidrografska konferencija, Monako, (1929.) pod nazivom "međunarodna morska milja". Kako još ne postoji međunarodno dogovoreni znak, upotrebljavaju se znakovi M, NM, Nm i nmi; u tablici 8. upotrebljava se znak M. Ta je jedinica bila izvorno odabrana, i nadalje će se upotrebljavati, jer jedna morska milja na površini Zemlje približno prikazuje duljinu koja odgovara jednoj kutnoj minuti s vrhom u središtu Zemlje, što je prikladno kad se zemljopisna širina ili duljina mjere u kutnim stupnjevima ili minutama.

(e) Barn je posebna jedinica koja se upotrebljava u nuklearnoj fizici za izražavanje efektivnoga poprečnog presjeka.

- (f) Čvor se definira kao jedna morska milja u satu. Ne postoji međunarodno dogovoren znak, ali se obično upotrebljava znak kn.
- (g) Izraz $L_A = n \text{ Np}$ (gdje je n neki broj) tumači se u značenju da je $\ln(A_2/A_1) = n$. Prema tomu kad je $L_A = 1 \text{ Np}$, $A_2/A_1 = e$. Znak A upotrebljava se ovdje za oznaku amplitude sinusoidalnog signala, a L_A se tada naziva Neperovim logaritamskim omjerom amplituda ili Neperovom razlikom razina amplituda.
- (h) Izraz $L_X = m \text{ dB} = (m/10)\text{B}$ (gdje je m neki broj) tumači se u značenju da je $\log(X/X_0) = m/10$. Prema tomu kad je $L_X = 1 \text{ B}$, $X/X_0 = 10$, a kad je $L_X = 1 \text{ dB}$, $X/X_0 = 10^{1/10}$. Ako znak X označuje srednju vrijednost kvadrata signala ili veličinu sličnu snazi, tada se L_X naziva razinom snage u odnosu na X_0 .
- (i) Pri uporabi tih jedinica važno je da bude specificirana narav veličine te svaka referentna vrijednost koja se upotrebljava. Te jedinice nisu SI jedinice, ali ih je CIPM prihvatio za uporabu sa SI jedinicama.
- (j) Brojčane vrijednosti nepera, bela i decibela (i prema tomu odnos bela i decibela s neperom) rijetko se zahtijevaju. Oni ovise o načinu na koji se definiraju logaritamske veličine.

Tablica 9. razlikuje se od tablice 8. samo po tome što se jedinice u tablici 9. odnose na stariji CGS (centimetar-gram-sekunda) sustav jedinica, koji uključuje CGS električne jedinice. U području mehanike CGS sustav jedinica izgrađen je na tri veličine i odgovarajućim osnovnim jedinicama: centimetru, gramu i sekundi. U području elektriciteta i magnetizma jedinice su se izražavale s pomoću tih triju osnovnih jedinica uporabom definicijskih jednačaba različitih od onih koje su se upotrebljavale u SI-u. Kako se to može provoditi na različite načine, to je dovelo do uspostavljanja nekoliko različitih sustava, naime CGS-ESU sustava, CGS-EMU sustava (elektromagnetskog) i Gaussova CGS sustava jedinica. Uvijek se priznavalo da je posebno Gaussov CGS sustav imao prednosti u određenim područjima fizike, posebno u klasičnoj i relativističkoj elektrodinamici (9. CGPM, 1948., Zaključak 6.). Tablica 9. daje odnose između tih CGS jedinica i SI-a te daje popis CGS jedinica kojima su dodijeljeni posebni nazivi. Što se tiče jedinica iz tablice 8., s nekim od tih jedinica (npr. milidin, miligauss, mG itd.) upotrebljavaju se SI predmetci.

Tablica 9.: Jedinice izvan SI-a pridružene CGS sustavu i Gaussovu CGS sustavu jedinica

Veličina	Naziv jedinice	Znak jedinice	Vrijednost u SI jedinicama
energija	erg ^(a)	erg	1 erg = 10^{-7} J
sila	din ^(a)	din	1 din = 10^{-5} N
dinamička viskoznost	poaz ^(a)	P	1 P = 1 din s cm ⁻² = 0,1 Pa s
kinematička viskoznost	stoks	St	1 St = 1 cm ² s ⁻¹ = 10^{-4} m ² s ⁻¹
osvjetljenje	stilb ^(a)	sb	1 sb = 1 cd cm ⁻² = 10^4 cd m ⁻²
svjetljivost	fot	ph	1 ph = 1 cd sr cm ⁻² = 10^4 lx
ubrzanje	gal ^(b)	Gal	1 Gal = 1 cm s ⁻² = 10^{-2} m s ⁻²
magnetski tijek	maksvel ^(c)	Mx	1 Mx = 1 G cm ² = 10^{-8} Wb
gustoća magnetskoga tijeka	gaus ^(c)	G	1 G = 1 Mx cm ⁻² = 10^{-4} T
magnetsko polje	ersted ^(c)	Oe	1 Oe $\hat{=}$ $(10^3/4\pi)$ A m ⁻¹

- (a) Ta jedinica i njezin znak bili su uključeni u 7. zaključak 9. CGPM (1948.; CR, 70).
- (b) Gal je posebna jedinica koja služi u geodeziji i geofizici za izražavanje ubrzanja sile teže.
- (c) Te su jedinice dio takozvanoga "elektromagnetskog" trodimenzijskog CGS sustava koji se temelji na neracionaliziranim veličinskim jednadžbama, a moraju se pažljivo uspoređivati s odgovarajućom jedinicom Međunarodnog sustava koja se temelji na racionaliziranim jednadžbama koje imaju četiri dimenzije i četiri veličine za elektromagnetsku teoriju. Magnetski tijek (Φ) i gustoća magnetskoga tijeka (B) definiraju se sličnim jednadžbama i u CGS sustavu i SI-u, tako da se između odgovarajućih jedinica može uspostaviti međusobni odnos kao u tablici. Međutim neracionalizirano magnetsko polje, H (neracionalizirano) = $4\pi \times H$ (racionalizirano). Za označivanje da je, kad je H (neracionalizirano) = 1 Oe, H (racionalizirano) = $(10^3/4\pi)$ A m⁻¹, upotrebljava se znak ekvivalencije ($\hat{=}$).

4.2 Druge jedinice izvan SI-a koje se ne preporučuju za uporabu

Postoji mnogo više jedinica izvan SI-a, čiji je broj prevelik da bi se navodile ovdje, koje imaju povijesno značenje ili se još uvijek upotrebljavaju, ali samo u specijaliziranim područjima (npr. barel nafte) ili u posebnim zemljama (npr. palac, stopa, jard). CIPM ne vidi nikakav razlog da se te jedinice i dalje upotrebljavaju u suvremenome znanstvenom i tehničkom radu. Međutim zbog njihove važnosti potrebno je imati mogućnost pronaći podatke o odnosu između tih jedinica i odgovarajućih SI jedinica, a to će potrajati još dugo. CIPM je tako odlučio sastaviti popis faktora pretvorbe takvih jedinica u SI jedinice i učiniti ga dostupnim na mrežnoj stranici BIPM-a

www.bipm.org/en/si/si_brochure/chapter4/conversion_factors.html.

5 Pisanje naziva i znakova jedinica i izražavanje vrijednosti veličina

Opća načela za pisanje znakova jedinica i brojeva prvo je predložio 9. CGPM (1948., 7. zaključak). Ta su načela nakon toga razradili ISO, IEC i druge međunarodne organizacije. Iz toga proizlazi da danas postoji opći konsenzus o tome kako upotrebljavati nazive i znakove jedinica, uključujući i nazive predmetaka te znakove veličina, te kako izražavati vrijednosti veličina. Sukladnost tih pravila i dogovora o stilu, od kojih se najvažnije prikazuju u ovome poglavlju, pomažu čitljivosti znanstvenih i tehničkih članaka.

5.1 Znakovi jedinica

Znakovi jedinica pišu se uspravno bez obzira na tip slova koja se upotrebljavaju u ostalom tekstu. Općenito se znakovi jedinica pišu malim slovima, ali ako su izvedeni iz vlastitog imena pišu se velikim početnim slovom.

m, metar
s, sekunda
Pa, paskal
 Ω , om

Kao iznimku 16. je CGPM prihvatio (1979. zaključkom 6.) da je za litru dopušteno veliko slovo L ili malo slovo l kako bi se izbjeglo moguće brkanje broja 1 (jedan) s malim slovom l (el).

L ili l, litra

Kad se upotrebljavaju predmetci višekratnika ili nižekratnika, oni su dio jedinice te se stavljaju ispred znaka jedinice bez odvajanja. Predmetak se nikad ne upotrebljava odvojeno te se nikad ne upotrebljavaju složeni predmetci.

nm, *ne* mnm
Dugačak je 75 cm,
a ne 75 cm. dugačak

Znakovi su jedinica matematički entiteti, a ne kratice. Prema tomu iza njih se nikad ne stavlja točka, osim ako su na kraju rečenice. Ne smiju se sklanjati¹⁾ (kao kratice) niti se smiju miješati sa znakovima i nazivima jedinica u izrazima jer nazivi nisu matematički entiteti.

l = 75 cm
ne 75 cm-a.

kulon po kilogramu
ne kulon po kg

Pri tvorbi umnožaka ili količnika znakova jedinica primjenjuju se uobičajena algebarska pravila. Množenje se mora označiti razmakom ili točkom (·) na polovici visine slova jer bi se inače neki predmetci mogli pogrešno protumačiti kao znak jedinice. Dijeljenje se označuje vodoravnom crtom, kosom crtom (/) ili negativnim eksponentom. Kad se kombinira više znakova jedinica, mora se voditi briga da se izbjegnu nejasnoće, npr. uporabom zagrada ili negativnih eksponenata. Kosa se crta ne smije upotrebljavati više od jedanput u danome izrazu bez zagrada kako bi se uklonile nejasnoće.

N m ili N · m
za njutnmetar
m/s ili $\frac{m}{s}$ ili ms^{-1} za metar
u sekundi

ms, milisekunda
m s, metar puta sekunda
m kg/(s³ A)
ili m kg s⁻³ A⁻¹
ali ne m kg/s³/A
niti m kg/s³ A

Nije dopušteno upotrebljavati kratice za znakove jedinica ili nazive jedinica kao što su sec (umjesto s ili sekunde), sq. mm (umjesto mm² ili četvorni milimetar) cc (umjesto cm³ ili kubični centimetar) ili mps (umjesto m/s ili metar u sekundi). Uporaba ispravnih znakova obavezna je za SI jedinice i za jedinice općenito kako su navedene u prijašnjim poglavljima ove brosure. Na taj se način izbjegavaju dvosmislenosti i pogrešna tumačenja vrijednosti veličina.

¹⁾ U izvorniku stoji "ne mijenjaju se u množini" (napomena prevoditelja).

5.2 Nazivi jedinica

Nazivi jedinica normalno se pišu uspravnim pismom, a s njima se postupa kao s običnim imenicama. U hrvatskome¹⁾ se jeziku jedinice pišu malim početnim slovom (čak kad znak jedinice počinje velikim slovom), osim na početku rečenice ili u tekstu koji je u cijelosti napisan velikim slovima kao što su naslovi. U skladu s tim pravilom naziv jedinice sa znakom °C ispravno se piše "Celzijev stupanj" (jedinica stupanj počinje malim slovom s, a modifikator Celzijev počinje velikim slovom C jer je to vlastito ime).

Premda se vrijednosti veličina normalno ne izražavaju uporabom znakova za brojeve i znakove jedinica, ako je iz nekih razloga naziv jedinice prikladniji nego znak jedinice, naziv jedinice treba se napisati u cijelosti.

Kad se naziv jedinice kombinira s nazivom predmetka višekratnika ili nižekratnika, između naziva predmetka i naziva jedinice ne upotrebljava se razmak ili spojnica. Kombinacija naziva predmetka i naziva jedinice jedna je riječ. Vidi poglavlje 3., točku 3.1.

Kad se međutim u hrvatskome jeziku naziv izvedene jedinice tvori od naziva pojedinih jedinica množenjem, tada se za odvajanje naziva pojedinih jedinica upotrebljava razmak (ili *critica*).¹⁾

U hrvatskome se jeziku u nazivima jedinica dignutih na potencije upotrebljavaju modifikatori kao što su "na drugu (na kvadrat)" ili "na treću" i oni se stavljaju nakon naziva jedinice. Međutim u slučaju ploštine ili obujma kao alternativa mogu se upotrebljavati modifikatori "četvorni" ili "kubični", a ti se modifikatori stavljaju ispred naziva jedinice.²⁾

naziv jedinice	znak
džul	J
herc	Hz
metar	m
sekunda	s
amper	A
vat	W

2,6 m/s
ili 2,6 metara u sekundi

miligram,
ali ne mili-gram
kilopaskal,
ali ne kilo-paskal

paskal sekunda ili
paskal-sekunda

metar u sekundi na kvadrat
četvorni centimetar
kubični milimetar
amper po četvornome metru
kilogram po kubičnome metru

5.3 Pravila i način pisanja vrijednosti veličina

5.3.1 Vrijednost i brojčana vrijednost veličine i uporaba računa s veličinama

Vrijednost veličine piše se kao umnožak broja i jedinice, a broj kojim se množi jedinica brojčana je vrijednost veličine izražene tom jedinicom. Između broja i jedinice uvijek se ostavlja jedan prostorni razmak. Brojčana vrijednost ovisi o odabiru jedinice. Tako je vrijednost posebne veličine neovisna o odabiru jedinice, premda će se brojčane vrijednosti razlikovati u različitim jedinicama.

Znakovi veličina tiskaju se kurzivom, a to su općenito pojedinačna slova latinice ili grčkoga alfabeta. Mogu se upotrebljavati velika ili mala slova, a dopunski se podatci o veličini mogu dodati kao indeksi ili kao podatci u zagradama. Tako se znak *C* preporučuje kao znak za toplinski kapacitet, *C_m* za molarni kapacitet, *C_{m,p}* za molarni kapacitet pri stalnome tlaku, a *C_{m,v}* za molarni kapacitet pri stalnome obujmu.

Preporučeni nazivi i znakovi veličina daju se u mnogim normama kao što su ISO 31, *Veličine i jedinice*, IUPAP SUNAMCO Crvena knjiga, *Znakovi, jedinice i nomenklatura u fizici* te IUPAC-va Zelena knjiga, *Veličine, jedinice i znakovi u kemiji*. Međutim znakovi su za veličine preporuke (za razliku od znakova jedinica za koje je uporaba ispravnog oblika obvezatna). U posebnim okolnostima autori mogu željeti upotrebljavati znakove za veličine po svojem izboru, npr. kako bi se izbjeglo brkanje koje nastaje iz uporabe

Ista se vrijednost brzine
 $v = dx/dt$ neke čestice može
dati izrazom $v = 25 \text{ m/s} =$
 90 km/h , pri čemu je 25
brojčana vrijednost brzine u
metrima u sekundi, a 90
brojčana vrijednost brzine u
jedinici kilometara na sat.

¹⁾ U izvorniku se govori o načinu pisanja na francuskome i engleskome jeziku (napomena prevoditelja).

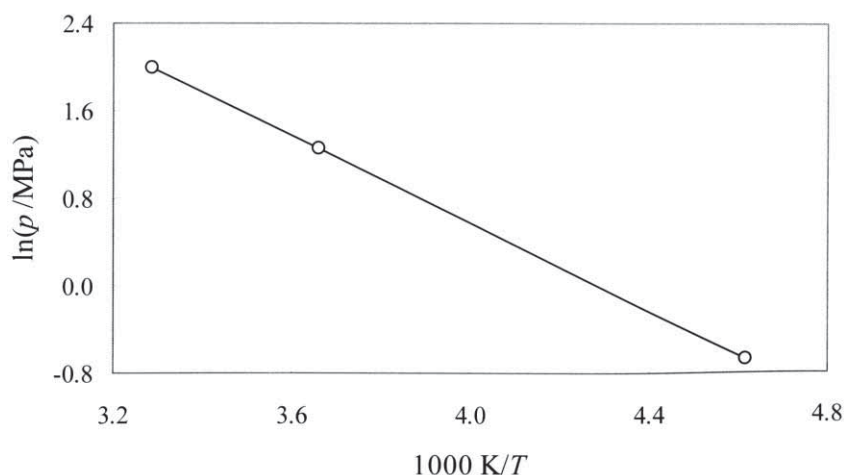
²⁾ Ovaj je dio prijevoda prilagođen hrvatskomu pravopisu i praksi. U izvorniku se govori o pravilima na engleskome i francuskome govornom području (napomena prevoditelja).

istog znaka za dvije različite veličine. U takvim se slučajevima mora jasno navesti značenje znakova. Međutim ni naziv veličine ni znak koji se upotrebljava za njezino označivanje ne trebaju podrazumijevati poseban odabir jedinice.

Sa znakovima jedinica postupa se kao s matematičkim entitetima. Pri izražavanju vrijednosti veličine kao umnoška brojčane vrijednosti i jedinice s brojem i jedinicom može se postupati prema uobičajenim algebarskim pravilima. Taj se postupak opisuje kao uporaba računa s veličinama ili kao algebra veličina. Naprimjer, jednačba $T = 293 \text{ K}$ može se jednako napisati kao $T/K = 293$. Često je korisno tako pisati omjer veličine s njezinom jedinicom u naslovima stupaca u tablicama, tako da su upisane vrijednosti u tablicama jednostavno brojevi. Primjer u nastavku pokazuje tablicu tlaka pare kao funkciju temperature, a logaritam tlaka pare kao funkciju recipročne temperature s tako označenim stupcem.

T/K	$10^3 \text{ K}/T$	p/MPa	$\ln(p/\text{MPa})$
216,55	4,6179	0,5180	-0,6578
273,15	3,6610	3,4853	1,2486
304,19	3,2874	7,3815	1,9990

Na taj se način također mogu označivati osi grafikona, tako da oznake sadržavaju samo brojeve, kao u grafikonu u nastavku.



Umjesto izraza $10^3 \text{ K}/T$ mogu se upotrebljavati istovrijedni algebarski oblici kao što su kK/T ili $10^3 (T/\text{K})^{-1}$.

5.3.2 Znakovi veličina i jedinica

Upravo kao što znak veličine ne bi trebao podrazumijevati nikakav posebni odabir jedinice, tako se ni znak jedinice ne bi trebao upotrebljavati za davanje posebnih podataka o veličini te nikad ne bi trebao biti jedini izvor podataka o veličini. Jedinice se nikad ne opisuju (kvalificiraju) dodatnim podacima o naravi veličine; svi dodatni podatci o naravi veličine trebaju se pridružiti znaku veličine, a ne znaku jedinice.

Naprimjer:

Najveća razlika električnih potencijala jednaka je $U_{\max} = 1000 \text{ V}$, **ali ne** $U = 1000 \text{ V}_{\max}$. Maseni udio bakra u uzorku silicija jednak je $w(\text{Cu}) = 1,3 \times 10^{-6}$, **ali ne** $1,3 \times 10^{-6} \text{ w/w}$.

5.3.3 Pisanje vrijednosti veličine

Brojčana vrijednost uvijek prethodi jedinici, a za odvajanje jedinice od broja uvijek se upotrebljava razmak. Tako je vrijednost veličine umnožak broja i jedinice, pri čemu se razmak smatra znakom množenja (upravo kao što i razmak između jedinica podrazumijeva množenje). Jedine su iznimke od toga pravila znakovi jedinica za stupanj, minutu i sekundu za ravninski kut, redom °, ', ", za koje se između brojčane vrijednosti i znaka jedinice ne ostavlja razmak.

To pravilo znači da znaku °C za Celzijev stupanj prethodi razmak kad se izražava vrijednost Celzijeve temperature t .

Čak i kad se vrijednost veličine upotrebljava kao pridjev, između brojčane se vrijednosti i znaka jedinice ostavlja razmak. Uobičajena se pravopisna pravila primjenjuju samo pri pisanju naziva jedinice, tako da bi se u hrvatskome¹⁾ jeziku za odvajanje broja od jedinice upotrebljavala spojnika.

U svakome se izrazu upotrebljava samo jedna jedinica. Iznimka je od toga pravila izražavanje vrijednosti vremena i faznog kuta uporabom jedinica izvan SI-a. Međutim, za ravninske se kutove općenito prednost daje desetičnome dijeljenju stupnja. Prema tomu bi se pisalo 22,20°, a ne 22° 12', osim u područjima kao što su navigacija, kartografija, astronomija i mjerenje veoma malih kutova.

$m = 12,3$ g, gdje se m upotrebljava kao znak za veličinu masu, ali $\varphi = 30^\circ 22' 8''$, gdje se φ upotrebljava kao znak za ravninski kut.

$t = 30,2^\circ\text{C}$,
ali ne $t = 30,2^\circ\text{C}$,
ni $t = 30,2^\circ\text{C}$

otpornik od 10 kΩ

35-milimetarski film

$l = 10,234$ m,
ali ne
 $l = 10$ m 23,4 cm

5.3.4 Pisanje brojeva i desetičnog znaka

Znak koji se upotrebljava za odvajanje cjelobrojnoga od desetičnoga dijela broja naziva se desetičnim znakom. Na temelju odluke 22. CGPM-a (2003., Zaključak 10.) "desetični znak mora biti točka ili zarez". Odabrani desetični znak treba biti onaj koji je uobičajen u dotičnome kontekstu.

Ako se broj nalazi između +1 i −1, desetičnomu znaku tada uvijek prethodi ničtica.

−0,234,
ali ne −,234

Na temelju odluke 9. CGPM-a (1948., Zaključak 7.) i odluke 22. CGPM-a (2003., Zaključak 10.), kako bi se olakšalo čitanje, znamenke višeznamenastih brojeva mogu se malim razmakom rastavljati u skupine od po tri. Između tih se skupina u prazni prostor ne smiju umetati ni točke ni zarezi. Međutim kad ispred ili iza desetičnog znaka postoje samo četiri znamenke uobičajeno je da se za odvajanje jedne znamenke ne upotrebljava razmak. Praksa rastavljanja znamenaka na taj način stvar je izbora; ne primjenjuje se uvijek u specijaliziranim primjenama kao što su tehnički crteži, financijski izvještaji i tekstovi koji se čitaju računalno.

43 279,168 29,
ali ne 43.279,168.29

3279,1683
ili 3 279,168 3

Za brojeve u tablici upotrijebljeni se format ne smije mijenjati u jednome stupcu.

5.3.5 Izražavanje mjerne nesigurnosti vrijednosti veličine

Mjerna nesigurnost koja je pridružena procijenjenoj vrijednosti veličine treba se odrediti i izražavati u skladu s *Uputama za iskazivanje mjerne nesigurnosti* [ISO, 1995]. Standardna se nesigurnost (tj. procijenjeno standardno odstupanje, faktor pokrivanja $k = 1$) pridružena veličini x označuje s $u(x)$. U sljedećemu primjeru dan je prikladan način za prikaz nesigurnosti:

¹⁾ U izvorniku se govori o načinu pisanja na francuskome i engleskome jeziku (napomena prevoditelja).

$$m_n = 1,674\,927\,28\,(29) \times 10^{-27} \text{ kg}$$

gdje je m_n znak za veličinu (u ovome slučaju masu neutrona), a broj u zagradama brojčana je vrijednost sastavljene standardne nesigurnosti procijenjene vrijednosti m_n koja se odnosi na dvije posljednje znamenke navedene vrijednosti; u tome je slučaju $u(m_n) = 0,000\,000\,29 \times 10^{-27} \text{ kg}$. Ako se upotrebljava neki drugi faktor pokrivanja (k) različit od jedan, taj se faktor mora navesti.

5.3.6 Množenje ili dijeljenje znakova veličina, vrijednosti veličina ili brojeva

Kad se znakovi veličina množe ili dijele, može se upotrebljavati bilo koja od sljedećih metoda: ab , $a\,b$, $a \cdot b$, $a \times b$, a/b , $\frac{a}{b}$, ab^{-1} .

Kad se vrijednosti veličina množe, treba se upotrebljavati znak množenja $\times$ ili zgrade, a ne točka na poluvisini slova. Kad se brojevi množe treba se upotrebljavati samo znak množenja $\times$.

Kad se za dijeljenje vrijednosti veličina upotrebljava kosa crta, treba upotrebljavati zgrade kako bi se uklonile nejasnoće.

Primjeri:

$F = ma$ za silu jednaku umnošku mase i ubrzanja

$(53 \text{ m/s}) \times 10,2 \text{ s}$ ili

$(53 \text{ m/s})(10,2 \text{ s})$

$25 \times 60,5$ **ali ne** $25 \cdot 60,5$

$(20 \text{ m})/(5 \text{ s}) = 4 \text{ m/s}$

$(a/b)/c$, **ali ne** $a/b/c$

5.3.7 Iskazivanje vrijednosti nedimenzijских veličina ili veličina dimenzije jedan

Kako je rečeno u podtočki 2.2.3, za nedimenzijske veličine, koje se također nazivaju veličinama dimenzije jedan, suvisla je SI jedinica broj jedan (znak 1). Vrijednosti takvih veličina jednostavno se izražavaju brojevima. Znak jedinice 1 ili naziv jedinice "jedan" izravno se ne prikazuju niti se jedinici jedan daju posebni znakovi ili nazivi, osim u nekoliko sljedećih iznimaka. Za veličinu ravninski kut jedinici jedan dan je posebni naziv radijan (znak rad), a za veličinu prostorni kut jedinici jedan dan je posebni naziv steradian (znak sr). Za veličine koje se izražavaju logaritmicima omjera upotrebljavaju se posebni nazivi neper (znak Np), bel (znak B) i decibel (znak dB) (vidi podtočku 4.1 i tablicu 8, str. 36).

Budući da se znaku 1 i nazivu "jedan" ne mogu pridružiti znakovi SI predmetaka, za izražavanje vrijednosti posebno velikih ili malih nedimenzijских veličina upotrebljavaju se potencije broja 10.

U matematičkim se izrazima za prikaz broja 0,01 može zajedno sa SI-em upotrebljavati međunarodno prihvaćen znak % (posto). Prema tomu on se može upotrebljavati za iskazivanje vrijednosti nedimenzijских veličina. Kad se on upotrebljava, broj i znak % odvajaju se razmakom. Pri takvome iskazivanju vrijednosti nedimenzijских veličina treba upotrebljavati znak %, a ne naziv "postotak".

U pisanim tekstovima znak % općenito znači "dijelova u sto".

Izraze kao što su "maseni postotak", "obujamski postotak" ili "postotak količine tvari" ne bi trebalo upotrebljavati; umjesto toga dodatne podatke o veličini treba nositi naziv ili znak veličine.

Pri izražavanju vrijednosti nedimenzijских razlomaka (npr. udjela mase, udjela obujma, relativne nesigurnosti) katkad je korisna uporaba omjera dviju jedinica iste vrste.

Također se upotrebljava naziv "ppm" sa značenjem relativne vrijednosti od 10^{-6} ili 1 u 10^6 , ili dijelova u milijun. To je analogno značenju postotka kao dijelova u sto. Također

$n = 1,51$,

ali ne $n = 1,51 \times 1$,

gdje je n znak veličine za indeks loma

$x_B = 0,0025 = 0,25 \%$, gdje je x_B znak veličine za udio količine (molni udio) jedinice B.

Zrcalo odražava 95 % upadnih fotona.

$\varphi = 3,6 \%$,

ali ne $\varphi = 3,6 \%$ (V/V), gdje φ označuje obujamski udio.

$x_B = 2,5 \times 10^{-3}$
 $= 2,5 \text{ mmol/mol}$

$u_r(U) = 0,3 \text{ } \mu\text{V/V}$, gdje je $u_r(U)$ relativna mjerna nesigurnost mjerenog napona U .

se upotrebljavaju nazivi "dijelova u milijardu" i njihove odgovarajuće kratice "ppb" i "ppt", ali su njihova značenja jezično ovisna. S toga je razloga nazive ppb i ppt najbolje izbjegavati. (U zemljama engleskoga govornog područja općenito se uzima da je bilijun jednak 10^9 , a trilijun 10^{12} ; međutim bilijun se katkad može tumačiti kao 10^{12} , a trilijun kao 10^{18} .)

Kad se upotrebljava bilo koji od znakova %, ppm itd. važno je navesti nedimenzijsku veličinu čija se vrijednost specificira.

Dodatak 1. – Odluke CGPM-a i CIPM-a

U ovome dodatku daju se one odluke CGPM-a i CIPM-a u koje su izravno uključene definicije jedinica SI-a, predmetaka za uporabu sa SI-em i dogovori o pisanju znakova jedinica i brojeva. To nije potpun popis odluka CGPM-a i CIPM-a. Za potpun popis upućuje se na uzastopne sveske *Comptes Rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures* (CR) i *Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures* (PV) ili, za novije odluke, na glasilo *Metrologia*.

Kako SI nije statičan dogovor, nego se razvija u skladu s razvojem znanosti o mjerenju, neke su odluke ukinute ili preinačene, druge su pojašnjene dodatcima. Odluke koje su podvrgnute takvim promjenama označene su zvjezdicom (*) te su napomenom povezane s odlukom kojom je službeno potvrđena njihova preinaka.

Izvorni tekst svake odluke (ili njegov prijevod) prikazuje se različitim pismom normalne veličine slova kako bi se razlikovao od osnovnoga teksta. Zvjezdice i napomene dodao je BIPM kako bi se tekst učinio razumljivijim. One nisu sastavni dio izvornoga teksta.

Popis odluka CGPM-a i CIPM-a dan je u ovome dodatku strogo kronološkim redom od 1889. do 2005. godine kako bi se sačuvano kontinuitet. Međutim, kako bi se olakšalo lociranje odluka koje se odnose na određene teme, u nastavku su uključene tablice sadržaja poredane prema predmetima s upućivanjem na stranicu posebnih sastanaka na kojima su donesene odluke koje se odnose na svaki predmet.

Sadržaj dodatka 1.

Odluke koje se odnose na uspostavu Međunarodnog sustava jedinica (SI)		stranica
9. CGPM (1948.):	odluka o uspostavljanju SI-a	53
10. CGPM (1954.):	odluka o prvih šest osnovnih jedinica	55
CIPM (1956.):	odluka o prihvatanju naziva Međunarodni sustav jedinica	55
11. CGPM (1960.):	potvrđuje naziv i kraticu SI, nazive predmetaka od tera do piko, uspostavlja dopunske jedinice rad i sr, daje popis nekih izvedenih jedinica	56
CIPM (1969.):	izjave koje se odnose na osnovne, dopunske, izvedene i suvisle jedinice i uporabu predmetaka	62
CIPM (2001.):	SI jedinice i jedinice SI-a	73
 Odluke koje se odnose na osnovne jedinice Međunarodnog sustava jedinica		
Duljina		
1. CGPM (1889.):	ozakonjenje pramjere metra	50
7. CGPM (1927.):	definicija metra s pomoću međunarodne pramjere	51
11. CGPM (1960.):	definicija metra s pomoću zračenja kriptona 86	56
15. CGPM (1975.):	preporučuje vrijednost za brzinu svjetlosti	64
17. CGPM (1983.):	definicija metra uporabom brzine svjetlosti, ostvarenje definicije metra	67
CIPM (2002.):	specificira pravila za praktično ostvarenje definicije metra	74
CIPM (2003.):	revizija popisa preporučenih zračenja	76
CIPM (2005.):	revizija popisa preporučenih zračenja	78
 Masa		
1. CGPM (1889.):	ozakonjenje pramjere kilograma	50
3. CGPM (1901.):	izjava o razlikovanju mase i težine i o dogovorenoj vrijednosti g_n	51
CIPM (1967.):	izjava o primjeni predmetaka na gram	60
21. CGPM (1999.):	buduća definicija kilograma	72
 Vrijeme		
CIPM (1956.):	definicija sekunde kao dijela tropske godine 1900.	55
11. CGPM (1960.):	prihvaća definiciju sekunde CIPM-a iz 1956.	56
CIPM (1964.):	izjavljuje da hiperfini prijelaz cezija 133 bude preporučeni etalon	58

stranica

12. CGPM (1964.):	ovlašćuje CIPM da istraži atomske i molekularne frekvencijske etalone	58
13. CGPM (1967.–1968.):	SI jedinica vremena (sekunda)	60
CCDS (1970.):	definira međunarodno atomsko vrijeme (TAI)	63
14. CGPM (1971.):	zahtijeva da CIPM definira i uspostavi međunarodno atomsko vrijeme	63
15. CGPM (1975.):	odobrava uporabu usklađenoga svjetskog vremena (UTC)	64

Električne jedinice

CIPM (1946.):	definicije mehaničkih i električnih jedinica u SI-u	51
14. CGPM (1971.):	prihvaća naziv simens (znak S) za električnu vodljivost	63
18. CGPM (1987.):	predstojeće ugađanje prikaza volta i oma	69
CIPM (1988.):	Josephsonov pojav	69
CIPM (1988.):	Kvantni Hallov pojav	70
CIPM (2000.):	ostvarenje oma uporabom vrijednosti van Klitzingove stalnice	73

Termodinamička temperatura

9. CGPM (1948.):	prihvaća trojnu točku vode kao referentnu termodinamičku točku, prihvaća da je ništica Celzijeve temperature 0,01 stupanj ispod trojne točke	52
CIPM (1948.):	prihvaća naziv Celzijev stupanj za Celzijevu temperaturnu ljestvicu	53
10. CGPM (1954.):	definira termodinamičku temperaturu tako da je trojna točka vode točno jednaka 273,16 stupnjeva Kelvina definira normiranu atmosferu	54
13. CGPM (1967. – 1968.):	odlučuje o formalnoj definiciji kelvina (znak K)	61
CIPM (1989.):	Međunarodna temperaturna ljestvica iz 1990. (ITS-90)	71
CIPM (2005.):	napomena dodana definiciji kelvina koja se odnosi na izotopni sastav vode	77

Količina tvari

14. CGPM (1971.):	definicija mola (znak mol) kao sedme osnovne jedinice i pravila za njezinu uporabu	64
21. CGPM (1999.):	prihvaća posebni naziv katal (kat)	73

Svjetlosna jakost

CIPM (1946.):	definicije fotometrijskih jedinica, nove svijeće i novoga lumena	51
13. CGPM (1967. – 1968.):	definicija kandeke (znak cd) s pomoću crnoga tijela	61
16. CGPM (1979.):	definicija kandeke s pomoću jednobojnoga zračenja	65

Odluke koje se odnose na izvedene i dopunske SI jedinice		stranica
Izvedene SI jedinice		
12. CGPM (1964.):	prihvaća nastavak uporabe kirija kao jedinice izvan SI-a	59
13. CGPM (1967.–1968.):	daje popis primjera izvedenih jedinica	62
15. CGPM (1975.):	prihvaća posebne nazive bekerel (Bq) i grej (Gy)	65
16. CGPM (1979.):	prihvaća posebni naziv svert (Sv)	66
CIPM (1984.):	odlučuje objasniti odnos između apsorbirane doze (SI jedinica grej) i doznog ekvivalenta (SI jedinica svert)	68
CIPM (2002.):	preinačuje odnos između apsorbirane doze i doznog ekvivalenta	75
Dopunske SI jedinice		
CIPM (1980.):	odlučuje dati tumačenje o dopunskim jedinicama kao izvedenim nedimenzijskim jedinicama	67
20. CGPM (1995.):	odlučuje ukloniti razred dopunskih jedinica i potvrđuje tumačenje CIPM-a da su one izvedene nedimenzijske jedinice	72
Odluke koje se odnose na nazive i prihvaćanje jedinica za uporabu sa SI-em		
SI predmetci		
12. CGPM (1964.):	odlučuje dodati femto i ato popisu predmetaka	59
15. CGPM (1975.):	odlučuje dodati peta i eksa popisu predmetaka	65
19. CGPM (1991.):	odlučuje dodati zeta, zepto, jota i jokto popisu predmetaka	71
Znakovi jedinica i brojevi		
9. CGPM (1948.):	donosi pravila za pisanje znakova jedinica	53
Nazivi jedinica		
13. CGPM (1967.–1968.):	ukida uporabu mikrona i nove svijeće kao jedinica prihvaćenih za uporabu sa SI-em	62
Desetični znak		
22. CGPM (1948.):	dopušta uporabu točke ili zareza kao desetičnog znaka	53

Jedinice prihvaćene za uporabu sa SI jedinicama; primjer: litra		stranica
3. CGPM (1901.):	definira litru kao obujam 1 kg vode	50
11. CGPM (1960.):	zahtijeva od CIPM-a da izvijesti o razlici između litre i kubičnoga decimetra	58
CIPM (1961.):	preporučuje da se obujam izražava u SI jedinicama, a ne u litrama	
12. CGPM (1964.):	ukida prijašnju definiciju litre, preporučuje da se litra može upotrebljavati kao posebni naziv za kubični decimetar	59
16. CGPM (1979.):	odlučuje, kao iznimku, dopustiti dva znaka l i L za litru	66

1. CGPM (1889.)

■ Ozakonjenje međunarodnih pramjera metra i kilograma* (CR, 34–38):

Opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir

- "izvještaj predsjednika CIPM-a" i "Izvještaj CIPM-a", koji pokazuje da su zajedničkom brigom Francuskog odsjeka Međunarodnoga povjerenstva o metru i CIPM-a sa sveukupnom točnošću i pouzdanošću koju dopušta sadašnje stanje znanosti provedena temeljna mjerenja međunarodnih i nacionalnih pramjera metra i kilograma
- da su međunarodne i nacionalne pramjere metra i kilograma izrađene od slitine platine s 10 posto iridija, do unutar 0,000 1
- jednakost duljine međunarodnog metra i jednakost mase međunarodnoga kilograma s duljinome metra i masom kilograma koji su pohranjeni u Francuskome državnom arhivu
- da razlike između nacionalnog metra i međunarodnog metra leže unutar 0,01 milimetra i da se te razlike temelje na ljestvici vodikova toplomjera koja se uvijek može obnoviti zahvaljujući stabilnosti vodika, pod uvjetom da su zajamčeni istovjetni uvjeti
- da razlike između nacionalnih kilograma i međunarodnog kilograma leže unutar 1 miligrama
- da međunarodni metar i kilogram te nacionalni metri i kilogrami ispunjavaju zahtjeve Dogovora o metru

odobrava

A. Što se tiče međunarodnih pramjera:

1. Pramjeru metra koju je odabrao CIPM. Ta će pramjera na temperaturi tališta leda odsada prikazivati metričku jedinicu duljine.
2. Pramjeru kilograma koju je prihvatio CIPM. Ta će se pramjera odsada smatrati jedinicom mase.
3. Stotičnu ljestvicu vodikova toplomjera na temelju koje su određene jednadžbe pramjere metra.

B. Što se tiče nacionalnih pramjera:

.....

* Ta je definicija metra ukinuta 1960. godine (11. CGPM, 6. zaključak, vidi str. 56).

3. CGPM (1901.)

■ Izjava koja se odnosi na definiciju litre* (CR, 38–39):

.....

* Ta je definicija ukinuta 1964. godine (12. CPGM, 6. zaključak, vidi str. 59).

Konferencija objavljuje:

1. Jedinica obujma, za određivanja visoke točnosti, obujam je koji zauzima masa od 1 kilograma čiste vode pri njezinoj najvećoj gustoći i na normiranome atmosferskom tlaku: taj se obujam naziva "litrom".
2. ...

■ Izjava o jedinici mase i definiciji težine; dogovorena vrijednost g_n (CR, 70):

Na temelju odluke CIPM-a od 15. listopada 1887. godine u skladu s kojom je kilogram određen kao jedinica mase;

Na temelju odluke sadržane u izreci o ozakonjenju pramjere metričkog sustava, koju je CIPM jednoglasno prihvatio 26. rujna 1889. godine;

Uzimajući u obzir potrebu da se ukloni dvosmislenost koja u praksi još postoji o značenju riječi *težina*, koja se katkad upotrebljava za *masu*, katkad za *mehaničku silu*;

Konferencija objavljuje:

1. Kilogram je jedinica mase; on je jednak masi međunarodne pramjere kilograma.
2. Riječ *težina* označuje veličinu iste naravi kao *sila*. Težina tijela jednaka je umnošku njegove mase i ubrzanja sile teže. Posebno normirana težina tijela jednaka je umnošku njegove mase i normiranog ubrzanja sile teže.
3. Vrijednost koju je prihvatila Međunarodna služba za utege i mjere za normirano ubrzanje sile teže jednaka je $980,665 \text{ cm/s}^2$, vrijednost koja je već utvrđena u zakonima nekih zemalja.

Vrijednost za g_n bila je dogovorna referencija za izračunavanje sada zastarjele jedinice kiloponda.

7. CGPM (1927.)

■ Definicija metra s pomoću međunarodne pramjere* (CR, str. 49)

Metar je jedinica duljine koja se definira kao udaljenost (na 0°C) između osi dviju središnjih crta označenih na štapu od platinoiridija koji se drži u BIPM-u, a prema 1. CGPM-u iskazuje pramjeru metra, taj je štap podvrgnut normiranom atmosferskom tlaku i oslanja se na dva valjka promjera od najmanje jednog centimetra koji su simetrično postavljeni u istoj vodoravnoj ravnini na međusobnoj udaljenosti od 571 mm.

* Ta je definicija ukinuta 1960. godine (11. CGPM, 6. zaključak, vidi str. 56).

CIPM (1946.)

■ Definicije fotometrijskih jedinica* (PV, 20, 119–122):

zaključak

...

4. Fotometrijske jedinice mogu se definirati na ovaj način:

Nova svijeća (jedinica svjetlosne jakosti): Vrijednost nove svijeće takva je da je svjetlina cijelog izvora zračenja na temperaturi krutišta platine jednaka 60 novih svijeća po četvornome centimetru.

Novi lumen (jedinica svjetlosnoga tijeka): Novi lumen jednak je svjetlosnomu tijeku koji jednoliko točkasti izvor svjetlosne jakosti od 1 nove svijeće zrači u jedinicu prostornoga kuta (steradian).

5.....

*Te dvije definicije sadržane u tome zaključku odobrio je 9. CGPM (1948.), koji je također odobrio naziv kandela dan "novoj svijeći" (CR, 54). Za lumen je pridjev "novi" kasnije izostavljen. Tu je definiciju preinačio 13. CGPM (1967.–1968., 5. zaključak, vidi str. 61).

■ Definicije električnih jedinica (PV, 20, 132–133):

2. zaključak

...

4. (A) Definicije mehaničkih jedinica koje ulaze u definicije električnih jedinica:

Jedinica sile: Jedinica sile [u MKS sustavu (metar, kilogram, sekunda)] sila je koja masi od 1 kilograma daje ubrzanje od 1 metra u sekundi u sekundi.

Definicije sadržane u tome zaključku odobrio je 1948. godine 9. CGPM (CR, 49), koji je također odobrio naziv njutn (zaključak 7) za MKS jedinicu sile.

Džul (jedinica energije ili rada): Džul je rad što se izvrši kad se točka na koju je primijenjena 1 MKS jedinica sile [njutn] pomakne za udaljenost od 1 metra u smjeru te sile.

Vat (jedinica snage): Vat je snaga koja u jednoj sekundi proizvede energiju od 1 džula.

(B) Definicije električnih jedinica. Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) prihvaća ove prijedloge koji određuju teoretske vrijednosti električnih jedinica:

Amper (jedinica električne struje): Amper je ona stalna struja koja bi kad bi se održavala u dva usporedna vodiča neizmjerne duljine i zanemariva poprečnoga presjeka smještena na međusobnoj udaljenosti od 1 metar u vakuumu proizvodila između tih vodiča silu jednaku 2×10^{-7} MKS jedinica sile [njutna] po metru duljine.

Volt (jedinica razlike potencijala i elektromotorne sile): Volt je razlika električnih potencijala između dviju točaka vodljive žice kroz koje teče stalna struja od 1 ampera kad je snaga koja se troši između tih dviju točaka jednaka jedan vat.

Om (jedinica električnog otpora): Om je električni otpor između dviju točaka vodiča kad stalna razlika potencijala od 1 volta primijenjena na te točke proizvodi u tome vodiču stalnu struju od 1 ampera, pri čemu vodič nije izvor elektromotorne sile.

Kulon (jedinica količine elektriciteta): Kulon je količina elektriciteta koju struja od 1 ampera prenese u 1 sekundi.

Farad (jedinica kapaciteta): Farad je kapacitet električnoga kondenzatora između čijih se ploča pojavljuje razlika električnih potencijala od 1 volta kad se on nabije količinom elektriciteta od 1 kulona.

Henri (jedinica električne indukcije): Henri je indukcija zatvorenoga kruga u kojemu jednolika promjena struje brzinom od 1 ampera u sekundi proizvede elektromotornu silu od 1 volta.

Veber (jedinica magnetskoga tijeka): Veber je onaj magnetski tijek koji bi u krugu od jednog zavoja proizveo elektromotornu silu od 1 volta kad bi se jednolikom brzinom u 1 sekundi smanjio na ništicu.

9. CGPM (1948.)

■ Trojna točka vode; termodinamička ljestvica s jednom čvrstom točkom; jedinica količine topline (džul) (CR, 55 i 63):

3. zaključak

1. Sa sadašnjim metodama trojna točka vode može dati termometrijsku referentnu točku s točnošću većom od one koja se može dobiti iz tališta leda.

Kao posljedica toga Savjetodavni odbor za termometriju i kalorimetriju (CCTC) smatra da se ništica na stotičnoj termodinamičkoj ljestvici mora definirati kao temperatura od 0,0100 stupnjeva ispod temperature trojne točke vode.

2. CCTC prihvaća načelo apsolutne termodinamičke ljestvice s jednom temeljnom čvrstom točkom koja se sada dobiva s pomoću trojne točke čiste vode, čija će apsolutna temperatura biti utvrđena kasnije.

Uvođenje te nove ljestvice nikako ne utječe na uporabu Međunarodne ljestvice, koja ostaje preporučena praktična ljestvica.

3. Džul je jedinica količine topline.

Napomena: Zahtijeva se da se rezultati kalorimetrijskih pokusa što je moguće više izražavaju u džulima. Ako se pokusi prave uspoređivanjem s porastom temperature vode (pa iz nekog

razloga nije moguće izbjeći uporabu kalorije), moraju se dati podatci nužni za pretvorbu u džule. CIPM je, po mišljenju CCTC-a, trebao za specifičnu toplinu vode prirediti tablicu koja u džulima po stupnju daje najtočnije vrijednosti koje se mogu dobiti pokusima.

Tablicu koja je priređena iz odgovora na taj upit odobrio je i objavio CIPM 1950. (PV, 22, 92).

■ Prihvaćanje "Celzijeva stupnja" [CIPM (1948.) (PV, 21, 88) i 9. CGPM (1948.) (CR, 64)]:

Od tri naziva ("stotični stupanj", "centezimalni stupanj", "Celsiusov stupanj") predložena za oznaku stupnja temperature CIPM je odabrao "Celsiusov stupanj" (PV, 21, 88.).

Taj je naziv prihvatio također 9. CGPM (CR, 64).

■ Prijedlog za uspostavu praktičnog sustava mjernih jedinica (CR, 64)

6. zaključak

Opća konferencija za utege i mjere (CGPM)

uzimajući u obzir

- da je Međunarodna udruga za fiziku tražila od CIPM-a da za međunarodnu uporabu prihvati praktični međunarodni sustav jedinica, preporučujući MKS sustav, i jednu električnu jedinicu apsolutnoga praktičnog sustava, ali ne preporučujući ipak da fizičari napuste CGS sustav
- da je CIPM i sam primio sličan zahtjev od Francuske vlade, popraćen nacrtom koji je trebalo upotrijebiti kao temelj za raspravu o uspostavi potpune specifikacije mjernih jedinica

nalaže CIPM-u:

- da u tu svrhu snažnim, djelotvornim službenim upitom istraži mišljenje znanstvenika, tehničkih i prosvjetnih krugova u svim zemljama (nudeći im u stvari francuski dokument kao temelj)
- da prikupi i prouči odgovore
- te da izradi preporuke za jedan praktični sustav mjernih jedinica, prikladan za prihvaćanje u svim zemljama koje su pristupile Dogovoru o metru.

■ Pisanje i tiskanje znakova jedinica i brojeva* (CR, 70)

7. zaključak

Načela

Kao znakovi jedinica upotrebljavaju se općenito mala uspravna slova. Ako su međutim znakovi izvedeni od vlastitih imena, upotrebljavaju se velika slova. Iza tih znakova ne stavlja se točka.

U brojevima se zarez (francuska praksa) ili točka (britanska praksa) upotrebljavaju samo za odvajanje cjelobrojnoga od desetičnoga dijela broja. Radi olakšanja čitanja brojevi se mogu rastavljati u skupine po tri. U prostore između skupina nikad se ne smiju umetati točke ili zarezi.

* CGPM je ukinuo određene odluke o jedinicama i nazivlju, posebno: mikron, apsolutni stupanj i nazive "stupanj" i "deg". 13. CGPM (1967. – 1968., 3. i 7. zaključak, vidi str. 61 i str. 62) i litra, 16. CGPM (1979., 6. zaključak, vidi str. 66).

Jedinica	Znak	Jedinica	Znak
•metar	m	amper	A
•četvorni metar	m ²	volt	V
•kubični metar	m ³	vat	W
•mikron	μ	om	Ω
•litra	l	kulon	C
•gram	g	farad	F
•tona	t	henri	H
sekunda	s	herc	Hz
erg	erg	poaz	P
din	din	njutn	N
Celzijev stupanj	°C	•kandela (nova svijeća)	cd
•apsolutni stupanj	°K	luks	lx
kalorija	cal	lumen	lm
bar	bar	stilb	sb
sat	h		

Napomene

1. Znakovi ispred čijih se naziva jedinica nalaze točke već su bili prihvaćeni odlukom CIPM-a.
2. Znak za ster, jedinicu obujma drva za ogrjev, mora biti "st", a ne "s", koji mu je prije dodijelio CIPM.
3. Za označivanje temperaturnog odsječka ili razlike, ali ne i temperature, mora se upotrebljavati cijela riječ "stupanj" ili (njezina) kratica "st".

10. CGPM (1954.)

■ Definicija termodinamičke temperaturne ljestvice* (CR, 79)

*13. CGPM (1967.–1968, 4. zaključak, vidi str. 61) izravno je definirao kelvin.

3. zaključak

10. opća konferencija za utege i mjere odlučuje definirati termodinamičku temperaturnu ljestvicu odabirom trojne točke vode kao temeljne čvrste točke, dodjeljujući joj temperaturu od 273,16 stupnjeva Kelvina (točno).

■ Definicija normirane atmosfere (CR, 79)

4. zaključak

10. opća konferencija za utege i mjere (CGPM), utvrdivši da je definicija normirane atmosfere koju je prilikom definiranja Međunarodne temperaturne ljestvice dao 9. CGPM navela neke fizičare da vjeruju da ta definicija normirane atmosfere vrijedi samo za točan rad u termometriji,

objavljuje da za sve uporabe prihvaća definiciju:

1 normirana atmosfera = 1 013 250 dina po četvornome centimetru, tj. 101 325 njutna po četvornome metru.

■ Praktični sustav mjernih jedinica* (CR, 80)

6. zaključak

U skladu s željom koju je izrazila 9. opća konferencija za utege i mjere (CGPM) u svojem 6. zaključku koji se odnosi na uspostavu praktičnog sustava mjernih jedinica za međunarodnu uporabu 10. CGPM

odlučuje prihvatiti ove jedinice kao osnovne jedinice tog sustava:

duljina	metar
masa	kilogram
vrijeme	sekunda
električna struja	amper
termodinamička temperatura	stupanj Kelvina
svjetlosna jakost	kandela

*Naziv jedinice termodinamičke temperature promijenjen je u "kelvin" 1967. godine (vidi 13. CGPM, 3. zaključak, str. 61).

CIPM (1956.)

■ Definicija jedinice vremena (sekunde)* (PV, 25, 77)

1. zaključak

Na temelju ovlaštenja danog u 5. zaključku 10. opće konferencije za utege i mjere, Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir:

1. da se 9. opća skupština Međunarodne astronomske udruge (Dublin, 1955.) izjasnila u prilog povezivanja sekunde s tropskom godinom
2. da je u skladu s odlukama 8. opće skupštine Međunarodne astronomske udruge (Rim, 1952.) sekunda efemeridnog vremena (ET) jednaka dijelu

$$\frac{12\,960\,276\,813}{408\,986\,496} \times 10^{-9} \text{ tropske godine za godinu 1900. siječanj 0 u 12 h ET}$$

odlučuje

"Sekunda je 1/31 556 925,974 7 dio tropske godine 1900. za siječanj 0 u 12 sati efemeridnog vremena."

* Ta je definicija ukinuta 1967. godine (13. CGPM, 1. zaključak, vidi str. 60).

■ Međunarodni sustav jedinica (PV, 25, 83)

3. zaključak

Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir

- zadatak koji mu je svojim 6. zaključkom povjerila 9. opća konferencija za utege i mjere (CGPM), koji se odnosi na uspostavljanje praktičnog sustava mjernih jedinica prikladna za prihvaćanje u svim zemljama koje su pristupile Dogovoru o metru
- dokumente koji su kao odgovor na upit koji je propisao 9. CGPM primljeni od dvadeset i jedne zemlje
- 6. zaključak 10. CGPM-a kojim se utvrđuju osnovne jedinice sustava koji treba uspostaviti,

preporučuje:

1. da se naziv "Međunarodni sustav jedinica" da sustavu utemeljenu na osnovnim jedinicama koje je prihvatio 10. CGPM, tj.:

[Slijedi popis šest osnovnih jedinica s njihovim znakovima ponovljen u 12. zaključku 11. CGPM-a (1960.).].

2. da se jedinice koje se daju u tablici u nastavku upotrebljavaju bez isključenja drugih koje se mogu naknadno dodati:

[Slijedi tablica jedinica ponovljena u 4. stavku 12. zaključka 11. CGPM (1960.).].

11. CGPM (1960.)**■ Definicija metra* (CR, 85)****6. zaključak**

11. Opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- da međunarodna pramjera ne određuje metar s točnošću koja odgovara sadašnjim potrebama mjeriteljstva
- da je osim toga poželjno prihvatiti kakav prirodan i neuništiv etalon,

odlučuje:

1. Metar je duljina jednaka 1 650 763,73 valnih duljina u vakuumu zračenja koje odgovara prijelazu između razina $2p_{10}$ i $5d_5$ atoma kriptona 86.
2. Ukida se definicija metra koja je na snazi od 1989. godine, koja se temelji na međunarodnoj pramjeri od platine i iridija.
3. Međunarodna pramjera metra koju je ozakonio 1. CGPM 1989. godine mora se čuvati u BIPM-u pod uvjetima utvrđenim 1889. godine.

* Tu je definiciju 1983. godine ukinuo 17. CGPM (1. zaključak, vidi str. 67).

■ Definicija jedinice vremena (sekunde)* (CR, 86)**9. zaključak**

11. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- ovlaštenje da definira temeljnu jedinicu vremena koje je Međunarodnom odboru za utege i mjere (CIPM) dao 10. CGPM
- odluku koju je donio CIPM 1956. godine,

odobrava ovu definiciju:

"Sekunda je $1/31\,556\,925,9747$ dio tropske godine za godinu 1900. siječanj 0 u 12 sati eferidnog vremena".*

* Tu je definiciju 1967. godine ukinuo 13. CGPM (1. zaključak, vidi str. 60).

■ Međunarodni sustav jedinica (CR, 87)**12. zaključak**

11. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- 6. zaključak 10. CGPM-a, kojim je šest osnovnih jedinica prihvaćeno za uspostavu praktičnog sustava mjernih jedinica za međunarodnu uporabu:

* CGPM je poslije ukinuo neke svoje odluke i proširio popis predmeta: vidi napomene u nastavku.

duljina	metar	m
masa	kilogram	kg
vrijeme	sekunda	s
električna struja	amper	A
termodinamička temperatura	Kelvinov stupanj	°K
svjetlosna jakost	kandela	cd

Naziv i znak za jedinicu termodinamičke temperature preinačio je 13. CGPM (1967. – 1968, 3. zaključak, vidi str. 61).

- zaključak koji je 1956. godine prihvatio CIPM
- preporuke koje se odnose na kratice za naziv sustava i predmetke za tvorbu višekratnika i nižekratnika jedinica koje je CIPM prihvatio 1958. godine,

odlučuje:

- Sustav koji se temelji na šest navedenih osnovnih jedinica naziva se "Međunarodnim sustavom jedinica".
- Međunarodna je kratica naziva sustava: SI.
- Nazivi višekratnika i nižekratnika jedinica tvore se s pomoću ovih predmetaka:

Sedmu osnovnu jedinicu (mol) prihvatio je 14. CGPM (1971., 3. zaključak, vidi str. 64)

Faktor kojim se množi jedinica	Predmetak	Znak	Faktor kojim se množi jedinica	Predmetak	Znak
1 000 000 000 000 = 10^{12}	tera	T	0,1 = 10^{-1}	deci	d
1 000 000 000 = 10^9	giga	G	0,01 = 10^{-2}	centi	c
1 000 000 = 10^6	mega	M	0,001 = 10^{-3}	mili	m
1 000 = 10^3	kilo	k	0,000 001 = 10^{-6}	mikro	μ
100 = 10^2	hekto	h	0,000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
10 = 10^1	deka	da	0,000 000 000 001 = 10^{-12}	piko	p

Daljnje predmetke prihvatili su 12. CGPM (1964., 8. zaključak, vidi str. 59), 15. CGPM (1975, 10. zaključak, vidi str. 65) i 19. CGPM (1991, 4. zaključak, vidi str. 71).

- Niže navedene jedinice upotrebljavaju se u tome sustavu, ne isključujući unaprijed druge koje se mogu naknadno dodati

Dopunske jedinice

ravninski kut	radijan	rad
prostorni kut	steradian	sr

20. CGPM ukinuo je razred dopunskih jedinica u SI-u (1995., 8. zaključak, vidi str. 72). One se sada smatraju izvedenim jedinicama.

Izvedene jedinice

ploština	četvorni metar	m ²	
obujam	kubični metar	m ³	
frekvencija	herc	Hz	1/s
gustoća (mase)	kilogram po kubičnome metru	kg/m ³	
brzina	metar u sekundi	m/s	
kutna brzina	radijan u sekundi	rad/s	
ubrzanje	metar u sekundi na drugu	m/s ²	
kutno ubrzanje	radijan u sekundi na drugu	rad/s ²	
sila	njuton	N	kg·m/s ²
tlak (mehaničko naprezanje)	njuton po četvornome metru	N/m ²	
kinematička viskoznost	četvorni metar u sekundi	m ² /s	

13. CGPM (1967–1968, 6. zaključak, vidi str. 62) dodao je druge jedinice tomu popisu izvedenih jedinica. Načelno je popis izvedenih jedinica neograničen.

dinamička viskoznost	njutnsekunda po četvornome metru	$\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$	
rad, energija, količina topline	džul	J	$\text{N} \cdot \text{m}$
snaga	vat	W	J/s
količina elektriciteta	kulon	C	A·s
električni napon, razlika potencijala, elektromotorna sila	volt	V	W/A
jakost električnoga polja	volt po metru	V/m	
električni otpor	om	Ω	V/A
kapacitet	farad	F	A·s/V
magnetski tijek	veber	Wb	V·s
indukcija	henri	H	V·s/A
gustoća magnetskoga tijeka	tesla	T	Wb/m ²
jakost magnetskoga polja	amper po metru	A/m	
magnetomotorna sila	amper	A	
svjetlosni tijek	lumen	lm	cd·sr
svjetljivost	kandela po četvornome metru	cd/m ²	
osvjetljenje	luks	lx	lm/m ²

■ Kubični decimetar i litra (CR, 88)

13. zaključak

11. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- da su kubični decimetar i litra nejednake jedinice i da se razlikuju za oko 28 milijuntinka
- da se određivanja fizikalnih veličina koja uključuju mjerenja obujma provode sve točnije i točnije, povećavajući tako opasnost brkanja kubičnog decimetra i litre,

poziva Međunarodni odbor za utege i mjere da prouči taj problem i iznese zaključke 12. CGPM-u.

CIPM (1961.)

■ Kubični decimetar i litra (PV, 29, 34)

preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere preporučuje da se rezultati točnih mjerenja obujma izražavaju u jedinicama međunarodnog sustava, a ne u litrama.

CIPM (1964.)

■ Atomski i molekularni frekvencijski etaloni (PV, 32, 26 i CR, 93.)

izjava

Međunarodni odbor za utege i mjere

koji je 5. zaključkom 12. opća konferencija za utege i mjere **ovlastila** da odredi atomske ili molekularne frekvencijske etalone za privremenu uporabu za fizikalna mjerenja vremena,

objavljuje da se kao etalon treba upotrebljavati prijelaz između hiperfinih razina $F = 4, M = 0$ i $F = 3, M = 0$ osnovnog stanja $^2\text{S}_{1/2}$ cezijeva atoma 133, neporemećena vanjskim poljima, a frekvenciji toga prijelaza dodjeljuje se vrijednost 9 192 631 770 herca.

12. CGPM (1964.)

■ Atomski etalon frekvencije (CR, 93)

5. zaključak

12. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- da je 11. CGPM u svojem 10. zaključku utvrdio hitnost prihvatanja atomskog ili molekularnog etalona vremenskog intervala za potrebe vrhunske metrologije
- da, usprkos već postignutim rezultatima s cezijevim atomskim etalonima frekvencije, nije još došlo vrijeme da CGPM prihvati novu definiciju sekunde, osnovne jedinice međunarodnog sustava jedinica, zbog novih znatnih poboljšanja koja će se vjerojatno postići u istraživanjima koja su sada u tijeku

uzimajući također u obzir da nije više poželjno čekati da se mjerenja vremena u fizici temelje na atomskim ili molekularnim frekvencijskim etalonima,

ovlašćuje CIPM da odredi atomske ili molekularne frekvencijske etalone koji će se zasad upotrebljavati,

poziva organizacije i laboratorije koji raspolažu znanjem u tome području da nastave istraživanja u svezi s novom definicijom sekunde.

■ litra (CR, 93)

6. zaključak

12. Opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir 13. zaključak koji je prihvatio 11. CGPM 1960. godine i preporuku koju je prihvatio Međunarodni odbor za utege i mjere 1961. godine:

1. **ukida** definiciju litre koju je 1901. godine donio 3. CGPM
2. **objavljuje** da se riječ "litra" može upotrebljavati kao posebni naziv za kubični decimetar
3. **preporučuje** da se naziv litra ne upotrebljava za izražavanje rezultata mjerenja obujma visoke točnosti.

■ kiri* (CR, 94)

7. zaključak

12. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir da se kiri u mnogim zemljama dugo vremena upotrebljava kao jedinica aktivnosti radionuklida,

potvrđujući da je u Međunarodnome sustavu jedinica (SI) jedinica te aktivnosti sekunda na minus prvu (s^{-1}),

prihvaća da se kiri još zadrži izvan SI-a kao jedinica aktivnosti s vrijednošću od $3,7 \times 10^{10} s^{-1}$. Znak za tu jedinicu je Ci.

* 15. CGPM (1975., 8. zaključak, vidi str. 65) za SI jedinicu aktivnosti prihvatio je naziv "bekerel" (Bq):
 $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$.

■ SI predmetci femto i ato* (CR, 94)

8. zaključak

12. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

odlučuje popisu predmetaka za tvorbu naziva višekratnika i nižekratnika jedinica koje je prihvatio 11. CGPM 12. zaključkom 3. odlomkom dodati ova dva nova predmetka:

* Nove predmetke dodao je 15. CGPM (1975., 10. zaključak, vidi str. 65).

Faktor kojim se množi jedinica	Predmetak	Znak
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	ato	a

CIPM (1967.)

■ Desetični višekratnici i nižekratnici jedinice mase

(PV, 35, 29 i *Metrologia*, 1968, 4, 45)

2. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

smatrajući da bi se pravilo za tvorbu naziva desetičnih višekratnika i nižekratnika jedinica iz 3. odlomka 12. zaključka 11. CGPM-a (1960.) moglo na različite načine tumačiti kad se primjenjuje na jedinicu mase,

objavljuje da se odredbe 12. zaključka 11. CGPM-a primjenjuju na kilogram na ovaj način: nazivi desetičnih višekratnika i nižekratnika jedinice mase tvore se dodavanjem predmetaka riječi "gram".

13. CGPM (1967.–1968.)

■ SI jedinica vremena (sekunda) (CR, 103 i *Metrologia*, 1968, 4, 43)

1. zaključak

13. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- da definicija sekunde koju je 1956. godine prihvatio Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) (1. zaključak) i odobrio 11. CGPM 9. zaključkom (1960.), a poslije 5. zaključkom podržao 12. CGPM (1964.) ne odgovara sadašnjim potrebama mjeriteljstva
- da je radi ispunjenja tih zahtjeva Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM), kojega je svojim 5. zaključkom ovlastio 12. CGPM, na svojem sastanku 1964. godine za privremenu uporabu preporučio cezijev atomski etalon frekvencije
- da je taj frekvencijski etalon sada dostatno ispitan i da ima utvrđenu dostatnu točnost za davanje definicije sekunde koja bi ispunjavala sadašnje zahtjeve
- da je sada došlo vrijeme da se definicija jedinice vremena Međunarodnog sustava jedinica koja je sada na snazi zamijeni atomskom definicijom koja se temelji na tome etalonu,

odlučuje:

1. SI jedinica vremena je sekunda koja se definira na ovaj način:

"Sekunda je trajanje od 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinih razina osnovnog stanja atoma cezija 133".

2. Time se ukidaju 1. zaključak koji je CIPM prihvatio na sastanku 1956. i 9. zaključak 11. CGPM-a.

Na svojem sastanku 1997. godine CIPM je potvrdio da se ta definicija odnosi na cezijev atom u njegovu osnovnome stanju na termodinamičkoj temperaturi od 0 K.

■ SI jedinica termodinamičke temperature (kelvin)* (CR, 104 i *Metrologia*, 1968., 4, 43)

3. zaključak

13. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- nazive "Kelvinov stupanj" i "stupanj" (znakovi "°K" i "deg") i pravila za njihovu uporabu dana u 7. zaključku 9. CGPM-a (1948.), u 12. zaključku 11. CGPM-a (1960.) i odluci koju je donio CIPM 1962. godine (PV, 30, 27)
- da su jedinica termodinamičke temperature i jedinica temperaturnog odsječka jedna te ista jedinica koja se mora označivati jednim nazivom i znakom,

odlučuje:

1. Jedinica termodinamičke temperature naziva se "kelvin", a njezin je znak "K".**
2. Isti naziv i isti znak upotrebljavaju se za izražavanje temperaturnog odsječka.
3. Temperaturni odsječak može se izražavati Celzijevim stupnjevima.
4. Ukidaju se odluke navedene na početku odlomka koje se odnose na naziv jedinice termodinamičke temperature, njezin znak i oznaku jedinice za izražavanje temperaturnog odsječka ili razlike, ali se privremeno dopušta uobičajena uporaba koja se izvodi iz tih odluka.

*Na svojem sastanku 1980. godine CIPM je odobrio izvještaj sa 7. sastanka CCU-a koji je zahtijevao da se uporaba znakova "°K" i "deg" više ne dopušta.

**Vidi 2. preporuku (CI-2005) CIPM-a o izotopnome sastavu vode koja ulazi u definiciju kelvina (str. 77).

■ Definicija SI jedinice termodinamičke temperature (kelvin)* (CR, 104 i *Metrologia*, 1968., 4, 43)

4. zaključak

13. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

smatrajući da bi bilo korisno izričiti oblikovati definiciju jedinice termodinamičke temperature sadržanu u 3. zaključku 10. CGPM-a (1954.),

odlučuje tu definiciju izraziti na ovaj način:

"Kelvin (jedinica termodinamičke temperature) je dio $1/273,16$ termodinamičke temperature trojne točke vode".

*Vidi 5. preporuku (CI-1989) CIPM-a o Međunarodnoj temperaturnoj ljestvici iz 1990. godine (str. 71).

■ SI jedinica svjetlosne jakosti (kandela)* (CR, 104 i *Metrologia*, 1968, 4, 43–44)

5. zaključak

13. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- definiciju jedinice svjetlosne jakosti koju je odobrio 9. CGPM (1948.) i koja je sadržana u "Zaključku koji se odnosi na promjenu fotometrijskih jedinica" koju je prihvatio CIPM 1946. godine (PV, 20, 119.) na temelju ovlaštenja koja mu je dodijelio 8. CGPM (1933.)
- da ta definicija na zadovoljavajući način utvrđuje jedinicu svjetlosne jakosti, ali da se njezin oblik može kritizirati,

odlučuje definiciju kandeke izraziti na ovaj način:

"Kandela je svjetlosna jakost u okomitome smjeru ploštine od $1/600\,000$ četvornih metara crnoga tijela na temperaturi krutišta platine pod tlakom od $101\,325$ njutna po četvornome metru".*

*Tu je definiciju ukinuo 16. CGPM (1979., 3. zaključak, vidi str. 65).

■ Izvedene jedinice SI-a* (CR, 105 i *Metrologia*, 1968, 4, 44)

* Jedinici aktivnosti dodijeljen je 1975. posebni naziv i znak (15. CGPM, 8. zaključak, vidi str. 65).

6. zaključak

13. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

smatrajući da bi popisu danu u 4. odlomku 12. zaključka 11. CGPM-a (1960.) bilo korisno dodati neke izvedene jedinice,

odlučuje da se dodaju:

valni broj	1 po metru	m^{-1}
entropija	džul po kelvinu	J/K
specifični toplinski kapacitet	džul po kilogramu po kelvinu	J/(kg·K)
temperaturna vodljivost	vat po metru po kelvinu	W/(m·K)
jakost zračenja	vat po steradianu	W/sr
aktivnost (radioaktivnog izvora)	1 u sekundi	s^{-1}

■ Ukidanje prijašnjih odluka (mikron, nova svijeća) (CR, 105 i *Metrologia*, 1968, 4, 44)

7. zaključak

13. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

smatrajući da naknadne odluke Opće konferencije koje se odnose na Međunarodni sustav jedinica nisu sukladne s dijelovima 7. zaključka 9. CGPM-a (1948.),

odlučuje u skladu s tim iz 7. zaključka 9. konferencije ukloniti:

1. naziv jedinice "mikron" i znak "m" koji je bio dodijeljen toj jedinici, a koji sada postaje predmetak
2. naziv jedinice "nova svijeća".

CIPM (1969.)

■ Međunarodni sustav jedinica: pravila za primjenu 12. zaključka 11. CGPM-a (1960.)* (PV, 37, 30 i *Metrologia*, 1970, 6, 66)

* 20. CGPM odlučio je ukinuti razred dopunskih jedinica u SI-u (1995., 8. zaključak, vidi str. 72).

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir da je 12. zaključak 11. CGPM-a (1960.), koji se odnosi na Međunarodni sustav jedinica, izazvao rasprave o nekim njegovim aspektima,

objavljuje:

1. osnovne jedinice, dopunske jedinice i izvedene jedinice Međunarodnog sustava jedinica, koje čine suvisao skup, nazivaju se "SI jedinicama";
2. predmetci koje je prihvatio CGPM za tvorbu desetičnih višekratnika i nižekratnika SI jedinica nazivaju se "SI predmetcima";

* CIPM je 2001. godine odobrio prijedlog CCU-a da se objasni definicija "SI jedinica" i "jedinica SI-a" (vidi str. 73)

i preporučuje

3. uporabu SI jedinica i njihovih desetičnih višekratnika i nižekratnika čiji se nazivi tvore s pomoću SI predmetaka.

Napomena: Naziv "dopunske jedinice" koji se pojavljuje u 12. zaključku 11. CGPM-a (i u ovoj preporuci) daje se SI jedinicama za koje Opća konferencija nije odlučila jesu li one osnovne ili izvedene jedinice.

CCDS (1970.) (U CIPM-u, 1970.)**■ Definicija TAI (PV, 38, 110-111 i *Metrologia*, 1971, 7, 43)****Preporuka S 2**

Međunarodno atomsko vrijeme (TAI) referentna je vremenska koordinata koju uspostavlja Međunarodni ured za vrijeme na temelju očitavanja atomskih satova koji rade u različitim ustanovama u skladu s definicijom sekunde, jedinice vremena međunarodnog sustava jedinica.

Godine 1980. definicija TAI-a upotpunjena je na sljedeći način (izjava CCDS-a, BIPM Com. Cons. Def. Seconde, 1980., 9, S 15 i *Metrologia*, 1981., 17, 70).

TAI je usklađena vremenska ljestvica definirana u geometrijskom referentnom okviru sa SI sekundom kako je ostvarena vrtnjom geoida kao jedinice ljestvice.

Tu je definiciju dodatno pojačala Međunarodna astronomska unija 1991. godine, zaključak A4: "TAI je ostvarena vremenska ljestvica čiji je idealni oblik, zanemarujući stalnicu pomaka od 32,184 s, zemaljsko vrijeme (TT), koje se samo povezano s vremenskom koordinatom geocentričnoga referentnog okvira, Geocentrično koordinirano vrijeme (TCG) stalnim odnosom." (vidi Proc. 21. opće skupštine IAU-a, IAU Trans., 1991., vol. XXIB, Kluwer.)

14. CGPM (1971.)**■ paskal, simens (CR, 78)**

14. opća konferencija za utege i mjere prihvatila je posebne nazive "paskal" (znak Pa) za SI jedinicu njutn po četvornome metru i "simens" (znak S) za SI jedinicu električne vodljivosti [recipročni om].

■ Međunarodno atomsko vrijeme; funkcija CIPM-a (CR, 77 i *Metrologia*, 1972., 8, 35)**1. zaključak**

14. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- da je sekunda, jedinica vremena međunarodnog sustava jedinica, od 1967. godine definirana s pomoću prirodne atomske frekvencije, a ne više s pomoću vremenskih ljestvica koju daju astronomska kretanja
- da iz atomske definicije sekunde proistječe potreba za ljestvicom međunarodnoga atomskog vremena (TAI)
- da je nekoliko međunarodnih organizacija osiguralo i još uspješno osigurava uspostavljanje vremenskih ljestvica koje se temelje na astronomskim kretanjima, posebno zahvaljujući trajnim uslugama Međunarodnog ureda za vrijeme (Bureau International de l'Heure, BIH)
- da je BIH počeo uspostavljati ljestvicu atomskog vremena priznate kakvoće i dokazane uporabljivosti
- da je Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) razmotrio atomske etalone frekvencije koji služe za ostvarenje sekunde te da ih mora uz pomoć Savjetodavnog odbora i dalje razmatrati te da jedinica odsječka ljestvice međunarodnoga atomskog vremena mora biti sekunda koja se ostvaruje u skladu s njezinom atomskom definicijom
- da sve mjerodavne međunarodne znanstvene organizacije i nacionalni laboratoriji koji djeluju u tome području izražavaju želju da CIPM i CGPM daju definiciju međunarodnoga atomskog vremena te da će doprinositi uspostavi ljestvice međunarodnoga atomskog vremena
- da uporabljivost međunarodnoga atomskog vremena zahtijeva tijesno usklađenje s vremenskim ljestvicama koje se temelje na astronomskim kretanjima,

zahtijeva da CIPM:

1. da definiciju međunarodnoga atomskog vremena
2. u dogovoru sa zainteresiranim međunarodnim organizacijama poduzme potrebne korake kako bi se osiguralo da se postojeća znanstvena mjerodavnost i postojeća sredstva na najbolji mogući način upotrijebe za ostvarenje ljestvice međunarodnoga atomskog vremena te da se zadovolje zahtjevi korisnika međunarodnoga atomskog vremena.

Definiciju TAI-a dao je 1970. CCDS (sada CCTF), vidi str. 64.

■ SI jedinica količine tvari (mol)* (CR, 78 i *Metrologia*, 1972., 8, 36)

3. zaključak

14. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir mišljenje Međunarodne udruge za čistu i primijenjenu fiziku, Međunarodne udruge za čistu i primijenjenu kemiju i Međunarodne organizacije za normizaciju koje se odnosi na potrebu definiranja jedinice količine tvari,

odlučuje:

1. Mol je količina tvari sustava koji sadržava onoliko elementarnih jedinki koliko ima atoma u 0,012 kilograma ugljika 12: njezin je znak "mol".
2. Kad se upotrebljava mol, moraju se navesti elementarne jedinice, a to mogu biti atomi, molekule, ioni, elektroni, druge čestice ili navedene skupine takvih čestica.
3. Mol je osnovna jedinica međunarodnog sustava jedinica.

*Na svojem sastanku 1980. godine CIPM je odobrio izvještaj sa 7. sastanka CCU-a (1980.) u kojemu se navodi da se u toj definiciji podrazumijeva da se nevezani atomi ugljika 12 nalaze u mirovanju i u njihovu osnovnome stanju.

15. CGPM (1975.)

■ Preporučena vrijednost za brzinu svjetlosti (CR, 103 i *Metrologia*, 1975., 11, 179–180)

2. zaključak

15. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir izvrsno slaganje između rezultata mjerenja valnih duljina zračenja lasera na liniji molekularne apsorpcije u vidljivom ili infracrvenom području s nesigurnošću procijenjenom na $\pm 4 \times 10^{-9}$ koja odgovara nesigurnosti ostvarenja metra,

uzimajući u obzir također usklađena mjerenja frekvencija više takvih zračenja,

preporučuje da se za brzinu širenja elektromagnetskih valova u vakuumu upotrebljava vrijednost jednaka $c = 299\,792\,458$ metara u sekundi.

Vjeruje se da ovdje dana nesigurnost odgovara trima standardnim odstupanjima u razmatranim podacima.

■ Usklađeno svjetsko vrijeme (UTC) (CR, 104 i *Metrologia*, 1975., 11, 180)

5. zaključak

15. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir da se sustav koji se naziva "Usklađeno svjetsko vrijeme" (UTC) široko upotrebljava, da se ono prenosi na većini radioprijenosnih signala vremena, da ta široka difuzija čini dostupnim korisnicima ne samo frekvencijske etalone nego također međunarodno atomsko vrijeme i približnu vrijednost svjetskog vremena (ili, ako se to više želi, srednjega sunčanog vremena),

utvrđuje da to usklađeno svjetsko vrijeme osigurava temelj za građansko vrijeme, čija je uporaba ozakonjena u većini zemalja,

ocjenjuje da je njegova uporaba potpuno preporučljiva.

■ SI jedinice ionizacijskih zračenja (bekerel, grej)* (CR, 105 i *Metrologia*, 1975., 11, 180)

8. i 9. zaključak

15. opća konferencija za utege i mjere,

zbog hitnosti zahtjeva koji je izrazilo Međunarodno povjerenstvo za jedinice i mjere zračenja (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) da se uporaba Međunarodnog sustava jedinica proširi na radiološka istraživanja i primjene,

zbog potrebe da se što je više moguće olakša uporaba jedinica nespecijalistima, uzimajući u obzir također težinu opasnosti od pogriješaka u terapijskom radu,

prihvaća ovaj posebni naziv za SI jedinicu aktivnosti:

bekerel (znak Bq) je jednak jednoj recipročnoj sekundi (8. zaključak)

prihvaća ovaj posebni naziv za SI jedinicu ionizacijskog zračenja:

grej (znak Gy) je jednak jednomu džulu po kilogramu (9. zaključak).

Napomena: Grej je SI jedinica apsorbirane doze. U području ionizacijskog zračenja grej se također može upotrebljavati s drugim fizikalnim veličinama koje se također izražavaju u džulima po kilogramu; Savjetodavni odbor za jedinice odgovoran je za proučavanje tih pitanja u suradnji s mjerodavnim međunarodnim organizacijama.

* Na svojem sastanku 1976. godine CIPM je odobrio izvještaj s 5. sastanka CCU-a (1976.) koji prema mišljenju koje je dao ICRU utvrđuje da se grej može također upotrebljavati za izražavanje predane specifične energije, kerme i indeksa apsorbirane doze.

■ SI predmetci peta i eksa* (CR, 106 i *Metrologia*, 1975., 11, 180–181)

10. zaključak

15. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

odlučuje popisu SI predmetaka koji se upotrebljavaju za višekratnike koje je prihvatio 11. CGPM 12. zaključkom 3. odlomkom dodati ova dva predmetka:

Faktor kojim se množi jedinica	Predmetak	Znak
10^{15}	peta	P
10^{18}	eksa	E

* Nove predmetke dodao je 19. CGPM (1991., 4. zaključak, vidi str. 71).

16. CGPM (1979.)

■ SI jedinica svjetlosne jakosti (kandela) (CR, 100 i *Metrologia*, 1980., 16, 56)

3. zaključak

16. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- da usprkos hvalevrijednim naporima nekih laboratorija ostaju prevelika neslaganja rezultata ostvarenja kandeke koja se temelje na sadašnjemu primarnom etalonu s crnim tijelom
- da se radiometrijske metode brzo razvijaju, omogućujući točnosti koje su već podudarne točnostima koje se postižu u fotometriji i da su te metode već u uporabi u nacionalnim laboratorijima za ostvarenje kandeke za koje nije potrebno graditi crno tijelo
- da je Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) 1977. godine prihvatio odnos između svjetlosnih veličina u fotometriji i radiometrijskih veličina, tj. vrijednost od 683 lumena po vatu za spektralnu svjetlosnu djelotvornost jednobojnog zračenja frekvencije 540×10^{12} herca

Fotopsko gledanje otkriva se čunjićima na očnoj retini koji su osjetljivi na visoku razinu svjetljivosti ($L > \text{ca. } 10 \text{ cd/m}^2$), koji odgovaraju dnevnome gledanju. Skotopsko gledanje otkriva se štapićima na retini koji su osjetljivi na nisku razinu svjetljivosti ($L < \text{ca. } 10^{-3} \text{ cd/m}^2$), koji odgovaraju noćnome gledanju. U području između tih razina svjetljivosti upotrebljavaju se čunjići i štapići, a to se gledanje opisuje kao mesopsko gledanje.

- da je prihvaćeno da ta vrijednost ima dostatnu točnost za sustav svjetlosnih fotopskih veličina, da to samo povlači promjenu od otprilike 3 % za sustav svjetlosnih skotopskih veličina te da se time osigurava zadovoljavajuća neprekinutost
- da je došlo vrijeme da se dadne definicija kandeke koja će olakšati ostvarenje i omogućiti poboljšanje točnosti fotometrijskih etalona te koja će se primjenjivati na fotopske i skotopske fotometrijske veličine i veličine koje još treba definirati u mesopskome području,

odlučuje:

1. Kandeke je svjetlosna jakost u danome smjeru izvora koji emitira jednobojno zračenje frekvencije 540×10^{12} herca i ima jakost zračenja u tome smjeru od $(1/683)$ vata po steradianu.
2. Ukida se definicija kandeke (koja se u to vrijeme nazivala novom svijećom) koju je 1946. godine prihvatio CIPM na temelju ovlaštenja koje mu je dao 8. CGPM 1933. godine, potvrdio 9. CGPM 1948. godine, a nakon toga dopunio 13. CGPM 1967. godine.

■ **posebni naziv za SI jedinicu doznog ekvivalenta (sivert)*** (CR, 100 i *Metrologia*, 1980., 16, 56)

* CIPM je odlučio (1984., 1. preporuka) taj zaključak popratiti s obrazloženjem na str. 68.

5. zaključak

16. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir

- napor učinjen da se u područje ionizacijskih zračenja uvedu SI jedinice
- opasnost za ljude od nisko procijenjene doze zračenja, opasnost koja bi mogla nastati od brkanja apsorbirane doze i doznog ekvivalenta
- da je umnožavanje posebnih naziva opasnost za Međunarodni sustav jedinica, pa se mora na sve moguće načine izbjegavati, te da se to pravilo može kršiti kad je u pitanju zaštita ljudskog zdravlja,

prihvaća posebni naziv **sivert** (znak Sv) za SI jedinicu doznog ekvivalenta u području zaštite od zračenja. Sivert je jednak džulu po kilogramu.

■ **Znakovi za litru** (CR, 101 i *Metrologia*, 1980, 16, 56–57)

6. zaključak

16. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

potvrđujući opća načela za pisanje znakova jedinica prihvaćena u 7. zaključku 9. CGPM-a (1948.),

uzimajući u obzir da je znak l za jedinicu litra Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) prihvatio 1879. godine i potvrdio u istome zaključku 1948. godine,

uzimajući u obzir da je, kako bi se izbjegla opasnost brkanja slova l i broja 1, nekoliko zemalja prihvatilo znak L umjesto znaka l,

uzimajući u obzir da se naziv litra, premda nije uključen u Međunarodni sustav jedinica, mora prihvatiti za opću uporabu s tim sustavom,

odlučuje, iznimno, kao znakove koji se trebaju upotrebljavati za jedincu litra prihvatiti dva znaka l i L,

smatrajući dalje da se u budućnosti treba zadržati samo jedan od tih znakova,

poziva CIPM da prati razvoj uporabe tih dvaju znakova i da 18. CGPM da mišljenje o mogućnosti ukidanja jednog od njih.

CIPM je 1990. godine zaključio da je još rano odabrati jedan znak za litru.

CIPM (1980.)

■ **Dopunske SI jedinice (radian i steradian)*** (PV, 48, 24 i *Metrologia*, 1981., 17, 72)

*Razred dopunskih SI jedinica ukinut je odlukom 20. CGPM-a (1995, 8. zaključak, vidi str. 72).

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM),

uzimajući u razmatranje 3. zaključak koji je 1978. prihvatio ISO/TC 12 i Preporuku U 1 (1980.) koju je prihvatio Savjetodavni odbor za jedinice na svojem 7. sastanku,

uzimajući u obzir

- da se jedinice radian i steradian obično uvode u izraze za jedinice kad postoji potreba za jasnoćom, posebno u fotometriji gdje steradian igra važnu ulogu u razlikovanju jedinica koje odgovaraju različitim veličinama
- da se u jednadžbama koje se upotrebljavaju ravninski kut općenito izražava kao omjer dviju duljina, a prostorni kut kao omjer ploštine i kvadrata duljine, pa se prema tomu te veličine smatraju nedimenzijskim veličinama
- da proučavanje formalizama koji se upotrebljavaju u znanstvenome području pokazuje da ne postoji nijedna jedinica koja je istodobno suvisla i prikladna i za koju se veličine ravninskog i prostornog kuta mogu smatrati osnovnim veličinama,

smatrajući također

- da tumačenje koje je dao 1969. godine CIPM za razred dopunskih veličina koje su unesene u 12. zaključak 11. opće konferencije za utege i mjere (CGPM) 1960. godine daje pravo da se radian i steradian smatraju osnovnim SI jedinicama
- da takva mogućnost narušava unutarnju suvislost SI-a koji se temelji na samo sedam osnovnih jedinica,

odlučuje da se razred dopunskih jedinica u Međunarodnome sustavu tumači kao razred nedimenzijskih izvedenih jedinica za koje CGPM ostavlja slobodu da se u izrazima za izvedene SI jedinice upotrebljavaju ili ne upotrebljavaju.

17. CGPM (1983.)

■ **definicija metra** (CR, 97 i *Metrologia*, 1984., 20, 25)

1. zaključak

17. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- da postojeća definicija ne omogućuje dostatno točno ostvarenje metra za sve potrebe
- da napredak učinjen na stabilizaciji lasera omogućuje da se dobiju zračenja koja su obnovljivija i lakša za uporabu od etalona zračenja koje emitira svjetiljka kriptona 86
- da je napredak učinjen na mjerenju frekvencije i valne duljine tih zračenja doveo do podudarnih određenja brzine svjetlosti čija je točnost u prvome redu ograničena ostvarenjem sadašnje definicije metra
- da valne duljine određene mjerenjima frekvencije i dane vrijednosti za brzinu svjetlosti imaju preciznost (obnovljivost) veću od one koja se može dobiti usporedbom s valnom duljinom etalona zračenja kriptona 86
- da je prednost, posebno za astronomiju i geodeziju, zadržati nepromijenjenom vrijednost brzine svjetlosti koju je 1975. preporučio 15. CGPM u svojem 2. zaključku ($c = 299\,792\,458$ m/s)

- da je nova definicija metra zamišljena u različitim oblicima od kojih svi imaju za posljedicu da se brzini svjetlosti daje točna vrijednost, jednaka preporučenoj vrijednosti, te da to ne unosi nikakav znatniji prekid u jedinicu duljine, uzimajući u obzir relativnu nesigurnost od $\pm 4 \times 10^{-9}$ najboljeg ostvarenja postojeće definicije metra
- da su ti različiti oblici, pozivajući se ili na put što ga svjetlost prijeđe u utvrđenome vremenskom odsječku ili na valnu duljinu zračenja izmjerene ili utvrđene frekvencije, bili predmet dogovaranja i temeljitih rasprava priznati istovjetnima te da je za prvi oblik postignut konsenzus
- da Savjetodavni odbor za definiciju metra (CCDM) sada može dati upute za praktično ostvarenje takve definicije, upute koje bi mogle uključivati uporabu narančastog zračenja kriptona 86 koji se dosad upotrebljavao kao etalon i koji se može pravodobno proširiti ili preinačiti,

Ovdje dana relativna nesigurnost razmatranih podataka odgovara trima standardnim odstupanjima.

odlučuje:

1. Metar je duljina puta koji u vakuumu prijeđe svjetlost u vremenskome odsječku od $1/299\,792\,458$ sekunde.
2. Ukida se definicija metra koja je na snazi od 1960. godine, a koja se temeljila na prijelazu između razina $2p_{10}$ i $5d_5$ atoma kriptona 86.

■ O ostvarenju definicije metra (CR, 98 i *Metrologia*, 1984., 20, 25–26)

Vidi 1. preporuku (CI-2002) CIPM-a o preinaci ostvarenja definicije metra (str. 74).

2. zaključak

17. opća konferencija za utege i mjere,

poziva Međunarodni odbor za utege i mjere

- da razradi upute za praktično ostvarenje nove definicije metra
- da odabere zračenja koja se mogu preporučiti za etalone valne duljine za interferencijsko mjerenje duljine te da razradi upute za njihovu uporabu
- da nastavi proučavanja poduzeta za poboljšanje tih etalona.

CIPM (1984.)

■ o sivertu (PV, 52 i *Metrologia*, 1985, 21, 90)*

*CIPM je 2002. godine odlučio promijeniti objašnjenje količine doznog ekvivalenta u SI brošuri (2. preporuka, vidi str. 75).

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir zbrku koja postoji zbog 5. zaključka koji je odobrila 16. opća konferencija za utege i mjere (1979.),

odlučuje uvesti ovo objašnjenje u brošuru Međunarodni sustav jedinica (SI):

Veličina dozni ekvivalent H umnožak je apsorbirane doze D ionizacijskog zračenja i nedimenzijских faktora Q (faktora kakvoće) i N (umnoška svih drugih množitbenih faktora) koje je utvrdilo Međunarodno povjerenstvo za zaštitu od zračenja:

$$H = Q \cdot N \cdot D.$$

Dakle, za dano zračenje, brojčana vrijednost H u džulima po kilogramu može se razlikovati od brojčane vrijednosti doznog ekvivalenta D u džulima po kilogramu na temelju vrijednosti faktora Q i N . Da bi se izbjegla opasnost od brkanja apsorbirane doze D i doznog ekvivalenta H , za te se jedinice trebaju upotrebljavati posebni nazivi, tj. naziv grej treba se upotrebljavati umjesto džula po kilogramu za jedinicu apsorbirane doze, a naziv sivert umjesto džula po kilogramu za jedinicu doznog ekvivalenta H .

18. CGPM (1987.)

■ **Predviđena namještanja prikaza volta i oma** (CR, 100 i *Metrologia*, 1988., 25, 115)

6. zaključak

18. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir

- da su svjetska ujednačenost i dugotrajna stabilnost nacionalnih prikaza električnih jedinica od velike važnosti za znanost, trgovinu i industriju s tehničkoga i gospodarskoga gledišta
- da mnogi nacionalni laboratoriji upotrebljavaju Josephsonov pojav i počinju upotrebljavati Hallov kvantni pojav za održavanje redom prikaza volta i oma jer oni nude najbolje jamstvo dugotrajne stabilnosti
- da zbog važnosti suvislosti među mjernim jedinicama različitih fizikalnih veličina vrijednosti prihvaćene za njihovo prikazivanje moraju što je više moguće biti u skladu sa SI-em
- da će rezultati novijih i tekućih pokusa omogućiti uspostavljanje prihvatljive vrijednosti, dostatno sukladne sa SI-em, za koeficijent koji povezuje te pojave s odgovarajućom električnom jedinicom,

poziva laboratorije čiji rad može doprinijeti uspostavljanju količnika napon/frekvencija u slučaju Josephsonova pojava i količnika napon/struja za kvantni Hallov pojav da odlučno nastave taj rad te da bez odgode obavijeste o svojim rezultatima Međunarodni odbor za utege i mjere i

nalaže Međunarodnomu odboru za utege i mjere da, čim ocijeni da je to moguće, za svaki od tih količnika preporuči vrijednost zajedno s datumom kad bi oni mogli ući u praksu istodobno u svim zemljama; te se vrijednosti trebaju objavljivati barem jedanput godišnje unaprijed, a trebale bi biti prihvaćene 1. siječnja 1990.

CIPM (1988.)

■ **Prikazivanje volta s pomoću Josephsonova pojava** (PV, 56, 44 i *Metrologia*, 1989., 26, 69)

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

djelujući u skladu s uputama danim u 6. zaključku 18. opće konferencije za utege i mjere koje se odnose na buduća prilagođivanja prikaza volta i oma i

uzimajući u obzir

- da iscrpno proučavanje rezultata najnovijih određivanja Josephsonove stalnice (K_J), tj. količnika frekvencije podijeljena potencijalnom razlikom koja odgovara $n = 1$ koraku u Josephsonovu pojavu, vodi na vrijednost od 483 597,9 GHz/V
- da se Josephsonov pojav zajedno s tom vrijednošću za K_J može upotrebljavati za uspostavljanje referentnog etalona za elektromotornu silu čija se nesigurnost od jednoga standardnog odstupanja za volt procjenjuje na 4×10^{-7} te da ima znatno bolju obnovljivost,

preporučuje

- da se kao dogovorena vrijednost za Josephsonovu stalnicu (K_J) prihvati vrijednost od točno $K_{J-90} = 483\,597,9 \text{ GHz/V}$
- da se ta nova vrijednost upotrebljava od 1. siječnja 1990. godine, ne ranije, za zamjenu vrijednosti koje su u trenutačnoj uporabi

- da se ta nova vrijednost upotrebljava od istoga datuma u svim laboratorijima koji svoja mjerenja elektromotorne sile temelje na Josephsonovu pojavu i
- da od toga datuma svi laboratoriji namjeste vrijednost svojih laboratorijskih referentnih etalona u skladu s tom novom prihvaćenom vrijednošću,

procjenjuje da za tu preporučenu vrijednost Josephsonove stalnice neće u doglednoj budućnosti biti potrebne promjene i

usmjerava pozornost laboratorija na činjenicu da je ta nova vrijednost veća za 3,9 GHz/V, ili približno 8×10^{-6} , od vrijednosti koju je 1972. godine dao Savjetodavni odbor za elektricitet u svojoj izjavi E-72.

■ Prikazivanje oma s pomoću Hallova kvantnoga pojava (PV, 56, 45 i *Metrologia*, 1988., 26, 70)

2. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere

djelujući u skladu s uputama danim u 6. zaključku 18. opće konferencije za utege i mjere koje se odnose na buduće namještanje prikaza volta i oma

uzimajući u obzir

- da se većina postojećih laboratorijskih referentnih etalona otpora s vremenom znatno mijenja
- da bi laboratorijski referentni etalon otpora koji se temelji na Hallovu kvantnome pojavu bio stabilan i obnovljiv
- da iscrpno proučavanje rezultata najnovijih određivanja za von Klitzingovu stalnicu (R_K), tj. za količnik Hallove razlike potencijala i struje koja odgovara platou $i = 1$ u Hallovom kvantnome pojavu, vodi na vrijednost od 25 812,807 Ω
- da se Hallov kvantni pojav, zajedno s tom vrijednošću za R_K , može upotrebljavati za uspostavljanje referentnog etalona otpora čija se nesigurnost od jednoga standardnog odstupanja s obzirom na om procjenjuje na 2×10^{-7} i čija je obnovljivost znatno bolja,

preporučuje

- da se kao dogovorena vrijednost za von Klitzingovu stalnicu (R_K) prihvati vrijednost koja je jednaka točno $R_{K-90} = 25\,812,807\,\Omega$
- da tu vrijednost od 1. siječnja 1990. godine, ne ranije, upotrebljavaju svi laboratoriji koji svoja mjerenja otpora temelje na Hallovu kvantnome pojavu
- da od toga datuma svi drugi laboratoriji namjeste vrijednost svojih laboratorijskih referentnih etalona kako bi se slagala s R_{K-90}
- da pri uporabi Hallova kvantnoga pojava za uspostavljanje laboratorijskoga referentnog etalona otpora laboratoriji slijede najnovije izdanje tehničkih uputa za pouzdana mjerenja Hallova kvantiziranog otpora koje je priredio Savjetodavni odbor za elektricitet, a objavio Međunarodni ured za utege i mjere i

procjenjuje da u doglednoj budućnosti za preporučenu vrijednost von Klitzingove stalnice neće biti potrebne nikakve promjene.

Na svojem 89. sastanku 2000. godine CIPM je odobrio izjavu s 22. sastanka CCEM-a o uporabi vrijednosti von Klitzingove stalnice, vidi str. 73.

CIPM (1989.)

■ Međunarodna temperaturna ljestvica iz 1990. godine (PV, 57, 115 i *Metrologia*, 1990., 27, 13)

5. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM), djelujući u skladu sa 7. zaključkom 18. opće konferencije za utege i mjere (1987.), prihvatio je Međunarodnu temperaturnu ljestvicu iz 1990. godine (ITS-90) koja zamjenjuje Međunarodnu praktičnu temperaturnu ljestvicu iz 1968. godine (IPTS-68).

CIPM **napominje** da se u odnosu na IPTS-68 ljestvica ITS-90

- proširuje na niže temperature (do 0,65 K), pa prema tomu zamjenjuje EPT-76
- znatno bolje slaže s odgovarajućim termodinamičkim temperaturama
- u cijelome svojem području ima znatno bolju neprekinutost, preciznost i obnovljivost
- u određenim područjima ima potpodručja i istovrijedne definicije, što znatno olakšava njezinu uporabu.

CIPM k tomu **naglašava** da će tekst ITS-90 biti praćen dvama dokumentima, *Dopunskom obaviješću o ITS-90* i *Metodama za približno određivanje ITS-90*, koje će BIPM objaviti i povremeno osuvremenjivati.

CIPM **preporučuje**

- da ITS-90 stupi na snagu 1. siječnja 1990.
- te da se od toga datuma ukinu IPTS-68 i EPT-76.

19. CGPM (1991.)

■ SI predmetci zeta, zepto, jota i jokto (CR, 185 i *Metrologia*, 1992., 29, 3)

4. zaključak

19. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

odlučuje popisu SI predmetaka koji se upotrebljavaju za višekratnike koje je prihvatio 11. CGPM 12. zaključkom, 3. odlomkom, 12. CGPM 8. zaključkom i 15. CGPM 10. zaključkom dodati ove predmetke:

Faktor kojim se množi jedinica	Predmetak	Znak
10^{21}	zeta	Z
10^{-21}	zepto	z
10^{24}	jota	Y
10^{-24}	jokto	y

Nazivi zepto i zeta izvedeni su iz septo, što upućuje na broj sedam (broj 10^3 na sedmu potenciju), a slovo "z" je zamjena za slovo "s" kako bi se izbjeglo udvostručenje uporabe slova "s" kao znaka. Nazivi jokto i jota izvedeni su iz okto, što upućuje na broj osam (broj 10^3 na osmu potenciju); slovo "y" dodano je kako bi se izbjegla uporaba slova "o" kao znaka jer se on može brkati s ničicom.

20. CGPM (1995.)

■ Uklanjanje razreda dopunskih jedinica u SI-u (CR, 223 i *Metrologia*, 1996., 33, 83)

8. zaključak

20. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- da je 11. opća konferencija 1960. godine u svojem 12. zaključku uspostavljajući Međunarodni sustav jedinica (SI) utvrdila tri različita razreda SI jedinica: osnovne jedinice, izvedene jedinice i dopunske jedinice, pri čemu se posljednji razred sastoji od radijana i steradiana,
- da status dopunskih jedinica u odnosu na osnovne jedinice i izvedene jedinice izaziva rasprave,
- da je Međunarodni odbor za utege i mjere (1980.) utvrđujući da dvosmislen status dopunskih jedinica narušava unutrašnju suvislost SI-a u svojoj 1. preporuci (CI-1980) dao tumačenje da su dopunske jedinice u SI-u nedimenzijske izvedene jedinice

odobravajući tumačenje koje je dao Međunarodni odbor 1980. godine,

odlučuje

- dopunske jedinice u SI-u, tj. radijan i steradian, tumačiti kao nedimenzijske izvedene jedinice čiji se nazivi i znakovi mogu po potrebi, ali ne moraju upotrebljavati u izrazima za druge izvedene jedinice,
- i prema tomu ukloniti razred dopunskih jedinica kao poseban razred u SI-u.

21. CGPM (1999.)

■ Definicija kilograma (CR, 331 i *Metrologia*, 2000., 37, 94)

7. zaključak

21. opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir

- potrebu da se osigura dugoročna stabilnost SI-a
- svojstvenu nesigurnost dugotrajne stabilnosti izrađevine koja služi za definiciju jedinice mase, jedne od osnovnih jedinica SI-a
- da ta nesigurnost utječe na dugoročnu stabilnost drugih triju osnovnih jedinica SI-a koje ovise o kilogramu, tj. ampera, mola i kande
- već postignuti napredak u nizu različitih pokusa namijenjenih za povezivanje jedinice mase s temeljnim ili atomskim stalnicama
- da je poželjno da postoji više metoda uspostavljanja takve veze

preporučuje da nacionalni laboratoriji nastave svoje djelovanje kako bi usavršili pokuse koji povezuju jedinicu mase sa temeljnim ili atomskim stalnicama i koji bi u budućnosti služili kao temelj za novu definiciju kilograma.

■ Posebni naziv za izvedenu SI jedinicu mol u sekundi (katal) za izražavanje katalitičke aktivnosti (CR, 334–335 i *Metrologia*, 2000., 37, 94)

12. zaključak

21. opća skupština za utege i mjere

uzimajući u obzir

- važnost da se olakša uporaba SI jedinica u područjima medicine i biokemije za ljudsko zdravlje i sigurnost,
- da je za izražavanje katalitičke aktivnosti u medicini i biokemiji od 1964. godine široko u uporabi jedinica izvan SI-a koja se naziva "jedinica" (znak U) jednaka $1 \mu\text{mol}\cdot\text{min}^{-1}$, koja nije suvisla s Međunarodnim sustavom jedinica (SI),
- da je nepostojanje posebnog naziva za suvislu izvedenu SI jedinicu mol u sekundi imalo za posljedicu da se klinička mjerenja daju u različitim mjesnim jedinicama,
- da uporabu SI jedinica u medicini i kliničkoj kemiji snažno preporučuju međunarodne udruge koje djeluju u tim područjima,
- da je Međunarodni savez za kliničku kemiju i laboratorijsku medicinu (International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine) tražio od Savjetodavnog odbora za jedinice da preporuči poseban naziv katal (znak kat) za SI jedinicu mol u sekundi,
- da premda umnožavanje posebnih naziva predstavlja opasnost za SI, postoje iznimke za određena pitanja povezana s ljudskim zdravljem i sigurnošću (15. opća konferencija, 1975. godine, 8. i 9. zaključak, 16. opća konferencija, 1979. godine, 5. zaključak),

napominje da se za izražavanje katalitičke aktivnosti naziv katal (znak kat) upotrebljava za SI jedinicu mol u sekundi gotovo trideset godina,

odlučuje prihvatiti posebni naziv katal (znak kat) za SI jedinicu mol u sekundi za izražavanja katalitičke aktivnosti, posebno u područjima medicine i biotehnologije,

i **preporučuje** da se, kad se katal upotrebljava, posebno navodi mjerena veličina upućivanjem na mjerni postupak; mjerni postupak mora označivati indikator mjerene reakcije.

CIPM (2000.)

■ "uporaba von Klitzingove stalnice za izražavanje vrijednosti referentnog etalona kao funkcije kvantnog Hallova pojava" (PV, 68, 101)

Na 89. sastanku 2000. godine CIPM je odobrio sljedeću izjavu sa 22. sastanka CCEM-a (CCEM, 22, 90):

"CCEM, uzimajući u obzir najnovija ugađanja vrijednosti temeljnih stalnica metodom najmanjih kvadrata koje je preporučio CODATA 1998. godine, sada je mišljenja da se Hallov kvantni pojav zajedno s vrijednošću von Klitzingove stalnice R_{K-90} može upotrijebiti za uspostavljanje referentnog etalona otpora koji ima relativnu nesigurnost od jednoga standardnog odstupanja u odnosu na om, procijenjenu na 1×10^{-7} , te znatno bolju obnovljivost. To predstavlja sniženje nesigurnosti za faktor dva u usporedbi s preporukom iz 1988."

CIPM (2001.)

■ "SI jedinice" i "jedinice SI-a" (PV, 69, 120)

CIPM je 2001. odobrio sljedeći prijedlog CCU-a koji se odnosi na "SI jedinice" i "jedinice SI-a":

"Predlažemo da se "SI jedinice" i "jedinice SI-a" smatraju nazivima koji uključuju osnovne jedinice i izvedene suvisle jedinice te također sve jedinice dobivene njihovim sastavljanjem s preporučenim predmetcima višekratnika i nižekratnika.

Predlažemo da se naziv "suvisle SI jedinice" upotrebljava kad se njegovo značenje želi ograničiti samo na osnovne jedinice i izvedene suvisle jedinice".

CIPM (2002.)

■ Preradba uputa za praktično ostvarenje definicije metra (PV, 70, 194–204 i *Metrologia*, 40, 103–133)

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere

podsjecajući

- da je 1983. godine 17. opća konferencija (CGPM) prihvatila novu definiciju metra
- da je iste godine CGPM pozvao Međunarodni odbor (CIPM)
 - da sastavi upute za praktično ostvarenje metra
 - da odabere zračenja koja se mogu preporučiti kao etaloni za valne duljine za interferometrijska mjerenja duljine i sastavi upute za njihovu uporabu
 - da na temelju poduzetih proučavanja poboljša te etalone i pravodobno proširi ili preinači te upute
- da kao odgovor na taj poziv CIPM-a prihvati 1. preporuku (CI-1983) (*mise en pratique* definicije metra) u tome smislu
 - da se metar ostvaruje jednom od sljedećih metoda:
 - (a) s pomoću duljine l puta što ga elektromagnetski val prevali u vakuumu u vremenu t ; ta se duljina dobije iz izmjerenog vremena t uporabom relacije $l = c_0 \cdot t$ i vrijednosti brzine svjetlosti u vakuumu $c_0 = 299\,792\,458$ m/s;
 - (b) s pomoću valne duljine u vakuumu λ ravnoga elektromagnetskog vala frekvencije f ; ta se valna duljina dobije mjerenjem frekvencije f uporabom odnosa $\lambda = c_0/f$ i vrijednosti brzine svjetlosti u vakuumu $c_0 = 299\,792\,458$ m/s;
 - (c) s pomoću jednog od zračenja s popisa u nastavku čija se valna duljina u vakuumu ili čija se utvrđena frekvencija može upotrijebiti s prikazanom nesigurnošću pod uvjetom da se primjenjuju dane specifikacije i prihvaćena dobra praksa;
- da se u svim slučajevima primijene svi potrebni ispravci kako bi se uzeli u obzir stvarni uvjeti kao što su ogib, gravitacija ili nesavršenost vakuuma;
- da se u kontekstu opće teorije relativnosti metar smatra jedinicom prave duljine. Njegova se definicija prema tomu primjenjuje samo u dostatno malenome prostornom opsegu kako bi se mogla zanemariti djelovanja nejednolikih gravitacijskih polja (napominjemo da je to djelovanje u okomitome smjeru na površini Zemlje oko 1×10^{-16} po metru). U tome slučaju treba uzeti u obzir samo djelovanja specijalne teorije relativnosti. Lokalne metode za ostvarenje metra preporučene u (b) i (c) osiguravaju pravi metar, ali ne nužno onaj koji je dan u (a). Metoda (a) treba se prema tomu ograničiti na duljine l koje su dostatno kratke kako bi djelovanja predviđena općom teorijom relativnosti bila zanemariva s obzirom na nesigurnosti ostvarenja. Za savjet o tumačenju mjerenja u kojima to nije slučaj vidi izvještaj Savjetodavnog odbora za vrijeme i frekvenciju (CCTF) radne skupine za primjenu opće teorije relativnosti na mjeriteljstvo (Primjena opće teorije relativnosti u mjeriteljstvu, *Metrologia*, 1997., 34, 261–290);
- da je CIPM već preporučio popis zračenja za tu svrhu;

podsjecajući također da je 1992. i 1997. godine CIPM preinačio praktično ostvarenje definicije metra

uzimajući u obzir

- da znanost i tehnika i dalje traže poboljšanje točnosti u ostvarenju metra

- da su se od 1997. radom u nacionalnim laboratorijima, u BIPM-u i drugdje, utvrdila nova zračenja i metode za njihovo ostvarenje koje su dovele do smanjenja nesigurnosti
- da se za aktivnosti koje se odnose na vrijeme pojačava kretanje prema optičkim frekvencijama te da se nastavlja opće širenje područja primjene preporučenih zračenja za praktične primjene (*mise en pratique*) kako bi obuhvatile ne samo dimenzijsko mjeriteljstvo i ostvarenje metra nego također spektroskopiju visokog razlučivanja, atomsku i molekularnu fiziku, temeljne stalnice i telekomunikacije
- da je sada dostupan velik broj novih vrijednosti frekvencije s manjim nesigurnostima za zračenja visoke stabilnosti etalona hladnih atoma i iona koje su već navedene u popisu preporučenih zračenja, da se odnedavno također mjere frekvencije zračenja nekoliko vrsta hladnih atoma i iona te da su za veći broj optičkih frekvencijskih etalona koji se temelje na plinskim člancima, uključujući područje valnih duljina od interesa za telekomunikacije, određene nove poboljšane vrijednosti sa znatno manjim nesigurnostima
- da nove metode češlja femtosekundnih impulsa imaju jasno značenje za povezivanje frekvencije optičkih frekvencijskih etalona visoke stabilnosti s frekvencijom etalona kojim se ostvaruje SI sekunda, da te metode predstavljaju prikladnu mjernu metodu za dokazivanje sljedivosti prema Međunarodnomu sustavu jedinica (SI) te da se tehnikom češlja također mogu osigurati frekvencijski izvori i mjerna metoda;

priznaje metode češlja kao privremene i prikladne te preporučuje daljnje istraživanje za potpunu provjeru sposobnosti tih metoda;

pozdravlja vrednovanja koja se sada provode metodama češlja usporedbom s drugim metodama frekvencijskog lanca;

potiče nacionalne mjeriteljske ustanove i druge laboratorije da nastave metodu češlja na najvišoj postizivoj razini točnosti te da također teže jednostavnosti kako bi potaknule širu primjenu;

preporučuje

- da se popis preporučenih zračenja koji je 1997. godine dao CIPM (Preporuka 1 (CI-1997)) zamijeni popisom zračenja danih u nastavku*, uključujući
 - posuvremenjene vrijednosti frekvencije za hladni atom Ca, atom H i uhvaćeni Sr^+ ion
 - vrijednosti frekvencije za nove hladne vrste uključujući uhvaćeni Hg^+ ion, uhvaćeni In^+ ion i uhvaćeni Yb^+ ion
 - posuvremenjene vrijednosti frekvencije za stabiliziran laser Rb, I_2 -stabiliziran laser Nd: YAG i He-Ne lasere, CH_4 -stabilizirane He-Ne lasere i OsO_4 -stabilizirane CO_2 lasere na $10\ \mu\text{m}$
 - vrijednosti frekvencije za etalone koji su bitni za područja optičkih telekomunikacija, uključujući Rb- i C_2H_2 -stabilizirane lasere.

*Popis preporučenih zračenja, 1. preporuka (CI-2002.) dan je u PV, **70**, 197–204 i Metrologia, 2003., **40**, 104–115. Najnoviji rezultati objavljuju se na mrežnoj stranici BIPM-a www.bipm.org/en/publications/mep.html.

.....

■ Dozni ekvivalent (PV, 70, 205)

Vidi također *J. Radiol. Prot.*, 2005., **25**, 97–100.

2. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir

- da sadašnja definicija SI jedinice doznog ekvivalenta (sivert) uključuje faktor "*N*" (umnožak svih drugih množitelja) koji je odredilo Međunarodno povjerenstvo za radiološku zaštitu (ICRP) i
- da su ICRP i Međunarodno povjerenstvo za jedinice i mjerenja zračenja (ICRU) odlučili izbrisati faktor *N* jer se više ne smatra nužnim te
- da sadašnja SI definicija vrijednosti *H*, uključujući faktor *N*, izaziva određenu zabunu,

odlučuje u brošuri Međunarodni sustav jedinica (SI) zamjeniti postojeće objašnjenje slijedećim:

Veličina dozni ekvivalent H umnožak je apsorbirane doze D ionizacijskog zračenja i nedimenzionog faktora Q (faktora kakvoće) koje je ICRU definirao kao funkciju linearnoga prijenosa energije:

$$H = Q \cdot D.$$

Dakle, za dano zračenje, brojčana vrijednost H u džulima po kilogramu može se razlikovati od brojčane vrijednosti doznog ekvivalenta D u džulima po kilogramu na temelju vrijednosti faktora Q .

Odbor nadalje **odlučuje** zadržati završnu rečenicu u objašnjenju kako slijedi:

Da bi se izbjegla svaka opasnost brkanja apsorbirane doze D i doznog ekvivalenta H , za te se jedinice trebaju upotrebljavati posebni nazivi, tj. naziv grej treba se upotrebljavati umjesto džula po kilogramu za jedinicu apsorbirane doze D , a naziv siverť umjesto džula po kilogramu za jedinicu doznog ekvivalenta H .

CIPM (2003.)

■ Preradba popisa preporučenih zračenja za praktičnu uporabu (PV, 71, *Metrologia*, 2004., 41, 99–100)

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM)

uzimajući u obzir

- da su u novije vrijeme postale dostupne poboljšane vrijednosti frekvencije za zračenja nekih etalona visokostabilnih hladnih iona koje su već dokumentirane u popisu preporučenih zračenja,
- da su određene poboljšane vrijednosti frekvencijskog etalona koji se temelji na infracrvenome plinskom članku u području optičkih telekomunikacija koje su već dokumentirane u popisu preporučenih zračenja,
- da su u novije vrijeme po prvi put izvedena frekvencijska mjerenja femtosekundnih impulsa (koja se temelje na češlju) za određene etalone plinskoga članka s jodom s popisa pomoćnih izvora zračenja, koja su dovela do znatnog smanjenja nesigurnosti,

predlaže da se popis preporučenih zračenja preradi kako bi uključio sljedeće:

- posuvremenjene vrijednosti frekvencije za jedan uhvaćeni $^{88}\text{Sr}^+$ ion kvadrupalnoga prijelaza i jedan uhvaćeni $^{171}\text{Yb}^+$ oktopolni prijelaz
- posuvremenjenu vrijednost frekvencije za C_2H_2 stabilizirani etalon na 1,54 μm
- posuvremenjene vrijednosti frekvencije za I_2 -stabilizirane etalone na 543 nm i 515 nm.

Najnoviji rezultati objavljuju se na mrežnoj stranici BIPM-a www.bipm.org/en/publications/mep.html.

22. CGPM (2003.)

■ Desetićni znak (CR, 381 i *Metrologia*, 2004., 41, 104)

10. zaključak

22. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir

- da je glavna svrha Međunarodnog sustava jedinica (SI) omogućiti da se vrijednosti veličina izražavaju na način koji se može lako razumjeti u cijelome svijetu
- da se vrijednost veličine normalno izražava umnoškom broja i jedinice

- da broj kojim se izražava vrijednost veličine često sadržava veći broj znamenaka s cijelobrojnim i desetičnim dijelom,
- da je u 7. zaključku 9. opće konferencije (1948.) utvrđeno da se "za odvajanje cjelobrojnoga od desetičnoga dijela u brojevima upotrebljavaju samo zarez (francuska praksa) ili točka (britanska praksa)",
- da na temelju odluke Međunarodnog odbora donesene na 86. sastanku (1997.) Međunarodni ured za utege i mjere sada upotrebljava točku kao desetični znak u svim verzijama svojih publikacija na engleskome jeziku, uključujući engleski tekst SI brošure (konačne međunarodne referencije o SI), pri čemu je zarez zadržan kao desetični znak koji se upotrebljava u svim njegovim publikacijama na francuskome jeziku,
- da ipak neka međunarodna tijela upotrebljavaju zarez kao desetični znak i u svojim dokumentima na engleskome jeziku,
- da nadalje neka međunarodna tijela, uključujući neke međunarodne normirne organizacije, specificiraju da u svim jezicima desetični znak treba biti zarez,
- da je propisivanje zarez kao desetičnog znaka u mnogim jezicima u sukobu s uobičajenom uporabom točke kao desetičnoga znaka u tim jezicima,
- da se u nekim jezicima koji su materinski jezici u više zemalja kao desetični znak upotrebljavaju točka ili zarez ovisno o državi, dok se u nekim državama s više materinskih jezika upotrebljavaju ovisno o jeziku točka ili zarez,

izjavljuje da desetični znak mora biti točka ili zarez,

potvrđuje da se "radi olakšanja čitanja brojevi mogu razdijeliti u skupine; nikad se između skupina ne stavljaju točke ni zarezi", kako je utvrđeno u 7. zaključku 9. CGPM-a (1948.).

CIPM (2005)

■ Objašnjenje definicije kelvin, jedinice termodinamičke temperature (PV, 94, u tisku i *Metrologia*, 2006., 43, 177–178)

2. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM)

uzimajući u obzir

- da se kelvin, jedinica termodinamičke temperature, definira kao udio $1/273,16$ termodinamičke temperature trojne točke vode,
- da temperatura trojne točke vode ovisi o relativnoj količini izotopa vodika i kisika prisutnih u uzorku upotrijebljene vode,
- da je taj pojav sada jedan od glavnih izvora opažene promjenjivosti između različitih ostvarenja trojne točke vode,

odlučuje

- da se definicija kelvina odnosi na vodu specificiranog sastava izotopa,
- da taj sastav treba biti:

0,000 155 76 mola ^2H po molu od ^1H ,

0,000 379 9 mola ^{17}O po molu od ^{16}O , i

0,002 005 2 mola ^{18}O po molu od ^{16}O ,

što je sastav referentne tvari Međunarodne agencije za atomsku energiju Bečke normirane srednje vrijednosti oceanske vode (Vienna Standard Mean Ocean Water, VSMOW) kako ju je preporučio IUPAC u "Atomskim masama elemenata: Pregled 2000".

- da taj sastav treba utvrditi u SI brošuri u napomeni pridruženoj definiciji kelvina na sljedeći način:

"Ta se definicija odnosi na vodu koja ima sastav izotopa koji je točno definiran sljedećim omjerima količine tvari: 0,000 155 76 mola ^2H po molu ^1H , 0,000 379 9 mola ^{17}O po molu ^{16}O i 0,002 005 2 mol ^{18}O po molu ^{16}O ".

■ Preradba uputa za praktično ostvarenje (*mise en pratique*) definicije metra (PV, 94, u tisku i *Metrologia*, 2006., 43, 178)

3. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM)

uzimajući u obzir

- da su odnedavno postale dostupne poboljšane vrijednosti frekvencije za zračenja nekih etalona veoma stabilnih hladnih iona i hladnih atoma koje su već dokumentirane u popisu preporučenih zračenja,
- da su u području optičkih komunikacija određene poboljšane vrijednosti frekvencije za zračenja infracrvenih članaka koji se temelje na plinu optičkog etalona frekvencije koje su već dokumentirane u popisu preporučenih zračenja,
- da su određene poboljšane vrijednosti frekvencije za određene etalone koji se temelje na plinskome članku joda već dokumentirane u popisu pomoćnih preporučenih izvora,
- da su po prvi put određene frekvencije novih hladnih atoma u području bliskom infracrvenom i molekula u području optičkih telekomunikacija mjerenjima frekvencije s pomoću femtosekundnih impulsa koja se temelje na češlju,

odlučuje da se prerađi popis *preporučenih zračenja* kako bi uključivao sljedeće:

- posuvremenjene vrijednosti frekvencija za jedan uhvaćeni $^{88}\text{Sr}^+$ ion kvadrupolne prijelaze, pojedinačni uhvaćeni $^{199}\text{Hg}^+$ kvadrupolni prijelaz i pojedinačni uhvaćeni $^{171}\text{Yb}^+$ kvadrupolni prijelaz,
- posuvremenjenu vrijednost frekvencije za prijelaz atoma Ca
- posuvremenjenu vrijednost frekvencije za stabilizirani etalon C_2H_2 na $1,54\ \mu\text{m}$
- posuvremenjenu vrijednost frekvencije za stabilizirani etalon I_2 na $515\ \text{nm}$
- frekvencije prijelaza atoma ^{87}Sr na $698\ \text{nm}$
- frekvencije dvofotonskih prijelaza atoma ^{87}Rb na $760\ \text{nm}$
- frekvencije $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ ($\nu_1 + \nu_3$) pojasa i $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ ($\nu_1 + \nu_3$) i pojaseva ($\nu_1 + \nu_3 + \nu_4 + \nu_5$) na $1,54\ \mu\text{m}$.

Dodatak 2. – Praktična ostvarenja definicija nekih važnih jedinica

Dodatak 2. je tiskan samo u elektronskom obliku i dostupan na mrežnoj stranici BIPM-a www.bipm.org/en/si/si_brochure/appendix2/.

Dodatak 3. – Jedinice fotokemijskih i fotobioloških veličina

Optičko zračenje može izazvati kemijske promjene kod određenih živih i neživih tvari: to se svojstvo naziva aktiničnošću, a zračenje koje može izazvati takve promjene naziva se aktiničnim zračenjem. Aktinično zračenje ima temeljnu značajku da na molekularnoj razini jedan foton djeluje s jednom molekulom kako bi promijenio ili razbio molekulu u nove vrste molekula. Moguće je prema tomu definirati posebne fotokemijske ili fotobiološke veličine s pomoću rezultata optičkog zračenja na pridruženim kemijskim ili biološkim primateljima.

U području mjeriteljstva jedina fotobiološka veličina koja je službeno definirana za mjerenje u SI-u je ona za međudjelovanje svjetlosti s ljudskim okom pri gledanju. Za tu važnu fotobiološku veličinu definirana je osnovna SI jedinica kandela. Također je definirano nekoliko drugih fotometrijskih veličina s jedinicama izvedenim iz kande (kao što su lumen i luks, vidi tablicu 3. u poglavlju 2., str 27).

Definicije fotometrijskih veličina i jedinica mogu se naći u *Međunarodnome rječniku rasvjete*, CIE publikacija 17.4 (1987.) ili u *Međunarodnome elektrotehničkom rječniku*, IEC publikacija 50, poglavlje 845: rasvjeta.

1 Spektar aktiničnog djelovanja

Optičko se zračenje može opisati njegovom spektralnom razdiobom snage. Mehanizmi kojima optičko zračenje apsorbiraju kemijski ili biološki sustavi obično su složeni i uvijek ovisni o valnoj duljini (ili frekvenciji). Za mjeriteljske se svrhe međutim složenosti mehanizama apsorpcije mogu zanemariti i aktinično djelovanje opisati jednostavno aktiničnim djelovanjem spektra koji povezuje fotokemijski ili fotobiološki odziv s upadnim zračenjem. To aktinično djelovanje spektra opisuje relativnu djelotvornost jednobojnog optičkog zračenja na valnoj duljini λ za dani aktinični odziv. Dano je relativnim vrijednostima normaliziranim na 1 za maksimum djelotvornosti. Obično spektar aktiničnog djelovanja definiraju i preporučuju međunarodne znanstvene ili normizacijske organizacije.

Za vid CIE je definirao, a CIPM potvrdio dva spektra djelovanja: $V(\lambda)$ za fotopsko (dnevno) gledanje i $V'(\lambda)$ za skotopsko (noćno) gledanje. Oni se upotrebljavaju pri mjerenju fotometrijskih veličina i neizravno su dio definicije SI jedinice za fotometriju, kande. Fotopsko gledanje otkriva se čunjićima na retini oka, koja je osjetljiva na visoku razinu osvjetljenja ($L > \text{približno } 10 \text{ cd m}^{-2}$) i upotrebljava pri dnevnome gledanju. Skotopsko se gledanje otkriva štapićima na retini koja je osjetljiva na nisku razinu osvjetljenja ($L < \text{približno } 10^{-3} \text{ cd m}^{-2}$) i upotrebljava pri noćnome gledanju. U području između tih razina osvjetljenja upotrebljavaju se i čunjići i štapići i ono se opisuje kao mesopsko (sumračno) gledanje.

Vodeća načela fotometrije, *Monografija BIPM-a*, 1983., 32 str.

CIE je također definirao i druge spektre djelovanja za druge aktinične učinke kao što je spektar eritmalnoga djelovanja (crvenilo kože) ultraljubičastoga zračenja, ali im u SI-u nije dan nikakav poseban status.

2 Mjerenje fotokemijskih ili fotobioloških veličina i njihove odgovarajuće jedinice

Fotometrijske veličine i fotometrijske jedinice koje se danas upotrebljavaju za gledanje dobro su uspostavljene i široko se primjenjuju već odavno. Na njih ne utječu sljedeća pravila. Za sve se druge fotokemijske veličine i fotobiološke veličine moraju primjenjivati sljedeća pravila za definiranje jedinica koje treba upotrebljavati.

Fotokemijske i fotobiološke veličine definiraju se u čisto fizikalnome smislu kao veličine izvedene iz odgovarajućih veličina zračenja određivanjem vrijednosti zračenja u skladu s njegovim djelovanjem na selektivni prijamnik, čija je spektralna osjetljivost definirana djelovanjem atomskog spektra promatranoga fotokemijskoga ili fotobiološkoga djelovanja. Ta je veličina dana integralom preko spektralne razdiobe valnih duljina veličine zračenja ponderirane odgovarajućim aktiničnim djelovanjem spektra. Uporaba integrala neizravno podrazumijeva zakon aritmetičke aditivnosti za aktinične veličine premda se stvarna aktinična djelovanja ne pokoravaju u potpunosti takvu zakonu. Spektar djelovanja relativna je veličina; to je nedimenzijska veličina sa SI jedinicom jedan. Veličina zračenja ima radiometrijsku jedinicu koja odgovara toj veličini. Prema tomu, primjenom pravila za dobivanje SI jedinice za izvedenu veličinu, jedinica fotokemijske ili fotobiološke veličine radiometrijska je jedinica odgovarajuće veličine zračenja. Kad se daje količinska vrijednost, bitno je specificirati je li radiometrijska ili aktinična veličina koja je predviđena za jedinicu ista. Ako aktinično djelovanje postoji u nekoliko spektara djelovanja, treba jasno specificirati spektar djelovanja koji se upotrebljava za mjerenje.

Tu je metodu definiranja jedinica koje se upotrebljavaju za fotokemijske i fotobiološke veličine preporučio Savjetodavni odbor za fotometriju i radiometriju na 9. sastanku 1977. godine.

Kao primjer eritemska djelotvorna zračivost E_{er} iz izvora ultraljubičastog zračenja dobiva se ponderiranjem spektralne zračivosti zračenja na valnoj duljini λ djelotvornošću zračenja na toj valnoj duljini kako bi izazvala eritem i zbrajanjem preko svih valnih duljina koje postoje u spektru izvora. To se može izraziti matematički kao:

$$E_{\text{er}} = \int E_{\lambda} s_{\text{er}}(\lambda) d\lambda$$

gdje je E_{λ} spektralna zračivost na valnoj duljini λ (obično se iskazuje SI jedinicom $\text{W m}^{-2}\text{nm}^{-1}$), a $s_{\text{er}}(\lambda)$ aktinični spektar normaliziran na 1 u njegovoj najvećoj spektralnoj vrijednosti. Na taj se način određena eritemska zračivost E_{er} obično iskazuje SI jedinicom W m^{-2} .

Popis akronima koji se upotrebljavaju u ovome svesku

1 Akronimi za laboratorije, odbore i konferencije*

BAAS	British Association for the Advancement of Science (Britanska udruga za napredak znanosti)
BIH	Bureau International de l'Heure (Međunarodni ured za vrijeme)
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures (Međunarodni ured za utege i mjere)
CARICOM	Caribbean Community (Karipska zajednica)
CCAUV	Comité Consultatif de l'Acoustique, des Ultrasons et des Vibrations (Savjetodavni odbor za akustiku, ultrazvuk i vibracije)
CCDS*	Comité Consultatif pour la Définition de la Seconde (Savjetodavni odbor za definiciju sekunde), vidi CCTF
CCE*	Comité Consultatif d'Électricité (Savjetodavni odbor za elektricitet), vidi CCEM
CCEM	Comité Consultatif d'Électricité et Magnétisme (bivši odbor CCE) (Savjetodavni odbor za elektricitet i magnetizam)
CCL	Comité Consultatif des Longueurs (Savjetodavni odbor za duljinu)
CCM	Comité Consultatif pour la Masse et les Grandeurs Apparentées (Savjetodavni odbor za masu i srodne veličine)
CCPR	Comité Consultatif de Photométrie et Radiométrie (Savjetodavni odbor za fotometriju i radiometriju)
CCQM	Comité Consultatif pour la Quantité de Matière: Métrologie en Chimie (Savjetodavni odbor za količinu tvari: Mjeriteljstvo u kemiji)
CCRI	Comité Consultatif des Rayonnements Ionisants (Savjetodavni odbor za ionizacijsko zračenje)
CCT	Comité Consultatif de Thermométrie (Savjetodavni odbor za termometriju)
CCTF	Comité Consultatif du Temps et des Fréquences (bivši odbor CCDS) (Savjetodavni odbor za vrijeme i frekvenciju)
CCU	Comité Consultatif des Unités (Savjetodavni odbor za jedinice)
CGPM	Conférence Générale des Poids et Mesures (Opća konferencija za utege i mjere)
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage (Međunarodno povjerenstvo za rasvjetu)
CIPM	Comité International des Poids et Mesures (Međunarodni odbor za utege i mjere)

* Organizacije označene zvjezdicom više ne postoje ili djeluju pod drugim akronimom.

CODATA	Committee on Data for Science and Technology (Odbor za podatke za znanost i tehnologiju)
CR	<i>Comptes Rendus</i> Opće konferencije za utege i mjere CGPM
IAU	International Astronomical Union (Međunarodna astronomska unija)
ICRP	International Commission for Radiological Protection (Međunarodno povjerenstvo za zaštitu od zračenja)
ICRU	International Commission on Radiation Units and Measurements (Međunarodno povjerenstvo za jedinice i mjerenja zračenja)
IEC	International Electrotechnical Commission (Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo)
IERS	International Earth Rotation and Reference System Service (Služba za vrtnju zemlje i referentne sustave)
ISO	International Organization for Standardization (Međunarodna organizacija za normizaciju)
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry (Međunarodna unija za čistu i primijenjenu kemiju)
IUPAP	International Union of Pure and Applied Physics (Međunarodna unija za čistu i primijenjenu fiziku)
OIML	Organisation Internationale de Métrologie Légale (Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo)
PV	<i>Procès-Verbaux</i> Međunarodnog odbora za utege i mjere
SUNAMCO	Commission for Symbols, Units, Nomenclature, Atomic Masses and Fundamental Constants, IUPAP (Povjerenstvo za znakove, jedinice, nomenklaturu, atomske mase i temeljne stalnice IUPAP-a)
WHO	World Health Organization (Svjetska zdravstvena organizacija)

2 Akronimi za znanstvene nazive

CGS	Trodimenzijski suvisli sustav jedinica koji se temelji na tri mehaničke jedinice, centimetru, gramu i sekundi
EPT-76	Échelle provisoire de température de 1976 (Privremena temperaturna ljestvica 1976)
IPTS-68	International Practical Temperature Scale of 1968 (Međunarodna praktična temperaturna ljestvica iz 1968.)
ITS-90	International Temperature Scale of 1990 (Međunarodna temperaturna ljestvica iz 1990.)
MKS	Sustav jedinica koji se temelji na tri mehaničke jedinice, metru, kilogramu i sekundi
MKSA	Četverodimenzijski sustav jedinica koji se temelji metru, kilogramu, sekundi i amperu
SI	Système International d'Unités (Međunarodni sustav jedinica)
TAI	Temps Atomique International (Međunarodno atomsko vrijeme)
TCG	Temps-coordonnée Géocentrique (Geocentrično usklađeno vrijeme)
TT	Terrestrial Time (Zemaljsko vrijeme)
UTC	Coordinated Universal Time (Usklađeno svjetsko vrijeme)
VSMOW	Vienna Standard Mean Ocean Water (Bečka normirana srednja vrijednost oceanske vode)

Kazalo

Masno tiskani brojevi pokazuju stranice gdje se nalaze definicije jedinica ili naziva

A

aktinično zračenje, 17, 80
 aktiničnost, 17, 80
 aktivnost radionuklida, 27, 59
 algebra veličina, 40–41
 amper (A), 14, 19, **25**, 52, 54, 55, 57, 58
 apsolutne jedinice, 22
 apsorbirana doza, 17, 27–29, 65, 66–68, 76
 astronomska jedinica, 34–35
 atomska fizika, 34
 atomska jedinica, 34–35
 atomska masa, 23
 Avogadrova stalnica, 24, 34

B

bar, 36, 54
 barn, 36
 bekerel (Bq), 27–29, 59, **65**
 bel (B), 36–37, 43
 biološke veličine, 17
 Bohrov polumjer, bor, 34–35
 Britanska udruga za napredak znanosti (BAAS), 18
 brojčana vrijednost veličine, 39
 brojive veličine, 15, 29
 brzina svjetlosti u vakuumu, 21, 35, 74

C

Celzijev stupanj (°C), 23, 27, 40, 42, 47
 Celzijeva temperatura, 23, 27, 42, 44
 CGS, 19, 37, 53

CGS-EMU, 14, 37
 CGS-ESU, 14, 37
 CODATA, 35, 73
 Coulombov zakon, 14

D

dalton (Da), 34–35
 dan (d), 31, 33,
 decibel (dB), 36–37, 43
 definicije osnovnih jedinica, **20–25**
 desetični metrički sustav, 18
 desetični znak, 12, 42, 77
 dimenzijski znakovi, 15
 din (din), 37, 54
 dinamička viskoznost (poaz), 37, 54
 Dogovor o metru, 18–19
 dopunske jedinice, 57, **62**, 67, 72
 dozni ekvivalent, vidi svert
 duljina, 14–15, 18, **21**, 25, 50, 51, 55

Dž

džul (J), 16, 27, 28, 40, **52–53**, 58

E

električna struja, 14, 22, 25, 52, 55, 57
 električne jedinice, **52**
 elektromagnetske jednadžbe s četiri veličine, 14
 elektromagnetske veličine, 14, 37
 elektronvolt (eV), 34–35
 elementarni naboj, 34–35
 erg, 37, 54
 ersted (Oe), 37

F

farad (F), 27, **52**, 54, 58
 fot (ph), 37
 fotobiološke veličine, 17, 80–81
 fotokemijske veličine, 17, 80–81
 fotometrijske jedinice, **51**, 61, 80–81
 fotopsko gledanje, 65, 80

G

gal (Gal), 37
 gaus, 37
 Gauss, 18
 Gaussov CGS-sustav, 14, 37
 Giorgi, 19
 gon, 33
 grad, 33
 gram, 16, 18–19, 31, 54, 60
 gramatom, grammolekula, 23
 grej (Gy), 27, 29, **65**, 68

H

Hallov pojav (uključujući kvantni
 Hallov pojav), 20, 69–**70**, 73
 Hartreejeva energija, hartri, 34, 35
 hektar (ha), 33
 henri (H), 27, **52**, 54, 58
 herc (Hz), 25, 57
 hiperfino razdvajanje cezijeva atoma, 22

I

ionizacijsko zračenje, 17, 29, 65–66,
 68, 76
 ISO/TC 12, 14, 67
 IUPAC, 23–24, Zelena knjiga 40
 IUPAP SUNAMCO, 23–24, Crvena
 knjiga 40
 izvedene jedinice, **13**, 16–19, **62**
 izvedene veličine, **13**, 15, 16–19

J

jard, 38
 jedinica (SI), 20–29

jedinica, izvedena, **13**, 25–28, 57, 62
 jedinica, osnovna, **13**, 20, 25, 55, 56, 65
 jedinice izvan SI-a, 32–38
 jedinice za biološke veličine, 17
 Josephsonov pojav, **69**
 Josephsonova stalnica (K , K_{J-90}), 69

K

kalorija, 54
 kandela (cd), 14, 19, 24–**25**, 54, 55, 57,
 61, 65, nova kandela, 65
 katal (kat), 27, **73**
 kelvin (K), 14, 19, 22–**23**, 25, 61
 kibibajt (kilobajt), 30
 kilogram, 14, 16–19, **21**, 25, 31, 51, 55,
 57, 60, 64
 kinematička viskoznost (stoks), 37
 kiri (Ci), 59
 klinička kemija, 24, 73
 količina tvari, 14–16, 23–**24**, 63–**64**
 kulon (C), 27, **52**, 54, 58

L

litra (L ili l), **33**, 39, 49, 54, 58, 59, 66
 logaritamski omjer jedinica, 36–37, 43
 logaritamski omjer veličina, 36
 lučna mikrosekunda (μ s), 31, 33
 lučna milisekunda (ms), 31, 33
 lučna sekunda, 33
 luks (lx), 27, 54, 58
 lumen (lm), 27, 54, 58, novi lumen, 51

M

magnetska stalnica, permeabilnost
 vakuuma, 14, 22
 maksvel, 37
 masa elektrona, 34–35
 masa i težina, 51
 masa, 14–15, 18, **21**, 25, 31, 50, 51, 57,
 60, 72
 Maxwell, 18
 međunarodna jedinica (IU) WHO-a, 17

međunarodna pramjera kilograma, 19, **21**, 50, 51
 međunarodna pramjera metra, 19, **21**, 50, 51, 56
 međunarodna temperaturna ljestvica iz 1990. (ITS-90), 71
 međunarodni sustav jedinica (SI), **14**, 53, 55, 56, 57
 međunarodni sustav veličina (ISQ), **14**
 međunarodno atomsko vrijeme (TAI), 63, 64
 mesopski, 65, 80
 metar (m), 14, 18, **21**, 40, 50, 51, 54, 55, 56, 57, 67–68
 metrička tona, 33, 54
 milimetar žive, 36
 minuta (min), 33
 MKS sustav, 19, 51
 MKSA sustav, 19
 mol (mol), 14, 19, 23–**24**, 64
 molekularna masa, 23–24
 morska milja, 33, 36

N

nazivi jedinica, **40**, 54
 nedimenzijske veličine, 15, 26, **29**, 43, 67
 neper (Np), 36–37, 43
 nesigurnost, 42
 nižekratnika, predmetci, 16, 30–31, 57, 73
 norma IEC 60027, 14
 norma ISO 31, 12, 14, 40
 norma ISO/IEC 80000, 14
 normirana atmosfera, 36, **54**
 njutn (N), 22, 27, 52, 54, 57

O

obvezatni znakovi jedinica, 15, 25, 39–40
 OIML, 18
 om (Ω), 19, 22, 27, 39, **52**, 54, 58, 68, 69, 70, 73
 opća relativnost, 17, 74
 osnovna veličina, **13**, 15, 25

osnovne jedinice, **13**–14, 20–25, 55, 56, 57, 64
 ostvarenje jedinice, 11, **20**, 79

P

palac, 38
 paskal (Pa), 27, 39–40, 63
 pisanje vrijednosti veličine, 42
 poaz (P), 37, 54
 posebni nazivi i znakovi jedinica, 16, 26–29
 postotak, 43–44
 povijesna bilješka, 18–19
 ppb, 44
 ppm, 43–44
 ppt, 44
 praktična jedinica, 19, 53, 55
 predmetci, 16, 26, **30**, 33, 36–37, 39, 57, 60, 62, 65, 71
 preporučeni znakovi veličina, 15, 40
 prirodna jedinica, 34–35

R

racionalizacijski faktori, 15
 radijacijska terapija, 17
 radijan (rad), 27–29, 43, 57, 72
 reducirana Planckova stalnica, 34, 35

S

sat (h), 31, 33, 55
 sekunda (s), 14, 18, 19, 20–**22**, 25, 39, 54, 55, 56–57, 60
 SI predmetci, 16, 26, **30**, 33, 36–37, 39, 57, 59, 60, 62, 65, 71
 SI, vidi Međunarodni sustav jedinica
 Simens (S), 27, 63
 Sivert (Sv), 27, 29, 66, 68, 75, 76
 skotopski, 65, 80
 skupine od po tri, 42, 77
 steradian (sr), 27, 28, 43, 57, 67, 72
 stilb (sb), 37, 54
 stoks (St), 37

stopa, 38
 suvisle izvedene jedinice, 16, 25–29, 73
 svjetlosna jakost, 14–15, 24–**25**, 51, 55

T

TAI, vidi međunarodno atomsko
 vrijeme
 termodinamička temperatura ljestvica, 54
 termodinamička temperatura, 14–15,
 22–**23**, 54, 55, 57, 61, 77
 tesla (T), 27, 58
 Thomson, 18
 tona, 33, 54
 toplinski kapacitet, 28, 40
 trojna točka vode, 22–**23**, 52–53, 54,
 55, 61

U

ubrzanje sile teže, standardna vrijednost
 (g_n), 51
 Usklađeno svjetsko vrijeme, 64
 uspostavljanje SI-a, 53, 55, 56, 57
 UTC, vidi Usklađeno svjetsko vrijeme

V

vat (W), 27, **52**, 54, 58
 veber (Wb), 27, **52**, 58

veličina, 13
 veličina, izvedena, **13**, 14, 15, 16–19
 veličina, osnovna, **13**, 14, 15, 16
 veličine dimenzije jedan, 15, 26–27, 29,
 43–44
 višekratnici (i nižekratnici) kilograma,
 16, 31, 60
 višekratnika, predmetci, 16, 30–31, 57,
 60, 62, 65, 71
 voda, izotopski sastav, 23, 77, 78
 volt (V), 27, **52**, 54, 58
 von Klitzingova stalnica (R_K , R_{K-90}), 20,
 70, 73
 vrijednost veličine, 40–41
 vrijeme (trajanje), 14–15, 21–**22**, 25,
 55, 61

W

Weber, 18
 WHO, 17

Z

zakonodavstvo jedinica, 17
 znakovi jedinica, 25, 39, 54
 znakovi veličina, 15, 40, 41–42
 zvuk, jedinica, 17

