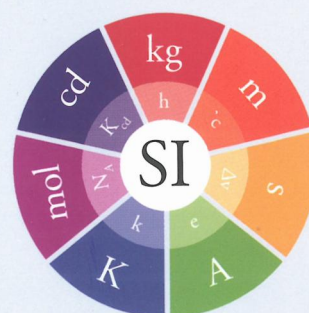


Bureau International des
Poids et Mesures - BIPM
Međunarodni ured
za utege i mjere

Međunarodni sustav jedinica (SI)



Endress+Hauser - vaš pouzdan partner za mjerne instrumente, rješenja i servis



- Mjerila protoka, tlaka, razine, temperaturni osjetnici, pisači i komponente
- On-line sustavi i analizatori za tekućine, Kaiser Raman spektrometar za on-line analizu komponenata u proizvodnom procesu i laboratoriju
- Sustavi za upravljanje zalihama i radiometrijska mjerenja razine
- Kontrolni sustavi
- Servis (održavanje, poslovi umjeravanja protoka, temperatura i tlakova po akreditiranoj normi HRN EN ISO/IEC 17025:2017, tehnička podrška)

**Međunarodni ured
za utege i mjere**

Međunarodni sustav jedinica (SI)

SI brošura se distribuira prema uvjetima Creative Commons Attribution 4.0 International Licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), koja dopušta neograničenu uporabu, raspačavanje i reproduciranje na bilo kojem sredstvu, pod uvjetom da se dadne prikladna potvrda o autoru (autorima) izvornika i izvoru, osigura veza s licencijom Creative Commons i naznači ako su provedene promjene.

NASLOV IZVORNIKA:

Le Système International d'Unités

The International System of Units

Objavljivanje ove publikacije podržalo je Ministarstvo znanosti i obrazovanja Republike Hrvatske i Državni zavod za mjeriteljstvo.

Tiskano s odobrenjem BIPM-a prema uvjetima Creative Commons Attribution 4.0 International Licence.

NAKLADNIK: Laser Plus d.o.o. i Hrvatsko mjeriteljsko društvo, Zagreb • ZA IZDAVAČE: Mladen Jakovčić • PREVEO S ENGLESKOGA JEZIKA: Mirko Vuković • LEKTORIRALA: Milica Mihaljević • KORIGIRAO: Mirko Vuković • PRIPREMA SLOGA: Laser Plus d.o.o., Igor Vresk • Zagreb, srpnja 2021.

Objavljivanje ove publikacije pomoglo je više organizacija u čijem je djelokrugu mjeriteljstvo. Prikaz mjeriteljskih djelatnosti tih organizacija dan je u ovoj publikaciji.

CIP zapis je dostupan u računalnome katalogu Nacionalne i sveučilišne knjižnice u Zagrebu pod brojem 001111429

ISBN 978-953-7623-21-0

BIPM

i Konvencija o metru

Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM) osnovan je *Konvencijom o metru* koju je tijekom završne sjednice diplomatske Konferencije o metru 20. svibnja 1875. godine u Parizu potpisalo sedamnaest država. Ta je Konvencija izmijenjena i dopunjena 1921. godine.

BIPM ima sjedište u blizini Pariza na terenu (43 520 m²) Pavillona de Breteuil (Parc de Saint-Cloud) koji mu je stavila na raspolaganje francuska vlada; njegov rad zajednički financiraju države potpisnice *Konvencije o metru*.

Zadaća je BIPM-a osigurati svjetsko ujednačenje mjerenja; njegovi su ciljevi:

- predstavljati svjetsku mjeriteljsku zajednicu u cilju njezina što boljeg prihvatanja i utjecaja
- da bude središte znanstvene i tehničke suradnje među državama članicama čime se osiguravaju mogućnosti međunarodnih usporedbi na temelju podjele troškova;
- da bude koordinator svjetskoga mjernog sustava osiguravajući da on daje usporedive i međunarodno prihvaćene mjerne rezultate.

BIPM djeluje pod isključivim nadzorom Međunarodnoga odbora za utege i mjere (Comité international des poids et mesures, CIPM) koji je sam odgovoran Općoj konferenciji za utege i mjere (Conférence générale des poids et mesures, CGPM) te izvješćuje CGPM o radu koji je obavio BIPM.

Općoj konferenciji, koja se trenutačno sastaje svake četiri godine, prisustvuju delegati svih država članica. Na tim se sastancima:

- raspravlja o dogovorima i potiču dogovori koji su potrebni kako bi se osiguralo širenje i poboljšavanje međunarodnoga sustava jedinica (SI) koji je suvremeni oblik metričkoga sustava;
- potvrđuju rezultati novih temeljnih mjeriteljskih određivanja i različitih znanstvenih rezolucija međunarodnoga područja primjene;
- donose sve glavne odluke koje se odnose na financije, organizaciju i razvoj BIPM-a.

CIPM ima osamaest članova od kojih je svaki iz druge države: trenutačno se sastaje svake godine. Službenici toga odbora podnose godišnje izvješće o administrativnome i financijskome položaju BIPM-a vladama država članica. Glavna je zadaća CIPM-a osigurati svjetsku ujednačenost mjernih jedinica. On to radi izravno ili podnošenjem prijedloga CGPM-u.

Djelatnosti BIPM-a koje su u početku bile ograničene na mjerenja duljine i mase te mjeriteljska istraživanja koja su se odnosila na te veličine, proširena su na mjerne etalone u području elektriciteta (1927.), fotometriju i radiometriju (1937.), ionizacijsko zračenje (1960.), vremenske ljestvice (1988.) i kemiju (2000.). U tu su svrhu 1929. godine prošireni izvorni laboratoriji, koji su izgrađeni od 1876. – 1878. godine; izgrađene su nove zgrade za laboratorije za ionizacijsko zračenje od 1963. – 1964. godine, za rad na laserima 1984. godine te za knjižnicu i urede 1988. godine. Godine 2001. otvorena je nova zgrada s radionicom, uredima i prostorijama za sastanke.

Do 20. svibnja 2019. godine bilo je pedeset devet država članica: Argentina, Australija, Austrija, Belgija, Brazil, Bugarska, Crna Gora, Češka, Čile, Danska, Egipat, Finska, Francuska, Grčka, Hrvatska, Indija, Indonezija, Irak, (Islamska Republika) Iran, Irska, Izrael, Italija, Japan, Južna Afrika, Kanada, Kazahstan, Kenija, Kina, Kolumbija, (Republika) Koreja, Litva, Mađarska, Malezija, Meksiko, Nizozemska, Norveška, Novi Zeland, Njemačka, Pakistan, Poljska, Portugal, Rumunjska, Ruska Federacija, Saudijska Arabija, Singapur, Sjedinjene Američke Države, Slovačka, Slovenija, Srbija, Španjolska, Švedska, Švicarska, Tajland, Tunis, Turska, Ujedinjena Kraljevina, Ujedinjeni Arapski Emirati, Ukrajina, Urugvaj.

Četrdeset i dvije države i gospodarstva bili su pridruženi članovi Opće konferencije za utege i mjere. Albanija, Azerbajdžan, Bangladeš, Bjelorusija, Bocvana, Bolivija, Bosna i Hercegovina, CARICOM, Ekvator, Estonija, Etiopija, Filipini, Gana, Gruzija, Hong Kong (Kina), Jamajka, Katar, Kostarika, Kuba, Kuvajt, Letonija, Luksemburg, Malta, Mauricijus, Moldavija, Mongolija, Namibija, Oman, Panama, Peru, Sirija, Sjeverna Makedonija, Sejšeli, Šri Lanka, Tajvan, Tanzanija, Uzbekistan, Vijetnam, Zambija, Zimbabve.

U laboratorijima BIPM-a radi četrdeset i pet fizičara i tehničara. Oni uglavnom obavljaju mjeriteljsko istraživanje, međunarodne usporedbe ostvarenja jedinica i umjeravanja etalona. U godišnjem izvještaju ravnatelja daju se podatci o radu koji je u tijeku.

S obzirom na proširenje posla koji je povjeren BIPM-u 1927. godine, CIPM je osnovao tijela, koja se nazivaju savjetodavnim odborima, čija je funkcija osigurati informacije o pitanjima koje im on upućuje na proučavanje i mišljenje. Ti savjetodavni odbori, koji za proučavanje posebnih pitanja mogu osnivati privremene ili trajne radne skupine, odgovorni su za usklađivanje međunarodnoga rada koji se provodi u njihovim odgovarajućim područjima i predlažu preporuke CIPM-u koje se odnose na jedinice.

Savjetodavni odbori imaju opća pravila (Dokument CIPM-D-01, *Pravila postupanja za savjetodavne odbore (CC) koje je osnovao CIPM, radne skupine CC-a i radionice CC-a*). 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, koje je odobrio CIPM, koji šalju izaslanike po svojem izboru. Osim toga postoje pojedinačni članovi koje imenuje CIPM te predstavnik BIPM-a (Dokument CIPM-D-01, *Pravila postupanja za savjetodavne odbore (CC) koje je osnovao CIPM, radne skupine CC-a i radionice CC-a*). Trenutačno postoji deset takvih odbora:

1. Savjetodavni odbor za elektricitet i magnetizam (CEM), novo je ime dano 1997. godine Savjetodavnomu odboru za elektricitet (CCE), koji je osnovan 1927. godine;
2. Savjetodavni odbor za fotometriju i radiometriju (CCPR), novo je ime dano 1971. godine Savjetodavnomu odboru za fotometriju (CCP) koji je osnovan 1933. godine (između 1930. i 1933. godine pitanjima koja se odnose na fotometriju bavio se odbor CCE)
3. Savjetodavni odbor za termometriju (CCT), koji je osnovan 1937. godine
4. Savjetodavni odbor za duljinu (CCL), novo je ime dano 1997. godine Savjetodavnomu odboru za definiciju metra (CCDM) koji je osnovan 1952. godine
5. Savjetodavni odbor za vrijeme i frekvenciju (CCTF), novo je ime dano 1997. godine Savjetodavnomu odboru za definiciju sekunde (CCDS) koji je osnovan 1956. godine
6. Savjetodavni odbor za ionizacijsko zračenje (CCRI), novo je ime dano 1997. godine Savjetodavnomu odboru za etalone ionizacijskog zračenja (CEMRI), koji je osnovan 1958. godine (1959. godine taj je odbor uspostavio četiri odsjeka: Odsjek I (mjerenje x-zraka i γ -zraka, elektrone), Odsjek II (mjerenje radionuklida), Odsjek III (mjerenja neutrona), Odsjek IV (etaloni α -energije); 1975. godine posljednji je odsjek raspušten, a za njegovo područje djelovanja postao je odgovoran Odsjek II
7. Savjetodavni odbor za jedinice (CCU), koji je osnovan 1964. godine (taj je odbor zamijenio Povjerenstvo za sustav jedinica, koje je CIPM osnovao 1954. godine)
8. Savjetodavni odbor za masu i srodne veličine (CCM), koji je osnovan 1980. godine
9. Savjetodavni odbor za količinu tvari: mjeriteljstvo u kemiji i biologiji (CCQM), koji je osnovan 1993. godine
10. Savjetodavni odbor za akustiku, ultrazvuk i vibracije (CCAUV), koji je osnovan 1999. godine.

Rasprave Opće konferencije i CIPM-a objavljuje BIPM u ovim periodičnim izdanjima:

- *Izvyestaji sa sastanaka Opće konferencije za utege i mjere (Comptes rendus des Séances de la Conférence Générale des Poids et Mesures (CR))*

- *Izvjestaji sa sastanaka Međunarodnoga odbora za utege i mjere (Procès-Verbaux des Séances du Comité International des Poids et Mesures (PV))*

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

BIPM također objavljuje monografije o posebnim mjeriteljskim predmetima i brošuru pod naslovom *Međunarodni sustav jedinica (SI)*, 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 et Memoires 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.

Od 1965. godine međunarodni časopis *Metrologia*, koji se izdaje pod pokroviteljstvom CIPM-a, objavljuje članke o važnijim radovima iz znanstvenoga 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 *Konvencije o metru*.

Predgovor 9. izdanju	9
1 Uvod	12
1.1 SI i definicijske stalnice	12
1.2 Motivacija za uporabu definicijskih stalnica za definiranje SI-ja	12
1.3 Primjena SI-ja	13
2 Međunarodni sustav jedinica	14
2.1 Definiranje jedinice koje veličine	14
2.2 Definicija SI-ja	14
2.2.1 Narav sedam definicijskih stalnica	15
2.3 Definicije jedinica SI-ja	16
2.3.1 Osnovne jedinice	16
2.3.2 Praktično ostvarenje jedinica SI-ja	21
2.3.3 Dimenzije veličina	22
2.3.4 Izvedene jedinice	23
2.3.5 Jedinice za veličine koje opisuju biološka i fiziološka djelovanja	26
2.3.6 Jedinice SI-ja u okviru opće teorije relativnosti	27
3 Decimalni višekratnici i nižekratnici jedinica SI-ja	28
4 Jedinice izvan SI-ja koje su prihvaćene za uporabu sa SI-jem	29
5 Pisanje znakova i naziva jedinica i izražavanje vrijednosti veličina	31
5.1 Uporaba znakova i naziva jedinica	31
5.2 Znakovi jedinica	31
5.3 Nazivi jedinica	32
5.4 Pravila i dogovori o načinu izražavanja vrijednosti veličina	32
5.4.1 Vrijednost i brojčana vrijednost veličine i uporaba algebre veličina	32
5.4.2 Znakovi veličina i jedinica	33
5.4.3 Pisanje vrijednosti veličine	33

5.4.4	Pisanje brojeva i decimalnoga znaka	34
5.4.5	Izražavanje mjerne nesigurnosti vrijednosti veličine	34
5.4.6	Množenje ili dijeljenje znakova veličina, vrijednosti veličina ili brojeva	35
5.4.7	Iskazivanje vrijednosti čistih brojeva	35
5.4.8	Ravninski, prostorni i fazni kutovi	35
Dodatak 1.	Odluke CGPM-a i CIPM-a	37
Dodatak 2.	Praktična ostvarenja definicija nekih važnih jedinica	84
Dodatak 3.	Jedinice fotokemijskih i fotobioloških veličina	85
Dodatak 4.	Povijesne napomene o razvoju međunarodnoga sustava jedinica i njegovih osnovnih jedinica	86
	1. dio: Povijesni razvoj ostvarenja jedinica SI-ja	86
	2. dio: Povijesni razvoj međunarodnoga sustava	88
	3. dio: Povijesni pregled osnovnih jedinica	90
	Popis pokrata	94
	Kazalo	96

Predgovor

9. izdanju

Međunarodni sustav jedinica (SI) upotrebljava se u cijelome svijetu kao preporučeni sustav jedinica, temeljni jezik znanosti, tehnike, industrije i trgovine otkad je uspostavljen 1960. godine rezolucijom na 11. sastanku Opće konferencije za utege i mjere (Conférence Générale des Poids et Mesures, CGPM).

Ovu brošuru objavljuje Međunarodni ured za utege i mjere (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM) za promicanje i objašnjenje SI-ja. U njoj su dane najvažnije rezolucije CGPM-a te odluke Međunarodnoga odbora za utege i mjere (Comité International des Poids et Mesures, CIPM), koji vodi brigu o metričkome sustavu od 1. sastanka CGPM-a 1889. godine.

SI je uvijek bio praktičan i dinamičan sustav koji se razvijao korištenjem najnovijim dostignućima znanosti i tehnike. Posebno je ogroman napredak koji je tijekom posljednjih 50 godina ostvaren u području atomske fizike i kvantnoga mjeriteljstva omogućio preinaku definicija sekunde i metra te praktično ostvarenje električnih jedinica korištenjem atomskim i kvantnim pojavama kako bi se postigle razine točnosti za ostvarenje tih jedinica koje su ograničene samo našom tehničkom sposobnošću, a ne samim definicijama. Taj je znanstveni napredak zajedno s razvojem mjerne tehnologije omogućio promjene SI-ja koje su se promicale i objašnjavale u prethodnim izdanjima ove brošure.

Ovo 9. izdanje SI brošure priređeno je nakon što je na 26. sastanku CGPM-a prihvaćen skup dalekosežnih promjena. Na tome je sastanku uveden novi pristup formuliranju definicija jedinica općenito te posebno sedam osnovnih jedinica fiksiranjem brojčanih vrijednosti sedam *definijskih stalnica*. Među njima su temeljne prirodne stalnice kao što su Planckova stalnica i brzina svjetlosti, tako da se te definicije temelje na našem sadašnjem razumijevanju fizičkih zakona i predstavljaju to sadašnje razumijevanje. Prvi je put na raspolaganju potpun skup definicija kojima se ne upućuje ni na kakve rukotvorinske etalone, materijalna svojstva ili opise mjerenja. Te promjene omogućuju ostvarenje svih jedinica s točnošću koja je u konačnici ograničena samo kvantnom strukturom prirode i našim tehničkim mogućnostima, ali ne samim definicijama. Za ostvarenje koje jedinice može se upotrijebiti svaka valjana fizička jednadžba koja povezuje definijske stalnice s tom jedinicom čime se stvaraju mogućnosti za inovacije, ostvarenje bilo gdje s većom točnošću s napretkom tehnologije. Dakle, takva revizija označuje povijesno važan korak naprijed.

Te je promjene prihvatio CGPM u studenome 2018. godine, s primjenom od 20. svibnja 2019. godine. Taj je datum odabran jer je to Svjetski dan mjeriteljstva, dan kad je 1875. godine potpisana *Konvencija o metru*. Premda će budući utjecaj promjena biti dalekosežan, posebna je pozornost posvećena osiguravanju da te definicije budu sukladne s definicijama koje su bile na snazi u vrijeme kad je ta promjena provedena.

Skrećemo pozornost na činjenicu da se međunarodni sustav jedinica od njegova uspostavljanja 1960. godine uvijek nazivao u svojem kraćem obliku SI. To je načelo zadržano u osam prethodnih izdanja ove brošure te je potvrđeno 1. rezolucijom na 26. sastanku CGPM-a, koji

je također potvrdio da je naslov brošure jednostavno *Međunarodni sustav jedinica*. Ta dosljednost upućivanja na SI odražava nastojanja CGPM-a i CIPM-a da pri svakoj provedenoj promjeni osiguraju neprekinutost vrijednosti mjerenja koje su izražene u jedinicama SI-ja.

Tekst ove brošure priređen je kako bi se osigurao potpun opis SI-ja i dao određeni povijesni kontekst. Ona također ima četiri dodatka:

U dodatku 1 kronološkim su redom reproducirane sve odluke (rezolucije, preporuke, izjave) koje su od 1889. godine objavili CGPM i CIPM o mjernim jedinicama i međunarodnome sustavu jedinica.

Dodatak 2 dostupan je samo u elektroničkoj inačici (www.bipm.org). U njemu su u općim crtama dana praktična ostvarenja sedam osnovnih jedinica i drugih važnih jedinica u svakome području. Taj će se dodatak redovito posuvremenjivati kako bi odražavao poboljšanja u eksperimentalnim metodama koje budu dostupne za ostvarivanje jedinica.

Dodatak 3 dostupan je samo u elektroničkoj inačici (www.bipm.org). U njemu se raspravlja o jedinicama za fotokemijske i fotobiološke veličine.

U dodatku 4 dane su neke napomene iz povijesti razvoja SI-ja.

Zaključujemo izražavanjem zahvalnosti članovima Savjetodavnoga odbora za jedinice (Comité Consultatif des Unités) CIPM-a koji je odgovoran za sastavljanje ove brošure. CCU i CIPM odobrili su končani tekst.

ožujka 2019.



B. Inglis,
predsjednik CIPM-a



J. Ullrich,
predsjednik CCU-a



M.J.T. Milton,
direktor BIPM-a

Napomena

Na temelju odluke CIPM-a iz 1997. godine 22. CGPM odlučio je 2003. godine da “decimalni znak mora biti točka ili zarez na crti pisanja”. Na temelju te odluke i običaja u ta dva jezika u ovome se izdanju kao decimalni znak u engleskome tekstu upotrebljava točka, a u francuskom zarez¹. To nema nikakve posljedice za prijevod decimalnoga znaka na druge jezike. U zemljama engleskoga govornog područja u pisanju se pojavljuju male jezične varijacije (na primjer *metre* i *meter*, *litre* i *liter*). U takvim slučajevima u ovdje danome engleskom tekstu slijedi se praksa iz niz norma ISO/IEC 80000, *Veličine i jedinice*. Međutim znakovi SI-ja za jedinice u ovoj brošuri isti su na svim jezicima.

Čitateljima treba napomenuti da je tekst službenih zapisnika sa sastanaka CGPM-a i sjednica CIPM-a uvijek francuski tekst. U ovoj je brošuri dan tekst na engleskome jeziku, ali kad se zahtijevaju mjerodavne uputnice ili kad postoji sumnja u tumačenju teksta, potrebno je upotrijebiti francuski tekst.

¹ U ovom prijevodu na hrvatski jezik, kao decimalni znak upotrebljava se zarez u skladu s hrvatskom normom HRN EN ISO 80000-1. (napomena prevoditelja)

1 Uvod

1.1 SI i definicijske stalnice

Ova brošura prikazuje informacije o definiciji i uporabi međunarodnoga sustava jedinica, koji je općenito poznat kao SI (prema francuskome nazivu *Système international d'unités*), za koji je odgovorna Opća konferencija za utege i mjere (*Conférence Générale des Poids et Mesures*, CGPM). Na 11. CGPM-u 1960. godine formalno je definiran i uspostavljen SI te je nakon toga s vremena na vrijeme preinačivan kao odgovor na zahtjeve korisnika i napredak u znanosti i tehnici. Najnoviju i možda najvažniju reviziju SI-ja od njegova uspostavljanja proveo je 26. CGPM (2018.), a dokumentirana je u ovome 9. izdanju SI brošure. Konvencija o metru i njezina tijela, CGPM, Međunarodni odbor za utege i mjere (*Comité International des Poids et Mesures*, CIPM), Međunarodni ured za utege i mjere (*Bureau International des Poids et Mesures*; BIPM) i savjetodavni odbori opisani su u tekstu *BIPM i Konvencija o metru* na stranici 3.

SI je konzistentan sustav jedinica za uporabu u svim aspektima života, uključujući međunarodnu trgovinu, proizvodnju, sigurnost i zaštitu zdravlja, zaštitu okoliša i u temeljnim znanostima te se sva ta područja na njega oslanjaju. Sustav veličina koji se temelji na SI-ju i jednadžbe koje ih povezuju temelje se na postojećem opisu prirode te su dobro poznate svim znanstvenicima, tehnolozima i inženjerima.

Definicije jedinica SI-ja utvrđene su s pomoću skupa od sedam definicijskih stalnica. Iz fiksiiranih vrijednosti tih definicijskih stalnica, koje se izražavaju s pomoću jedinica SI-ja, može se izvesti cijeli sustav jedinica. Tih sedam definicijskih stalnica temeljno je svojstvo definicije cijeloga sustava jedinica. Te su posebne stalnice odabrane nakon što su utvrđene kao najbolji izbor uzimajući u obzir da se prethodna definicija SI-ja temeljila na sedam osnovnih jedinica i znanstvenome napretku.

Za ostvarenje tih definicija mogu se upotrebljavati različite eksperimentalne metode koje su općenito opisali savjetodavni odbori Međunarodnoga odbora za utege i mjere (CIPM). Opisi ostvarenja također se nazivaju *mises en pratique*. Ostvarenja se mogu preinačivati kadgod se razviju novi pokusi; iz toga razloga u ovu brošuru nisu uključeni savjeti za ostvarenje definicija, ali se oni mogu dobiti na mrežnim stranicama BIPM-a.

1.2 Motivacija za uporabu definicijskih stalnica za definiranje SI-ja

Povijesno se jedinice SI-ja prikazuju s pomoću skupa koji danas čini sedam *osnovnih jedinica*. Sve se druge jedinice, koje se nazivaju *izvedenim jedinicama*, tvore kao umnošci potencija osnovnih jedinica.

Za osnovne jedinice upotrebljavali su se različiti tipovi definicija: posebna svojstva rukotvorina kao što je masa međunarodne pramjere za jedinicu kilogram, koje posebno fizičko stanje kao što je trojna točka vode za jedinicu kelvin, idealizirana eksperimentalna pravila kao u slučaju ampera i kande le ili prirodne stalnice kao što je brzina svjetlosti za definiciju metra.

Za bilo kakvu praktičnu uporabu te je jedinice potrebno ne samo definirati nego također i fizički ostvarivati kako bi se mogle diseminirati. U slučaju rukotvorina definicija je istovrijedna ostvarenju. Tako su postupale napredne drevne civilizacije. Premda je ta metoda jednostavna i jasna, za rukotvorine postoji rizik od gubitka, oštećenja ili njihove promjene. Druge vrste definicija sve su apstraktnije ili idealiziranije. U tome su slučaju ostvarenja pojmovno odvojena od definicija tako da se jedinice, načelno, mogu ostvariti neovisno na bilo kojemu mjestu i u bilo koje vrijeme. Osim toga s razvojem znanosti i tehnike načelno se mogu uvoditi nova bolja ostvarenja bez potrebe redefiniranja jedinice. Te se prednosti najjasnije vide u povijesti definicije metra od rukotvorine preko atomskoga referentnog prijelaza do fiksne brojčane vrijednosti brzine svjetlosti, što je dovelo do definiranja svih jedinica s pomoću definicijskih stalnica.

Odabir osnovnih jedinica nikad nije bio jedinstven, nego se povijesno razvijao i postao blizak korisnicima SI-ja. Taj je opis s pomoću osnovnih i izvedenih jedinica zadržan i u postojećoj definiciji SI-ja, ali je preformuliran kao posljedica prihvatanja definicijskih stalnica.

1.3 Primjena SI-ja

Definicije jedinica SI-ja, kako je odlučio CGPM, predstavljaju najvišu referentnu razinu za mjernu sljedivost prema SI-ju.

Mjeriteljski instituti širom svijeta uspostavljaju praktična ostvarenja tih definicija kako bi se omogućila sljedivost mjerenja prema SI-ju. Savjetodavni odbori osiguravaju okvir za uspostavljanje istovrijednosti ostvarenja kako bi se uskladila svjetska sljedivost.

Normizacijska tijela mogu, kad je to potrebno, zainteresiranim stranama specificirati dodatne pojedinosti o veličinama i jedinicama te pravila za njihovu primjenu. Kad je riječ o jedinicama SI-ja, u tim se normama mora upućivati na definicije koje je dao CGPM. Mnoge su takve specifikacije dane na primjer u normama koje su izradile Međunarodna organizacija za normizaciju i Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo (nizu međunarodnih norma ISO/IEC 80000).

Pojedine su države na temelju nacionalnoga zakonodavstva uspostavile pravila koja se odnose na uporabu jedinica za opću uporabu ili za posebna područja kao što su trgovina, zaštita zdravlja, javna sigurnost i izobrazba. U gotovo svim državama to se zakonodavstvo temelji na SI-ju. Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo (OIML) zadužena je za međunarodno usklađivanje tehničkih specifikacija toga zakonodavstva.

2 Međunarodni sustav jedinica

2.1 Definiranje jedinice koje veličine

Vrijednost veličine izražava se s pomoću umnoška broja i jedinice. Jedinica je jednostavno primjerak odgovarajuće veličine, definirane dogovorom koji se upotrebljava kao referencija, a broj je omjer vrijednosti veličine i jedinice.

Za posebnu veličinu mogu se upotrebljavati različite jedinice. Na primjer, vrijednost brzine v čestice može se izraziti kao $v = 25 \text{ m/s}$ ili $v = 90 \text{ km/h}$, pri čemu su metar u sekundi i kilometar na sat alternativne jedinice za istu vrijednost veličine brzine.

Prije iskazivanja mjernoga rezultata bitno je da se veličina koja se prikazuje prikladno opiše. Taj opis može biti jednostavan, kao u slučaju duljine kojega posebnog čeličnog štapa, ali može postati složeniji kad se zahtijeva veća točnost i kad je potrebno specificirati dodatne parametre kao što je temperatura.

Kad se navodi mjerni rezultat koje veličine, potrebno je navesti *procijenjenu vrijednost* mjerene veličine (veličine koju treba mjeriti) i *nesigurnost* pridruženu toj vrijednosti. Obje se izražavaju istom jedinicom.

Na primjer brzina svjetlosti u vakuumu prirodna je stalnica koja se označuje slovom c , čija je vrijednost u jedinicama SI-ja dana relacijom $c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$, pri čemu je brojčana vrijednost jednaka 299 792 458, a jedinica je m/s.

2.2 Definicija SI-ja

Vrijednost temeljne stalnice kao i svake veličine može se izraziti kao umnožak broja i jedinice.

Definicijama u nastavku specificira se točna brojčana vrijednost svake stalnice kad se njezina vrijednost izražava odgovarajućom jedinicom SI-ja. Jedinica se definira fiksiranjem točne brojčane vrijednosti stalnice jer umnožak *brojčane vrijednosti* i *jedinice* treba biti jednak *vrijednosti* stalnice za koju je postulirano da je invarijanta.

Količnici jedinica SI-ja mogu se izražavati s pomoću kose crte (/) ili negativnoga eksponenta.

Na primjer, $\text{m/s} = \text{m s}^{-1}$,
 $\text{mol/mol} = \text{mol mol}^{-1}$

Na takav je način odabrano sedam stalnica kako bi se svaka jedinica SI-ja mogla napisati s pomoću same definicijske stalnice ili umnožaka ili omjera definicijskih stalnica.

Međunarodni sustav jedinica (SI) sustav je jedinica u kojemu je:

- perturbirano temeljno stanje frekvencije hiperfinoga prijelaza cezijeva atoma $133 \Delta\nu_{\text{Cs}}$ jednako $9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$
- brzina svjetlosti u vakuumu c jednaka $299\,792\,458 \text{ m/s}$
- Planckova stalnica h jednaka $6,626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J s}$
- elementarni naboj e jednak $1,602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Boltzmannova stalnica k jednaka $1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- Avogadrova stalnica N_A jednaka $6,022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- svjetlosna djelotvornost K_{cd} jednobojnoga zračenja frekvencije $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ jednaka 683 lm/W ,

pri čemu su herc, džul, kulon, lumen i vat, sa znakovima jedinica Hz, J, C, lm i W, povezani redom s jedinicama sekundom, metrom, kilogramom, amperom, kelvinom, molom i kandelom, sa znakovima jedinica s, m, kg, A, K, mol i cd, u skladu s izrazima $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$, $\text{C} = \text{A s}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ i $\text{W} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$.

Brojčane vrijednosti sedam definicijskih stalnica nemaju nesigurnosti.

Tablica 1: Sedam definicijskih stalnica SI-ja i sedam odgovarajućih jedinica koje definiraju

Definicijska stalnica	Znak	Brojčana vrijednost	Jedinica
frekvencija hiperfinoga prijelaza stanja atoma Cs	$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	9 192 631 770	Hz
brzina svjetlosti u vakuumu	c	299 792 458	m s^{-1}
Planckova stalnica	h	$6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$	J s
elementarni naboj	e	$1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$	C
Boltzmannova stalnica	k	$1,389\,649 \times 10^{-23}$	J K^{-1}
Avogadrova stalnica	N_{A}	$6,022\,140\,76 \times 10^{23}$	mol^{-1}
svjetlosna djelotvornost	K_{cd}	683	lm W^{-1}

Pri svakoj promjeni međunarodnoga sustava jedinica uvijek je bilo bitno što je više moguće sačuvati njegov kontinuitet. Brojčane vrijednosti definicijskih stalnica odabrane su tako da budu sukladne s prijašnjim definicijama onoliko koliko to dopušta napredak znanosti.

2.2.1 Narav sedam definicijskih stalnica

Definicijske stalnice po svojoj naravi mogu biti temeljne prirodne stalnice i tehničke stalnice.

Uporabom stalnica za definiranje koje jedinice definicija se odvaja od ostvarenja. To pruža mogućnost da se s razvojem tehnike mogu razviti potpuno drukčija ili novija i bolja praktična ostvarenja bez potrebe za promjenom definicije.

Tehnička stalnica kao što je K_{cd} , svjetlosna djelotvornost jednobojnoga zračenja frekvencije 540×10^{12} Hz, odnosi se na koju posebnu primjenu. Ona se načelno može slobodno odabrati jer uključuje uobičajene fiziološke ili druge težinske faktore. Nasuprot tome temeljna prirodna stalnica općenito ne daje mogućnost takvoga izbora nego je povezana s drugim stalnicama preko fizičkih jednadžba.

Skup od sedam definicijskih stalnica odabran je tako da one osiguravaju temeljnu, stabilnu i univerzalnu referenciju te istodobno omogućuju praktična ostvarenja s najmanjim nesigurnostima. Tim se tehničkim dogovorima i specifikacijama također uzima u obzir povijesni razvoj.

Planckova stalnica h i brzina svjetlosti u vakuumu c prikladno su opisane kao temeljne. One određuju redom kvantna djelovanja i svojstva prostorvremena te jednako utječu na sve čestice i polja na svim razinama i u svakome okolišu.

Elementarni naboj e odgovara jakosti veze elektromagnetske sile preko stalnice fine strukture $\alpha = e^2/(2c\epsilon_0\hbar)$, pri čemu je ϵ_0 permitivnost ili električna stalnica. Neke teorije predviđaju promjenu stalnice α s vremenom. Međutim, eksperimentalne su granice najveće promjene stalnice α tako male da se može isključiti bilo kakav njezin učinak na predvidljiva praktična mjerenja.

Boltzmannova stalnica k stalnica je razmjernosti između veličina temperature (s jedinicom kelvin) i energije (s jedinicom džul), pri čemu se njezina brojčana vrijednost dobiva iz povijesnih specifikacija temperaturne ljestvice. Temperatura sustava razmjerna je toplinskoj energiji, ali ne nužno unutrašnjoj energiji sustava. U statističkoj fizici Boltzmannova stalnica povezuje entropiju S s brojem Ω dostupnih kvantnomehaničkih stanja, $S = k \ln \Omega$.

Cezijeva frekvencija $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, neperturbirano hiperfino cijepanje frekvencije temeljnoga stanja cezijeva atoma 133, ima karakter atomskoga parametra na koji može utjecati okoliš kao što su elektromagnetska polja. Međutim, dobro je poznato da je taj temeljni prijelaz stabilan te je dobar izbor kao referentni prijelaz na temelju praktičnih razmatranja. Odabirom atomskoga parametra kao što je $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ ne odvajaju se definicija i ostvarenje kao što su h , c , e ili k , ali se specificira referencija.

Avogadrova stalnica N_{A} stalnica je razmjernosti između veličine količine tvari (s jedinicom mol) i veličine broja entiteta (s jedinicom jedan, znak 1). Prema tome, ona ima karakter stalnice razmjernosti sličan Boltzmannovoj stalnici k .

Svjetlosna djelotvornost jednobojnoga zračenja frekvencije 540×10^{12} Hz, K_{cd} , tehnička je stalnica koja daje točan brojčani odnos između čisto fizičkih značajka izračene snage koja podražava ljudsko oko (W) i njegova fotobiološkoga odziva, koji je definiran svjetlosnim tijekom koji je izazvan sposobnošću spektralnoga odziva prosječnog opažača (lm) na frekvenciji od 540×10^{12} herca.

2.3 Definicije jedinica SI-ja

Prije prihvatanja definicija iz 2018. godine SI je bio definiran s pomoću sedam *osnovnih jedinica* iz kojih su se tvorile *izvedene jedinice* kao umnošci potencija *osnovnih jedinica*. Definiranje SI-ja fiksiranjem brojčanih vrijednosti sedam definicijskih stalnica ima za posljedicu da to razlikovanje načelno nije potrebno jer se sve jedinice, *osnovne* i *izvedene*, mogu tvoriti izravno iz definicijskih stalnica. Ipak je zadržan pojam osnovnih i izvedenih jedinica, ne samo zbog toga što je koristan i povijesno dobro uspostavljen, nego i stoga što se u nizu norma ISO/IEC 80000 specificiraju osnovne i izvedene veličine koje nužno odgovaraju ovdje definiranim osnovnim i izvedenim jedinicama.

2.3.1 Osnovne jedinice

Osnovne jedinice SI-ja dane su u tablici 2.

Tablica 2: Osnovne jedinice SI-ja

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

Znakovi veličina, koji su *preporuke*, općenito su pojedinačna slova latinice ili grčkoga alfabeta i pišu se kurzivom. Znakovi su jedinica *obvezatni* i pišu se uspravno, vidi poglavlje 5.

Polazeći od definicije SI-ja s pomoću fiksniranih brojčanih vrijednosti definicijskih stalnica izvedene su definicije svih sedam osnovnih jedinica uporabom jedne ili, po potrebi, više definicijskih stalnica, što daje sljedeći skup definicija:

Sekunda

Sekunda, znak s, jedinica je vremena SI-ja. Ona se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost cezijeve frekvencije $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ neperturbiranoga temeljnog stanja hiperfino-ga frekvencijskog prijelaza atoma cezija 133 fiksirana tako da bude jednaka 9 192 631 770 kad se ona izražava jedinicom Hz koja je jednaka s^{-1} .

Ta definicija podrazumijeva točan odnos $\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$. Invertiranjem te relacije dobiva se izraz za jedinicu sekundu s pomoću vrijednosti definicijske stalnice $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1\text{ Hz} = \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}}}{9\,192\,631\,770} \quad \text{ili} \quad 1\text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}.$$

Iz te definicije proizlazi da je sekunda jednaka trajanju od 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinih razina neperturbiranoga temeljnog stanja atoma ^{133}Cs .

Referencija na neperturbirani atom namijenjena je da bude jasno da se definicija sekunde SI-ja temelji na izoliranome cezijevu atomu koji nije perturbiran nikakvim vanjskim poljem kao što je zračenje crnoga tijela u okolišu.

Tako definirana sekunda jedinica je pravoga vremena u smislu opće teorije relativnosti. Za osiguranje usklađene vremenske ljestvice kombiniraju se signali različitih primarnih satova na različitim mjestima koje treba korigirati zbog relativističkih pomaka cezijeve frekvencije (vidi točku 2.3.6).

CIPM je prihvatio različite sekundarne prikaze sekunde, koji se temelje na odabranome broju spektralnih linija atoma, iona ili molekula. Neperturbirane frekvencije tih linija mogu se odrediti s relativnom nesigurnošću koja nije manja od ostvarenja sekunde na temelju hiperfinoga frekvencijskog prijelaza atoma ^{133}Cs , ali se neke mogu obnoviti sa znatno većom stabilnošću.

Metar

Metar, znak m, jedinica je duljine SI-ja. On se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost brzine svjetlosti u vakuumu c fiksirana tako da bude jednaka 299 792 458 kad se ona izražava jedinicom SI-ja za brzinu m s^{-1} , pri čemu je sekunda definirana s pomoću cezijeve frekvencije $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Ta definicija podrazumijeva točan odnos $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$. Invertiranjem te relacije dobivamo točan izraz za jedinicu metar s pomoću definicijskih stalnica c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1\text{ m} = \left(\frac{c}{299\,792\,458} \right) \text{ s} = \frac{9\,192\,631\,770}{299\,792\,458} \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \approx 30,663\,319 \frac{c}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}.$$

Iz te definicije proizlazi da je jedan metar jednak duljini puta što ga svjetlost prevari u vakuumu tijekom vremenskoga odsječka s trajanjem od $1/299\,792\,458$ sekunda.

Kilogram

Kilogram, znak kg, jedinica je SI-ja za masu. On se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost Planckove stalnice h fiksirana tako da bude jednaka $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ kad se ona izražava jedinicom SI-ja J s koja je jednaka $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, pri čemu su metar i sekunda definirani s pomoću stalnica c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Ta definicija podrazumijeva točan odnos $h = 6,626\,070\,040 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-1}$. Invertiranjem te relacije dobiva se točan izraz za kilogram s pomoću triju definicijskih stalnica h , $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ i c :

$$1 \text{ kg} = \left(\frac{h}{6,626\,070\,15 \times 10^{-34}} \right) \text{ m}^2 \text{ s},$$

što je jednako

$$1 \text{ kg} = \frac{(299\,792\,458)^2}{(6,626\,070\,15 \times 10^{-34})(9\,192\,631\,770)} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2} \approx 1,475\,5214 \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{\text{Cs}}}{c^2}.$$

Iz te definicije proizlazi da treba definirati jedinicu $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ (jedinicu fizičkih veličina djelovanja i kutnoga momenta). To zajedno s definicijama sekunde i metra dovodi do definicije jedinice mase koja se izražava s pomoću vrijednosti Planckove stalnice h .

Prijašnjom se definicijom kilograma fiksirala vrijednost mase međunarodne pramjere kilograma, $m(\mathcal{K})$, tako da bude jednaka točno jednomu kilogramu, a vrijednost Planckove stalnice h trebala je biti određena pokusom. Sadašnjom se definicijom fiksira točna vrijednost stalnice h , a masa pramjere sada treba biti određena pokusom.

Za brojčanu vrijednost Planckove stalnice u toj je definiciji odabran broj takav da je u trenutku njezina prihvatanja kilogram bio jednak masi međunarodne pramjere, $m(\mathcal{K}) = 1 \text{ kg}$, s relativnom standardnom nesigurnošću od 1×10^{-8} , što je u to vrijeme bila standardna nesigurnost sastavljenih najboljih procjena vrijednosti Planckove stalnice.

Napominjemo također da se s postojećom definicijom primarna ostvarenja mogu načelno uspostaviti u svakoj točki na masenoj ljestvici.

Amper

Amper, znak A, jedinica je električne struje SI-ja. On se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost elementarnoga naboja e fiksirana tako da bude jednaka $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ kad se ona izražava jedinicom C, koja je jednaka A s, pri čemu je sekunda definirana s pomoću stalnice $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Ta definicija podrazumijeva točan odnos $e = 1,602\,176\,620\,8 \times 10^{-19} \text{ A s}$. Invertiranjem te relacije dobiva se točan izraz za jedinicu amper s pomoću definicijskih stalnica e i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$:

$$1 \text{ A} = \left(\frac{e}{1,602\,176\,634 \times 10^{-19}} \right) \text{ s}^{-1},$$

što je jednako

$$1 \text{ A} = \frac{1}{(9\,192\,631\,770)(1,602\,176\,634 \times 10^{-19})} \Delta\nu_{\text{Cs}} e \approx 6,789\,6868 \times 10^8 \Delta\nu_{\text{Cs}} e.$$

Iz te definicije proizlazi da je amper jednak električnoj struji koja odgovara tijeku od $1/(1,602\,176\,636\,8 \times 10^{-19})$ elementarnih naboja u sekundi.

Prijašnja definicija ampera temeljila se na sili između dvaju strujom protjecanih vodiča, što je imalo za posljedicu fiksiranje vrijednosti magnetske permeabilnosti μ_0 (koja se također naziva i magnetskom stalnicom) na točnu vrijednost od $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$, pri čemu H i N označuju redom suvisle izvedene jedinice henri i njutn. Novom se definicijom ampera umjesto vrijednosti magnetske permeabilnosti μ_0 fiksira vrijednost elementarnoga naboja e . Posljedica je toga da se μ_0 mora odrediti pokusom.

Iz toga također proizlazi, budući da su električna permitivnost vakuumu ϵ_0 (koja se također naziva električnom stalnicom), karakteristična impedancija vakuumu Z_0 i admitancija vakuumu Y_0 redom jednake $1/\mu_0 c^2$, $\mu_0 c$ i $1/\mu_0 c$, da se vrijednosti permitivnosti ϵ_0 , impedancije Z_0 i admitancije Y_0 moraju također odrediti pokusom te će na njih utjecati ista relativna nesigurnost kao i na μ_0 jer je c točno poznato. Umnožak $\epsilon_0 \mu_0 = 1/c^2$ i količnik $Z_0/\mu_0 = c$ ostaju točno poznati. U vrijeme prihvatanja sadašnje definicije ampera, magnetska permeabilnost μ_0 bila je jednaka vrijednosti od $4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$ s relativnom standardnom nesigurnošću manjom od $2,3 \times 10^{-10}$.

Kelvin

Kelvin, znak K, jedinica je SI-ja termodinamičke temperature. On se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost Boltzmannove stalnice k fiksirana tako da bude jednaka $1,380\,649 \times 10^{-23}$ kad se ona izražava jedinicom J K^{-1} koja je jednaka $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, pri čemu su kilogram, metar i sekunda definirani s pomoću stalnica h , c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Ta definicija podrazumijeva točan odnos $k = 1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$. Invertiranjem te relacije dobiva se točan izraz za jedinicu kelvin s pomoću definicijskih stalnica k , h i $\Delta\nu$.

$$1 \text{ K} = \left(\frac{1,380\,649 \times 10^{-23}}{k} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2},$$

što je jednako

$$1 \text{ K} = \frac{1,380\,649 \times 10^{-23}}{(6,626\,070\,15 \times 10^{-34}) (9\,192\,631\,770)} \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k} \approx 2,266\,6653 \frac{\Delta\nu_{\text{Cs}} h}{k}.$$

Iz te definicije proizlazi da je jedan kelvin jednak promjeni termodinamičke temperature koja nastaje promjenom toplinske energije kT za $1,380\,649 \times 10^{-23} \text{ J}$.

Prijašnjom definicijom kelvina trojnoj točki vode T_{TPW} pripisana je točna vrijednost temperature od 273,16 K. Zbog činjenice da se sadašnjom definicijom kelvina umjesto temperature T_{TPW} fiksira brojčana vrijednost stalnice k , temperatura trojne točke vode mora se sada odrediti pokusom. U vrijeme prihvatanja sadašnje definicije T_{TPW} je bio jednak 273,16 K s relativnom standardnom nesigurnošću od $3,7 \times 10^{-7}$ koja se temeljila na mjerenjima stalnice k prije promjene definicije.

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 od referentne temperature $T_0 = 273,15 \text{ K}$, koja je bliska ledištu vode. Ta se razlika naziva Celzijevom temperaturom (znak t), a definirana je veličinskom jednadžbom:

$$t = T - T_0.$$

Jedinica Celzijeve temperature Celzijeve je stupanj (znak $^{\circ}\text{C}$), koji je po definiciji po iznosu jednak jedinici kelvin. Temperaturna razlika ili temperaturni interval može se izražavati u kelvinima ili Celzijevim stupnjevima, brojčana vrijednost temperaturne razlike ostaje ista u oba slučaja. Međutim, brojčana je vrijednost Celzijeve temperature koja se izražava Celzijevim stupnjevima povezana s brojčanom vrijednošću termodinamičke temperature izražene u kelvinima izrazom:

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

(vidi 5.4.1 za objašnjenje zapisa koji je ovdje upotrijebljen).

Kelvin i Celzijev 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). Napominjemo da ITS-90 definira dvije veličine T_{90} i t_{90} koje su tijesne aproksimacije odgovarajućih termodinamičkih temperatura T i t .

Napominjemo također da se sadašnjom definicijom primarna ostvarenja kelvina mogu načelno uspostaviti u svakoj točki na temperaturnoj ljestvici.

Mol

Mol, znak mol, jedinica je SI-ja za količinu tvari. Jedan mol sadržava točno $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ elementarnih entiteta. Taj je broj fiksirana brojčana vrijednost Avogadrove stalnice N_A kad se ona izražava jedinicom mol^{-1} i naziva se Avogadrovim brojem.

Količina tvari, znak n , kojega sustava mjera je broja specificiranih elementarnih entiteta. Elementarni entitet može biti atom, molekula, ion, elektron, koja druga čestica ili specificirana skupina čestica.

Ta definicija podrazumijeva točan odnos $N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$. Invertiranjem te relacije dobiva se točan izraz za mol s pomoću definicijske stalnice N_A :

$$1 \text{ mol} = \frac{6,022\,140\,76 \times 10^{23}}{N_A}.$$

Iz te definicije proizlazi da je mol jednak količini tvari sustava koji sadržava $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ specificiranih elementarnih entiteta.

Prethodnom je definicijom mola fiksirana vrijednost molarne mase ugljika 12, $M(^{12}\text{C})$ na točnu vrijednost od 0,012 kg/mol. U skladu sa sadašnjom definicijom $M(^{12}\text{C})$ više nije točno poznat te se mora odrediti pokusom. Vrijednost odabrana za N_A takva je da je u vrijeme prihvatanja sadašnje definicije mola, $M(^{12}\text{C})$ bio jednak 0,012 kg/mol s relativnom standardnom nesigurnošću manjom od $4,5 \times 10^{-10}$.

Molarna masa svakoga atoma ili molekule X može se još uvijek dobiti iz relativne atomske mase iz jednadžbe:

$$M(X) = A_r(X)[M(^{12}\text{C})/12] = A_r(X)M_u,$$

a molarna je masa svakoga atoma ili molekule X također povezana s masom elementarnoga entiteta $m(X)$ odnosom:

$$M(X) = N_A m(X) = N_A A_r(X) m_u.$$

U tim je jednadžbama M_u molarna masena stalnica jednaka $M(^{12}\text{C})/12$, a m_u ujednačena atomska masena stalnica jednaka $m(^{12}\text{C})/12$. One su povezane Avogadrovom stalnicom odnosom:

$$M_u = N_A m_u.$$

U nazivu *količina tvari* riječ *tvari* obično se zamjenjuje riječima kojima se specificira odgovarajuća tvar u nekoj posebnoj primjeni, tako da se može na primjer govoriti o *količini kloro-*

vodika ili *količini benzena*. Važno je dati točnu specifikaciju uključenoga entiteta (kako je istaknuto u definiciji mola); to se po mogućnosti treba izvesti navođenjem molekularne kemijske formule odgovarajuće tvari. Premda riječ *količina* ima općenitiju rječničku definiciju, zbog kratkoće se može upotrebljavati taj skraćeni oblik punoga naziva *količina tvari*. To se također primjenjuje na izvedene veličine kao što su *koncentracija količine tvari*, koje se jednostavno mogu nazivati *koncentracijom količine*. U području kliničke kemije naziv *koncentracija količine tvari* općenito se skraćuje u naziv *koncentracija tvari*.

Kandela

Kandela, znak cd, jedinica je SI-ja svjetlosne jakosti u danome smjeru. Ona se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost svjetlosne djelotvornosti jednobojnoga zračenja frekvencije 540×10^{12} Hz, K_{cd} , fiksirana tako da bude jednaka 683 kad se ona izražava s pomoću jedinice lm W^{-1} , koja je jednaka cd sr W^{-1} ili $\text{cd sr kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3$, pri čemu su kilogram, metar i sekunda definirani s pomoću stalnica h , c i $\Delta\nu_{Cs}$.

Ta definicija podrazumijeva točan odnos $K_{cd} = 683 \text{ kg}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ s}^3 \text{ cd sr}$ za jednobojno zračenje frekvencije $\nu = 540 \times 10^{12}$ Hz. Invertiranjem te relacije dobiva se točan izraz za kandelu s pomoću definicijskih stalnica K_{cd} , h i $\Delta\nu_{Cs}$:

$$1 \text{ cd} = \left(\frac{K_{cd}}{683} \right) \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ sr}^{-1},$$

što je jednako

$$1 \text{ cd} = \frac{1}{(6,626\,070\,15 \times 10^{-34}) (9\,192\,631\,770)^2 683} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd} \\ \approx 2,614\,8305 \times 10^{10} (\Delta\nu_{Cs})^2 h K_{cd}$$

Iz te definicije proizlazi da je kandela jednaka svjetlosnoj jakosti u danome smjeru izvora koji emitira jednobojno zračenje frekvencije 540×10^{12} Hz i koji ima jakost zračenja u tome smjeru od $(1/683) \text{ W sr}^{-1}$. Definicija steradijana dana je u tablici 4 u nastavku.

2.3.2 Praktično ostvarenje jedinica SI-ja

Eksperimentalne metode na najvišoj razini koje se upotrebljavaju za ostvarenje jedinica uporabom fizičkih jednadžba nazivaju se primarnim metodama. Bitna je značajka primarne metode to da ona omogućuje mjerenje veličine kojom posebnom jedinicom uporabom samo mjerenja veličina koje ne uključuju tu jedinicu. U sadašnjoj formulaciji SI-ja temelj za definicije razlikuje se od onoga koji se prije upotrebljavao, tako da se za praktično ostvarenje jedinica SI-ja mogu upotrebljavati nove metode.

Umjesto da se za svaku definiciju specificira koji posebni uvjet ili fizičko stanje, kojima se utvrđuje temeljna granica točnosti ostvarenja, korisnik sad može slobodno odabrati svaku prikladnu fizičku jednadžbu koja povezuje definicijske stalnice s veličinom koja se namjerava mjeriti. To je mnogo općenitiji način definiranja osnovnih mjernih jedinica. On nije ograničen današnjom znanošću ili tehnikom; budući napredak može dovesti do drugih načina ostvarenja jedinica s većom točnošću. Kad je jedinica definirana na taj način, načelno ne postoji granica točnosti s kojom se ona može ostvariti. Iznimka ostaje definicija sekunde, pri kojoj izvorni mikrovalni prijelaz cezija zasad mora ostati temelj za definiciju. Za potpunije objašnjenje ostvarenja jedinica SI-ja vidi dodatak 2.

2.3.3 Dimenzije veličina

Fizičke veličine mogu se organizirati u sustav dimenzija, pri čemu se o sustavu koji se upotrebljava odlučuje dogovorom. Smatra se da svaka od sedam veličina koje se upotrebljavaju u SI-ju ima svoju vlastitu dimenziju. Znakovi koji se upotrebljavaju za označivanje osnovnih veličina i znakovi koji se upotrebljavaju za označivanje njihovih dimenzija prikazani su u tablici 3.

Tablica 3: Osnovne veličine i dimenzije koje se upotrebljavaju u SI-ju

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

Sve su druge veličine, s iznimkom veličina koje imaju prirodu broja, izvedene veličine koje se mogu napisati s pomoću osnovnih veličina u skladu s fizičkim jednadžbama. Dimenzije izvedenih veličina pišu se kao umnošci potencija dimenzija osnovnih veličina uporabom jednadžba koje povezuju izvedene veličine s osnovnim veličinama. Općenito dimenzija svake 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 nuli, nazivaju dimenzijskim eksponentima.

Postoje veličine Q čija je definicijska jednadžba takva da su svi dimenzijski eksponenti u izrazu za dimenziju veličine Q jednaki nuli. To posebno vrijedi za svaku veličinu koja se definira kao omjer dviju veličina iste vrste. Na primjer, indeks loma omjer je dviju brzina, a relativna permitivnost jednaka je omjeru permitivnosti dielektričnoga sredstva i permitivnosti slobodnoga prostora (vakuum). Takve su veličine jednostavno brojevi. Pridružena je jedinica broj jedan (znak 1), premda se ona rijetko eksplicitno piše (vidi 5.4.7).

Postoje također neke veličine koje se ne mogu opisati s pomoću sedam osnovnih veličina SI-ja, nego imaju narav broja. Takve su veličine npr. broj molekula, broj stanica biomolekularnih entiteta (na primjer kopije niza kojih posebnih nukleinskih kiselina) ili degeneracija u kvantnoj mehanici. Brojive veličine također su veličine kojima je pridružena jedinica *jedan*.

Jedinica *jedan* neutralni je element svakoga sustava jedinica – ona postoji sama po sebi. Ne postoji zahtjev za njezino formalno uvođenje na temelju posebne odluke. Prema tome, sljedivost prema SI-ju može se uspostaviti prikladnim validiranim mjernim postupcima.

S ravninskim se i prostornim kutom, kad se izražavaju u radijanima odnosno u steradijanim, zapravo također u SI-ju postupa kao s veličinama s jedinicom jedan (vidi također podtočku 5.4.8). Znakovi rad i sr eksplicitno se pišu kad je to prikladno kako bi se istaknulo da je za radijane i steradijane promatrana veličina redom ravninski kut ili prostorni kut ili da uključuje ravninski kut ili prostorni kut. Za steradijane se na primjer time ističe razlika između *tijekova* i *jakosti* u radiometriji i fotometriji. Međutim, već je odavno utvrđena praksa u matematici i u svim područjima znanosti da se upotrebljava $\text{rad} = 1$ i $\text{sr} = 1$. Iz povijesnih su se razloga radijan i steradian smatrali izvedenim jedinicama kako je opisano u podtočki 2.3.4.

Posebno je važno imati jasan opis svake veličine s jedinicom jedan (vidi također podtočku 5.4.7) koja se izražava kao omjer veličina iste vrste (na primjer omjer duljina ili udjeli količina) ili kao broj (na primjer broj fotona ili raspad).

2.3.4 Izvedene jedinice

Izvedene jedinice definiraju se kao umnošci potencija osnovnih jedinica. Kad je brojčani faktor toga umnoška jednak jedan, izvedene se jedinice nazivaju *suvislim izvedenim jedinicama*. Osnovne i suvisle izvedene jedinice SI-ja čine suvisao skup koji se naziva skupom *suvislih jedinica SI-ja*. Riječ *suvisao* upotrebljava se ovdje u smislu da jednadžbe između brojčanih vrijednosti veličina poprimaju točno isti oblik kao i jednadžbe između samih veličina.

Nekim suvislim izvedenim jedinicama u SI-ju dani su posebni nazivi. U tablici 4 dan je popis od 22 izvedene jedinice SI-ja s posebnim nazivima. Zajedno sa sedam osnovnih jedinica (tablica 2) one čine jezgru skupa jedinica SI-ja. Sve druge jedinice SI-ja kombinacije su nekih od tih 29 jedinica.

Tablica 4: 22 suvisle izvedene jedinice SI-ja s posebnim nazivima i znakovima

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

(a) Red znakova za osnovne jedinice u ovoj tablici razlikuje se od onog u 8. izdanju slijedom odluke CCU-a na njegovu 21. sastanku (2013.) kako bi se vratilo na izvorni red iz 12. rezolucije 11. CGPM-a (1960.) u kojoj je njutn bio napisan kao kg m s⁻², džul kao kg m² s⁻², a J s kao kg m² s⁻¹. Time se namjeravalo dati odraz fizičkih temelja odgovarajućih veličinskih jednadžba premda za neke složenije izvedene jedinice to ne mora biti moguće.

(b) Radian je suvisla jedinica ravninskoga kuta. Jedan radian jednak je kutu pod kojim se iz središta kruga vidi luk koji je jednak duljini njegova polumjera. On se također upotrebljava za fazni kut. Za periodične pojave fazni kut raste za 2π radijana u jednoj periodi. Radian je prije bio dopunska jedinica SI-ja, ali ta je kategorija ukinuta 1995. godine.

(c) Steradian je suvisla jedinica prostornoga kuta. Jedan steradian jednak je kutu pod kojim se iz središta kugle vidi ploština koja je jednaka kvadratu njezina polumjera. Kao i radian steradian je prije bio dopunska jedinica SI-ja.

- (d) Herc se upotrebljava samo za periodične pojave, a bekerel se upotrebljava samo za stohastičke procese u aktivnosti koja se odnosi na radionuklide.
- (e) Razlika električnih potencijala u mnogim se zemljama također naziva *električnim naponom* ili jednostavno *naponom*.
- (f) Celzijev se stupanj upotrebljava za izražavanje Celzijevih temperatura. Brojčana je vrijednost temperaturne razlike ili temperaturnoga intervala ista kad se izražava u Celzijevim stupnjevima ili u kelvinima.
- (g) U fotometriji naziv steradian i znak sr obično se zadržavaju u izrazima jedinice.
- (h) Aktivnost radionuklida katkad se neispravno naziva radioaktivnošću.
- (i) Vidi 2. preporuku CIPM-a o uporabi siverta (PV, 2002, 70, 205).

Važno je napomenuti da se svaka od sedam osnovnih jedinica i 22 izvedene jedinice SI-ja s posebnim nazivima može izvesti izravno iz sedam definicijskih stalnica. Zapravo, jedinice od sedam definicijskih stalnica obuhvaćaju i osnovne i izvedene jedinice.

CGPM je prihvatio niz predmetaka za tvorbu decimalnih višekratnika i nižekratnika suvislih jedinica SI-ja (vidi poglavlje 3). Oni su prikladni za izražavanje vrijednosti veličina koje su mnogo veće ili mnogo manje od suvisle jedinice. Međutim, kad se s jedinicama upotrebljavaju predmetci, dobivene jedinice više nisu suvisle jer se predmetkom uvodi brojčani faktor različit od jedan. Predmetci se mogu upotrebljavati sa svakom od 29 jedinica SI-ja s posebnim nazivima s iznimkom osnovne jedinice kilogram, što se dodatno objašnjava u poglavlju 3.

Sedam osnovnih jedinica i 22 jedinice s posebnim nazivima i znakovima mogu se upotrebljavati u kombinaciji za izražavanje jedinica drugih izvedenih veličina. Budući da je broj veličina neograničen, nije moguće osigurati potpun popis izvedenih veličina i izvedenih jedinica. U tablici 5 dan je popis nekih primjera izvedenih veličina i odgovarajućih suvislih izvedenih jedinica s pomoću osnovnih jedinica. Osim toga u tablici 6 dan je popis primjera suvislih izvedenih jedinica čiji nazivi i znakovi također uključuju izvedene jedinice. Potpun skup jedinica SI-ja obuhvaća suvisao skup te višekratnike i nižekratnike koji se tvore s pomoću predmetaka SI-ja.

Tablica 5: Primjeri suvislih izvedenih jedinica SI-ja koje se izražavaju s pomoću osnovnih jedinica

Izvedena veličina	Tipični znak veličine	Izvedena jedinica izražena s pomoću osnovnih jedinica
ploština	A	m^2
obujam	V	m^3
brzina	v	m s^{-1}
ubrzanje	a	m s^{-2}
valni broj	σ	m^{-1}
gustoća, gustoća mase	ρ	kg m^{-3}
površinska gustoća	ρ_A	kg m^{-2}
specifični obujam	v	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
gustoća struje	j	A m^{-2}
jakost magnetskoga polja	H	A m^{-1}
koncentracija količine tvari	c	mol m^{-3}
masena koncentracija	ρ, γ	kg m^{-3}
osvjetljenje	L_v	cd m^{-2}

Tablica 6: Primjeri suvislih izvedenih jedinica SI-ja čiji nazivi i znakovi uključuju suvisle izvedene jedinice SI-ja s posebnim nazivima i znakovima

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

Važno je istaknuti da svaka fizička veličina ima samo jednu suvislu jedinicu SI-ja, premda se ta jedinica može izražavati u različitim oblicima uporabom posebnih naziva i znakova.

Međutim, suprotno nije točno jer općenito nekoliko različitih veličina može dijeliti istu jedinicu SI-ja. Na primjer, za veličinu *toplinski kapacitet* i za veličinu *entropija* jedinica je SI-ja džul po kelvinu. Slično je za osnovnu veličinu *električnu struju* i izvedenu veličinu *magnetomotor-nu silu* jedinica SI-ja amper. Stoga je važno da se za specifikaciju veličine ne upotrebljava samo jedinica. To se pravilo primjenjuje ne samo na znanstvene i tehničke tekstove nego na primjer i na mjerila (tj. očitavanje mjerila mora pokazivati jedinicu i mjerenu veličinu).

U praksi se, kad je riječ o određenim veličinama, prednost daje uporabi određenih posebnih naziva jedinica kako bi se olakšalo razlikovanje različitih veličina koje imaju istu dimenziju. Kad se upotrebljava ta sloboda, može se pozvati na postupak kojim je ta veličina definirana. Na primjer, veličina *moment* jednaka je vektorskomu umnošku vektora položaja i vektora sile. Premda *moment* ima istu dimenziju kao i *energija* (jedinicu SI-ja džul), džul se nikad ne upotrebljava za izražavanje momenta.

Međunarodno elektrotehničko povjerenstvo (IEC) uvelo je var (znak var) kao poseban naziv za jedinicu jalove snage. U smislu suvislih jedinica SI-ja var je istovjetan voltamperu.

Jedinica je SI-ja za frekvenciju herc, jedinica je SI-ja za kutnu brzinu i kutnu frekvenciju radijan u sekundi, a jedinica je SI-ja za aktivnost bekerel, što podrazumijeva broj u sekundi. Premda je formalno ispravno sve te tri jedinice pisati kao recipročnu sekundu, uporabom različitih naziva ističe se različita narav odgovarajućih veličina. Posebno je važno pažljivo razlikovati frekvencije od kutnih frekvencija jer se po definiciji njihove brojčane vrijednosti razlikuju za faktor² 2π . Zanimarivanjem te činjenice može se izazvati pogreška od 2π . Napominjemo da se u nekim državama vrijednosti frekvencije dogovorno izražavaju uporabom cikla/s ili cps umjesto jedinice SI-ja herc (Hz), premda ciklus i cps nisu jedinice u SI-ju. Napominjemo također da je uobičajena uporaba naziva frekvencija za veličine koje se izražavaju u rad/s, premda se takva uporaba ne preporučuje. Zbog toga se preporučuje da se veličinama koje se nazivaju *frekvencijom*, *kutnom frekvencijom* i *kutnom brzinom* uvijek daju eksplicitno jedinice Hz ili rad/s, a ne s^{-1} .

U području ionizacijskoga zračenja pravilnije je upotrebljavati jedinicu SI-ja bekerel nego recipročnu sekundu. Za apsorbiranu dozu i dozni ekvivalent upotrebljavaju se redom jedinice SI-ja grej i sivert, a ne džul po kilogramu. Posebni su nazivi bekerel, grej i sivert bili posebno uvedeni zbog opasnosti za ljudsko zdravlje koje mogu nastati zbog pogrešaka uključivanjem jedinice recipročna sekunda i džul po kilogramu u slučaju kad bi se te jedinice neispravno mogle uzeti za identifikaciju različitih uključenih veličina.

Posebnu pozornost treba obratiti na izražavanje temperatura ili temperaturnih razlika. Temperaturna razlika od 1 K jednaka je temperaturnoj razlici od 1 °C, ali se za apsolutnu temperaturu mora uzeti u obzir razlika od 273,15 K. Jedinica Celzijev stupanj suvisla je samo kad se izražavaju temperaturne razlike.

2.3.5 Jedinice za veličine koje opisuju biološka i fiziološka djelovanja

Četiri veličine SI-ja navedene u tablicama 2 i 4 uključuju fiziološke težinske faktore: kandela, lumen, luks i sivert.

Jedinice lumen i luks izvedene su iz osnovne jedinice kandela. Kao i kandela one nose informacije o ljudskome vidu. Kandela je utvrđena kao osnovna jedinica 1954. godine, čime se potvrđuje važnost svjetlosti u svakodnevnome životu. Dodatne informacije o jedinicama i pretvorbama koje se upotrebljavaju za definiranje fotokemijskih i fotobioloških veličina dane su u dodatku 3.

Ionizirajuće zračenje pohranjuje energiju u ozračenu tvar. Omjer pohranjene energije i mase naziva se apsorbiranom dozom D . Prema odluci CIPM-a iz 2002. godine veličina doznoga ekvivalenta $H = QD$ jednaka je umnošku apsorbirane doze D i brojčanoga faktora kakvoće Q koji uzima u obzir biološku učinkovitost zračenja i ovisi o energiji i tipu zračenja.

Postoje jedinice za veličine koje opisuju biološka djelovanja i uključuju težinske faktore, a koje nisu jedinice SI-ja. Ovdje se daju dva primjera:

Zvuk izaziva fluktuacije tlaka zraka koje superponirane na normalni atmosferski tlak osjeća ljudsko uho. Osjetljivost uha ovisi o frekvenciji zvuka, ali ona nije jednostavno funkcija promjena tlaka ili frekvencije. Prema tome, u akustici se za približno određivanje načina na koji se osjeća zvuk upotrebljavaju frekvencijski ponderirane veličine. One se upotrebljavaju, na primjer, za mjerenja koja se odnose na zaštitu od oštećenja sluha. Djelovanje ultrazvučnih akustičnih valova ima sličan učinak u medicinskoj dijagnostici i terapiji.

² Za više podataka vidi ISO 80000-3.

Postoji razred jedinica za količinsko određivanje biološke aktivnosti određenih tvari koje se upotrebljavaju u medicinskoj dijagnostici i terapiji, a koje se još ne mogu definirati s pomoću jedinica SI-ja. Tome je uzrok što mehanizam posebnoga biološkog djelovanja tih tvari još nije dostatno dobro shvaćen da bi se ono moglo količinski određivati s pomoću fizičko-kemijskih parametara. S obzirom na njihovu važnost za ljudsko zdravlje i sigurnost Svjetska zdravstvena organizacija (World Health Organization, WHO) preuzela je odgovornost za definiranje međunarodnih jedinica (IU) WHO-a za biološku aktivnost takvih tvari.

2.3.6 Jedinice SI-ja u okviru opće teorije relativnosti

Za praktično ostvarenje kakve jedinice i za proces usporedbe potreban je skup jednadžba u okviru teorijskoga opisa. U nekim slučajevima u te su jednadžbe uključeni i relativistički učinci.

Za frekvencijske etalone takve je usporedbe moguće provesti na daljinu s pomoću elektromagnetskih signala. Za tumačenje tih rezultata potrebna je opća teorija relativnosti jer ona, između ostaloga, predviđa relativni frekvencijski pomak između etalona za oko 1 dijela u 10^{16} dijelova po metru razlike nadmorskih visina na površini Zemlje. Učinci toga iznosa moraju se korigirati pri uspoređivanju s najboljim frekvencijskim etalonima.

Kad se praktična ostvarenja uspoređuju lokalno, tj. u malome području prostorvremena, mogu se zanemariti učinci zbog zakrivljenosti prostorvremena koji su opisani u općoj teoriji relativnosti. Ako ostvarenja dijele iste koordinate prostorvremena (na primjer isto gibanje i ubrzanje ili gravitacijsko polje), relativistički se učinci mogu potpuno zanemariti.

3 Decimalni višekratnici i nižekratnici jedinica SI-ja

Za uporabu s jedinicama SI-ja predviđeni su decimalni višekratnici i nižekratnici koji se kreću u rasponu od 10^{24} do 10^{-24} . Nazivi i znakovi tih višekratnika i nižekratnika prikazani su u tablici 7 u nastavku.

Znakovi predmetaka pišu se uspravno, kao i znakovi jedinica, bez obzira na tip slova koji se upotrebljava u ostalome tekstu i pridružuju se znakovima jedinica bez razmaka između znaka predmetka i znaka jedinice. Osim 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.

Tablica 7: Predmetci SI-ja

Faktor	Predmetak	Znak	Faktor	Predmetak	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

Predmetci SI-ja strogo se odnose na potencije broja 10. Oni se ne trebaju upotrebljavati za označivanje potencija broja 2 (na primjer, jedan kilobit predstavlja 1000 bita, a ne 1024 bita). Preporučuje se da se za predmetke koji označuju potencije broja 2 upotrebljavaju sljedeći nazivi i znakovi:

kibi	Ki	2^{10}
mebi	Mi	2^{20}
gibi	Gi	2^{30}
tebi	Ti	2^{40}
pebi	Pi	2^{50}
eksbi	Ei	2^{60}
zebi	Zi	2^{70}
jobi	Yi	2^{80}

Pridruživanjem znaka predmetka znaku jedinice tvori se novi neodvojivi znak jedinice (koja čini višekratnik ili nižekratnik odgovarajuće jedinice) koji se može dizati na pozitivnu ili negativnu potenciju i sastavljati s drugim znakovima jedinica za tvorbu složenih znakova jedinica.

Primjeri: pm (pikometar), mmol (milimol), G Ω (gigaom), THz (teraherc)

$$2,3 \text{ cm}^3 = 2,3 (\text{cm})^3 = 2,3 (10^{-2} \text{ m})^3 = 2,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$1 \text{ cm}^{-1} = 1 (\text{cm})^{-1} = 1 (10^{-2} \text{ m})^{-1} = 10^2 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^{-1}.$$

Slično su nazivi predmetaka također neodvojivi od naziva jedinica kojima su pridruženi. Tako su na primjer mililitar, mikropaskal i meganjutn jedinstvene riječi.

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

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*.

Kilogram je jedina suvisla jedinica SI-ja čiji naziv i znak iz povijesnih razloga uključuju predmetak. Nazivi i znakovi decimalnih višekratnika i nižekratnika jedinice mase tvore se pridruživanjem naziva i znakova predmetaka redom nazivu *gram* i znaku g. Na primjer, 10^{-6} kg piše se kao miligram, mg, a ne kao mikrokilogram, μkg .

4 Jedinice izvan SI-ja koje su prihvaćene za uporabu s jedinicama SI-ja

SI osigurava međunarodno dogovorenu referenciju s pomoću koje se danas definiraju sve druge jedinice. Suvisle jedinice SI-ja imaju važnu prednost jer nije potrebna pretvorba jedinica kad se u veličinske jednadžbe umjesto veličina uvrstavaju posebne vrijednosti.

Ipak je prihvaćeno da se neke jedinice izvan SI-ja još uvijek široko upotrebljavaju te se očekuje da će se i nadalje još dugo upotrebljavati. Stoga je CIPM prihvatio neke jedinice izvan SI-ja za uporabu sa SI-jem. One su navedene u tablici 8. Kad se upotrebljavaju te jedinice, treba uvijek imati na umu da se time gube neke prednosti SI-ja. S nekim od tih jedinica mogu se upotrebljavati predmetci SI-ja, ali ne na primjer s jedinicama vremena izvan SI-ja.

Tablica 8: Jedinice izvan SI-ja koje su prihvaćene za uporabu s jedinicama SI-ja

Veličina	Naziv jedinice	Znak jedinice	Vrijednost u jedinicama SI-ja	
vrijeme	minuta	min	1 min = 60 s	Gal (znak: Gal) jedinica je izvan SI-ja ubrzanja koja se upotrebljava u geodeziji i geofizici za izražavanje ubrzanja sile teže
	sat	h	1 h = 60 min = 3 600 s	
	dan	d	1 d = 24 h = 86 400 s	
duljina	astronomska jedinica ^(a)	au	1 au = 149 597 870 700 m	1 Gal = 1 cm s ⁻² = 10 ⁻² m s ⁻²
ravninski i fazni kut	stupanj	°	1° = (π/180) rad	
	minuta	'	1' = (1/60)° = (π/10 800) rad	
	sekunda ^(b)	"	1" = (1/60)' = (π/648 000) rad	
ploština	hektar ^(c)	ha	1 ha = 1 hm ² = 10 ⁴ m ²	
obujam	litra ^(d)	l, L	1 l = 1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³	
masa	tona ^(e)	t	1 t = 10 ³ kg	
	dalton ^(f)	Da	1 Da = 1,660 539 066 60(50) × 10 ⁻²⁷ kg	
energija	elektronvolt ^(g)	eV	1 eV = 1,602 176 634 × 10 ⁻¹⁹ J	
logaritamski omjer	neper ^(h)	Np	vidi tekst	
veličina	bel ^(h)	B		
	decibel ^(h)	dB		

^(a) Kako je odlučila XXVIII. opća skupština Međunarodne astronomske unije (Rezolucija B2, 2012).

^(b) Za neke primjene na primjer u astronomiji mali se kutovi mjere lučnim sekundama (tj. sekundama ravninskoga kuta), koje se označuju kao " ili lučnim milisekundama, lučnim mikrosekundama i lučnim pikosekundama, koje se redom označuju s mas, μas, pas, pri čemu je lučna sekunda drugi naziv za sekundu ravninskoga kuta.

^(c) Jedinicu hektar i njezin znak ha prihvatio je CIPM 1879. godine (PV, 1879., 41). Hektar se upotrebljava za izražavanje ploštine zemljišta.

^(d) Litru i njezin znak malo slovo l prihvatio je CIPM 1879. godine (PV, 1879., 41). Drugi znak (veliko slovo L) prihvatio je 16. CGPM (1979., 6. rezolucija; CR, 101 i *Metrologia*, 1980., 16, 56-57) kako bi se izbjegla opasnost od zamjene slova l (el) i brojke 1 (jedan).

^(e) Tonu i njezin znak t prihvatio je 1879. godine CIPM (PV, 1879., 41). U zemljama engleskoga govornog područja ta se jedinica obično naziva *metričkom tonom*.

^(f) Dalton (Da) i atomska jedinica mase (u) drugi su nazivi (i znakovi) za istu jedinicu jednaku 1/12 mase atoma slobodnoga ugljika 12 u mirovanju i njegovu osnovnome stanju.

^(g) Elektronvolt je kinetička energija koju dobiva elektron pri prolazu kroz potencijalnu razliku od 1 volt u vakuumu. Elektronvolt se često kombinira s predmetcima SI-ja.

^(h) Pri uporabi tih jedinica važno je specificirati narav veličine te neku referentnu vrijednost koja se upotrebljava.

Tablica 8. sadržava također jedinice logaritamskih omjera veličina, neper, bel i decibel. One se upotrebljavaju za prijenos informacija o naravi odgovarajućega 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 dekadskim logaritmima ($\lg = \log_{10}$). Iskaz $L_X = m \text{ dB} = (m/10) \text{ B}$ (pri čemu je m koji broj) tumači se u značenju da je $m = 10 \lg(X/X_0)$. Jedinice neper, bel i decibel prihvatio je CIPM za uporabu s međunarodnim sustavom, ali one nisu jedinice SI-ja.

Postoji mnogo više jedinica izvan SI-ja koje su povijesno zanimljive ili se još uvijek upotrebljavaju u posebnim područjima (na primjer, barel nafte) ili u pojedinim državama (palac, stopa i jard). CIPM ne vidi nikakav razlog za daljnju uporabu tih jedinica u suvremenome znanstvenom i tehničkom radu. Međutim, očito će još dugo biti važno moći dobiti odnose tih jedinica s odgovarajućim jedinicama SI-ja.

5 Pisanje znakova i naziva jedinica i izražavanje vrijednosti veličina

5.1 Uporaba znakova i naziva jedinica

Opća načela za pisanje znakova jedinica i brojeva prvo je dao 9. CGPM (1948., 7. rezolucija). Ta su načela nakon toga razradili ISO, IEC i druga međunarodna tijela. Iz toga proizlazi da danas postoji opći konsenzus o tome kako upotrebljavati nazive i znakove jedinica, uključujući znakove i nazive predmetaka i znakove veličina te kako izražavati vrijednosti veličina. Poštovanje tih pravila i dogovora o stilu, od kojih se najvažnija prikazuju u ovome poglavlju, pomaže čitljivosti znanstvenih i tehničkih članaka.

5.2 Znakovi jedinica

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

Kao iznimku 16. je CGPM prihvatio (1979., 6. rezolucija) da je za litru dopušteno veliko slovo L ili malo slovo l kako bi se izbjegla moguća zamjena broja 1 (jedan) s malim slovom l (el).

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 i nikad se ne upotrebljavaju složeni predmetci.

Znakovi su jedinica matematički entiteti, a ne kratice. Prema tome iza njih se ne stavlja točka, osim ako su na kraju rečenice te se ne smiju sklanjati³ (kao pokrate) niti se smiju miješati sa znakovima i nazivima jedinica u izrazima jer nazivi nisu matematički entiteti.

Pri tvorbi umnožaka ili količnika znakova jedinica primjenjuju se uobičajena algebarska pravila množenja ili dijeljenja. 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 eksponentima. Kad se kombinira više znakova jedinica, potrebno je paziti da se izbjegnu nejasnoće, na primjer uporabom zagrada ili negativnih eksponenata. Kako bi se izbjegle nejasnoće, kosa se crta u danome izrazu ne smije upotrebljavati bez zagrada više od jedanput.

Nije dopušteno upotrebljavati kratice za znakove jedinica ili nazive jedinica kao što su sec (umjesto s ili sekunde), kv. mm (umjesto mm² ili četvorni milimetar)⁴ cc (umjesto cm³ ili kubni centimetar) ili mps (umjesto m/s ili metar u sekundi). Pravilna uporaba znakova obvezatna je za jedinice SI-ja i za jedinice općenito kako su navedene u prethodnim poglavljima ove brošure. Na taj se način izbjegavaju dvosmislenosti i pogrešna shvaćanja vrijednosti veličina.

³ U izvornome tekstu na francuskome i engleskome jeziku stoji „ne mijenjaju se u množini“ (napomena prevoditelja).

⁴ U izvornome tekstu na francuskome jeziku stoji mm car., a u engleskome sq. mm (napomena prevoditelja).

5.3 Nazivi jedinica

Nazivi jedinica normalno se pišu uspravnim pismom, a s njima se postupa kao s običnim imenicama. U hrvatskome⁵ 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 pravilno se piše *Celzijev stupanj* (jedinica stupanj počinje malim slovom s, a modifikator Celzijev počinje velikim slovom C jer je to posvojni pridjev izveden od imena⁶).

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

Kad se naziv jedinice sastavlja 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).

Kad se naziv izvedene jedinice tvori od naziva pojedinačnih jedinica stavljanjem jednoga naziva pored drugoga, za odvajanje naziva pojedinačnih jedinica upotrebljava se razmak ili spojnica⁷.

5.4 Pravila i dogovori o načinu izražavanja vrijednosti veličina

5.4.1 Vrijednost i brojčana vrijednost veličine i uporaba algebre veličina

Znakovi veličina općenito su skup pojedinačnih slova u kurzivu, premda se mogu dodati dopunske informacije o veličini kao donji ili gornji indeksi ili informacije u zagradama. Na primjer, znak *C* preporučuje se kao znak za toplinski kapacitet, C_m za molarni toplinski kapacitet, $C_{m,p}$ za molarni toplinski kapacitet pri stalnome tlaku, a $C_{m,v}$ za molarni toplinski kapacitet pri stalnome obujmu.

Preporučeni nazivi i znakovi veličina dani su u mnogim normama kao što su niz norma ISO/IEC 80000, *Veličine i jedinice*, *Crvena knjiga* IUPAP-a SUNAMCO-a, *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 za jedinice za koje je uporaba pravilnoga oblika obvezatna). U određenim okolnostima autori mogu željeti upotrebljavati znakove za veličine po svojem izboru, na primjer kako bi se izbjegli nesporazumi koji nastaju iz uporabe istoga znaka za dvije različite veličine. U takvim se slučajevima mora jasno navesti značenje znaka. Međutim, ni naziv veličine ni znak koji se upotrebljava za njezino označivanje ne smiju podrazumijevati nikakav 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 postupiti prema običnim algebarskim pravilima. Taj se postupak opisuje kao uporaba računa s veličinama ili kao algebra veličina. Na primjer, jednadžba $p = 48 \text{ kPa}$ može se jednako napisati kao

⁵ Ovaj je dio prijevoda prilagođen hrvatskomu pravopisu i praksi. U izvorniku se govori o načinu pisanja na francuskome i engleskome jeziku (napomena prevoditelja).

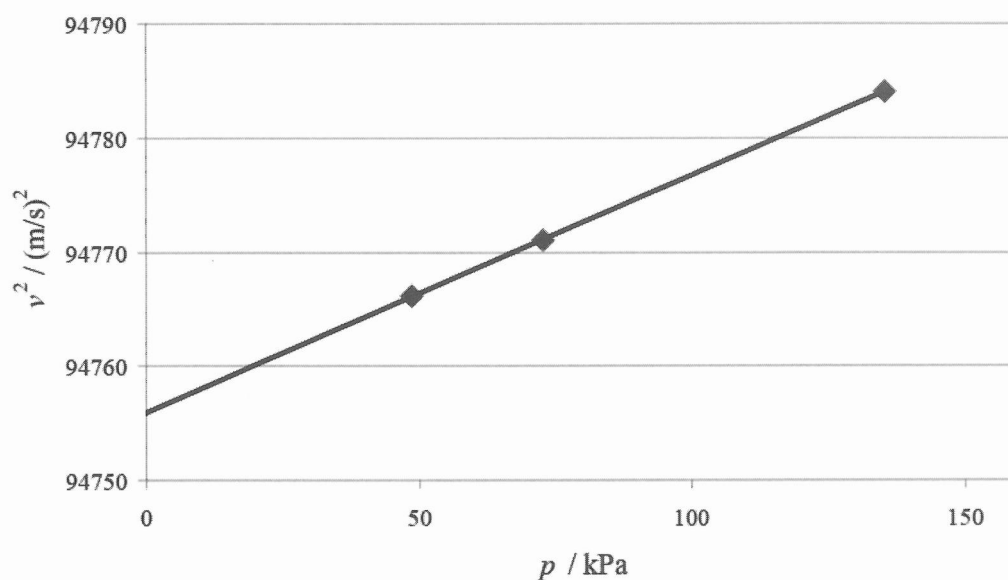
⁶ U izvorniku stoji vlastito ime. (napomena prevoditelja)

⁷ To pravilo nije primjenjivo na hrvatski jezik. Vidi hrvatsku normu HRN EN ISO 80000-1. (napomena prevoditelja)

$p/\text{kPa} = 48$. Opća je praksa da se na taj način piše omjer veličine s njezinom jedinicom u naslovima stupaca u tablicama tako da vrijednosti upisane u tablicama budu jednostavno brojevi. Na primjer, tablica kvadrata brzine u odnosu na tlak može se oblikovati kako je prikazano u nastavku.

p/kPa	$v^2/(\text{m/s})^2$
48,73	94766
72,87	94771
135,42	94784

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



5.4.2 Znakovi veličina i jedinica

Znakovi jedinica ne smiju se upotrebljavati za davanje posebnih informacija o veličini te nikad ne trebaju biti jedini izvor informacija o veličini. Jedinice ne smiju nikad služiti osiguravanju dodatnih informacija o naravi veličine; sve dodatne dodatne informacije o naravi veličine trebaju se pridruživati znaku veličine, a ne znaku jedinice.

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

5.4.3 Pisanje vrijednosti veličine

Brojčana vrijednost uvijek prethodi jedinici, a za odvajanje jedinice od broja uvijek se upotrebljava bjelina (razmak). Tako je vrijednost veličine jednaka umnošku broja i jedinice. Razmak između broja i jedinice smatra se 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 $^{\circ}$, $'$, $''$, za koje se između brojčane vrijednosti i znaka jedinice ne ostavlja razmak.

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

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

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

U engleskome jeziku čak i kad se vrijednost koje veličine iskazuje pridjevom između brojčane vrijednosti i znaka jedinice ostavlja se bjelina. Uobičajena se pravopisna pravila primjenjuju samo pri pisanju jedinice riječima, tako da se u engleskome jeziku pri odvajanju broja od jedinice (napisane riječima) treba upotrebljavati spojnica.

otpornik od 10 kΩ
35- milimetarski film

U svakome izrazu upotrebljava se samo jedna jedinica. Iznimka je od toga pravila izražavanje vrijednosti vremena i ravninskoga kuta uporabom jedinica izvan SI-ja. Međutim, za ravninske se kutove općenito prednost daje decimalnome dijeljenju stupnja. Prema tome bolje je pisati $22,20^{\circ}$, a ne $22^{\circ} 12'$, osim u područjima kao što su navigacija, kartografija, astronomija te u mjerenju veoma malih kutova.

$l = 10,234\text{ m}$,
a ne
 $l = 10\text{ m } 23,4\text{ cm}$

5.4.4 Pisanje brojeva i decimalnoga znaka

Znak koji se upotrebljava za odvajanje cjelobrojnoga od decimalnoga dijela broja naziva se decimalnim znakom. Na temelju odluke 22. CGPM-a (2003., 10. rezolucija) decimalni znak „mora biti točka ili zarez“. Odabrani decimalni znak treba biti onaj koji je uobičajen u odgovarajućemu jeziku i sredini.

Ako se broj nalazi između +1 i –1, decimalnomu znaku uvijek prethodi nula.

–0,234,
a ne
–.234

Na temelju 9. CGPM-a (1948., 7. rezolucija) i 22. CGPM-a (2003., 10. rezolucija), kako bi se olakšalo čitanje, znamenke višeznamenkastih 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 decimalnoga znaka postoje samo četiri znamenke uobičajeno je da se za odvajanje jedne znamenke ne upotrebljava bjelina. Praksa rastavljanja znamenaka na taj način stvar je izbora; ne primjenjuje se uvijek u određenim specijaliziranim područjima kao što su tehnički crteži, financijski izvještaji i tekstovi koji se čitaju računalno.

43 279,168 29,
a 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.

5.4.5 Izražavanje mjerne nesigurnosti vrijednosti veličine

Nesigurnost koja je pridružena procijenjenoj vrijednosti veličine treba se odrediti i izražavati u skladu s dokumentom JCGM 100:2008 (GUM iz 1995. s manjim ispravcima), *Vrednovanje mjernih podataka – Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti*. Standardna se nesigurnost pridružena veličini x označuje s $u(x)$. U sljedećemu primjeru dan je jedan prikladan način za prikaz nesigurnosti:

$$m_n = 1,674\,927\,471\,(21) \times 10^{-27}\text{ kg},$$

pri čemu je m_n znak za veličinu (u ovome slučaju masu neutrona), a broj u zagradama brojčana je vrijednost standardne nesigurnosti procijenjene vrijednosti mase m_n koja se odnosi na dvije posljednje znamenke navedene vrijednosti; u tome je slučaju $u(m_n) = 0,000\,000\,000\,021 \times 10^{-27}\text{ kg}$. Ako se umjesto standardne nesigurnosti $u(x)$ upotrebljava povećana nesigurnost $U(x)$, tada se moraju navesti vjerojatnost pokrivanja p i faktor pokrivanja (k).

5.4.6 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 , $\frac{a}{b}$, $a b^{-1}$.

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

Kad se za dijeljenje vrijednosti veličina upotrebljava kosa crta, potrebno je upotrebljavati zgrade kako bi se izbjegle nejasnoće.

Primjeri:

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

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

$25 \times 60,5$, a ne $25 \cdot 60,5$

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

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

5.4.7 Iskazivanje vrijednosti čistih brojeva

Kako je rečeno u podtočki 2.3.3, vrijednosti veličina s jedinicom *jedan* jednostavno se izražavaju brojevima. Znak jedinice 1 ili naziv jedinice *jedan* izravno se ne prikazuju. Budući da se znaku 1 i nazivu *jedan* ne mogu pridružiti znakovi predmetaka SI-ja, za izražavanje posebno velikih ili malih vrijednosti upotrebljavaju se potencije broja 10.

Veličine koje su omjeri veličina iste vrste (na primjer omjeri duljina, udjeli količina) mogu se izražavati jedinicama (m/m, mol/mol) kako bi se pomoglo razumijevanju veličine koja se izražava te također omogućila uporaba predmetaka SI-ja ako je to poželjno ($\mu\text{m/m}$, nmol/mol). Ta mogućnost ne postoji za veličine koje se odnose na brojenje, one su jednostavno brojevi.

Međunarodno prihvaćen znak % (posto) može se upotrebljavati zajedno sa SI-jem. Kad se on upotrebljava, broj i znak % odvajaju se razmakom. Preporučuje se uporaba znaka %, a ne naziva postotak. U pisanom tekstu, međutim, znak % općenito poprima značenje *dijelova u sto*. Ne smiju se upotrebljavati fraze kao što su *maseni postotak*, *obujamski postotak* ili *postotak količine tvari*; umjesto toga se dodatne informacije o veličini trebaju prenositi u opisu i znaku veličine.

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 se upotrebljavaju nazivi *dijelova u milijardu* i njihove odgovarajuće pokrate ppb i ppt, ali njihova značenja ovise o jeziku. Stoga kratice ppb i ppt treba izbjegavati.

$n = 1,51$,

a ne

$n = 1,51 \times 1$,

pri čemu je n znak veličine za indeks loma.

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} . Kratica ppm također se katkad čita kao dijelova u tisuću, što unosi dodatnu nejasnoću.

5.4.8 Ravninski, prostorni i fazni kutovi

Suvisla je jedinica SI-ja za ravninski kut i fazni kut radijan, znak jedinice rad, a jedinica je za prostorni kut steradian, znak jedinice sr.

Ravninski kut, koji se izražava u radijanima, između dvaju pravaca koji izlaze iz iste točke jednak je duljini kružnoga luka s koji prebriše radijvektor duljine r iz zajedničke točke podijeljena sa duljinom toga radijevktora, $\theta = s/r$ rad. Fazni kut, koji se često naziva *fazom*, jednak je argumentu svakoga kompleksnog broja. To je kut između pozitivne realne osi i radijevktora u polarnome prikazu kompleksnoga broja u kompleksnoj ravnini.

Jedan radijan odgovara kutu za koji je $s = r$, dakle $1 \text{ rad} = 1$. Mjera pravoga kuta jednaka je točno broju $\pi/2$.

Stupanj je povijesni dogovor. Pretvorba između radijana i stupnjeva proizlazi iz relacije $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$. Napominjemo da stupanj sa znakom $^\circ$ nije jedinica SI-ja.

Kad je 11. CGPM (1960.)

prihvatio SI, kako bi se uključili radijan i steradian, stvorena je kategorija *dopunskih jedinica*. Nakon više desetljeća CGPM je donio odluku:

(1) „da se dopunske jedinice u SI-ju, tj. radijan i steradian, trebaju tumačiti kao nedimenzijske izvedene jedinice, čiji se nazivi i znakovi mogu, ali ne moraju, kad je to prikladno, upotrebljavati u izrazima drugih izvedenih jedinica SI-ja“, i
(2) da se ukloni zasebni razred dopunskih jedinica (8. rezolucija 20. CGPM-a (1995)).

Prostorni kut, koji se izražava steradianima, odgovara omjeru između ploštine A površine sfere polumjera r i kvadrata polumjera, $\Omega = A/r^2$ sr. Jedan steradian odgovara prostornome kutu za koji je $A = r^2$, dakle $1 \text{ sr} = 1$.

Jedinice rad i sr odgovaraju redom omjerima dviju duljina i dvaju kvadrata duljina. Međutim, potrebno je istaknuti da se rad i sr smiju upotrebljavati samo za izražavanje kutova i prostornih kutova, a ne i za općenito izražavanje omjera duljina ili kvadrata duljina.

Dodatak 1. Odluke CGPM-a i CIPM-a

U ovome dodatku navode se one odluke CGPM-a i CIPM-a u koje su izravno uključene definicije jedinica SI-ja, predmetaka za uporabu sa SI-jem 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) prikazani su različitim (neserifnim) pismom normalne veličine slova kako bi se razlikovao od osnovnoga teksta. Zvjezdice i napomene dodao je BIPM kako bi se tekst bio razumljiviji. One nisu sastavni dio izvornoga teksta.

Odluke CGPM-a i CIPM-a u ovome dodatku navode se strogo kronološkim redom od 1889. do 2018. godine kako bi se sačuvao slijed njihova donošenja. Međutim, kako bi se olakšalo pronalaženje odluka koje se odnose na posebna pitanja u nastavku je uključena tablica sa sadržajem koji je poredan prema predmetima s uputnicama na stranice za posebne sastanke na kojima su donesene odluke koje se odnose na svaki predmet.

Sadržaj dodatka 1.

Odluke koje se odnose na uspostavu SI-ja

9. CGPM, 1948.:	odluka o uspostavljanju SI-ja	45
10. CGPM, 1954.:	odluka o prvim šest osnovnih jedinica	46
CIPM, 1956.:	odluka o prihvaćanju naziva <i>međunarodni sustav jedinica</i>	47
11. CGPM, 1960.:	potvrđuje naziv i pokratu SI, nazive predmetaka od tera do piko, uspostavlja dopunske jedinice rad i sr, daje popis nekih izvedenih jedinica	48
CIPM, 1969.:	izjave koje se odnose na osnovne, dopunske, izvedene i suvisle jedinice i uporabu predmetaka	54
CIPM, 2001.:	SI jedinice i jedinice SI-ja	64
23. CGPM, 2007.:	moguća redefinicija određenih osnovnih jedinica međunarodnoga sustava jedinica (SI)	70
24. CGPM, 2011.:	moguća buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	72
25. CGPM, 2014.:	buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	78
26. CGPM, 2018.:	revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI) (stupa na snagu 20. svibnja 2019.)	81

Odluke koje se odnose na osnovne jedinice SI-ja

Duljina

1. CGPM, 1889.:	ozakonjenje pramjere metra	42
7. CGPM, 1927.:	definicija metra s pomoću međunarodne pramjere	43
10. CGPM, 1954.:	metar prihvaćen kao osnovna jedinica	47
11. CGPM, 1960.:	definicija metra s pomoću zračenja kriptona 86	48
15. CGPM, 1975.:	preporučuje vrijednost za brzinu svjetlosti	55
17. CGPM, 1983.:	definicija metra uporabom brzine svjetlosti, ostvarenje definicije metra	58
CIPM, 2002.:	specificira pravila za praktično ostvarenje definicije metra	64
CIPM, 2003.:	revizija popisa preporučenih zračenja	66
CIPM, 2005.:	revizija popisa preporučenih zračenja	68
CIPM 2007.:	revizija popisa etalonskih frekvencija	69
23. CGPM, 2007.:	revizija praktičnoga ostvarenja (<i>mise en pratique</i>) definicije metra i razvoj novih optičkih frekvencijskih etalona	70
CIPM, 2009.:	posuvremenjivanje popisa etalonskih frekvencija	72
24. CGPM, 2011.:	moguća buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	72
24. CGPM, 2011.:	revizija praktičnoga ostvarenja (<i>mise en pratique</i>) metra i razvoj novih optičkih frekvencijskih etalona	76
CIPM 2013.:	posuvremenjivanje popisa etalonskih frekvencija	77
26. CGPM, 2018.:	revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI) (stupa na snagu 20. svibnja 2019.)	81

Masa

1. CGPM, 1889.:	ozakonjenje pramjere kilograma	42
3. CGPM, 1901.:	izjava o razlikovanju mase i težine i o dogovorenoj vrijednosti g_n	43

10. CGPM, 1954.:	kilogram prihvaćen kao osnovna jedinica	46
CIPM, 1967.:	izjava o primjeni predmetaka na gram	51
21. CGPM, 1999.:	buduća definicija kilograma	63
23. CGPM, 2007.:	moguća redefinicija određenih osnovnih jedinica međunarodnoga sustava jedinica (SI)	71
24. CGPM, 2011.:	moguća buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	72
25. CGPM, 2014.:	buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	78
26. CGPM, 2018.:	revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI) (stupa na snagu 20. svibnja 2019.)	81

Vrijeme

10. CGPM, 1954.:	sekunda prihvaćena kao osnovna jedinica	46
CIPM, 1956.:	definicija sekunde kao dijela tropske godine 1900.	47
11. CGPM, 1960.:	prihvaća definiciju sekunde CIPM-a iz 1956.	48
CIPM, 1964.:	izjavljuje da hiperfina prijelaz cezija 133 bude preporučeni etalon	50
12. CGPM, 1964.:	ovlašćuje CIPM da istraži atomske i molekularne frekvencijske etalone	50
13. CGPM, 1967./68.:	jedinica vremena SI-ja (sekunda)	52
CCDS, 1970.:	definira međunarodno atomsko vrijeme (TAI)	54
14. CGPM, 1971.:	zahtijeva da CIPM definira i uspostavi međunarodno atomsko vrijeme	55
15. CGPM, 1975.:	odobrava uporabu usklađenoga svjetskog vremena (UTC)	56
CIPM, 2006.:	sekundarni prikazi sekunde	69
23. CGPM, 2007.:	revizija praktičnoga ostvarenja (mise en pratique) definicije metra i razvoj novih optičkih frekvencijskih etalona	70
CIPM, 2009.:	posuvremenjivanje popisa etalonskih frekvencija	72
24. CGPM, 2011.:	moguća buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	72
24. CGPM, 2011.:	revizija praktičnog ostvarenja (mise en pratique) metra i razvoj novih optičkih frekvencijskih etalona	76
CIPM 2013.:	posuvremenjivanje popisa etalonskih frekvencija	77
CIPM 2015.:	posuvremenjivanje popisa etalonskih frekvencija	79
26. CGPM, 2018.:	revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI) (stupa na snagu 20. svibnja 2019.)	81

Električne jedinice

CIPM, 1946.:	definicije suvislih električnih jedinica u sustavu jedinica metar, kilogram, sekunda (MKS) (stupa na snagu 1. siječnja 1948.)	44
10. CGPM, 1971.:	prihvaćen amper kao osnovna jedinica	54
14. CGPM, 1971.:	prihvaća naziv simens (znak S) za električnu vodljivost	54
18. CGPM, 1987.:	predstojeća namještanja prikaza volta i oma	60
CIPM, 1988.:	definirana dogovorena vrijednost Josephsonove stalnice (stupa na snagu 1. siječnja 1990.)	60
CIPM, 1988.:	definirana dogovorena vrijednost von Klitzingove stalnice (stupa na snagu 1. siječnja 1990.)	61
23. CGPM, 2007.:	moguća redefinicija određenih osnovnih jedinica međunarodnoga sustava jedinica (SI)	71
24. CGPM, 2011.:	moguća buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	72
25. CGPM, 2014.:	buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	78
26. CGPM, 2018.:	revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI) (stupa na snagu 20. svibnja 2019.)	81

Termodinamička temperatura

9. CGPM, 1948.:	prihvaća trojnu točku vode kao referentnu termodinamičku točku	44
	prihvaća da je nula Celzijev temperature 0,01 stupanj ispod trojne točke	
CIPM, 1948.:	prihvaća naziv Celzijev stupanj za Celzijevu temperaturnu ljestvicu	44
10. CGPM, 1954.:	definira termodinamičku temperaturu tako da je trojna točka vode	46
	točno jednaka 273,16 stupnjeva Kelvina, definira normiranu atmosferu	
10. CGPM.: 1954.:	stupanj Kelvina prihvaćen kao osnovna jedinica	46
13. CGPM, 1967./68.:	odlučuje o formalnoj definiciji kelvina (znak K)	52
CIPM, 1989.:	međunarodna temperaturna ljestvica iz 1990. (ITS-90)	62
CIPM, 2005.:	napomena dodana definiciji kelvina koja se odnosi na izotopni sastav vode	67
23. CGPM, 2007.:	objašnjenje definicije kelvina, jedinice termodinamičke temperature	70
23. CGPM, 2007.:	moguća redefinicija određenih osnovnih jedinica međunarodnoga sustava jedinica (SI)	71
24. CGPM, 2011.:	moguća buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	72
25. CGPM, 2014.:	buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	78
26. CGPM, 2018.:	revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	81
	(stupa na snagu 20. svibnja 2019.)	

Količina tvari

14. CGPM, 1971.:	definicija mola (znak mol) kao sedme osnovne jedinice i pravila za njezinu uporabu	55
21. CGPM, 1999.:	prihvaća posebni naziv katal (kat)	63
23. CGPM, 2007.:	moguća redefinicija određenih osnovnih jedinica međunarodnoga sustava jedinica (SI)	71
24. CGPM, 2011.:	moguća buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	72
25. CGPM, 2014.:	buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	78
26. CGPM, 2018.:	revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	81

Svjetlosna jakost

CIPM, 1946.:	definicije fotometrijskih jedinica, nove svijeće i novoga lumena	43
13. CGPM, 1967./68.:	definicija kande (znak cd) s pomoću crnoga tijela	53
16. CGPM, 1979.:	definicija kande s pomoću jednobojnoga zračenja	57
24. CGPM, 2011.:	moguća buduća revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	72
26. CGPM, 2018.:	revizija međunarodnoga sustava jedinica (SI)	81

Odluke koje se odnose na izvedene i dopunske jedinice SI-ja**Izvedene jedinice SI-ja**

12. CGPM, 1964.:	prihvaća nastavak uporabe kirija kao jedinice izvan SI-ja	51
13. CGPM, 1967./68.:	daje popis primjera izvedenih jedinica	56
15. CGPM, 1975.:	prihvaća posebne nazive bekerel (Bq) i grej (Gy)	56
16. CGPM, 1979.:	prihvaća posebni naziv sivert (Sv)	57
CIPM, 1984.:	odlučuje objasniti odnos između apsorbirane doze i (jedinica SI-ja grej) i doznoga ekvivalenta (jedinica SI-ja sivert)	59
CIPM, 2002.:	preinačuje odnos između apsorbirane doze i doznoga ekvivalenta	66

Dopunske jedinice SI-ja

CIPM, 1980.:	odlučuje dati tumačenje o dopunskim jedinicama kao izvedenim nedimenzijskim jedinicama	58
--------------	--	----

20. CGPM, 1995.:	odlučuje ukloniti razred dopunskih jedinica i potvrđuje tumačenje CIPM-a da su one izvedene nedimenzijske jedinice	62
------------------	--	----

Odluke koje se odnose na nazive i prihvaćanje jedinica za uporabu sa SI-jem

Predmetci SI-ja

12. CGPM, 1964.:	odlučuje dodati femto i ato popisu predmetaka	51
15. CGPM, 1975.:	odlučuje dodati peta i eksa popisu predmetaka	56
19. CGPM, 1991.:	odlučuje dodati zeta, zepto, jota i jokto popisu predmetaka	62

Znakovi jedinica i brojevi

9. CGPM, 1948.:	donosi pravila za pisanje znakova jedinica	45
-----------------	--	----

Nazivi jedinica

13. CGPM, 1967./68.:	ukida uporabu mikrona i nove svijeće kao jedinica prihvaćenih za uporabu sa SI-jem	53
----------------------	--	----

Decimalni znak

22. CGPM, 2003.:	dopušta uporabu točke ili zareza kao decimalnoga znaka	67
------------------	--	----

Jedinice prihvaćene za uporabu s jedinicama SI-ja; primjer: litra

3. CGPM, 1901.:	definira litru kao obujam 1 kg vode	42
11. CGPM, 1960.:	zahtijeva od CIPM-a da izvijesti o razlici između litre i kubnoga decimetra	50
CIPM, 1961.:	preporučuje da se obujam izražava u jedinicama SI-ja, a ne u litrama	50
12. CGPM, 1964.:	ukida prijašnju definiciju litre, preporučuje da se litra može upotrebljavati kao poseban naziv za kubni decimetar	51
16. CGPM, 1979.:	odlučuje iznimno dopustiti dva znaka l i L za litru	57

1. CGPM, 1889.

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

Opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir:

- *Izveštaj predsjednika CIPM-a (Compte rendu of the President of the Comité International des Poids et Mesures) i Izveštaj CIPM-a*, koji pokazuje da su zajedničkom brigom Francuskog odsjeka Međunarodnoga povjerenstva o metru i CIPM-a sa svom 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 0,0001
- jednakost duljine međunarodnoga metra i jednakost mase međunarodnoga kilograma s duljinom metra i masom kilograma koji su pohranjeni u Francuskome državnom arhivu
- da razlike između nacionalnoga metra i međunarodnoga 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 međunarodnoga kilograma leže unutar 1 miligrama
- da međunarodni metar i kilogram te nacionalni metri i kilogrami ispunjavaju zahtjeve *Konvencije o metru*,

odobrava:

A. međunarodne pramjere:

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. stodijelnu ljestvicu vodikova toplomjera na temelju koje su određene jednadžbe pramjere metra.

B. nacionalne pramjere:

...

* Tu je definiciju metra 1960. godine ukinuo 11. CGPM (6. rezolucija, vidi str. 48).

3. CGPM, 1901.

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

...

Konferencija objavljuje:

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

2.

...

* Tu je definiciju 1964. godine ukinuo 12. CGPM (6. rezolucija, vidi str. 50).

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

na temelju odluke Međunarodnoga odbora za utege i mjere od 15. listopada 1887. godine u skladu s kojom je kilogram određen kao jedinica mase,

na temelju odluke sadržane u izreci o ozakonjenju pramjere metričkoga sustava, koju je Opća konferencija za utege i mjere jednoglasno prihvatila 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*, a 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 normiranoga 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**.

* Tu je definiciju 2018. godine ukinuo 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

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

7. CGPM, 1927.

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

Metar je jedinica duljine koja se definira kao udaljenost (na 0°C) između osi dviju središnjih crtica označenih na štapi od platinoiridija koji se drži u Međunarodome uredu za utege i mjere, a prema 1. općoj konferenciji za utege i mjere iskazuje pramjeru metra, taj je štap podvrgnut normiranomu atmosferskom tlaku i oslanja se na dva valjka promjera od najmanje jednoga centimetra koji su simetrično postavljeni u istoj vodoravnoj ravnini na međusobnoj udaljenosti od 571 mm.

* Tu je definiciju 1960. godine ukinuo 11. CGPM (6. rezolucija, vidi str. 48).

CIPM, 1946.

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

rezolucija

...

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 jednolični točkasti izvor svjetlosne jakosti od 1 nove svijeće zrači u jedinicu prostornoga kuta (steradian).

5.

* Te dvije definicije sadržane u toj rezoluciji odobrio je 1948. godine 9. CGPM, koji je također odobrio naziv kandela dan *novoj svijeći* (CR, 54). Za lumen je pridjev novi poslije izostavljen. Tu je definiciju 1967. preinačio 13. CGPM (5. rezolucija, vidi str. 53).

Tu je definiciju 1967. godine preinačio 13. CGPM (5. rezolucija, vidi str. 53).

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

2. rezolucija

...

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

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

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 teorijske 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 proizvela 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 električnoga 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 jednoga zavoja proizveo elektromotornu silu od 1 volta kad bi se jednolikom brzinom u 1 sekundi smanjio na nulu.

Definicije koje se nalaze u toj rezoluciji odobrio je 1948. godine 9. CGPM (CR, str. 49), koji je osim toga prihvatio naziv *njutn* (7. rezolucija, vidi str. 46) za jedinicu sile sustava MKS-a.

1954. godine 10. CGPM (6. rezolucija, vidi str. 46) uspostavio je praktični sustav mjernih jedinica za međunarodnu uporabu. Amper je osnovna jedinica u tome sustavu.

* Tu je definiciju ampera ukinuo 26. CGPM 2018. godine (1. rezolucija, vidi str. 81).

9. CGPM, 1948.

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

3. rezolucija

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

2. Kao posljedica toga Savjetodavni odbor za termometriju i kalorimetriju (CCTC) smatra da se nula na stotičnoj termodinamičkoj ljestvici mora definirati kao temperatura od 0,010 0 stupnjeva ispod temperature trojne točke vode.

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 poslije utvrđena.

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

3. Džul je jedinica količine topline.

Kelvin je 2018. godine redefinirao 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

Napomena: Zahtijeva se da se rezultati kalorimetrijskih pokusa što je moguće više izražavaju u džulima. Ako se pokusi provode uspoređivanjem s porastom temperature vode (pa iz nekoga 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 triju naziva (*stotični stupanj*, *centezimalni stupanj*, *Celzijev stupanj*) predložena za oznaku stupnja temperature CIPM je odabrao *Celzijev stupanj* (PV, 21, 88).

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

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

6. rezolucija

Opća konferencija za utege i mjere (CGPM),

uzimajući u obzir:

- da je Međunarodna unija za fiziku tražila od Međunarodnoga odbora za utege i mjere (CIPM-a) da za međunarodnu uporabu prihvati praktični međunarodni sustav jedinica, preporučujući sustav MKS, i jednu električnu jedinicu apsolutnoga praktičnog sustava, ali ne preporučujući ipak da fizičari napuste sustav CGS
- 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 odlučnim i djelotvornim službenim upitom istraži mišljenje znanstvenika, tehničkih i prosvjetnih djelatnika u svim zemljama (nudeći im zapravo francuski dokument kao temelj)
- da prikupi i prouči odgovore
- da izradi preporuke za jedan praktični sustav mjernih jedinica, prikladan za prihvaćanje u svim zemljama koje su pristupile *Konvenciji o metru*.

9. CGPM, 1948.

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

7. rezolucija

Načela

Kao znakovi jedinica upotrebljavaju se općenito mala uspravna slova. Ako su međutim znakovi izvedeni od 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 decimalnoga 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. godine (3. i 7. rezolucija, vidi str. 52 i str. 53), a litru, 16. CGPM, 1979. godine (6. rezolucija, vidi str. 57).

Jedinica	Znak	Jedinica	Znak
• metar	m	amper	A
• četvorni metar	m ²	volt	V
• kubni 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 temperaturnoga odsjeka ili razlike, ali ne i temperature, mora se upotrijebiti cijela riječ *stupanj* ili kratica *deg*.

10. CGPM, 1954.

■ Definicija termodinamičke temperaturne ljestvice (CR, 79)*

3. rezolucija

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).

* 13. CGPM 1967.
(4. rezolucija, vidi str. 52)
izravno je definirao kelvin.

Kelvin je 2018. godine
redefinirao 26. CGPM
(1. rezolucija, vidi str. 81).

■ Definicija normirane atmosfere (CR, 79)

4. rezolucija

10. opća konferencija za utege i mjere (CGPM), utvrdivši da je definicija normirane atmosfere koju je pri definiranju međunarodne temperaturne ljestvice dao 9. CGPM, navela je 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. rezolucija

U skladu s željom koju je izrazila 9. opća konferencija za utege i mjere (CGPM) u svojoj 6. rezoluciji, koja se odnosi na uspostavu praktičnoga sustava mjernih jedinica za međunarodnu uporabu 10. CGPM,

* Naziv jedinice
termodinamičke temperature
promijenio je u *kelvin* 1967.
godine 13. CGPM
(3. rezolucija, vidi str. 52).

odlučuje prihvatiti ove jedinice kao osnovne jedinice toga sustava:

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

CIPM, 1956.

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

1. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

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

■ Međunarodni sustav jedinica (PV, 25, 83)

3. rezolucija

Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir:

- zadatak koji mu je svojom 6. rezolucijom povjerila 9. opća konferencija za utege i mjere (CGPM), koji se odnosi na uspostavljanje praktičnoga sustava mjernih jedinica prikladna za prihvaćanje u svim zemljama koje su pristupile *Konvenciji o metru*
- dokumente koji su kao odgovor na upit koji je zahtijevao 9. CGPM primljeni od dvadeset i jedne zemlje
- rezoluciju 10. CGPM-a, kojom se utvrđuju osnovne jedinice sustava koji treba uspostaviti,

preporučuje:

1. da se naziv *međunarodni sustav jedinica* dodijeli sustavu utemeljenju na osnovnim jedinicama koje je prihvatio 10. CGPM, tj.:
[Slijedi popis šest osnovnih jedinica s njihovim znakovima ponovljen u 4. stavku 12. rezolucije 11. CGPM-a (1960.).]
2. da se jedinice koje se daju u tablici u nastavku upotrebljavaju bez isključivanja drugih koje se mogu naknadno dodati:
[Slijedi tablica jedinica navedena u 4. paragrafu 12. rezolucije 11. CGPM (1960.).]

* Tu je definiciju 1967. godine ukinuo 13. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 52).

11. CGPM, 1960.

■ Definicija metra (CR, str. 85)*

6. rezolucija

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. rezolucija, vidi str. 58).

■ Definicija jedinice vremena (sekunde) (CR, 86)*

9. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

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

odobrava ovu definiciju:

Sekunda je $1/31\,556\,925,974,7$ dio tropske godine za godinu 1900. siječanj 0 u 12 sati efemeridnoga vremena.

* Tu je definiciju 1967. godine ukinuo 13. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 52).

■ Međunarodni sustav jedinica (CR, 87)*

12. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

- 6. rezoluciju 10. CGPM-a, kojom je šest osnovnih jedinica prihvaćeno za uspostavu praktičnoga sustava mjernih jedinica za međunarodnu uporabu:

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

- 3. rezoluciju, koju je 1956. godine prihvatio CIPM
- preporuke koje se odnose na pokrate za naziv sustava i predmetke za tvorbu višekratnika i nižekratnika jedinica koje je CIPM prihvatio 1958. godine,

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

Naziv i znak za jedinicu termodinamičke temperature preinačio je 13. CGPM (1967., 3. rezolucija, vidi str. 52).

odlučuje:

1. Sustav koji se temelji na šest navedenih osnovnih jedinica naziva se *međunarodnim sustavom jedinica*.
2. Međunarodna je pokratak naziva sustava: SI.
3. Nazivi višekratnika i nižekratnika jedinica tvore se s pomoću ovih predmetaka:

Sedmu osnovnu jedinicu (mol) prihvatio je 1971. godine 14. CGPM (3. rezolucija, vidi str. 55)

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

Dodatne predmetke prihvatili su 1964. godine 12. CGPM (8. rezolucija, vidi str. 51), 1975. godine 15. CGPM (10. rezolucija, vidi str. 56) i 1991. godine 19. CGPM (4. rezolucija, vidi str. 62).

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

Dopunske jedinice

ravninski kut	radian	rad
prostorni kut	steradian	sr

20. CGPM je 1995. godine ukinuo razred dopunskih jedinica u SI-ju (8. rezolucija, vidi str. 62). One se sada smatraju izvedenim jedinicama.

Izvedene jedinice

ploština	čtvorni metar	m^2	
obujam	kubni metar	m^3	
frekvencija	herc	Hz	1/s
gustoća (mase)	kilogram po kubnome metru	kg/m^3	
brzina	metar u sekundi	m/s	
kutna brzina	radian u sekundi	rad/s	
ubrzanje	metar u sekundi na drugu	m/s^2	
kutno ubrzanje	radian u sekundi na drugu	rad/s^2	
sila	njtn	N	$kg \cdot m/s^2$
tlak (mehaničko naprezanje)	njtn po četvornome metru	N/m^2	
kinematička viskoznost	čtvorni metar u sekundi	m^2/s	
dinamička viskoznost	njtnsekunda po četvornome metru	$N \cdot s/m^2$	
rad, energija, količina topline	džul	J	$N \cdot m$
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	$A \cdot s/V$
magnetski tijek	veber	Wb	V·s
indukcija	henri	H	$V \cdot s/A$
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

1967. godine 13. CGPM (6. rezolucija, vidi str. 53) specificirano je druge jedinice koje je trebalo dodati tomu popisu. Načelno je popis izvedenih jedinica neograničen.

■ **Kubni decimetar i litra (CR, 88)****13. rezolucija**

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

uzimajući u obzir:

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

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

CIPM, 1961.■ **Kubni decimetar i litra (PV, 29, 34)****preporuka**

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

CIPM, 1964.■ **Atomski i molekularni frekvencijski etaloni (PV, 32, 26 i CR, 93.)**

Međunarodni odbor za utege i mjere,

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

objavljuje da se kao etalon treba upotrebljavati prijelaz između hiperfinih razina $F = 4$, $M = 0$ i $F = 3$, $M = 0$ osnovnoga stanja $^2S_{1/2}$ 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. rezolucija**

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

uzimajući u obzir:

- da je 11. CGPM u svojoj 10. rezoluciji utvrdio hitnost prihvaćanja atomskoga ili molekularnoga etalona vremenskoga intervala za potrebe vrhunskoga mjeriteljstva
- da, unatoč već postignutim rezultatima s cezijevim atomskim frekvencijskim etalonima nije još došlo vrijeme da CGPM prihvati novu definiciju sekunde, osnovne jedinice međunarodnoga 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 utemele 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. rezolucija**

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

uzimajući u obzir 13. rezoluciju koju 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 kubni decimetar
3. **preporučuje** da se naziv litra ne upotrebljava za izražavanje rezultata mjerenja obujma visoke točnosti.

■ **kiri** (CR, 94)***7. rezolucija**

12. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir da se kiri u mnogim zemljama dugo vremena upotrebljavao 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-ja kao jedinica aktivnosti s vrijednošću od $3,7 \times 10^{10} s^{-1}$. Znak je za tu jedinicu Ci.

* Naziv *bekere*l (Bq) za SI jedinicu aktivnosti prihvaćeno je 1975. godine 15. CGPM (8. rezolucija, vidi str. 56):
1 Ci = $3,7 \times 10^{10}$ Bq.

■ **Predmetci SI-ja femto i ato** (CR, 94)***8. rezolucija**

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

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

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

* Nove predmetke dodao je 1975. godine 15. CGPM (10. rezolucija, vidi str. 56).

CIPM, 1967.■ **Decimalni 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 decimalnih višekratnika i nižekratnika jedinica iz 3. odlomka 12. rezolucije 11. CGPM-a (1960.) moglo na različite načine tumačiti kad se primjenjuje na jedinicu mase,

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

13. CGPM, 1967./68.

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

1. rezolucija

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. rezolucija) i odobrio 11. CGPM 9. rezolucijom (1960.), a poslije 5. rezolucijom podržao 12. CGPM (1964.) ne odgovara sadašnjim potrebama mjeriteljstva
- da je radi ispunjenja tih zahtjeva Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM), koji je svojom 5. rezolucijom 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 međunarodnoga sustava jedinica koja je sada na snazi zamijeni atomskom definicijom koja se temelji na tomu etalonu,

odlučuje:

1. Jedinica vremena SI-ja je sekunda, koja se definira na ovaj način:
Sekunda je trajanje od 9 192 631 770 perioda zračenja koje odgovara prijelazu između dviju hiperfinskih razina osnovnoga stanja atoma cezija 133.
2. Time se ukidaju 1. rezolucija koju je CIPM prihvatio na sastanku 1956. i 9. rezolucija 11. CGPM-a.

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

3. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

- nazive *Kelvinov stupanj* i *stupanj* (znakovi °K i deg) te pravila za njihovu uporabu dane u 7. rezoluciji 9. CGPM-a (1948.), u 12. rezoluciji 11. CGPM-a (1960.) i odluci koju je donio CIPM 1962. godine (PV, 30, 27)
- da su jedinica termodinamičke temperature i jedinica temperaturnoga odsječka 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 temperaturnoga 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 temperaturnoga odsječka ili razlike, ali se privremeno dopušta uobičajena uporaba koja se izvodi iz tih odluka.

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

4. rezolucija

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

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. Tekst definicije sekunde preinačio je 2018. godine 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

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

** Vidi 2. preporuku (CI-2005) CIPM-a o izotopnome sastavu vode koja ulazi u definiciju kelvina, str. 68.

* Vidi 5. preporuku (CI-1989) CIPM-a o međunarodnoj temperaturnoj ljestvici iz 1990. godine, str. 62.

* Kelvin je 2018. godine redefinirao 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81)

smatrajući da bi bilo korisno izričiti oblikovati definiciju jedinice termodinamičke temperature koja se nalazi u 3. rezoluciji 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.

■ **Jedinica svjetlosne jakosti SI-ja (kandela)** (CR, 104 i *Metrologia*, 1968, 4, 43-44)*

* Tu je definicija 1979. godine ukinuo 16. CGPM (3. rezolucija, vidi str. 57).

5. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

- definiciju jedinice svjetlosne jakosti koju je odobrio 9. CGPM (1948.) i koja se nalazi u *Rezoluciji koja 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.)
- činjenicu da ta definicija na zadovoljavajući način utvrđuje jedinicu svjetlosne jakosti, ali da se njezinu obliku može prigovarati,

odlučuje definiciju kandele izraziti na ovaj način:

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

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

* Posebni naziv i znak jedinici aktivnosti dodijelio je 1975. godine 15. CGPM (8. rezolucija, vidi str. 56).

6. rezolucija

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

smatrajući da bi popisu danu u 4. odlomku 12. rezolucije 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. rezolucija

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. rezolucije 9. CGPM-a (1948.),

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

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

CIPM, 1969.

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

* 1995. godine 20. CGPM odlučio je ukinuti razred dopunskih jedinica u SI-ju (8. rezolucija, vidi str. 62).

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir da je 12. rezolucija 11. CGPM-a (1960.), koja se odnosi na međunarodni sustav jedinica, izazvala rasprave o nekim njezinim aspektima,

objavljuje:

1. Osnovne jedinice, dopunske jedinice i izvedene jedinice međunarodnoga sustava jedinica, koje čine suvisao skup, nazivaju se *jedinicama SI-ja*.**
2. Predmetci koje je prihvatio CGPM za tvorbu decimalnih višekratnika i nižekratnika jedinica SI-ja nazivaju se *predmetcima SI-ja*.

** CIPM je 2001. godine odobrio prijedlog CCU-a da objasni definiciju *SI jedinica i jedinica SI-ja*.

i preporučuje:

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

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

■ CCDS, 1970. (u CIPM-u, 1970.)

Definicija TAI-a (PV, 38, 110-111 i *Metrologia*, 1971., 7, 43)

Preporuka S 2

Međunarodno atomsko vrijeme (TAI) usklađeno je referentno vrijeme koje je uspostavio Međunarodni ured za vrijeme (Bureau International de l'Heure, BIH) na temelju očitavanja atomskih satova koji rade u različitim institucijama u skladu s definicijom sekunde, jedinice vremena međunarodnoga sustava jedinica.

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

TAI je usklađena vremenska ljestvica definirana na geocentričnome referentnom okviru sa sekundom SI-ja koja se kao jedinica te ljestvice ostvaruje na vrtnji geoida.

Tu je definiciju dodatno pojačala Međunarodna astronomska unija 1991. godine, rezolucijom A4:

TAI je ostvarena vremenska ljestvica čiji je idealni oblik, zanemarujući stalni pomak od 32,184 s, jednak zemaljskom vremenu (Temps terrestre TT), koje je samo povezano s usklađenim vremenom geocentričnoga referentnog okvira, geocentrično usklađeno vrijeme (Temps coordonné géocentrique, TCG) za stalni korak.

(vidi Proc. 21. Opće skupštine IAU-a, IAU Trans., 1991, vol. XXIB. Kluwer.)

14. CGPM, 1971.

■ **Paskal i simens** (CR, 78)

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

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

1. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

- da je sekunda, jedinica vremena međunarodnoga 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 Međunarodnoga ureda za vrijeme (Bureau International de l'Heure, BIH)
- da je BIH počeo uspostavljati ljestvicu atomskoga 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 Savjetodavnoga 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 usklađivanje s vremenskim ljestvicama koje se temelje na astronomskim kretanjima,

zahtijeva da CIPM:

1. uvede 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-ja dao je 1970. godine CCDS (sada CCTF), vidi izvještaj CCDS-a, str. 22.

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

3. rezolucija

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

uzimajući u obzir mišljenje Međunarodne unije za čistu i primijenjenu fiziku, Međunarodne unije 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 entiteta koliko ima atoma u 0,012 kilograma ugljika 12: njezin je znak "mol".**
2. Kad se upotrebljava mol, moraju se navesti elementarne entitete, a to mogu biti atomi, molekule, ioni, elektroni, druge čestice ili navedene skupine takvih čestica.
3. Mol je osnovna jedinica međunarodnoga sustava jedinica.

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

** Mol je 2018. godine redefinirao 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

15. CGPM, 1975.

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

2. rezolucija

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

uzimajući u obzir izvrsno slaganje 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

Ovdje dana relativna nesigurnost u razmatranim podacima odgovara trima standardnim odstupanjima.

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.

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

5. rezolucija

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 svjetskoga vremena (ili, ako se to više želi, srednjega Sunčevog 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. rezolucija

15. opća konferencija za utege i mjere

zbog hitnosti zahtjeva koji je izrazilo Međunarodno povjerenstvo za jedinice i mjerenja zračenja (International Commission on Radiation Units and Measurements, ICRU) da se uporaba međunarodnoga 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 pogrešaka u terapijskom radu,

prihvaća ovaj posebni naziv za jedinicu aktivnosti SI-ja:

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

prihvaća ovaj posebni naziv za jedinicu ionizacijskoga zračenja SI-ja:

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

Napomena: Grej je jedinica apsorbirane doze SI-ja. U području ionizacijskoga zračenja grej se također može upotrebljavati s drugim fizičkim 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.

■ Predmetci SI-ja peta i eksa (CR, 106 i *Metrologia*, 1975., 11, 180-181)*

10. rezolucija

15. opća konferencija za utege i mjere (CGPM)

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

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

* 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.

* Nove predmetke dodao je 1991. godine 19. CGPM (4. rezolucija, vidi str. 62).

16. CGPM, 1979.

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

3. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

- da unatoč 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 jednobojnoga zračenja frekvencije 540×10^{12} herca
- da je prihvaćeno da ta vrijednost ima dostatnu točnost za sustav svjetlosnih fotopskih veličina, da to samo povlači promjenu od približno 3 % za sustav svjetlosnih skotopskih veličina te da se time osigurava zadovoljavajuća neprekinutost
- da je došlo vrijeme da se uvede 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 mezopskome području,

odlučuje:

1. Kandela je svjetlosna jakost u danome smjeru izvora koji emitira jednobožno 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.

■ Posebni naziv za jedinicu doznoga ekvivalenta SI-ja (sivert) (CR, 100 i *Metrologia*, 1980., 16, 56)*

5. rezolucija

16. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir:

- napor učinjen da se u područje ionizacijskih zračenja uvedu jedinice SI-ja
- opasnost za ljude od nisko procijenjene doze zračenja, opasnost koja bi mogla nastati od brkanja apsorbirane doze i doznoga 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 ljudskoga zdravlja,

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

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

6. rezolucija

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

Tekst definicije kandeke preinačio je 2018. godine 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

Fotopski vid detektira se na očnoj retini čunjićima koji su osjetljivi na razinu svjetljivosti ($L > \text{cca } 10 \text{ cd/m}^2$) i koriste se pri dnevnome gledanju.

Skotopski vid detektira se na očnoj retini štapićima koji su osjetljivi na razinu svjetljivosti ($L < \text{cca } 10^{-3} \text{ cd/m}^2$) i koriste se pri noćnome gledanju.

U području između tih razina svjetljivosti koriste se i čunjići i štapići, a ono se opisuje kao mezopski vid.

* CIPM je 1984. godine odlučio tu rezoluciju popratiti s obrazloženjem (1. preporuka, vidi str. 59).

potvrđujući opća načela za pisanje znakova jedinica prihvaćena u 7. rezoluciji 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 istoj rezoluciji 1948. godine,

uzimajući u obzir da je, kako bi se izbjegla opasnost brkanja slova l i broja 1, nekoliko zema-lja 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 zna-ka 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 moguć-nosti ukidanja jednoga od njih.

CIPM je 1990. godine smatrao da je još prerano odabrati jedan znak za litru.

CIPM, 1980.

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

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM),

uzimajući u razmatranje 3. rezoluciju, koju 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, u kojoj steradian igra važnu ulogu u razlikovanju jedinica koje odgovaraju različitim veličinama
- da se u upotrebljavanim jednadžbama ravninski kut općenito izražava kao omjer dviju duljina, a prostorni kut kao omjer ploštine i kvadrata duljine, pa se stoga 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 ravnin-skoga i prostornoga kuta mogu smatrati osnovnim veličinama

smatrajući također:

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

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

* Razred dopunskih jedinica SI-ja ukinut je 1995. godine odlukom 20. CGPM-a (8. rezolucija, vidi str. 62).

17. CGPM, 1983.

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

1. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

Tekst definicije metra preinačio je 2018. godine 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

- 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 obnovljiva 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 svjetlost imaju 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 svojoj 2. rezoluciji ($c = 199\,792\,458$ 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 $\pm 4 \times 10^{-9}$ najboljega ostvarenja postojeće definicije metra
- da su ti različiti oblici, pozivajući se ili na put što ga svjetlost prijeđe u utvrđenoj vremenskoj odsječku ili na valnu duljinu zračenja izmjerene ili utvrđene frekvencije, bili predmet dogovaranja i temeljitih rasprava te su priznati istovjetnima i 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 narančastoga 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 svjetlost prijeđe 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)

2. rezolucija

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.

Vidi 1. preporuku (CI-2002) CIPM-a o preinaci praktičnoga ostvarenja definicije metra, str. 64.

CIPM, 1984.

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

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

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

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

* CIPM je 2002. godine odlučio promijeniti objašnjenje veličine doznoga ekvivalenta (2. preporuka, vidi str. 66) u SI brošuri.

Veličina dozni ekvivalent H umnožak je apsorbirane doze D ionizacijskoga zračenja i nedimenzijskih faktora Q (faktora kakvoće) i N (umnoška svih drugih množidbenih 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 doznoga ekvivalenta D u džulima po kilogramu na temelju vrijednosti faktora Q i N . Da bi se izbjegla opasnost od brkanja apsorbirane doze D i doznoga 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 doznoga ekvivalenta H .

18. CGPM, 1987.

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

6. rezolucija

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 kvantni Hallov pojav za održavanje redom prikaza volta i oma jer oni nude najbolje jamstvo dugotrajne stabilnosti
- da zbog važnosti suvislosti među mjernim jedinicama različitih fizičkih veličina vrijednosti prihvaćene za njihovo prikazivanje moraju, što je više moguće, biti u skladu sa SI-jem
- da će rezultati novijih i tekućih pokusa omogućiti uspostavljanje prihvatljive vrijednosti, dostatno sukladne sa SI-jem, 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

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 najmanje jedanput godišnje unaprijed, a trebale bi biti prihvaćene 1. siječnja 1990.

Godine 1988. CIPM je prihvatio 1. (CI-1988) i 2. (CI-1988) preporuku koja uspostavlja točne vrijednosti Josephsonove i von Klitzingove stalnice, a zahtijevaju od laboratorija da temelje svoje etalone na tim vrijednostima od 1. siječnja 1990. godine.

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. rezoluciji 18. opće konferencije za utege i mjere koje se odnose na buduća prilagođivanja prikaza volta i oma,

*2018. godine 26. CGPM ukinuo je prihvaćanje dogovorene vrijednosti za stalnicu K_J .

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 referentnoga 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 $K_{J-90} = 483\,597,9$ GHz/V
- da se ta nova vrijednost upotrebljava od 1. siječnja 1990. godine, ne prije, 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
- 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

te

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 kvantnoga Hallova 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. rezoluciji 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 kvantnome Hallovu pojavu, vodi na vrijednost od 25 812,807 Ω
- da se kvantni Hallov pojav, zajedno s tom vrijednošću za R_K , može upotrebljavati za uspostavljanje referentnoga 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 $R_{K-90} = 25\,812,807$ Ω
- da tu vrijednost od 1. siječnja 1990. godine, ne ranije, upotrebljavaju svi laboratoriji koji svoja mjerenja otpora temelje na kvantnome Hallovu 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 kvantnoga Hallova pojava za uspostavljanje laboratorijskoga referentnog etalona otpora laboratoriji slijede najnovije izdanje tehničkih uputa za pouzdana mjerenja

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

* 2018. godine 26. CGPM je ukinuo prihvatanje dogovorene vrijednosti za stalnicu R_K .

Kvantiziranoga Hallova 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.

CIPM, 1989.

■ Međunarodna temperaturna ljestvica iz 1990. godine (PV, 57 i *Metrologia*, 1988., 27, 13)

5. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM), djelujući u skladu sa 7. rezolucijom 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).

Kelvin je 2018. godine redefinirao 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81)

CIPM napominje:

da se u odnosu na IPTS-68 ljestvica ITS-90

- proširuje na niže temperature (do 0,65 K), pa prema tome zamjenjuje EPT-76
- da se ITS-90 znatno bolje slaže s odgovarajućim termodinamičkim temperaturama
- da u cijelome svojem području ima znatno bolju neprekinutost, preciznost i obnovljivost
- da 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 obavješću o ITS-90* i *Metodama za približno određivanje ITS-90*, koje će BIPM objaviti i povremeno posuživati.

CIPM preporučuje:

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

19. CGPM, 1991.

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

4. rezolucija

19. opća konferencija za utege i mjere (CGPM)

odlučuje popisu predmetaka SI-ja koji se upotrebljavaju za višekratnike koje je prihvatio 11. CGPM 12. rezolucijom, 3. odlomkom, 12. CGPM 8. rezolucijom i 15. CGPM 10. rezolucijom 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 (sedma potencija broja 10^3), a slovo "z" zamjena je 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 (osma potencija broja 10^3); slovo „y“ dodano je kako bi se izbjegla uporaba slova „o“ kao znaka jer se ono može brkati s nulom.

20. CGPM, 1995.

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

8. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

- da je 11. opća konferencija 1960. godine u svojoj 12. rezoluciji uspostavljajući međunarodni sustav jedinica (SI) utvrdila tri različita razreda jedinica SI-ja: osnovne jedinice, izvedene jedinice i dopunske jedinice, pri čemu se posljednji razred sastoji od radijana i steradijana
- 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-ja u svojoj 1. preporuci (CI-1980) dao tumačenje da su dopunske jedinice u SI-ju nedimenzijske izvedene jedinice

odobravajući tumačenje koje je 1980. godine dao Međunarodni odbor,

odlučuje:

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

21. CGPM, 1999.

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

7. rezolucija

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

uzimajući u obzir:

- potrebu da se osigura dugoročna stabilnost SI-ja
- svojstvenu nesigurnost dugotrajne stabilnosti rukotvorine koja služi za definiciju jedinice mase, jedne od osnovnih jedinica SI-ja
- da ta nesigurnost ima za posljedicu dugoročnu stabilnost drugih triju osnovnih jedinica međunarodnoga sustava koje ovise o kilogramu, naime ampera, mola i kandeke
- već postignuti napredak u velikome broju različitih pokusa namijenjenih za povezivanje jedinice mase s temeljnim 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 s temeljnim atomskim stalnicama i koji bi u budućnosti služili kao temelj za novu definiciju kilograma.

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

12. rezolucija

21. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir:

- važnost da se olakša uporaba jedinica SI-ja 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-ja 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 posebnoga naziva za suvislu izvedenu jedinicu SI-ja mol u sekundi imalo za posljedicu da se klinička mjerenja daju u različitim mjesnim jedinicama

- da uporabu jedinica SI-ja 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 Savjetodavnoga odbora za jedinice da preporuči poseban naziv katal (znak kat) za jedinicu SI-ja mol u sekundi
- da premda je umnožavanje posebnih naziva opasno za SI, postoje iznimke za određena pitanja povezana s ljudskim zdravljem i sigurnošću (15. opća konferencija, 1975. godine, 8. i 9. rezolucija, 16. opća konferencija, 1979. godine, 5. rezolucija),

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

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

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

CIPM, 2001.

■ *SI jedinice i jedinice SI-ja* (PV, 69, 120)

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

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

Predlažemo da se naziv *suvisle izvedene jedinice* upotrebljava kad se njegovo značenje želi ograničiti samo na osnovne jedinice i suvisle izvedene 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,

podsjećajući:

- 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 dobiva iz izmjerenoga 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 dobiva 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 jednoga od zračenja s popisa u nastavku čija se utvrđena 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 vakuumu
- da se u kontekstu opće teorije relativnosti metar smatra jedinicom prave duljine. Njegova se definicija prema tome primjenjuje samo u dostatno malome prostornom opsegu kako bi se mogla zanemariti djelovanja nejednolikih gravitacijskih polja (napominjemo da je to djelovanje na površini Zemlje u smjeru okomitome na njezinu površinu 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 tome 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 Savjetodavnoga 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

podsjećajući 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 praktična ostvarenja (*mise en pratique*) kako bi obuhvatile ne samo dimenzijsko mjeriteljstvo i ostvarenje metra nego i spektroskopiju visokoga 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 sekunda SI-ja, da su te metode prikladne mjerne metode 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 novih metoda

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

potiče nacionalne mjeriteljske institute i druge laboratorije da nastave primjenu metode 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 ion Hg^+ , uhvaćeni ion In^+ i uhvaćeni ion Yb^+
- posuvremenjene vrijednosti frekvencije za stabilizirani laser Rb, I_2 -stabilizirani laser Nd: YAG i He-Ne lasere, CH_4 -stabilizirane He-Ne lasere i OsO_4 -stabilizirane 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.

...

■ Dozni ekvivalent (PV, 70, 205)

* Popis preporučenih zračenja, 1. preporuka (CI-2002), dan je u PV, 70, 197-204 i *Metrologia*, 2003, 40, 104-115.

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

2. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir:

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

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

Veličina dozni ekvivalent H umnožak je apsorbirane doze D ionizacijskoga zračenja i nedimenzijskoga 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 doznoga 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 doznoga 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 doznoga ekvivalenta H .

CIPM, 2003.

■ Preradba uputa za praktično ostvarenje definicije metra (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 frekvencijskoga 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 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 znatnoga smanjenja nesigurnosti,

predlaže da se popis preporučenih zračenja preradi kako bi uključio sljedeće

- posuvremenjene vrijednosti frekvencije za jedan uhvaćeni $^{88}\text{Sr}^+$ ion kvadrupolnoga prijelaza i jedan uhvaćeni $^{171}\text{Yb}^+$ oktopolni prijelaz
- posuvremenjena 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.

22. CGPM, 2003.

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

10. rezolucija

22. opća konferencija za utege i mjere,

uzimajući u obzir:

- da je glavna svrha međunarodnoga 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 često sadržava veći broj znamenaka s cjelobrojnim i decimalnim dijelom
- da je u 7. rezoluciji 9. opće konferencije (1948.) utvrđeno da se „za odvajanje cjelobrojnoga od decimalnoga dijela u brojevima upotrebljavaju samo zarez (francuska praksa) ili točka (britanska praksa)”
- da na temelju odluke Međunarodnoga odbora donesene na 86. sastanku (1997.) Međunarodni ured za utege i mjere sada upotrebljava točku kao decimalni znak u svim inačicama svojih publikacija na engleskome jeziku, uključujući engleski tekst SI brošure (konačne međunarodne referencije o SI-ju), pri čemu je zarez zadržan kao decimalni znak koji se upotrebljava u svim njegovim publikacijama na francuskome jeziku
- da ipak neka međunarodna tijela upotrebljavaju zarez kao decimalni znak i u svojim dokumentima na engleskome jeziku
- da nadalje neka međunarodna tijela, uključujući neke međunarodne normirne organizacije, specificiraju da u svim jezicima decimalni znak treba biti zarez
- da je propisivanje zareza kao decimalnoga znaka u mnogim jezicima u sukobu s uobičajenom uporabom točke kao decimalnoga znaka u tim jezicima
- da se u nekim jezicima koji su materinski jezici u više zemalja kao decimalni 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 znak za decimalni 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. rezoluciji 9. CGPM-a (1948.)

CIPM, 2005.

■ **Objašnjenje definicije kelvin, jedinice termodinamičke temperature** (PV, 73, i *Metrologia*, 2006., 43, 177-178)*

2. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM),

Kelvin je 2018. godine redefinirao 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

uzimajući u obzir:

- da se kelvin, jedinica termodinamičke temperature, definira kao dio 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 pojava sada jedan od glavnih izvora opažene promjenjivosti između različitih ostvarenja trojne točke vode,

odlučuje:

- da se definicija kelvina odnosi na vodu specificiranoga sastava izotopa
- da taj sastav treba biti:
0,000 155 76 mola ^2H po molu od ^1H
0,000 378 9 mola ^{17}O po molu od ^{16}O
0,002 005 2 mola ^{18}O po molu od ^{16}O ,

što je sastav referentne tvari bečke normirane srednje vrijednosti oceanske vode (Vienna Standard Mean Ocean Water, VSMOW) Međunarodne agencije za atomsku energiju, koji je preporučio IUPAC u tehničkom izvještaju *Atomske mase elemenata – Pregled 2000 (Atomic Weights of the Elements – Review 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, 73, u *Metrologiji* koja je u tisku, 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 optičkoga 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 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 $^{88}\text{Sr}^+$ kvadrupolni prijelaz
- posuvremenjene vrijednosti frekvencija za prijelaz atoma Ca
- posuvremenjene vrijednosti frekvencija za stabilizirani etalon C_2H_2 na 1,54 μm
- posuvremenjene vrijednosti frekvencija za stabilizirani etalon I_2 na 515 nm
- frekvencije prijelaza atoma ^{87}Sr na 698 nm

- frekvencije dvofotonskih prijelaza atoma ^{87}Rb na 760 nm
- frekvencije pojasa $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ ($\nu_1 + \nu_3$) i $^{13}\text{C}_2\text{H}_2$ ($\nu_1 + \nu_3$) i pojaseva ($\nu_1 + \nu_2 + \nu_4 + \nu_5$) na 1,54 μm .

CIPM, 2006.

■ O sekundarnim prikazima sekunde (PV, 74, 249 i *Metrologia*, 2007, 44, 97)

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM),

uzimajući u obzir:

- da se mora uspostaviti opći popis „preporučenih vrijednosti etalonskih frekvencija za primjene uključujući praktično ostvarenje metra i sekundarne prikaze sekunde“
- da je zajednička radna skupina (JWG) CCL-a/CCTF-a za praktično ostvarenje (*Mise en Pratique*) definicije metra i sekundarnih prikaza sekunde na svojem sastanku u Međunarodnome uredu za utege i mjere (BIPM) u rujnu 2005. godine raspravljala o mogućim kandidatima koje treba uključiti u taj popis za sekundarne prikaze sekunde
- da je JWG CCL-a/CCTF-a na svojoj sjedinici u rujnu 2006. godine ocijenio i posuvremenio vrijednosti za frekvencijske prijelaze za ion Hg, ion Sr, ion Yb i neutralni atom Sr
- da je CCTF već u svojoj preporuci CCTF 1 (2004.) preporučio neperturbirano temeljno stanje frekvencije hiperfinoga kvantnog prijelaza od ^{87}Rb kao sekundarni prikaz sekunde,

preporučuje da se u novome popisu „preporučenih vrijednosti etalonskih frekvencija za primjene uključujući praktično ostvarenje metra i sekundarne prikaze sekunde“ kao sekundarni prikazi sekunde moraju upotrebljavati sljedeće frekvencije prijelaza:

- neperturbirano temeljno stanje frekvencije hiperfinoga kvantnog prijelaza ^{87}Rb s frekvencijom $\nu^{87}\text{Rb} = 6\,834\,682\,610\,904\,324\text{ Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 3×10^{-15}
- neperturbirani optički prijelaz $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ iona $^{88}\text{Sr}^+$ s frekvencijom od $\nu^{88}\text{Sr}^+ = 444\,779\,044\,095\,484\text{ Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od 7×10^{-15}
- neperturbirani optički prijelaz $5d^{10}\ 6s\ ^2S_{1/2} (F=0) - 5d^9\ 6s^2\ ^2D_{5/2} (F=2)$ iona $^{199}\text{Hg}^+$ s frekvencijom od $\nu^{199}\text{Hg}^+ = 1\,064\,721\,609\,899\,145\text{ Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od 3×10^{-15}
- neperturbirani optički prijelaz $6s\ ^2S_{1/2} (F=0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F=2)$ iona $^{171}\text{Yb}^+$ s frekvencijom od $\nu^{171}\text{Yb}^+ = 688\,358\,979\,309\,308\text{ Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od 9×10^{-15}
- neperturbirani optički prijelaz $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{87}Sr s frekvencijom od $\nu^{87}\text{Sr} = 429\,228\,004\,229\,877\text{ Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od $1,5 \times 10^{-14}$.

CIPM, 2007.

■ Revizija praktičnoga ostvarenja (*mise en pratique*) popisa preporučenih zračenja (PV, 75, 185)

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere,

uzimajući u obzir:

- da su poboljšane vrijednosti frekvencija molekula u području optičkih telekomunikacija, koje su već dokumentirane u popisu etalonskih frekvencija, određene femtosekundnim mjerenjima femtosekundnoga češlja
- da su frekvencije molekula u području optičkih telekomunikacija određene femtosekundnim mjerenjima frekvencijskoga češlja prvi put
- da su s pomoću femtosekundnih mjerenja na temelju frekvencijskoga češlja prvi put određene frekvencije apsorpcija određenih jednih članaka optičkoga frekvencijskog etalona koje su bliske 532 nm

predlaže da se popis etalonskih frekvencija revidira kako bi uključivao sljedeće:

- posuvremenjeni popis vrijednosti frekvencija za pojas $^{12}\text{C}_2\text{H}_2$ ($\nu_1 + \nu_3$) na 1,54 μm
- dodavanje frekvencijskih vrijednosti za pojas $^{12}\text{C}_2\text{HD}$ ($2\nu_1$) na 1,54 μm
- dodavanje frekvencijskih vrijednosti za hiperfine sastavnice jodnih prijelaza P(142) 37-0, R(121) 35-0 i R(85) 33-0 na 532 nm.

23. CGPM, 2007.

■ **O reviziji praktičnoga ostvarenja (*mise en pratique*) definicije metra i razvoj novih optičkih frekvencijskih etalona** (CR, 431)

9. rezolucija

23. opća konferencija;

uzimajući u obzir

- da su provedena brza i važna poboljšanja u performansijama optičkih frekvencijskih etalona
- da se za povezivanje optičkih i mikrovalnih zračenja na jednome mjestu sada svakodnevno upotrebljava metoda femtosekundnoga češlja
- da nacionalni mjeriteljski instituti (NMI) rade na metodama usporedbe za optičke frekvencijske etalone na kratkim udaljenostima
- da je na međunarodnoj razini potrebno razviti metode daljinskoga uspoređivanja tako da se mogu uspoređivati optički frekvencijski etaloni,

pozdravlja:

- djelatnosti Zajedničke radne skupine Savjetodavnoga odbora za duljinu i Savjetodavnoga odbora za vrijeme i frekvenciju kako bi se ocijenile frekvencije optičkih prikaza sekunde
- dopune praktičnomu ostvarenju (*mise en pratique*) definicije metra i popis preporučenih zračenja koji je sastavio Međunarodni odbor 2002., 2003., 2005., 2006. i 2007. godine
- inicijativu Međunarodnoga ureda za utege i mjere (BIPM) kako bi se pokrenulo pitanje o tome kako uspoređivati optičke frekvencijske etalone

preporučuje:

- da NMI daju sredstva za razvoj optičkih frekvencijskih etalona i za njihovu usporedbu
- da BIPM radi na usklađivanju kojega međunarodnog projekta sa sudjelovanjem NMI-ja koji bi bio usmjeren na proučavanje metoda koje bi mogle poslužiti za usporedbu optičkih frekvencijskih etalona.

■ **Objašnjenje definicije kelvina, jedinice termodinamičke temperature** (CR, 432)

10. rezolucija

23. opća konferencija,

uzimajući u obzir:

- da je kelvin, jedinica termodinamičke temperature, definiran kao dio $1/273,16$ termodinamičke temperature trojne točke vode
- da je temperatura trojne točke vode ovisna o relativnoj količini izotopa vodika i kisika koji postoje u uzorku upotrijebljene vode
- da je taj učinak sad jedan od glavnih izvora opažene promjenjivosti među različitim ostvarenjima trojne točke vode,

prima na znanje i pozdravlja odluku Međunarodnoga odbora za utege i mjere iz listopada 2005. godine, na temelju savjeta Savjetodavnoga odbora za termometriju:

- da se definicija kelvina odnosi se na vodu specificiranoga izotopnog sastava,

Kelvin je 2018. godine redefinirao 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

- da taj sastav treba biti:

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

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

0,000 005 2 mola ^{18}O po molu ^{16}O ,

što je sastav referentne tvari bečke normirane srednje vrijednosti oceanske vode (Vienna Standard Mean Ocean Water, VSMOW) Međunarodne agencije za atomsku energiju koji je preporučio IUPAC u tehničkom izvještaju *Atomske mase elemenata – Pregled 2000* (*Atomic Weights of the Elements – Review 2000*),

- taj sastav treba utvrditi u napomeni koja je pridružena definiciji kelvina u SI brošuri na sljedeći način:

„Tom se definicijom upućuje na vodu koja ima izotopni sastav 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 0,000 005 2 mola ^{18}O po molu ^{16}O “.

■ O mogućoj redefiniciji određenih osnovnih jedinica međunarodnoga sustava jedinica (SI) (CR, 434)

Reviziju SI-ja konačno je 2018. godine odobrio 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

12. rezolucija

23. opća konferencija,

uzimajući u obzir:

- da su godinama nacionalni mjeriteljski instituti (NMI) te Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM) ulagali znatne napore za napredak i poboljšanje međunarodnoga sustava jedinica (SI) širenjem granica mjeriteljstva kako bi se osnovne jedinice SI-ja mogle definirati s pomoću prirodnih invarijanata – temeljnih fizičkih stalnica
- da je od sedam osnovnih jedinica SI-ja još uvijek jedino kilogram definiran s pomoću stvarne rukotvorine – međunarodne pramjere kilograma (2. CGPM, 1889, 3. CGPM, 1901.) te da definicije ampera, mola i kandelevise o kilogramu
- da je 7. rezolucija 21. opće konferencije (1999.) preporučivala da „nacionalni laboratoriji nastave svoje napore na poboljšanju pokusa kojima se povezuje jedinica mase s temeljnim ili atomskim stalnicama sa stajališta buduće redefinicije kilograma“
- velik napredak koji je učinjen posljednjih godina u pokusima koji povezuju masu međunarodne pramjere kilograma s Planckovom stalnicom h ili Avogadrovom stalnicom N_A
- inicijative da se odredi vrijednost broja bitnih temeljnih stalnica, uključujući rad na ponovnome određivanju Boltzmannove stalnice k_B
- da kao rezultat najnovijega napretka postoje značajive implikacije za redefiniciju kilograma, ampera, kelvina i mola i moguće koristi od toga
- preporuku Međunarodnoga odbora (C1-2005) na njegovu sastanku u listopadu 2005. te različite preporuke savjetodavnih odbora o tome predmetu redefinicije jedne ili više osnovnih jedinica SI-ja,

ističe:

- da sve promjene definicija jedinica SI-ja moraju biti ograničene samokonzistentnošću
- da je poželjno da definicije osnovnih jedinica budu lako razumljive
- rad Međunarodnoga odbora i njegovih savjetodavnih odbora
- potrebu za praćenjem rezultata bitnih pokusa
- traženje komentara i doprinosa od šire zajednice znanstvenika i korisnika
- odluku Međunarodnoga odbora iz 2005. godine da se načelno odobri priprema novih definicija kilograma, kelvina i mogućnost redefiniranja mola,

preporučuje da nacionalni mjeriteljski instituti i BIPM:

- nastave odgovarajuće pokuse tako da Međunarodni odbor može dobiti uvid je li moguće redefinirati kilogram, amper, kelvin i mol uporabom fiksnih vrijednosti temeljnih stalnica u vrijeme 24. opće konferencije (2011.)
- rade zajedno s Međunarodnim odborom, njegovim savjetodavnim odborima i odgovarajućim radnim skupinama, na praktičnim načinima ostvarivanja svih novih definicija koje se temelje na fiksnim vrijednostima temeljnih stalnica, pripreme praktična ostvarenja (*mise en pratique*) za svaku od njih te razmotre najprikladniji način za objašnjenje novih definicija korisnicima
- pokrenu kampanje svjesnosti kako bi upozorile zajednice korisnika na mogućnost redefinicija te da se pažljivo rasprave i razmotre tehničke i znanstvene posljedice takvih novih definicija i njihovih ostvarivanja u praksi

te zahtijeva od Međunarodnoga odbora da o tim pitanjima izvijesti 24. opću konferenciju 2011. godine te da poduzme sve moguće pripreme koje smatra potrebnim tako da se, ako rezultati pokusa budu zadovoljavajući i ako budu zadovoljene potrebe korisnika, 24. općoj konferenciji mogu podnijeti formalni prijedlozi za promjene definicija kilograma, ampera, kelvina i mola.

CIPM, 2009.

■ Posuvremenjivanje popisa etalonskih frekvencija (PV, 77, 235)

2. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM),

uzimajući u obzir:

- da je sastavljen opći popis *Preporučenih vrijednosti etalonskih frekvencija za primjene uključujući praktično ostvarenje metra i sekundarne prikaze sekunde*
- da je radna skupina (FSWG) za frekvencijske etalone CCL-a/CCTF-a pregledala nekoliko mogućih kandidata za uključivanje na popis,

preporučuje:

da se u popis preporučenih etalonskih frekvencija uključe sljedeće prijelazne frekvencije:

- neperturbirani optički prijelaz $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{87}Sr s frekvencijom $f = 429\ 228\ 004\ 229\ 873,7\ \text{Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od 1×10^{-15} (to je zračenje već odobrio CIPM kao sekundarni prikaz sekunde)
- neperturbirani optički prijelaz $5s^2\ ^1S_0 - 5s\ 5p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{88}Sr s frekvencijom $f = 429\ 228\ 066\ 418\ 012\ \text{Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od 1×10^{-14}
- neperturbirani optički prijelaz $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$ iona $^{40}\text{Ca}^+$ s frekvencijom $f = 411\ 042\ 129\ 776\ 393\ \text{Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od 4×10^{-14}
- neperturbirani optički prijelaz $^2S_{1/2} (F = 0) - ^2F_{7/2} (F = 3, m_F = 0)$ iona $^{171}\text{Yb}^+$ s frekvencijom $f = 642\ 121\ 496\ 772\ 657\ \text{Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od 6×10^{-14}
- neperturbirani optički prijelaz $6s^2\ ^1S_0 (F = 1/2) - 6s\ 6p\ ^3P_0 (F = 1/2)$ neutralnoga atoma ^{171}Yb s frekvencijom $f = 518\ 295\ 836\ 590\ 864\ \text{Hz}$ i relativnom standardnom nesigurnošću od $1,6 \times 10^{-13}$.

24. CGPM, 2011.

■ O mogućoj budućoj reviziji međunarodnoga sustava jedinica (SI) (CR, 532)

1. rezolucija

Opća konferencija za utege i mjere (CGPM) na svojem 24. sastanku,

uzimajući u obzir:

- međunarodni konsenzus o važnosti, vrijednosti i mogućim koristima od redefiniranja niza jedinica međunarodnoga sustava jedinica (SI)

Reviziju SI-ja konačno je 2018. godine odobrio 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

- da su nacionalni mjeriteljski instituti (NMI) i Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM) tijekom posljednjih nekoliko desetljeća s pravom uložili velik napor kako bi se unaprijedio međunarodni sustav jedinica (SI) proširenjem granica mjeriteljstva tako da bi se osnovne jedinice SI-ja mogle definirati s pomoću prirodnih invarijanata – temeljnih fizičkih stalnica ili svojstava atoma
- da je istaknut primjer uspjeha takvih napora sadašnja definicija jedinice duljine SI-ja, metra (17. sastanak GPM-a, 1983., 1. rezolucija), kojom je ona povezana s točnom vrijednošću brzine svjetlosti u vakuumu c , tj. 299 792 458 metara u sekundi
- da je od sedam osnovnih jedinica SI-ja još uvijek jedino kilogram definiran s pomoću stvarne rukotvorine, tj. međunarodne pramjere kilograma (1. sastanak CGPM-a, 1889. i 3. CGPM, 1901.) te da definicije ampera, mola i kandeleva ovise o kilogramu
- da, premda je međunarodna pramjera dobro služila znanosti i tehnici otkad ju je ozakonio CGPM na svojem 1. sastanku 1889. godine, ona ima mnogo ograničenja, od čega je jedno od najvažnijih to što masa nije izravno povezana s prirodnom invarijantom te kao posljedica toga nije osigurana njezina dugoročna stabilnost
- da je CGPM na svojem 21. sastanku 1999. godine prihvatio 7. rezoluciju, u kojoj se preporučuje da „nacionalni laboratoriji nastave svoje napore na poboljšanju pokusa kojima se povezuje jedinica mase s temeljnim ili atomskim stalnicama sa stajališta buduće redefinicije kilograma“
- da je posljednjih godina učinjen velik napredak u pokusima kojima se povezuje masa međunarodne pramjere kilograma s Planckovom stalnicom h metodama koje uključuju vane vage i mjerenja mase silicijeva atoma
- da bi se nesigurnosti svih električnih jedinica SI-ja koje se ostvaruju izravno s pomoću Josephsonova i kvantnoga Hallova pojava zajedno s vrijednostima u SI-ju Josephsonove i von Klitzingove stalnice K_J i R_K mogle znatno smanjiti kad bi se kilogram redefinirao tako da bude povezan s točnom brojčanom vrijednošću stalnice h , a amper redefinirao tako da bude povezan s točnom brojčanom vrijednošću elementarnoga naboja e
- da je kelvin izravno definiran s pomoću unutrašnjega svojstva vode koje, premda je prirodna invarijanta, u praksi ovisi o čistoći i izotopnome sastavu upotrijebljene vode,
- da je kelvin moguće redefinirati tako da se poveže s točnom brojčanom vrijednošću Boltzmannove stalnice k_B
- da je također moguće redefinirati mol tako da se poveže s točnom brojčanom vrijednošću Avogadrove stalnice N_A , te tako više ne ovisi o definiciji kilograma čak i kad se kilogram definira tako da bude povezan s točnom brojčanom vrijednošću stalnice h , čime se ističe razlika između količine tvari i mase
- da bi se uklonile ili u velikoj mjeri smanjile nesigurnosti vrijednosti mnogih drugih važnih temeljnih stalnica i faktora pretvorbe energije kad bi h , e , k i N_A imali točne vrijednosti kad se izražavaju u jedinicama SI-ja
- da je Opća konferencija na svojem 23. sastanku 2007. godine prihvatila 12. rezoluciju kojom je ona u općim crtama prikazala rad koji bi trebali provesti nacionalni mjeriteljski instituti, BIPM i Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) zajedno sa savjetodavnim odborima tako da bi se mogle prihvatiti nove definicije kilograma, ampera, kelvina i mola s pomoću temeljnih stalnica
- da, premda je taj rad dobro uznapredovao, nisu zadovoljeni svi zahtjevi utvrđeni 12. rezolucijom koju je prihvatila Opća konferencija na svojem 23. sastanku 2007. godine tako da Međunarodni odbor za utege i mjere još ne može izraditi konačni prijedlog
- da se, ipak, sada može predložiti jasan i detaljan prikaz inačice koja će vjerojatno biti predložena,

prima na znanje namjeru Međunarodnoga odbora za utege i mjere da predloži reviziju SI-ja na sljedeći način:

- Međunarodni sustav jedinica (SI) bit će sustav jedinica u kojem je:
 - temeljno stanje frekvencije hiperfinoga prijelaza cezijeva atoma $133 \Delta \nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}}$ jednako točno 9 192 631 770 herca

- brzina svjetlosti u vakuumu c jednaka točno 299 792 458 metara u sekundi
- Planckova stalnica h jednaka točno $6,626\,06 \times 10^{-34}$ džulsekunda*
- elementarni naboj e jednak točno $1,602\,17 \times 10^{-19}$ kulona
- Boltzmannova stalnica k jednaka točno $1,380\,6 \times 10^{-23}$ džula po kelvinu
- Avogadrova stalnica N_A jednaka $6,022\,14 \times 10^{23}$ recipročnih mola
- svjetlosna djelotvornost K_{cd} jednobojnoga zračenja frekvencije 540×10^{12} Hz jednaka 683 lumena po vatu,

* Znak X koji se pojavljuje u izrazima za stalnice označuje da ta znamenka nije bila poznata u vrijeme te rezolucije.

pri čemu:

- herc, džul, kulon, lumen i vat sa znakovima jedinica Hz, J, C, lm i W povezani su redom s jedinicama sekundom, metrom, kilogramom, amperom, kelvinom, molom i kandelom sa znakovima jedinica s, m, kg, A, K, mol i cd, u skladu s izrazima $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-2}$, $\text{C} = \text{s A}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ i $\text{W} = \text{m}^2 \text{kg s}^{-3}$
- znak X u nacrtu rezolucije predstavlja jednu ili više dodatnih znamenaka koje je potrebno dodati brojčanim vrijednostima stalnica h , e , k i N_A uporabom vrijednosti koje se temelje na najnovijemu ugađanju koje je provela CODATA,

iz čega proizlazi da će SI i nadalje imati postojeći skup od sedam osnovnih jedinica, posebno:

- kilogram će i nadalje biti jedinica mase, ali s iznosom koji će biti određen fiksiranjem brojčane vrijednosti Planckove stalnice, koja je jednaka točno $6,626\,06 \times 10^{-34}$ kad se izražava jedinicama SI-ja $\text{m}^2 \text{kg s}^{-1}$, što je jednako J s
- amper će i nadalje biti jedinica električne struje, ali s iznosom koji će biti određen fiksiranjem brojčane vrijednosti elementarnoga naboja, koja je jednaka točno $1,602\,17 \times 10^{-19}$ kad se izražava jedinicama SI-ja s A, što je jednako C
- kelvin će i nadalje biti jedinica termodinamičke temperature, ali s iznosom koji će biti određen fiksiranjem brojčane vrijednosti Boltzmannove stalnice, koja je jednaka točno $1,380\,6 \times 10^{-23}$ kad se izražava jedinicama SI-ja $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$, što je jednako J K⁻¹
- mol će i nadalje biti jedinica količine tvari specificiranoga elementarnog entiteta, koji može biti atom, molekula, ion, elektron ili koja specificirana skupina takvih čestica, ali s iznosom koji će biti određen fiksiranjem brojčane vrijednosti Avogadrove stalnice, koja je jednaka točno $6,022\,14 \times 10^{23}$ kad se izražava jedinicom SI-ja mol⁻¹.

Opća konferencija za utege i mjere

nadalje napominje:

- da će nove definicije kilograma, ampera, kelvina i mola biti sastavljene na način da se eksplicitno specificiranju stalnice, tj. da će to biti definicije u kojima je jedinica definirana neizravno eksplicitnom specifikacijom točne vrijednosti dobro poznate temeljne stalnice
- da je postojeća definicija metra povezana s točnom vrijednošću brzine svjetlosti u vakuumu što je također dobro poznata temeljna stalnica
- da je postojeća definicija sekunde povezana je s točnom vrijednošću dobro definirana svojstva atoma, što je također prirodna invarijanta
- da se može smatrati da je postojeća definicija kandeke povezana s točnom vrijednošću prirodne invarijante premda ona nije povezana s kojom temeljnom stalnicom
- da bi se poboljšala razumljivost međunarodnoga sustava kad bi za sve njegove osnovne jedinice formulirale na sličan način.

Međunarodni odbor za utege i mjere također će predložiti

preformulaciju postojećih definicija sekunde, metra i kandeke u potpuno istovrijedne definicije koje mogu imati sljedeći oblik:

- sekunda, znak s, jedinica je vremena; njezin je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti frekvencije temeljnoga stanja hiperfinoga cijepanja cezijeva atoma 133 u mirovanju i na temperaturi od 0 K, tako da bude jednaka točno 9 192 631 770 kad se izražava jedinicom SI-ja s^{-1} , koja je jednaka Hz
- metar, znak m, jedinica je duljine; njegov je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti brzine svjetlosti u vakuumu tako da bude jednaka točno 299 792 458 kad se izražava jedinicom SI-ja $m s^{-1}$
- kandela, znak cd, jedinica je svjetlosne jakosti; njezin je iznos utvrđen fiksiranjem brojčane vrijednosti svjetlosne učinkovitosti jednobojnoga zračenja frekvencije 540×10^{12} Hz tako da bude jednaka točno 683 kad se izražava jedinicom SI-ja $m^{-2} kg^{-1} s^3 cd sr$ ili $cd sr W^{-1}$ koja je jednaka $lm W^{-1}$.

Na taj će se način vidjeti da će definicije svih sedam osnovnih jedinica proizlaziti prirodno iz skupa od sedam prethodno danih stalnica.

Posljedica je toga da će se na odabrani dan za provedbu revizije SI-ja:

- ukinuti definicija kilograma koja je na snazi od 1889. godine i koja se temelji na masi međunarodne pramjere kilograma (1. sastanak CGPM-a, 1889., 3. sastanak CGPM-a, 1901.)
- ukinuti definicija ampera koja je na snazi od 1948. godine i koja se temelji na definiciji koju je predložio Međunarodni odbor (CIPM, 1946, 2. rezolucija)
- ukinuti dogovorene vrijednosti Josephsonove stalnice K_{J-90} i von Klitzingove stalnice R_{K-90} koje je prihvatio Međunarodni odbor (CIPM, 1988. 1. i 2. rezolucija) na zahtjev Opće konferencije (8. sastanak CGPM-a, 1987., 6. rezolucija) za uspostavljanje prikaza redom volta i oma uporabom Josephsonova i kvantnoga Hallova pojava
- ukinuti definicija kelvina koja je na snazi od 1967./68. godine (13. sastanak CGPM, 1967./68., 4. rezolucija) i koja se temelji na manje eksplicitnoj definiciji (10. sastanak CGPM-a, 1954., 3. rezolucija)
- ukinuti definicija mola koja je na snazi od 1971. godine (14. sastanak CGPM-a, 1971., 3. rezolucija) i koja se temelji na definiciji u kojoj je molarna masa ugljika 12 imala točnu vrijednost od 0,012 $kg mol^{-1}$
- ukinut će se redom postojeće definicije metra, sekunde i kande le koje su na snazi od kad ih je prihvatio CGPM na svojem 17. (1983., 1. rezolucija), 13. (1967./68., 1. rezolucija) i 16. (1979., 3. rezolucija) sastanku.

Opća konferencija za utege i mjere

dalje napominje da će na isti datum:

- masa međunarodne pramjere kilograma $m(k)$ biti jednaka 1 kg, ali s relativnom standardnom nesigurnošću koja je jednaka nesigurnosti preporučene vrijednosti stalnice h prije redefinicije te da će se ubuduće njezina vrijednost određivati eksperimentalno
- magnetska stalnica (permeabilnost vakuuma) μ_0 biti jednaka $4\pi \times 10^{-7} H m^{-1}$, ali s relativnom nesigurnošću koja je jednaka nesigurnosti preporučene vrijednosti stalnice fine strukture alfa te da će se ubuduće njezina vrijednost određivati eksperimentalno
- termodinamička temperatura trojne točke vode T_{TPW} biti jednaka 273,16 K s relativnom nesigurnošću koja je jednaka nesigurnosti preporučene vrijednosti stalnice k neposredno prije redefinicije te da će se ubuduće njezina vrijednost određivati eksperimentalno
- molarna masa ugljika 12 $M(^{12}C)$ biti jednaka 0,012 $kg mol^{-1}$, ali s relativnom nesigurnošću koja je jednaka nesigurnosti preporučene vrijednosti stalnice $N_A h$ neposredno prije redefinicije te da će se ubuduće njezina vrijednost određivati eksperimentalno.

Opća konferencija za utege i mjere

potiče:

- istraživače u nacionalnim mjeriteljskim institutima, BIPM-u i znanstvenim ustanovama da nastave svoje napore i da objavljuju znanstvenoj zajednici općenito i CODATA-i posebno rezultate svojega rada koji su bitni za određivanje stalnica h , e , k i N_A
- BIPM da nastavi svoj rad na povezivanju sljedivosti pramjera koje održava s međunarodnom pramjerom kilograma te da pri razvoju skupa referentnih etalona olakša prijenos jedinice mase kad bude redefinirana

poziva:

- CODATA-u da nastavi osiguravati usklađene vrijednosti temeljnih fizičkih stalnica koje se temelje na svim bitnim dostupnim informacijama te da o tim rezultatima obavijesti Međunarodni odbor preko njegova Savjetodavnoga odbora za jedinice jer će se te vrijednosti i nesigurnosti CODATA upotrebljavati za revidirani SI
- CIPM da izradi prijedlog za reviziju SI-ja čim budu ispunjene preporuke 1. rezolucije 23. opće konferencije, posebno pripremi praktično ostvarenje (*mise en pratique*) za nove definicije kilograma, ampera, kelvina i mola
- CIPM da nastavi svoj rad na poboljšavanju formulacija za definicije osnovnih jedinica SI-ja s pomoću temeljnih stalnica kako bi se dobio što je moguće lakše razumljiv opis za korisnike općenito, konzistentan sa znanstvenom strogošću i jasnoćom
- CIPM, savjetodavne odbore, BIPM, OIML i nacionalne mjeriteljske institute da znatnije pojačaju svoje napore da pokrenu kampanje svjesnosti kojima je cilj upozoravanje zajednica korisnika i javnosti na namjeru da se redefiniraju različite jedinice SI-ja te da potiče razmatranja praktičnih, tehničkih i zakonskih implikacija takvih redefinicija, tako da se mogu tražiti komentari i doprinosi širih znanstvenih i korisničkih zajednica.

■ **O reviziji praktičnoga ostvarenja (*mise en pratique*) metra i razvoj novih optičkih frekvencijskih etalona (CR, 546)**

8. rezolucija

Opća konferencija za utege i mjere (CGPM) na svojem 24. sastanku,

uzimajući u obzir:

- da su provedena brza i važna poboljšanja u performansijama optičkih frekvencijskih etalona
- da nacionalni mjeriteljski instituti rade na metodama usporedbe za optičke frekvencijske etalone na kratkim udaljenostima
- da je na međunarodnoj razini potrebno razviti metode daljinskoga uspoređivanja tako da se mogu uspoređivati optički frekvencijski etaloni,

pozdravlja:

- djelatnosti Zajedničke radne skupine CCTF-a i CCL-a kako bi se ocijenile frekvencije optičkih prikaza sekunde,
- zajedničkom popisu *Preporučenih vrijednosti etalonskih frekvencija za primjene koje uključuju praktična ostvarenja metra i sekundarne prikaze sekunde*,
- uspostavljanje radne skupine CCTF-a za usklađivanje razvoja naprednih metoda prijenosa vremena i frekvencije

preporučuje:

- da nacionalni mjeriteljski instituti ulažu sredstva u razvoj optičkih frekvencijskih etalona i njihovu usporedbu
- da BIPM podupire usklađivanje kojega međunarodnog projekta uz sudjelovanje nacionalnih mjeriteljskih instituta, koji bi bio usmjeren na istraživanje metoda koje bi se mogle upotrebljavati za usporedbu optičkih frekvencijskih etalona.

CIPM, 2013.

■ Posuvremenjivanje popisa etalonskih frekvencija (PV, 81, 144)

1. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM),

uzimajući u obzir da:

- opći je utvrđen popis *Preporučenih vrijednosti etalonskih frekvencija za primjene uključujući praktično ostvarenje metra i sekundarne prikaze sekunde*,
- da je radna skupina za frekvencijske etalone (FSWG) CCL-a/CCTF-a ocijenila nekoliko kandidata za uključivanje na taj popis,

preporučuje sljedeće promjene u popisu *Preporučenih vrijednosti etalonskih frekvencija za primjene uključujući praktično ostvarenje metra i sekundarne prikaze sekunde*:

- da se tome popisu doda sljedeća prijelazna frekvencija
 - neperturbirani optički prijelaz $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{199}Hg s frekvencijom od 1 128 575 290 808 162 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,7 \times 10^{-14}$
- da se u tome popisu posuvremene sljedeće prijelazne frekvencije
 - neperturbirani optički prijelaz $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$ iona $^{40}\text{Ca}^+$ s frekvencijom od 411 042 129 776 395 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,5 \times 10^{-14}$
 - neperturbirani optički prijelaz $1S - 2S$ neutralnoga atoma ^1H s frekvencijom od 1 233 030 706 593 518 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,2 \times 10^{-14}$

Napomena: Ta frekvencija odgovara polovini razlike energije između stanja 1S i 2S.

- da se u popis sekundarnih prikaza sekunde dodaju sljedeće prijelazne frekvencije:
 - neperturbirani optički prijelaz $6s\ ^2S_{1/2} - 4f\ ^{13}6s^2\ ^2F_{7/2}$ iona $^{171}\text{Yb}^+$ (oktopol) s frekvencijom od 642 121 496 772 645,6 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,3 \times 10^{-15}$
 - neperturbirani optički prijelaz $6s^2\ ^1S_0 - 6s\ 6p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{171}Yb s frekvencijom od 518 295 836 590 865,0 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $2,7 \times 10^{-15}$
- da se u popis sekundarnih prikaza sekunde doda sljedeća prijelazna frekvencija:
 - neperturbirani optički prijelaz $3s^2\ ^1S_0 - 3s\ 3p\ ^3P_0$ iona $^{27}\text{Al}^+$ s frekvencijom od 1 121 015 393 207 857,3 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,9 \times 10^{-15}$
- da se u popisu sekundarnih prikaza sekunde posuvremene sljedeće prijelazne frekvencije:
 - neperturbirani optički prijelaz $5d\ ^{10}6s\ ^2S_{1/2} - 5d\ ^96s^2\ ^2D_{5/2}$ iona $^{199}\text{Hg}^+$ s frekvencijom od 1 064 721 609 899 145,3 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,9 \times 10^{-15}$
 - neperturbirani optički prijelaz $6s\ ^2S_{1/2} (F = 0, m_F = 0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F = 0, m_F = 0)$ iona $^{171}\text{Yb}^+$ (kvadrupola) s frekvencijom od 688 358 979 309 307,1 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 3×10^{-15}
 - neperturbirani optički prijelaz $5s^2\ ^1S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ iona $^{88}\text{Sr}^+$ s frekvencijom od 444 779 044 095 485,3 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $4,0 \times 10^{-15}$

- neperturbirani optički prijelaz $5s^2\ ^1S_0 - 5s5p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{87}Sr s frekvencijom od 429 228 004 229 873,4 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 1×10^{-15}
- da se sekundarni prikaz sekunde posuvremeni sljedećom prijelaznom frekvencijom:
 - neperturbirano temeljno stanje hiperfinoga prijelaza ^{87}Rb s frekvencijom od 6 834 682 610,904 312 Hz i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,3 \times 10^{-15}$.

Napomena: Pretpostavlja se da vrijednost procijenjene standardne nesigurnosti odgovara razini povjerenja od 68 %. Međutim, s obzirom na ograničenu dostupnost podataka postoji mogućnost da se naknadno pokaže da to možda nije točno.

25. CGPM, 2014.

■ O budućoj reviziji međunarodnoga sustava jedinica (SI) (CR, 416 i *Metrologia*, 2015, 52, 155)

Reviziju SI-ja konačno je 2018. godine odobrio 26. CGPM (1. rezolucija, vidi str. 81).

1. rezolucija

Opća konferencija za utege i mjere (CGPM) na svojem 25. sastanku,

podsjecaјуći:

- na 1. rezoluciju koju je prihvatio CGPM na svojem 24. sastanku (2011.) kojom se iskazuje namjera Međunarodnoga odbora za utege i mjere (CIPM) da predloži reviziju SI-ja kojom bi se povezale definicije kilograma, ampera, kelvina i mola redom s točnim brojčanim vrijednostima Planckove stalnice h , elementarnoga naboja e , Boltzmannove stalnice k i Avogadrove stalnice N_A , te čime bi se revidirao način na koji je definiran SI uključujući i tekst definicija jedinica za vrijeme, duljinu, masu, električnu struju, termodinamičku temperaturu, količinu tvari i svjetlosnu jakost tako da bude očigledno na kojim se referentnim stalnicama SI temelji
- na mnoge prednosti takve revizije koje su ukratko prikazane 1. rezolucijom koje će biti korisne znanosti, tehnici, industriji i trgovini, posebno zbog povezivanja kilograma s prirodnom stalnicom, a ne masom tvarne rukotvorine, čime se osigurava njegova dugoročna stabilnost
- na 7. rezoluciju koju je prihvatio CGPM na svojem 21. sastanku (1999.), kojom se potiče rad u nacionalnim mjeriteljskim institutima (NMI) koji može dovesti do takve redefinicije kilograma
- na 12. rezoluciju koju je prihvatio CGPM na svojem 23. sastanku (2007.), kojom se u općim crtama prikazuje rad koji bi trebali obaviti nacionalni mjeriteljski instituti, Međunarodni ured za utege i mjere (BIPM) i CIPM zajedno sa savjetodavnim odborima kojim bi se omogućila planirana revizija SI-ja koju treba prihvatiti CGPM,

uzimajući u obzir da je učinjen znatan napredak na dovršenju potrebnoga rada uključujući:

- prikupljanje odgovarajućih podataka i njihovu analizu koje je proveo Odbor za podatke za znanost i tehniku (CODATA) kako bi se dobile zahtijevane vrijednosti stalnica h , e , k i N_A
- uspostavljanje skupa referentnih etalona mase koje je proveo BIPM kako bi se osiguralo prenošenje jedinice mase u revidirani SI
- pripremu praktičnih ostvarenja (*mises-en-pratique*) za nove definicije kilograma, ampera, kelvina i mola,

napominje da daljnji rad Savjetodavnoga odbora za jedinice (CCU), CIPM-a, BIPM-a, NMI-ja i CC-a treba usmjeriti na:

- kampanju svjesnosti kako bi se zajednice korisnika te šira javnost upoznale s predloženom revizijom SI-ja
- pripremu 9. izdanja SI brošure koja predstavlja revidirani SI na način da ga mogu razumjeti različiti čitatelji, a da to ne šteti znanstvenoj strogosti

da se unatoč tomu napretku čini da podatci nisu dostatno čvrsti da bi CGPM na svojem 25. sastanku prihvatio revidirani SI,

potiče:

- trajni napor NMI-ja, BIPM-a i znanstvenih i visokoškolskih ustanova kako bi se dobili podatci bitni za određivanje stalnica h , e , k i N_A sa zahtijevanim nesigurnostima
- nacionalne mjeriteljske institute da nastave djelovati preko savjetodavnih odbora kako bi se provela rasprava o podacima i ocijenili ti podatci
- CIPM da nastavi provedbu plana kako bi se preko savjetodavnih odbora i CCU-u osigurao put za provedbu 1. rezolucije koju je prihvatio CGPM na svojem 24. sastanku (2011.) te
- CIPM da zajedno sa savjetodavnim odborima, nacionalnim mjeriteljskim institutima, BIPM-om i drugim organizacijama kao što su Međunarodna organizacija za zakonsko mjeriteljstvo (OIML) nastavi napor da se dovrši sav rad koji je potreban kako bi CGPM na svojem 26. sastanku prihvatio rezoluciju kojom će se sadašnji SI zamijeniti revidiranim SI-jem pod uvjetom da se količina podataka, njihove nesigurnosti i razina suvislosti smatraju zadovoljavajućim.

CIPM, 2015.

■ Posuvremenjivanje popisa etalonskih frekvencija (PV, 83, 207)

2. preporuka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM),

uzimajući u obzir:

- da je utvrđen opći popis *Preporučenih vrijednosti etalonskih frekvencija za primjene uključujući praktično ostvarenje metra i sekundarne prikaze sekunde*
- da je radna skupina za frekvencijske etalone (WGFS) CCL-a i CCTF-a pregledala nekoliko mogućih kandidata za posuvremenjivanje popisa,

preporučuje:

da se u popisu sekundarnih prikaza sekunde posuvremene sljedeće prijelazne frekvencije:

- neperturbirani optički prijelaz $6s^2\ ^1S_0 - 6s6p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{199}Hg s frekvencijom od $f_{199\text{Hg}} = 1\ 128\ 575\ 290\ 808\ 154,8\ \text{Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 6×10^{-16}
- neperturbirani optički prijelaz $6s\ ^2S_{1/2} - 4f^{13}\ 6s^2\ ^2F_{7/2}$ iona $^{171}\text{Yb}^+$ s frekvencijom od $f_{171\text{Yb}^+}(\text{oktopol}) = 642\ 121\ 496\ 772\ 645,0\ \text{Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 6×10^{-16} (to je zračenje već odobrio CIPM kao sekundarni prikaz sekunde)
- neperturbirani optički prijelaz $6s\ ^2S_{1/2} (F=0, m_F=0) - 5d\ ^2D_{3/2} (F=2, m_F=0)$ iona $^{171}\text{Yb}^+$ s frekvencijom od $f_{171\text{Yb}^+}(\text{kvadrupol}) = 688\ 358\ 979\ 309\ 308,3\ \text{Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 6×10^{-16} (to je zračenje već odobrio CIPM kao sekundarni prikaz sekunde)
- neperturbirani optički prijelaz $5s\ ^2S_{1/2} - 4d\ ^2D_{5/2}$ iona $^{88}\text{Sr}^+$ s frekvencijom od $f_{88\text{Sr}^+} = 444\ 779\ 044\ 095\ 486,6\ \text{Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,6 \times 10^{-15}$ (to je zračenje već odobrio CIPM kao sekundarni prikaz sekunde)

Daljnja posuvremenjivanja dostupna su na mrežnim stranicama BIPM-a.

- neperturbirani optički prijelaz $4s\ ^2S_{1/2} - 3d\ ^2D_{5/2}$ iona $^{40}\text{Ca}^+$ s frekvencijom od $f_{40\text{Ca}^+} = 411\,042\,129\,776\,398,4\text{ Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od $1,2 \times 10^{-14}$
- neperturbirani optički prijelaz $1S - 2S$ neutralnoga atoma ^1H s frekvencijom od $f_{^1\text{H}} = 1\,233\,030\,706\,593\,514\text{ Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 9×10^{-15}

Napomena: Ta frekvencija odgovara polovini razlike energije između stanja $1S$ i $2S$.

- neperturbirani optički prijelaz $5s^2\ ^1S_0 - 5s5p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{87}Sr s frekvencijom od $f_{^{87}\text{Sr}} = 429\,228\,004\,229\,873,2\text{ Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 5×10^{-16} (to je zračenje već odobrio CIPM kao sekundarni prikaz sekunde)
- neperturbirani optički prijelaz $6s^2\ ^1S_0 - 6s6p\ ^3P_0$ neutralnoga atoma ^{171}Yb s frekvencijom od $f_{^{171}\text{Yb}} = 518\,295\,836\,590\,864,0\text{ Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 2×10^{-15} (to je zračenje već odobrio CIPM kao sekundarni prikaz sekunde)
- neperturbirano temeljno stanje hiperfinoga prijelaza ^{87}Rb s frekvencijom od $f_{^{87}\text{Rb}} = 6\,834\,682\,610,904\text{ Hz}$ i procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 7×10^{-16} (to je zračenje već odobrio CIPM kao sekundarni prikaz sekunde)

te također **preporučuje**:

da se u popis preporučenih vrijednosti etalonskih frekvencija moraju uključiti sljedeće frekvencije prijelaza:

- apsorbirajuće molekule $^{127}\text{I}_2$, sastavnice a_1 zasićene apsorpcije, prijelaza R(36) 32-0
vrijednosti $f_{a1} = 564\,074\,632,42\text{ MHz}$
 $\lambda_{a1} = 531\,476\,582,65\text{ fm}$

s procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 1×10^{-10} primjenjuju se na zračenje diode lasera DFB s udvostručivanjem frekvencije, stabilizirane jednim člankom izvan lasera.

- Apsorbirajući atom ^{87}Rb , prijelaz $5S_{1/2} - 5P_{3/2}$ između hiperfinih sastavnica d i f zasićene apsorpcije na 780 nm (prijelaz D2)
vrijednosti $f_{d/f\text{ crossover}} = 384\,227\,981,9\text{ MHz}$
 $\lambda_{d/f\text{ crossover}} = 780\,246\,291,6\text{ fm}$

s procijenjenom relativnom standardnom nesigurnošću od 5×10^{-10} primjenjuju se na zračenje lasera s ugodivom diodom, stabilizirano na prijelazu d/f u rubidijevu članku izvan lasera.

Napomena: Pretpostavlja se da vrijednost procijenjene relativne standardne nesigurnosti odgovara razini povjerenja od 68 %. Međutim, s obzirom na ograničenu dostupnost podataka postoji mogućnost da se naknadno pokaže da to možda nije točno.

CIPM, 2017.

■ O napretku prema mogućoj redefiniciji SI-ja (PV, 85, 101)

10. odluka

Međunarodni odbor za utege i mjere (CIPM) pozdravlja preporuke svojih savjetodavnih odbora koje se odnose na redefiniciju SI-ja.

CIPM napominje da su sada zadovoljeni uvjeti dogovoreni za redefiniciju te da je odlučeno razmotriti nacrt Rezolucije A na 26. sastanku Opće konferencije za utege i mjere (CGPM) te poduzeti sve druge potrebne korake kako bi se nastavilo s planiranom redefinicijom kilograma, ampera, kelvina i mola.

26. CGPM, 2018.

■ O reviziji međunarodnoga sustava jedinica (SI) (CR, u tisku i *Metrologia*, 2019, 56, 022001)

1. rezolucija

Opća konferencija za utege i mjere (CGPM) na svojem 26. sastanku,

uzimajući u obzir:

- da je bitni zahtjev za međunarodni sustav jedinica (Système international d'unités, SI) da bude ujednačen i dostupan svugdje u svijetu za međunarodnu trgovinu, visokotehnološku proizvodnju, ljudsko zdravlje i sigurnost, zaštitu okoliša, globalna klimatska proučavanja i temeljnu znanost na kojoj se sve to temelji
- da jedinice SI-ja moraju biti dugoročno stabilne, unutrašnje suvisle i praktično ostvarive na temelju postojećega teorijskog opisa prirode na najvišoj razini
- da je revizija SI-ja kako bi se zadovoljili ti zahtjevi bila predložena 1. rezolucijom, koju je jednoglasno prihvatio CGPM na svojem 24. sastanku (2011.) i kojom je detaljno objašnjen nov način definiranja SI-ja na temelju skupa od sedam definicijskih stalnica, koje su odabrane iz temeljnih fizičkih stalnica i drugih prirodnih stalnica iz kojih su izvedene definicije sedam osnovnih jedinica
- da je CGPM na svojem 25. sastanku (2014.) potvrdio da su sada zadovoljeni uvjeti koje je utvrdio na svojem 24. sastanku (2011.) kako bi se takva revizija SI-ja mogla prihvatiti,

odlučuje

da 20. svibnja 2019. godine stupa na snagu međunarodni sustav jedinica (SI) u kojemu je:

- neperturbirano temeljno stanje frekvencije hiperfinoga prijelaza cezijeva atoma $133 \Delta\nu_{\text{Cs}}$ jednako $9\,192\,631\,770$ Hz
- brzina svjetlosti u vakuumu c jednaka $299\,792\,458$ m/s
- Planckova stalnica h jednaka $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ J s
- elementarni naboj e jednak $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ C
- Boltzmannova stalnica k jednaka $1,380\,649 \times 10^{-23}$ J/K
- Avogadrova stalnica N_A jednaka $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ mol⁻¹
- svjetlosna djelotvornost K_{cd} jednobojnoga zračenja frekvencije 540×10^{12} Hz jednaka 683 lm/W,

pri čemu su herc, džul, kulon, lumen i vat sa znakovima jedinica Hz, J, C, lm i W povezani redom s jedinicama sekundom, metrom, kilogramom, amperom, kelvinom, molom i kandelom sa znakovima jedinica s, m, kg, A, K, mol i cd, u skladu s izrazima $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$, $\text{J} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2}$, $\text{C} = \text{A s}$, $\text{lm} = \text{cd m}^2 \text{m}^{-2} = \text{cd sr}$ i $\text{W} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-3}$

utvrđuje posljedice kako su navedene 1. rezolucijom, koju je prihvatio CGPM na svojem 24. sastanku (2011.), koje se odnose na osnovne jedinice SI-ja te to potvrđuje u sljedećim dodatcima ovoj rezoluciji koji imaju istu snagu kao sama rezolucija

te **poziva** Međunarodni odbor za utege i mjere da izradi novo izdanje brošure *Međunarodni sustav jedinica*, u kojoj će biti dan potpuni opis revidiranoga SI-ja.

Dodatak 1. Ukidanje prijašnjih definicija osnovnih jedinica

Iz prethodno opisane nove definicije SI-ja, koja stupa na snagu od 20. svibnja 2019., proizlazi sljedeće:

- Ukida se definicija sekunde koja je na snazi od 1967./1968. (13. sastanak CGPM-a, 1. rezolucija).
- Ukida se definicija metra koja je na snazi od 1983. (17. sastanak CGPM-a, 1. rezolucija).
- Ukida se definicija kilograma koja je na snazi od 1889. (1. sastanak CGPM-a, 1889., 3. sastanak CGPM-a, 1901.), koja se temeljila na masi međunarodne pramjere kilograma.
- Ukida se definicija ampera koja je na snazi od 1948. (9. sastanak CGPM-a), koja se temeljila na definiciji koju je predložio CIPM (1946., 2. rezolucija).
- Ukida se definicija kelvina koja je na snazi od 1967./68. (13. sastanak CGPM-a, 4. rezolucija).
- Ukida se definicija mola koja je na snazi od 1971. (14. sastanak CGPM-a, 3. rezolucija).
- Ukida se definicija kandeke koja je na snazi od 1979. (16. sastanak CGPM-a, 3. rezolucija).
- Ukida se odluka da se prihvate dogovorene vrijednosti Josephsonove stalnice K_{J-90} i von Klitzingove stalnice R_{K-90} koju je donio CIPM (1988., 1. i 2. preporuka) na zahtjev CGPM-a (18. sastanak CGPM-a, 1987., 6. rezolucija) za utvrđivanje prikaza volta i oma uporabom redom Josephsonova i kvantnoga Hallova pojava.

Dodatak 2. Status stalnica koje su se prethodno upotrebljavale u prijašnjim definicijama

Iz prethodno opisane nove definicije SI-ja te iz preporučenih vrijednosti njihove posebne prilagodbe iz 2017. godine, koju je proveo Odbor za podatke za znanost i tehniku (Committee for Data for Science and Technology, CODATA) na kojima se temelje vrijednosti definicijskih stalnica, proizlazi da će od 20. svibnja 2019. biti na snazi definicije:

- Masa međunarodne pramjere kilograma $m(k)$ jednaka je 1 kg s relativnom standardnom nesigurnošću koja je jednaka nesigurnosti preporučene vrijednosti stalnice h u vrijeme prihvatanja ove rezolucije, tj. $1,0 \times 10^{-8}$, te da će se ubuduće njezina vrijednost određivati eksperimentalno.
- Magnetska permeabilnost vakuuma μ_0 jednaka je $4\pi \times 10^{-7} \text{ H m}^{-1}$ s relativnom standardnom nesigurnošću koja je jednaka nesigurnosti preporučene vrijednosti stalnice fine strukture α u vrijeme prihvatanja ove rezolucije, tj. $2,3 \times 10^{-10}$, te da će se ubuduće njezina vrijednost određivati eksperimentalno.
- Termodinamička temperatura trojne točke vode T_{TPW} jednaka je 273,16 K s relativnom standardnom nesigurnošću koja je veoma bliska nesigurnosti preporučene vrijednosti stalnice k u vrijeme prihvatanja ove rezolucije, tj. $3,7 \times 10^{-7}$, te da će se ubuduće njezina vrijednost određivati eksperimentalno.
- Molarna masa ugljika 12, $M(^{12}\text{C})$ jednaka je $0,012 \text{ kg mol}^{-1}$ s relativnom standardnom nesigurnošću koja je jednaka nesigurnosti preporučene vrijednosti stalnice $N_A h$ u vrijeme prihvatanja ove rezolucije, tj. $4,5 \times 10^{-10}$, te da će se ubuduće njezina vrijednost određivati eksperimentalno.

Dodatak 3. Osnovne jedinice SI-ja

Počevši od prethodno opisane nove definicije SI-ja s pomoću fiksiranih brojčanih vrijednosti definicijskih stalnica definicije svake od sedam osnovnih jedinica izvode se tako da se, po potrebi, uzme jedna ili više od tih definicijskih stalnica kako bi se dobio sljedeći skup definicija koje stupaju na snagu 20. svibnja 2019. godine:

- Sekunda, znak s, jedinica je vremena SI-ja. Ona se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost cezijeve frekvencije $\Delta\nu_{Cs}$ neperturbiranoga temeljnog stanja hiperfinoga frekvencijskog prijelaza atoma cezija 133 fiksirana tako da bude jednaka 9 192 631 770 kad se ona izražava jedinicom Hz koja je jednaka s^{-1} .

- Metar, znak m, jedinica je duljine SI-ja. On se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost brzine svjetlosti u vakuumu c fiksirana tako da bude jednaka 299 792 458 kad se ona izražava jedinicom SI-ja za brzinu m/s, pri čemu se sekunda definira s pomoću $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- Kilogram, znak kg, jedinica je SI-ja za masu. On se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost Planckove stalnice h fiksirana tako da bude jednaka $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$ kad se ona izražava jedinicom SI-ja J s koja je jednaka $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, pri čemu se metar i sekunda definiraju s pomoću c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- Amper, znak A, jedinica je električne struje SI-ja. On se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost elementarnoga naboja e fiksirana tako da bude jednaka $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$ kad se ona izražava jedinicom C, koja je jednaka A s, pri čemu se sekunda definira s pomoću $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- Kelvin, znak K, jedinica je SI-ja termodinamičke temperature. On se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost Boltzmannove stalnice k fiksirana tako da bude jednaka $1,380\,649 \times 10^{-23}$ kad se ona izražava jedinicom J K^{-1} koja je jednaka $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, pri čemu su kilogram, metar i sekunda definirani s pomoću stalnica h , c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- Mol, znak mol, jedinica je SI-ja za količinu tvari. Jedan mol sadržava točno $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ elementarnih entiteta. Taj je broj fiksirana brojčana vrijednost Avogadrove stalnice N_A kad se ona izražava jedinicom mol^{-1} i naziva se Avogadrovim brojem.
Količina tvari, znak n , kojega sustava mjera je broja specificiranih elementarnih entiteta. Elementarni entitet može biti atom, molekula, ion, elektron, koja druga čestica ili specificirana skupina čestica.
- Kandela, znak cd, jedinica je SI-ja svjetlosne jakosti u danome smjeru. Ona se definira tako da se uzme da je brojčana vrijednost svjetlosne djelotvornosti jednobojnoga zračenja frekvencije $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$, K_{cd} fiksirana tako da bude jednaka 683 kad se ona izražava s pomoću jedinice lm W^{-1} , koja je jednaka cd sr W^{-1} ili $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, pri čemu su kilogram, metar i sekunda definirani s pomoću stalnica h , c i $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Dodatak 2. Praktična ostvarenja definicija nekih važnih jedinica

Dodatak 2. objavljuje se samo u elektroničkome obliku i dostupan je na mrežnim stranicama BIPM-a (www.bipm.org)

Dodatak 3. Jedinice fotokemijskih i fotobioloških veličina

Dodatak 3. objavljuje se samo u elektroničkome obliku i dostupan je na mrežnim stranicama BIPM-a (www.bipm.org)

Dodatak 4. Povijesne napomene o razvoju međunarodnoga sustava jedinica i njegovih osnovnih jedinica

1. dio: Povijesni razvoj ostvarenja jedinica SI-ja

Eksperimentalne metode koje se upotrebljavaju za ostvarivanje jedinica uporabom fizičkih jednadžba nazivaju se primarnim metodama. Bitna je značajka primarne metode da ona omogućuje mjerenje veličine kojom posebnom jedinicom izravno iz njezine definicije uporabom samo veličina i stalnica koje same ne sadržavaju tu jedinicu.

Kao jedinica za danu veličinu tradicionalno se uzimao posebni primjerak te veličine koji bi se odabrao tako da se za uobičajena mjerenja dobiju prikladni iznosi brojčanih vrijednosti. Prije nastanka suvremene znanosti jedinice su se nužno definirale s pomoću tvarnih rukotvorina, ponajprije metar i kilogram za duljinu i masu ili svojstvo kojega pojedinačnoga objekta, kao što je vrtnja Zemlje za sekundu. Međutim, već se na početku metričnoga sustava, na kraju 18. stoljeća, shvatilo da bi se poželjna definicija jedinice duljine trebala temeljiti na univerzalnome prirodnom svojstvu kao što je duljina njihala koje otkucava sekunde. Takva bi definicija bila neovisna o vremenu i mjestu te bi načelno bila dostupna u cijelome svijetu. U to su vrijeme iz praktičnih razloga nastale jednostavnije, rukotvorinske definicije za metar i kilogram, a sekunda je ostala povezana s vrtnjom Zemlje. Tek je 1960. godine za metar prihvaćena prva nematerijalna definicija, tj. valna duljina specificiranoga optičkog zračenja.

Nakon toga su definicije ampera, kelvina, mola i kande le prihvaćene ne oslanjajući se na tvarne rukotvorine. Kad je riječ o amperu, on se oslanja na specificiranu električnu struju koja je potrebna da se stvori dana elektromagnetska sila, a u slučaju kelvina na posebno termodinamičko stanje, trojnu točku vode. Čak je i atomska definicija sekunde bila iskazana s pomoću specificiranoga prijelaza cezijeva atoma. Kilogram se uvijek izdvajao kao jedinica koja je odolijevala transformaciji iz rukotvorine. Put stvarnoj univerzalnosti otvoren je definicijom metra iz 1983. godine. Tom se definicijom podrazumijevala, premda se to nije navodilo, fiksna brojčana vrijednost brzine svjetlosti. Ta je definicija, međutim, bila formulirana u tradicionalnome obliku i njome se u biti utvrđivalo da je metar udaljenost koju svjetlost prevali u specificiranome vremenu. Na taj je način ona odražavala druge definicije osnovnih jedinica SI-ja od kojih svaka ima isti oblik kao na primjer „amper je struja koja ...“, „kelvin je dio specificirane temperature“ itd. Takve se definicije mogu nazivati eksplicitnim definicijama jedinica.

Premda te definicije zadovoljavaju mnoge zahtjeve koji se odnose na univerzalnost i dostupnost, a često su moguća i njihova različita ostvarenja, tim su definicijama ipak praktična ostvarenja ograničena na pokuse koji su izravno ili neizravno povezani s posebnim uvjetima ili stanjima koja su specificirana u svakoj definiciji. Posljedica je toga da točnost ostvarenja takvih definicija nikad ne može biti bolja od točnosti ostvarenja posebnih uvjeta ili stanja specificiranih u tim definicijama.

To je posebno problem s postojećom definicijom sekunde, koja se temelji na mikrovalnome prijelazu cezijeva atoma. Frekvencije optičkih prijelaza različitih atoma ili iona sada su, za određene redove veličine, dokazano obnovljivije nego što je definirana frekvencija cezija.

U sadašnjoj definiciji SI-ja koja se temelji na skupu definicijskih stalnica, umjesto da se svakom definicijom specificira koji posebni uvjet ili stanje, kojima se utvrđuje temeljna granica za točnost ostvarenja, može se upotrebljavati svaka prikladna fizička jednadžba koja povezuje koju posebnu stalnicu ili stalnice s veličinom koju želimo mjeriti. To je mnogo općenitiji način definiranja osnovnih mjernih jedinica. On nije ograničen na današnju znanost i tehnologiju jer budući razvoji mogu dovesti do dosad nepoznatih jednadžba koje mogu imati za posljedicu različite načine ostvarenja jedinica s mnogo većom točnošću. Za tako definiranu jedinicu načelno ne postoji granica točnosti s kojom se jedinica može ostvariti. Iznimka ostaje definicija sekunde u kojoj izvorni mikrovalni prijelaz cezija zasad ostaje temelj definicije.

Razlika između eksplicitne definicije jedinice i eksplicitne definicije stalnice može se jasno oprimjeriti uporabom dviju definicija metra koje su se upotrebljavale u prošlosti i koje ovise o fiksnoj brojčanoj vrijednosti brzine svjetlosti i drugo dvjema definicijama kelvina. Izvorna definicija iz 1983. metra utvrđuje zapravo da je „metar udaljenost koju svjetlost prevali u vremenskome odsječku od $1/299\,792\,458$ sekunda“. Nova definicija jednostavno utvrđuje da se metar definira uzimanjem stalnice kojom se definira sekunda, specificirane cezijeve frekvencije i fiksne brojčane vrijednosti brzine svjetlosti izražene u jedinicama m s^{-1} . Možemo dakle upotrijebiti bilo koju fizičku jednadžbu, uključujući naravno onu koja je prikazana u prijašnjoj definiciji, vrijeme potrebno da se prijeđe dani put koje se upotrebljava za astronomske udaljenosti, ali također i jednostavnu jednadžbu koja povezuje frekvenciju i valnu duljinu brzine svjetlosti. Prijašnja definicija kelvina, koja se temeljila na fiksnoj brojčanoj vrijednosti za temperaturu trojne točke vode, zahtijeva u konačnici mjerenje u trojnoj točki vode. Nova je definicija koja se temelji na fiksnoj brojčanoj vrijednosti Boltzmannove stalnice mnogo općenitija jer se za određivanje termodinamičke temperature u bilo kojoj točki temperaturne ljestvice načelno može upotrebljavati svaka termodinamička jednadžba u kojoj se pojavljuje stalnica k . Na primjer, određivanjem ukupnoga ozračenja (iradijancije) crnoga tijela na temperaturi T , koje je jednako $(2\pi^5 k^4/15c^2 h^3) T^4$, u W m^{-2} možemo izravno odrediti T .

Kilogram, jedinica čija je definicija podvrgnuta najtemeljitijoj promjeni, može se ostvariti s pomoću fizičke jednadžbe koja povezuje masu, Planckovu stalnicu, brzinu svjetlosti i cezijevu frekvenciju. Jedna je takva jednadžba ona koja opisuje rad elektromehaničke vage, koja se prije nazivala vatnom vagom, a u novije vrijeme Kibbleovom¹ vagom. Tim se uređajem mehanička snaga, koja se mjeri s pomoću mase m , lokalnoga ubrzanja sile teže g i brzine v može mjeriti s pomoću električne snage, koja se mjeri s pomoću električne struje i napona koji se redom mjere s pomoću kvantnoga Hallova i Josephsonova pojava. Dobiva se jednadžba $mgv = Ch$, pri čemu je C stalnica umjeravanja koja uključuje mjerene frekvencije, a h je Planckova stalnica.

Za primarno ostvarenje kilograma može se upotrebljavati druga metoda s pomoću određivanja broja atoma u silicijskoj kugli te uporabom jednadžbe:

$$m = \frac{8V}{a_0^3} \frac{2R_\infty}{c\alpha^2} \frac{h}{m_e} m_{\text{Si}}$$

s masom m i obujmom V sfere (oko 1 kg) te parametrom rešetke a_0 , Rydbergove stalnice R_∞ , stalnice fine strukture α te redom masa silicijeva atoma (usrednjenih na tri izotopa koji se upotrebljavaju za kuglu) m_{Si} i mase elektrona m_e . Prvi dio odgovara broju atoma u sferi, drugi masi elektrona, a treći je dio omjer mase (izotopno usrednjene) silicijeva atoma i mase elektrona.

¹ U znak priznanja Bryanu Kibbleu za izum vatne vage.

Druga je mogućnost mjerenja mase preko nove definicije, ali ovaj put na mikroskopskoj razini, preko mjerenja atomskoga trzaja uporabom odnosa koji uključuje h/m .

Sve to osigurava izvanrednu ilustraciju općenitosti novoga načina definiranja jedinica. Podrobne informacije o sadašnjemu ostvarenju osnovnih i drugih jedinica dane su na mrežnim stranicama BIPM-a.

2. dio: Povijesni razvoj međunarodnoga sustava

Deveti CGPM (1948., 6. rezolucija; CR 64) dao je u zadatak CIPM-u:

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

Taj je isti CGPM također donio 7. rezoluciju (CR 70) kojom se „utvrđuju opća načela za pisanje znakova jedinica“ te daje popis nekoliko suvislih izvedenih jedinica kojima su dodijeljeni posebni nazivi.

Deseti je CGPM (1954., 6. rezolucija; CR, 80) kao osnovne veličine i jedinice za taj praktični sustav jedinica prihvatio ovih šest veličina: duljinu, masu, vrijeme, električnu struju, termodinamičku temperaturu i svjetlosnu jakost te šest odgovarajućih osnovnih jedinica: metar, kilogram, sekundu, amper, kelvin i kandelu. Nakon dulje rasprave među fizičarima i kemičarima, 14. CGPM (1971., 3. rezolucija, CR 78 i *Metrologia* 1972, 8, 36) dodao je količinu tvari i jedinica mol kao sedmu osnovnu veličinu i jedinicu.

Za taj praktični sustav mjernih jedinica 11. CGPM (1960., 12. rezolucija; CR, 87) prihvatio je naziv *međunarodni sustav jedinica* (*Système International d'Unités*) s međunarodnom pokretom SI i postavio pravila za predmetke, izvedene jedinice i bivše dopunske jedinice te druga pitanja; tako je uspostavljen sveobuhvatan skup pravila za mjerne jedinice. Na idućim je sastancima CGPM-a i CIPM-a upotunjavani i po potrebi preinačivani izvorni ustroj SI-ja 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 decimalnoga metričkog sustava u vrijeme Francuske revolucije te potom pohranjivanje dvaju platinskih etalona koji predstavljaju metar i kilogram (22. lipnja 1799.) u Arhivu Republike (Archives de la République) u Parizu.
- Godine 1832. Gauss je čvrsto zagovarao primjenu toga metričkog sustava, zajedno sa sekundom definiranom u astronomiji, kao suvisloga sustava jedinica za fizičke znanosti. Gauss je prvi proveo *apsolutna* mjerenja magnetskoga polja Zemlje na temelju decimalnoga 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 kroz Britansko društvo za napredak znanosti (engl.: British Association for Advancement of Science; BAAS). Oni su formulirali zahtjeve za *suvisli sustav jedinica s osnovnim i izvedenim jedinicama*. BAAS je 1874.

godine uveo *sustav CGS*, trodimenzijski suvisli sustav jedinica koji se temeljio na tri mehaničke jedinice: centimetru, gramu i sekundi te uporabi predmetaka u području od mikro do mega za izražavanje decimalnih nižekratnika i višekratnika. Daljnji napredak fizike kao eksperimentalne znanosti u velikoj se mjeri temeljio na tome sustavu.

- Pokazalo se da su velikoće suvislih jedinica CGS-a u područjima elektriciteta i magnetizma neprikladne, tako da su 1880. godine BASS i Međunarodni elektrotehnički kongres (prethodnik Međunarodnoga elektrotehničkog povjerenstva, IEC-a) 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 *Konvencije o metru* 20. svibnja 1875. godine, kojom je osnovan 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 sustavu CGS, ali s osnovnim jedinicama metrom, kilogramom i sekundom, koji je nazvan sustavom MKS.
- Giorgi je 1901. godine pokazao da je mehaničke jedinice sustava MKS moguće povezati s praktičnim električnim jedinicama kako bi se stvorio suvisao četverodimenzijski sustav dodavanjem trima osnovnim jedinicama četvrte jedinice električne naravi, npr. ampera ili oma, i pisanjem jednadžba koje se pojavljuju u elektromagnetizmu u tzv. racionaliziranome obliku. Giorgijev prijedlog otvorio je put nizu novih proširenja.
- Nakon što je 6. CGPM 1921. godine revidirao *Konvenciju o metru*, čime je proširen djelokrug i odgovornost BIPM-a na druga područja fizike, te nakon što je 7. CGPM 1927. godine osnovao Savjetodavni odbor za elektricitet (CCE), o Giorgijevu su prijedlogu, 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 četverodimenzijskoga sustava koji se temeljio na metru, kilogramu, sekundi i amperu (sustav MKSA); 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 *kelvina* i *kandele* kao osnovnih jedinica redom za termodinamičku temperaturu i svjetlosnu jakost. Naziv *međunarodni sustav jedinica* (*Système International d'unités*), s pokratom SI, sustavu je dao 11. CGPM 1960. godine. Utvrđena su pravila za predmetke, izvedene jedinice te bivše dopunske jedinice kao i druga pitanja, čime je bio osiguran sveobuhvatan skup pravila za sve mjerne jedinice.
- Na 14. CGPM-u (1971.) prihvaćena je nova osnovna jedinica, mol (znak mol), za količinu tvari. To je uslijedilo nakon prijedloga Međunarodne organizacije za normizaciju koji se temeljio na prijedlogu Povjerenstva za znakove, jedinice i nomenklaturu (povjerenstvo SUN) IUPAP-a koji je podržala Međunarodna unija za čistu i primijenjenu kemiju (IUPAC). Time se broj osnovnih jedinica SI-ja povećano na sedam.
- Otad je učinjen izniman napredak u povezivanju jedinica SI-ja s istinski nepromjenjivim veličinama kao što su temeljne fizičke stalnice i svojstva atoma. Priznavanjem važnosti povezivanja jedinica SI-ja s takvim nepromjenjivim veličinama 24. CGPM (2011.) prihvatio je načela nove definicije SI-ja koja su se temeljila na uporabi skupa od sedam takvih stalnica kao referencija za definicije. U vrijeme 24. CGPM-a pokusi za određivanje njihovih vrijednosti s pomoću tadašnjih osnovnih jedinica nisu bili potpuno suvisli, ali se to postiglo do 26. CGPM-a (2018.) te je 1. rezolucijom prihvaćana nova definicija SI-ja. To je temelj definicije koja je prikazana u ovoj brošuri, a to je najjednostavniji i najtemeljitiји način definiranja SI-ja.

- Prethodno je SI bio definiran s pomoću sedam osnovnih jedinica i izvedenih jedinica koje su definirane kao umnošci potencija osnovnih jedinica. Tih su sedam osnovnih jedinica bile odabrane iz povijesnih razloga s razvojem metričkoga sustava, kasnije SI-ja, tijekom posljednjih 130 godina. Izbor tih jedinica nije bio jedini mogući, ali je s vremenom on postao utvrđena i općeprihvaćena činjenica ne samo zato što osigurava okvir za opis SI-ja nego i okvir za definiranje izvedenih jedinica. Ta se uloga osnovnih jedinica nastavlja i u postojećemu SI-ju premda je sam SI sada definiran s pomoću sedam definicijskih stalnica. U ovoj će se brošuri prema tome još uvijek nalaziti definicije tih sedam osnovnih jedinica, ali će se odsad temeljiti na sedam definicijskih stalnica: frekvenciji $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ hiperfinoga prijelaza cezijeva atoma, brzini svjetlosti c u vakuumu, Planckovoj stalnici h , elementarnome naboju e , Boltzmannovoj stalnici k , Avogadrovoj stalnici N_{A} i svjetlosnoj učinkovitosti definirana vidljivog zračenja K_{cd} .

Definicije tih sedam osnovnih jedinica mogu se nedvosmisleno povezati s brojčanim vrijednostima sedam definicijskih stalnica, ali između sedam definicijskih stalnica i sedam osnovnih jedinica ne postoji jednoznačna veza jer je za neke osnovne jedinice potrebno više definicijskih stalnica.

3. dio: Povijesni pregled osnovnih jedinica

Jedinica vremena (sekunda)

Do 1960. godine jedinica vremena sekunda bila je definirana kao dio 1/86 400 srednjega Sunčeva dana. Točna definicija *srednjega Sunčeva dana* prepuštena je astronomima. Mjerenja su, međutim, pokazala da ta definicija ne zadovoljava zbog nepravilnosti Zemljine vrtnje. Kako bi se točnije definirala jedinica vremena, 11. CGPM (1960.; 9. rezolucija, CR, 86) prihvatio je definiciju koju je dala Međunarodna astronomska unija, a koja se temeljila na tropskoj godini 1900. Pokusi su, međutim, već pokazali da bi se atomski etalon vremena koji se temelji na prijelazu između energijskih 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./68., 1. rezolucija; CR, 103 i *Metrologia*, 1968, 4, 43) odabrao je novu definiciju sekunde koja se oslanja na frekvenciju osnovnoga stanja hiperfinoga prijelaza u atomu cezija 133. Preinačena preciznija formulacija iste definicije, sada s pomoću fiksne brojčane vrijednosti neperturbiranoga osnovnog stanja frekvencije $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ hiperfinoga cijepanja atoma cezija 133, prihvaćena je 1. rezolucijom 26. CGPM-a (2018.).

Jedinica duljine (metar)

Definiciju metra iz 1889. godine, tj. duljinu međunarodne pramjere od platino-iridija 11. CGPM (1960.) zamijenio je definicijom koja se temeljila na valnoj duljini zračenja koje odgovara posebnome prijelazu kriptona 86. Ta je promjena prihvaćena kako bi se poboljšala točnost s kojom bi se mogla ostvariti definicija metra, to se postiže uporabom interferometra s putujućim mikroskopom za mjerenje promjene optičkoga puta brojenjem svjetlih i tamnih pojasova dobivenih interferencijom. Nju je pak 1983. godine 17. CGPM (1. rezolucija; CR, 97 i *Metrologia*, 1984, 20, 25) zamijenio definicijom koja se oslanjala na udaljenost koju svjetlost prijeđe u vakuumu u specifikiranome vremenskom odsječku. Izvorna međunarodna

pramjera metra koju je ozakonio 1. CGPM 1889. godine (CR, 34-38) još se čuva u BIPM-u pod uvjetima koji su specificirani 1889. godine. Kako bi se objasnila njezina ovisnost o fiksiranoj brojčanoj vrijednosti brzine svjetlosti, c , formulacija definicije promijenjena je 1. rezolucijom 26. CGPM-a 2018. godine.

Jedinica mase (kilogram)

Definicija kilograma iz 1889. godine bila je jednostavno masa međunarodne pramjere kilograma, rukotvorine izrađene od platinoiridija. Ona se čuva u BIPM-u pod uvjetima koje je specificirao 1. CGPM 1889. godine (CR, 34-38) kad je on ozakonio tu pramjeru i objavio da se „ta pramjera otada mora smatrati jedinicom mase“. Približno istodobno izrađeno je četrdeset sličnih pramjera, a sve su one obrađene i polirane kako bi imale istu masu kao i međunarodna pramjera. Na 1. CGPM-u (1889.) nakon njihova umjeravanja u odnosu na međunarodnu pramjeru, većina tih *nacionalnih pramjera* pojedinačno su dodijeljene državama potpisnicama *Konvencije o metru*, a neke također samom BIPM-u. Treći CGPM (1901., CR, 70) u izjavi koja je bila namijenjena da se okonča dvosmilnost u uobičajenoj uporabi koja se odnosi na uporabu riječi *težina*, potvrdio je da je „kilogram jedinica mase; ona je jednaka masi međunarodne pramjere kilograma“. Potpuna inačica tih izjava dana je na stranici 70 prethodno navedenih zapisnika CGPM-a.

Do trenutka drugoga ovjeravanja nacionalnih pramjera 1946. godine bilo je otkriveno da se u prosjeku mase tih pramjera razilaze od mase međunarodne pramjere. To je potvrđeno i trećim ovjeravanjem koje je provedeno od 1989. do 1991. godine, za skup izvornih pramjera koje je ozakonio 1. CGPM (1889.) razlika medijana bila je oko 25 mikrograma. Kako bi se osigurala dugoročna stabilnost jedinice mase i iskoristile sve prednosti kvantnih električnih etalona te bolje korištenje suvremene znanosti 1. rezolucijom 26. CGPM-a (2018.) prihvaćena je nova definicija kilograma koja se temelji na vrijednosti koje temeljne stalnice, za što je odabrana Planckova stalnica h .

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 *međunarodnoga ampera* i *međunarodnoga oma* potvrdila je Međunarodna konferencija u Londonu 1908. godine.

Već je prilikom 8. CGPM-a (1933.) bilo očito da postoji jednodušna želja da se te *međunarodne jedinice* zamijene tzv. *apsolutnim jedinicama*. Međutim, budući da neki laboratoriji još nisu bili dovršili pokuse za određivanje omjera između međunarodnih jedinica i apsolutnih jedinica, CGPM je dao ovlast CIPM-u da u odgovarajućemu roku odluči o tim omjerima i datumu na koji nove apsolutne jedinice stupaju na snagu. CIPM je to učinio 1946. godine (1946., 2. rezolucija; PV, 20, 129-137), kad je donio odluku da će nove jedinice stupiti na snagu 1. siječnja 1948. godine. Odluke koje je donio CIPM odobrio je 9. CGPM u listopadu 1948. godine. Definicija ampera koju je odabrao CIPM bila je povezana sa silom između paralelnih vodiča kroz koje protječe električna struja, a to je imalo za posljedicu fiksiranje brojčane vrijednosti magnetske permeabilnosti vakuuma μ_0 (koja se također naziva magnetskom stalnicom). Brojčana vrijednost električne permitivnosti vakuuma ϵ_0 (koja se također naziva električnom stalnicom) potom je fiksirana kao posljedica nove definicije metra koja je prihvaćena 1983. godine.

Međutim, pokazalo se da je definiciju ampera iz 1948. godine teško ostvariti te su se za praktično ostvarenje ampera preko Ohmovog zakona (18. CGPM, 6. rezolucija, CR 100) počeli gotovo univerzalno upotrebljavati praktični kvantni etaloni (Josephsonov i kvantni Hallov pojav) koji povezuju volt i om s posebnim kombinacijama Planckove stalnice h i elementarnog naboja e . Kao posljedica toga postalo je prirodno fiksirati ne samo brojčanu vrijednost stalnice h za redefiniranje kilograma, nego i brojčanu vrijednost elementarnog naboja e za redefiniranje ampera kako bi se praktični kvantni električni etaloni točno uskladili sa SI-jem. Postojeću definiciju koja se temelji na fiksiranoj brojčanoj vrijednosti za elementarni naboj e prihvatio je 1. rezolucijom 26. CGPM (2018.).

Jedinica termodinamičke temperature (kelvin)

Definiciju jedinice termodinamičke temperature dao je 10. CGPM (1954, 3. rezolucija; CR, 79) koji je kao temeljnu čvrstu točku odabrao trojnu točku vode, T_{TPW} , i dodijelio joj temperaturu od 273,16 K, čime je definiran kelvin. Za tako definiranu jedinicu 13. CGPM (1967-1968, 3. rezolucija; CR, 104 i *Metrologia*, 1968, 4, 43) umjesto naziva *stupanj Kelvina* (znak °K) prihvatio je naziv *kelvin* (znak K). Međutim, praktične poteškoće u ostvarenju te definicije, za što se zahtijeva uzorak čiste vode dobro definirana izotopnoga sastava te razvoj novih primarnih termometrijskih metoda, dovele su do prihvatanja nove definicije kelvina koja se temelji na brojčanoj vrijednosti Boltzmannove stalnice k . Sadašnja definicija kelvina kojom su uklonjena ta dva ograničenja prihvaćena je 1. rezolucijom 26. CGPM-a (2018.).

Jedinica količine tvari (mol)

Nakon otkrića temeljnih kemijskih zakona za određivanje količina kemijskih elemenata ili spojeva upotrebljavale su se jedinice količine tvari koje su se nazivale, na primjer *gramatom* i *grammolekula*. Te su jedinice bile u izravnoj vezi s *atomske težine* i *molekularnim težinama* koje su zapravo bile relativne atomske i molekularne mase. *Atomske težine* izvorno su se povezivale s atomskom težinom kisika, za koju je općim dogovorom prihvaćeno da je jednaka 16. Međutim dok su fizičari izotope odvajali u masenim spektrometrima i vrijednost 16 pripisivali jednomu od izotopa kisika, kemičari su tu istu vrijednost (neznatno promjenjivu) pripisivali smjesi izotopa 16, 17 i 18, koji je za njih bio prirodni element kisika. Konačno je sporazum između Međunarodne unije za čistu i primijenjenu fiziku (International Union of Pure and Applied Physics, IUPAP) i Međunarodne unije za čistu i primijenjenu kemiju (International Union of Pure and Applied Chemistry, IUPAC) ukinuo (1959./1960.) tu dvojnost. Fizičari i kemičari dogovorili su se da izotopu ugljika s masenim brojem 12 (ugljik 12, ^{12}C) dodijele vrijednost 12 (točno), koja se pravilnije naziva relativnom atomskom masom A_r . Tako dobivena ujednačena ljestvica daje vrijednosti relativnih atomskih i molekularnih masa, koje se također nazivaju redom atomskim i molekularnim masama. Taj se dogovor nije mijenjao redefinicijom mola.

Veličina koju kemičari upotrebljavaju za specifikaciju količine kemijskih elemenata ili kemijskih smjesa naziva se *količinom tvari*. Definirano je da je količina tvari, znak n , razmjerna broju N specificiranih elementarnih entiteta u uzorku, pri čemu je stalnica razmjernosti univerzalna stalnica koja je ista za sve entitete. Stalnica razmjernosti jednaka je recipročnoj vrijednosti Avogadrove stalnice N_A , tako da je $n = N/N_A$. Jedinica količine tvari naziva se *molom* (znak mol). Na temelju prijedloga IUPAP-a, IUPAC-a i ISO-a, CIPM je 1967. godine dao definiciju mola i potvrdio je 1969. godine specifikacijom da molarna masa ugljika 12

treba biti jednaka točno 0,012 kg/mol. To je omogućilo da se količina tvari $n_s(X)$ čistoga uzorka S entiteta X odredi izravno iz mase uzorka m_s i molarne mase $M(X)$ entiteta X, pri čemu je molarna masa određena iz njezine relativne atomske mase A_r (atomske ili molekularne težine) bez potrebe za preciznijim znanjem Avogadrove stalnice, uporabom relacija:

$$n_s(X) = m_s/M(X) \text{ i } M(X) = A_r(X) \text{ g/mol.}$$

Dakle, ta definicija mola bila je ovisna o rukotvorinskoj definiciji kilograma.

Brojčana je vrijednost Avogadrove stalnice koja je definirana na taj način bila jednaka broju atoma u 12 grama ugljika 12. Međutim, zbog najnovijega tehničkog napretka, taj je broj sada poznat s takvom preciznošću da je postala moguća jednostavnija i univerzalnija definicija mola, tj. specifikacija točnoga broja entiteta u jednome molu bilo koje tvari, čime je fiksirana točna vrijednost Avogadrove stalnice. To je imalo za posljedicu to da ta nova definicija mola i vrijednost Avogadrove stalnice više ne ovise o definiciji kilograma. Time je također istaknuta razlika između temeljno različitih veličina *količine tvari* i *mase*. Sadašnju je definiciju mola koja se temelji na fiksiranoj brojčanoj vrijednosti za Avogadrovu stalnicu, N_A , prihvatio 1. rezolucijom 26. CGPM (2018.).

Jedinica svjetlosne jakosti (kandela)

Jedinice svjetlosne jakosti koje su se temeljile na etalonima s plamenom ili sa žarnom niti, koje su do 1948. godine bile u uporabi u različitim zemljama, prvo su zamijenjene *novom svijećom*, koja se temeljila na svjetljivosti (luminanciji) Planckova izvora zračenja (crnoga tijela) na temperaturi krutišta platine. Tu su preinaku prije 1937. godine pripremili Međunarodno povjerenstvo za rasvjetu (Commission Internationale de l'Éclairage, CIE) i CIPM, a odluku je 1946. godine donio CIPM. Nakon toga ju je 1948. godine odobrio 9. CGPM, koji je za tu jedinicu prihvatio novi međunarodni naziv jedinice *candela* (znak cd); 1954. godine 10. CGPM odobrio je kandelu kao osnovnu jedinicu; 1967. godine 13. CGPM (5. rezolucija, CR, 104 i *Metrologia*, 1968, 4, 43-44) proveo je izmjenu i dopunu te definicije.

Zbog poteškoća u ostvarenju Planckova izvora zračenja na visokim temperaturama i novih mogućnosti koje pruža radiometrija, tj. mjerenje optičke snage zračenja 16. CGPM (1979., 3. rezolucija; CR, 100 i *Metrologia*, 1980., 16, 56) prihvatio je 1979. godine novu definiciju kandeke.

Sadašnja je definicija kandeke, koja se temelji na fiksiranoj brojčanoj vrijednosti za svjetlosnu djelotvornost jednobojnoga zračenja frekvencije od 540×10^{12} Hz, K_{cd} , prihvaćena 1. rezolucijom 26. CGPM-a (2018.).

Popis pokrata koje se upotrebljavaju u ovome izdanju

1. Pokrate za laboratorije, odbore i konferencije

BAAS	British Association for the Advancement of Science (Britansko društvo za napredak znanosti)
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)
CIPM	Comité International des Poids et Mesures (Međunarodni odbor za utege i mjere)
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. Pokrate za znanstvene nazive

CGS	trodimenzijski suvisli sustav jedinica koji se temelji na tri mehaničke jedinice, centimetru, gramu i sekundi
EPT-76	Échele provisoire de température de 1976 (privremena temperaturna ljestvica 1976)
GUM	Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (Upute za iskazivanje mjerne nesigurnosti)
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 na 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

A

aktivnost radionuklida 23
 algebra veličina 33
 amper (A) 12, 14, 16, 18, 19, 25, 44, 46, 47, 48, 49, 63, 71, 73, 74, 75, 76, 78, 80, 81, 82, 83, 86, 88, 89, 91, 92
 apsolutne jedinice 91
 apsorbirana doza 23
 astronomska jedinica 29
 atomska težina 92
 Avogadrov broj 20, 83
 Avogadrova stalnica 14, 15, 16, 20, 71, 73, 74, 78, 82, 83, 90, 93

B

bar 46
 bekerel (Bq) 23, 24, 26, 51, 56
 bel (B) 29, 30
 Boltzmannova stalnica 14, 15, 16, 19, 71, 73, 74, 78, 81, 83, 87, 90, 92
 Britansko društvo za napredak znanosti (BAAS) 88, 94
 brojčana vrijednost veličine 23, 32, 33
 brojive veličine 22, 35
 brzina svjetlosti u vakuumu 9, 12, 13, 14, 15, 17, 55, 59, 64, 73, 74, 75, 81, 83, 86, 87, 90, 91

C

Celzijev stupanj (°C) 19, 20, 23, 24, 26, 27, 32, 34, 45, 46, 52
 Celzijeva temperatura 19, 23, 24, 34
 cezijeva frekvencija 16, 17, 82, 87
 CGS 45, 89, 95
 CODATA 74, 76, 78, 82, 94

D

dalton (Da) 29
 dan (d) 29
 decibel (dB) 29, 30
 decimalni metrički sustav 88
 decimalni znak 11, 34, 67
 dimenzija (veličine) 22, 25
 din (din) 46
 dinamička viskoznost (poaz) 25, 49
 dozni ekvivalent, vidi sivert 23, 26, 57, 59, 60, 66
 duljina 14, 16, 17, 22, 23, 29, 39, 86, 88, 90

Dž

džul (J) 14, 15, 23, 25, 44, 45, 49, 74, 81

E

eksplicitna definicija jedinice 75, 86, 87
 eksplicitna definicija stalnice 87
 električna struja 16, 18, 19, 22, 25, 44, 47, 48, 60, 61, 74, 78, 83, 86, 88, 89, 91
 električne jedinice 9, 44, 45, 60, 73, 89, 91
 elektronvolt (eV) 29
 elementarni naboj 14, 15, 18, 19, 73, 74, 78, 81, 83, 90, 92
 erg 46

F

farad (F) 23, 44, 46, 49
 fotobiološke veličine 26, 85
 fotometrijske jedinice 43, 53
 fotometrijske veličine 57
 fotopski vid 57

G

gal (Gal) 29
 Gauss 88
 Giorgi 89
 gram 28, 46, 51, 88, 89, 93, 95
 gramatom, grammolekula 92
 grej (Gy) 23, 26, 56, 60, 66

H

Hallov pojav (uključujući kvantni Hallov pojav) 60, 61, 73, 75, 82, 87, 92
 hektar (ha) 29
 henri (H) 19, 23, 44, 46, 49
 herc (Hz) 14, 23, 24, 26, 46, 49, 74, 81
 hiperfino cijepanje cezijeva atoma 16, 75, 90

I

ionizacijsko zračenje 3, 4, 26, 56, 60, 66
 ISO/IEC 80000, niz 11, 13, 16, 32
 ISO/TC 12 58
 IUPAC 32, 68, 71, 89, 92, 95
 IUPAP SUNAMCO; Crvena knjiga 32
 izvedene jedinice 12, 13, 16, 23, 24, 25, 32, 34, 49, 53, 54, 58, 63, 88, 89, 90
 izvedene veličine 16, 21, 22, 24, 25

J

jard 30
 jedinica (SI) 16-27
 jedinica, izvedena, vidi izvedene jedinice
 jedinica, osnovna, vidi osnovne jedinice
 jedinice izvan SI-ja 29, 30, 34, 51, 53, 63
 jedinice za biološke veličine 26
 Josephsonov pojav 60, 61, 73, 75, 82, 87, 92
 Josephsonova stalnica 60, 61, 75, 82

K

kalorija 45, 46
 kandela (cd) 16, 21, 26, 43, 46, 47, 48, 53, 57, 63, 71, 73, 74, 75, 81, 82, 83, 86, 88, 89, 93; nova svijeća, 43, 46, 53, 57, 93
 katal (kat) 23, 63, 64
 kelvin (K) 12, 14, 15, 16, 19, 20, 24, 44, 46, 52, 53, 62, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 92
 Kibbleova vaga 87
 kibibajt (kilobajt) 28
 kilogram 12, 14, 16, 18, 19, 21, 24, 28, 42, 43, 44, 47, 48, 51, 63, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 78, 80, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 91, 92, 93
 kinematička viskoznost (stoks) 49
 kiri (Ci) 51

klinička kemija 21, 64
količina tvari 16, 17, 20, 21, 22, 35, 55, 73, 74, 83, 86, 92, 93

Konvencija o metru 3, 5, 9, 12, 42, 45, 47, 88, 89, 91

kulon (C) 14, 23, 44, 46, 49, 74, 81

kut 21, 22, 23, 29, 33, 34, 35, 36, 49, 58

kutna sekunda 29

kvantni etalon 92

kvantni Hallov pojav 60, 61, 62, 73, 75, 82, 87, 92

L

litra (l i L) 29, 46, 50, 51, 58

logaritamski omjer veličina 29, 30

lučna mikrosekunda (μ s) 29

lučna milisekunda (ms) 29

luks (lx) 23, 26, 46, 49

lumen (lm), novi lumen 14, 23, 26, 43, 46, 49, 57, 74, 81

M

magnetska stalnica, permeabilnost vakuuma 19, 25, 75, 82, 91

masa elektrona 87

masa i težina 43, 91

masa 16, 22, 29, 47, 73

Maxwell 88

međunarodna pramjera kilograma 12, 18, 42, 43, 71, 73, 75, 76, 82, 89, 91

međunarodna pramjera metra 42, 43, 48, 89, 90, 91

međunarodna temperaturna ljestvica iz 1990 20, 52, 62, 95

međunarodne jedinice (IU) WHO-a 27

međunarodni sustav jedinica 3, 9, 10, 12, 14, 15, 30, 45, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 63, 65, 67, 71, 72, 73, 74, 78, 81, 86, 88, 89

međunarodno atomsko vrijeme (TAI) 54, 55, 95

metar (m) 9, 12, 13, 14, 18, 19, 21, 42, 43, 44, 46, 47, 48, 55, 58, 59, 64, 65, 66, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 90, 91

metrička tona 29

metrički sustav 3, 9, 43, 88, 90

mezopski 57

minuta (min) 29

molekularna masa 92

N

nazivi jedinica 32, 54

nedimenzijske veličine 58

neper (Np) 29, 30

neprekinutost 10, 57, 62

nesigurnost 14, 15, 34

nižebratnike, predmetci za 24, 28, 48,

normirana atmosfera 46

Nj

njtn (N) 19, 23, 44, 46, 49

O

obvezni znakovi jedinica 16, 31, 32

OIML 13, 44, 76, 77

om (Ω) 23, 44, 46, 49, 54, 60, 61, 75, 82, 89, 91

opća relativnost 17, 27, 65

osnovna veličina 16, 22, 25, 58, 88

osnovne jedinice 9, 10, 12, 13, 16, 17, 22, 23, 24, 25, 26, 47, 48, 49, 50, 54, 55, 58, 63, 64, 71, 73, 74, 75, 76, 81, 82, 86, 87, 88, 89, 90

ostvarenje jedinice 9, 13, 16, 21, 27, 59

ovjeravanje kilograma 91

P

palac 30

paskal (Pa) 23, 54

pisanje vrijednosti veličine 33

Planckova stalnica 9, 14, 15, 18, 71, 73, 74, 78, 81, 83, 87, 90, 91, 92, 93

poaz (P) 46

posebni nazivi i znakovi za jedinice 23, 60, 66, 88

postotak 35

povijesne napomene 86

ppb 35

ppm 35

ppt 35

praktične jedinice 44, 45, 46, 48, 88, 89

predmetci SI-ja 28, 29, 51, 57, 62

predmetci 24, 28, 29, 31, 51, 53, 54, 56, 62, 64

preporučeni znakovi za veličine 32

R

radian (rad) 22, 23, 35, 49, 58, 63

relativnost 17, 27, 65

Rydbergova stalnica 87

S

sat (h) 29, 46

sekunda (s) 9, 14, 16, 17, 18, 21, 31, 33, 44, 46, 47, 48, 50, 52, 54, 55, 65, 74, 75, 81, 82, 83, 86, 87, 88, 89, 90

SI, vidi međunarodni sustav jedinica

silicijska kugla 87

simens 23, 54

sivert (Sv) 23, 24, 26, 57, 59, 60, 66

skotopski 57

skupine od tri znamenke, rastavljanje znamenaka 34

stalnica fine strukture 15, 75, 82, 87

steradian (sr) 21, 22, 23, 24, 25, 35, 36, 43, 49, 53, 58, 63

stilb (sb) 46

stopa 30

sustav MKS 44, 45, 89

sustav MKSA 89

suvisle izvedene jedinice 19, 23, 24, 25, 63, 64, 88

svjetlosna djelotvornost 14, 15, 16, 21, 57, 74, 81, 83, 93

svjetlosna jakost 16, 21, 22, 43, 47, 48, 53, 57, 75, 78, 83, 88, 89, 93

Système International d'Unités (SI), vidi međunarodni sustav jedinica

T

TAI, vidi međunarodno atomsko vrijeme 54, 55, 95

temeljne (fizičke) stalnice 9, 14, 15, 63, 65, 71, 72, 73, 74, 76, 78, 81, 89, 91

termodinamička temperatura 16, 19, 20, 22, 46, 47, 48, 52, 53, 62, 67, 68, 70, 74, 75, 78, 82, 83, 87, 88, 89, 92

termodinamička temperaturna ljestvica 46
tesla (T) 23, 49
Thomson 89
tona 29, 46
toplinski kapacitet 25, 32, 53
trojna točka vode 12, 19, 44, 46, 53, 68, 70, 75, 82, 86, 87, 92

U

ubrzanje sile teže, normirana vrijednost (gn) 29, 43, 87
ugljik 12 20, 29, 55, 75, 82, 92, 93
usklađeno svjetsko vrijeme 56
uspostavljanje SI-ja 9, 12, 45, 47
UTC, vidi svjetsko usklađeno vrijeme 56

V

veber (Wb) 23, 44, 49
vat (W) 14, 23, 25, 44, 46, 49, 53, 57, 74, 81
vatna vaga, vidi Kibbleova vaga
veličina 14

veličina, izvedena, vidi izvedene veličine
veličina, osnovna, vidi osnovne veličine
višekratnici (i nižekratnici) kilograma 28, 51
višekratnike, predmetci za 24, 28, 31, 32, 48, 49, 51, 54, 56, 62, 64, 89
voda, izotopni sastav 52, 70, 71, 73, 92
volt (V) 23, 44, 46, 49, 60, 61, 75, 82, 89, 92
von Klitzingova stalnica (R_K , R_{K-90}) 60, 61, 62, 73, 75, 82
vrijednost veličine 14, 23, 24, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 67
vrijeme (trajanje) 16, 22, 29, 47, 65, 78, 88

W

WHO 27

Z

zakonodavstvo o jedinicama 13
znakovi jedinica 14, 16, 24, 25, 28, 31, 34, 45, 63, 74, 81
znakovi veličina 16, 24, 32, 34, 35
zvuk, jedinica za 26



DRŽAVNI HIDROMETEOROLOŠKI ZAVOD
CROATIAN METEOROLOGICAL AND HYDROLOGICAL SERVICE

Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) obavlja stručne poslove koji se odnose na:

- praćenje hidroloških i meteoroloških procesa, prikupljanje, obrađivanje i objavljivanje hidrometeoroloških podataka;
- istraživanje atmosfere i vodnih resursa;
- primjenu meteorologije i hidrologije u područjima klimatologije, pomorske meteorologije, agrometeorologije, umjetnog djelovanja na vrijeme, zrakoplovne meteorologije, prostornog planiranja i projektiranja i ostalih primjena;
- obavljanje umjeravanja u akreditiranom i neakreditiranom području mjerila za svoje potrebe i za potrebe različitih vanjskih korisnika;
- obavljanje međunarodnih poslova iz područja hidrologije i meteorologije od interesa za Republiku Hrvatsku.

DHMZ osigurava i stručno, tehničko i tehnološko jedinstvo obavljanja hidroloških i meteoroloških poslova. Prati suvremena dostignuća i provodi sustavnu modernizaciju te su u tijeku tri velika strukturna projekta modernizacije meteorološke i hidrološke mreže te mreže za trajno praćenje kvalitete zraka.



PROJEKT MODERNIZACIJE METEOROLOŠKE
MOTRITELJSKE MREŽE U RH – METMONIC



Proširenje i modernizacija državne mreže
za trajno praćenje kvalitete zraka



VOĐNO EKOLOŠKO
PRAĆENJE, ANALIZE I RJEŠENJA

ZDRAVSTVENA USTANOVA • OSNOVANO 1994

MEDLAB
MEDICINSKA LABORATORIJA

- Hematologija i koagulacija
- Biohemija i imunohemija
- Hormoni i tumorski markeri
- Mikrobiologija i virusologija
- Immunologija i alergologija
- Patologija i citologija
- PCR analize
- Prenatalni markeri
- Podrška za CRO

Nastavne baze farmaceutskog fakulteta u Novom Sadu
i ICEPS-a u Beogradu i Novom Sadu



ICEPS

Rukovodilac **prof. dr Milan Ubavić**, klinički patofiziolog



**Prva privatna
laboratorija
u Vojvodini**

- | | |
|-------------|-----------|
| • Novi Sad | • Kikinda |
| • Zrenjanin | • Žabalj |
| • Sombor | • Apatin |
| • Subotica | • Kanjiža |
| • Vrbas | • Odžaci |

Tel: +381 21 422 332
email: medlabns@sbb.rs
www.medlab.rs
 [medlab.laboratorija](https://www.facebook.com/medlab.laboratorija)
 [lab.medlab](https://www.instagram.com/lab.medlab)
 [medlab laboratorije](https://www.youtube.com/channel/UC...)

ekoinspekt

kontrola kvaliteta i kvantiteta

rude goriva i hemija

 info@ekoinspekt.net; ekin@teol.net

<https://ekoinspekt.net/>



+387(0)55 24 00 08

Registarski broj subjekta upisa: 1-6205;

Matični registarski broj: 11022090,

Jedinstveni identifikacioni broj: 4402653840000,

Poreski identifikacioni broj: 402653840000;



„EKOINSPEKT“ d.o.o.

Stefana Dečanskog b.b.

Agrotržni centar,

poslovni prostor br. 22

76300 Bijeljina

Republika Srpska, BiH

LABORATORIJA ZA ISPITIVANJE:

http://bata.gov.ba/Akreditirana_tijela/Dodaci/LI/LI-27-01.pdf;

KONTROLNO TIJELO:

http://bata.gov.ba/Akreditirana_tijela/Dodaci/IN/IN-68-01.pdf.

REDOVITO UMJERAVANJE OSIGURAVA STABILNOST.

Mjeriteljski laboratorij Ravnoteža – 20 godina iskustva u umjeravanju.

Cjelovita usluga za Vašu mjeriteljsku infrastrukturu.

Umjeravanje mjerila:

- temperature (akreditirane)
- tlaka (akreditirane)
- električnih veličina
- relativne vlage
- vremena

Mjerenje raspodjele temperature:

- u skladištima
 - u transportnim prostorima
 - u termostatima
- Izrada protokola i izvješća,
obrada rezultata, izračun
srednje kinetičke
temperature

Definiranje mjeriteljskih zahtjeva:

- u sklopu sustava osiguranja kvalitete (ISO 9001, GMP, HACCP...)



RAVNOTEŽA d.o.o.

Gornji Laduč, Putine 5, 10292 Šenkovec

Telefon/Fax:

+385 1 3395 004

Mobitel:

+385 98 383 480

+385 99 8451 209

info@ravnoteza.hr

www.ravnoteza.hr

Laboratorij Ravnoteža akreditiran je od strane Hrvatske akreditacijske agencije prema zahtjevima norme HR EN ISO 17025. Broj akreditacije je 2164.



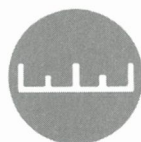
Masa

- umjeravanje neautomatskih vaga
- umjeravanje utega
- ovjera vaga i utega



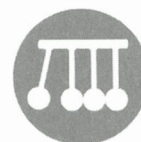
Temperatura & relativna vlaga

- mjerila temperature – termometri
- mjerila relativne vlage – higrometri
- komore, prostori, kupke i termoblokovi



Duljina

- pomična mjerila, mikrometri, mjerne ure, mjerne trake



Moment sile

- moment ključevi



Tlak

- mjerila tlaka
- manometri



Vrijeme & frekvencija

- mjerila vremenskog intervala
- mjerila broja okretaja



Obujam

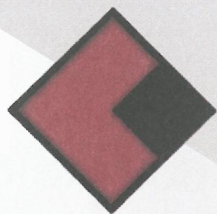
- klipne pipete



Prodaja & servis

- vage i utezi
- laboratorijska i farmaceutska oprema
- servis vaga i laboratorijske opreme





CERIUM d.o.o.

Za proizvodnju, trgovinu i usluge



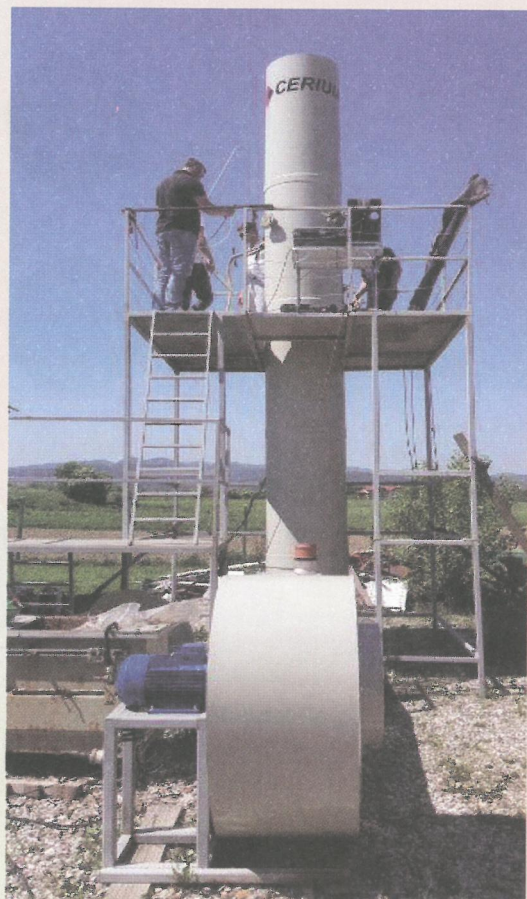
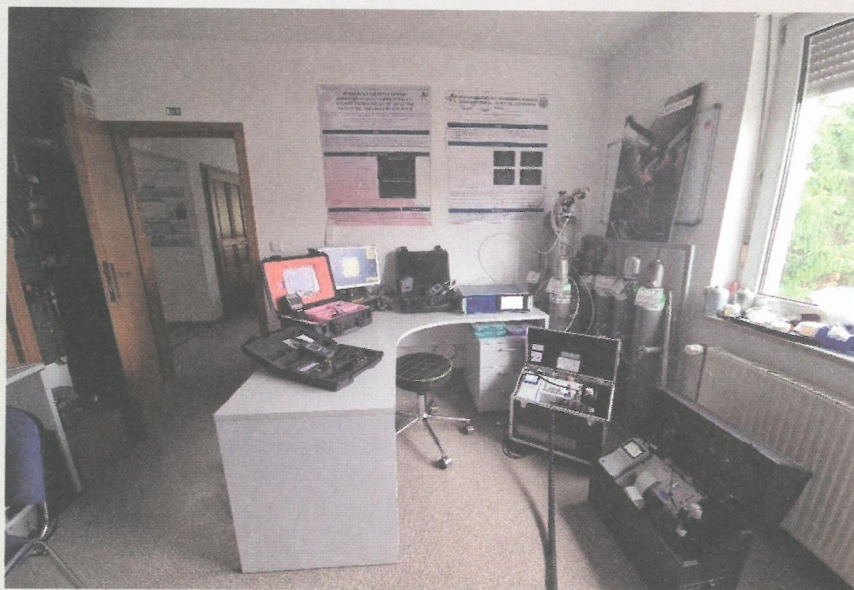
Ured: Koprivnička 70, Zagreb, tel.: 01 5805 921, e-mail: info@cerium.hr

PRODAJA, SERVIS, UMJERAVANJE I MLU

Tvrtka Cerium je ekskluzivni zastupnik i ovlašteni servis ECOM analizatora plinove te ostale mjerne opreme proizvođača: CASELLA, RION, WAVECONTROL, NTEK, HUND WETZLAR!

Umjerni laboratorij tvrtke Cerium d.o.o. umjerava analizatore plinova (**senzori O_2 , CO , CO_2 , NO , NO_2 , SO_2 , CH_4 , C_3H_8 , H_2S**): što podrazumijeva određivanje donje granice detekcije, klizanje nule i raspona, ponovljivost nule i rasponu, linearnost senzora, vrijeme odziva. U laboratoriju se ujedno umjeravaju uređaji za mjerenje brzine strujanja zraka te se određuje koeficijent K Pitot cijevi.

Za umjeravanje se koriste certificirani referentni plinovi i certificirani mješač plinova te ostala mjerna oprema sa osiguranim dokazima sljedivosti osiguranja kvalitete!



Naš odjel za organizaciju međulaboratorijskih usporedbnih mjerenja iz područja zraka (emisije) organizira međulaboratorijska usporedbena mjerenja prema međunarodnoj normi **HRN EN ISO/IEC 17043** te statističku obradu rezultata mjerenja prema normi **HRN ISO 13528**.

Organiziramo međulaboratorijska usporedbena mjerenja za sljedeće parametre: **O_2 , CO , NO , SO_2 , TVOC, koncentraciju ukupne praškaste tvari, brzinu strujanja i obujamski protok u otpadnom plinu!**

Više informacija o nama na www.cerium.hr ili tel.: 01 5805 921



TVORNICA TURBINA d.o.o.

Stanka Vraza 53, 47000 Karlovac

e-mail: info@ttk.hr

web: www.ttk.hr - telefon: 047 648 588 - telefax: 047 648 571

ISO 9001
ISO 14001
ISO 45001
BUREAU VERITAS
Certification



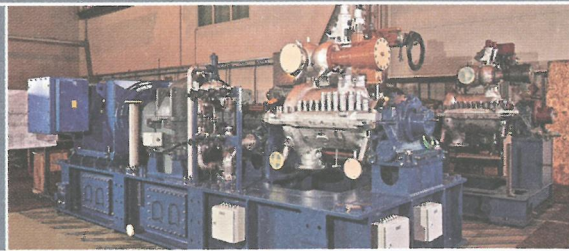
PROIZVODNI PROGRAM



Vertikalna dvostupanjska centrifugalna pumpa



Dvostupanjski parni vakuum ejektor



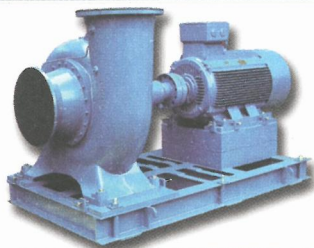
Industrijske parne turbine do 10 MW



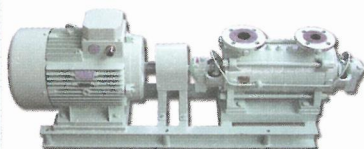
Procesna API 610 pumpa



Vakuum kondenzator



Rashladna pumpa



Višestupanjska napojna pumpa u energanama

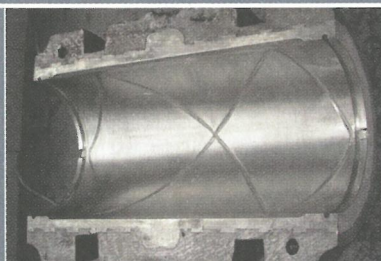
Tvrtka se bavi projektiranjem, konstrukcijom, proizvodnjom, montažom i servisiranjem energetske opreme i to:

- Parne turbine do 10 MW u energetici i sustavima u kogeneraciji na biomasu – 60 godina iskustva JUGOTURBINE u proizvodnji parnih turbina i energetske opreme
- Razne specijalne pumpe za industriju, brodogradnju i energane
- Izmjenjivači topline
- hidroforna postrojenja
- parni i vodni ejektori
- Vakuum kondenzatori
- procesne rafinerijske pumpe u ex izvedbinama
- Pumpe u hidroelektranama
- vodovodne pumpe
- Izrada rezervnih dijelova za gore navedenu opremu na temelju dokumentacije kupca ili snimanjem specijalnim 3D uređajem na temelju uzorka
- Remonti i servisiranje parnih turbina, pumpi, kompresora, ventilatora, reduktora i slične opreme

SERVISNE I MONTAŽNE AKTIVNOSTI NA ENERGETSKOJ OPREMI



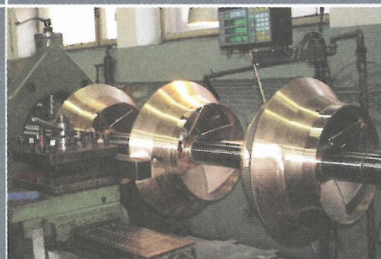
Generalni remont parne turbine



Izrada novog kliznog ležaja



Rekonstrukcija procesnih centrifugalnih pumpi



Novi rotor višestepene bunarske pumpe nakon remonta



Generalni remont vijčanog kompresora



Uvaljivanje cijevi cijevnog snopa

Vrste radova:

- defektaže i pregledi stanja opreme
- redovite revizije i remonti (preventivno održavanje)
- izvanredni hitni popravci (interventno održavanje)
- revitalizacije i rekonstrukcija
- modernizacije i poboljšanja
- izrada, dorada i ugradnja rezervnih dijelova
- izrada novih rezervnih dijelova prema uzorku (rezervni inženjering)

Područje održavanja:

- termo i hidro elektrane
- toplane
- rafinerije
- procesna industrija
- petrokemijska industrija
- vodovodi i crpne stanice
- vodoprivreda
- brodska postrojenja
- prehrambena industrija (pivovare, šećerane, itd.)
- postrojenja u eksplozivnoj (Ex) zoni
- razna ostala postrojenja

Obuhvaćena oprema:

- Parne turbine
- Vodne turbine
- Turbokompresori
- Reduktori
- Razne pumpe
- Cijevni izmjenjivači topline
- Ostala pomoćna oprema

Defektaže i pregled stanja opreme

Aktivnosti preventivnog i redovitog održavanja (revizije i remonti)

Izvanredni hitni popravci

Revitalizacije i rekonstrukcije

Modernizacije i poboljšanja

Izrada, dorada i ugradnja rezervnih dijelova

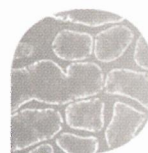
Servisne aktivnosti:

- na parnim turbinama
- na vodnim turbinama
- na pumpama
- na turbo kompresorima
- na cjevnim izmjenjivačima



Institut za
medicinska
istraživanja
i medicinu
rada

Institute
for Medical
Research and
Occupational
Health



Dozimetrija zračenja i medicinska fizika Radiološka istraživanja i razvoj instrumentacije



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



MINISTARSTVO ZNANOSTI
I OBRAZOVANJA
REPUBLIKE HRVATSKE



KEFO®
SINCE 1949

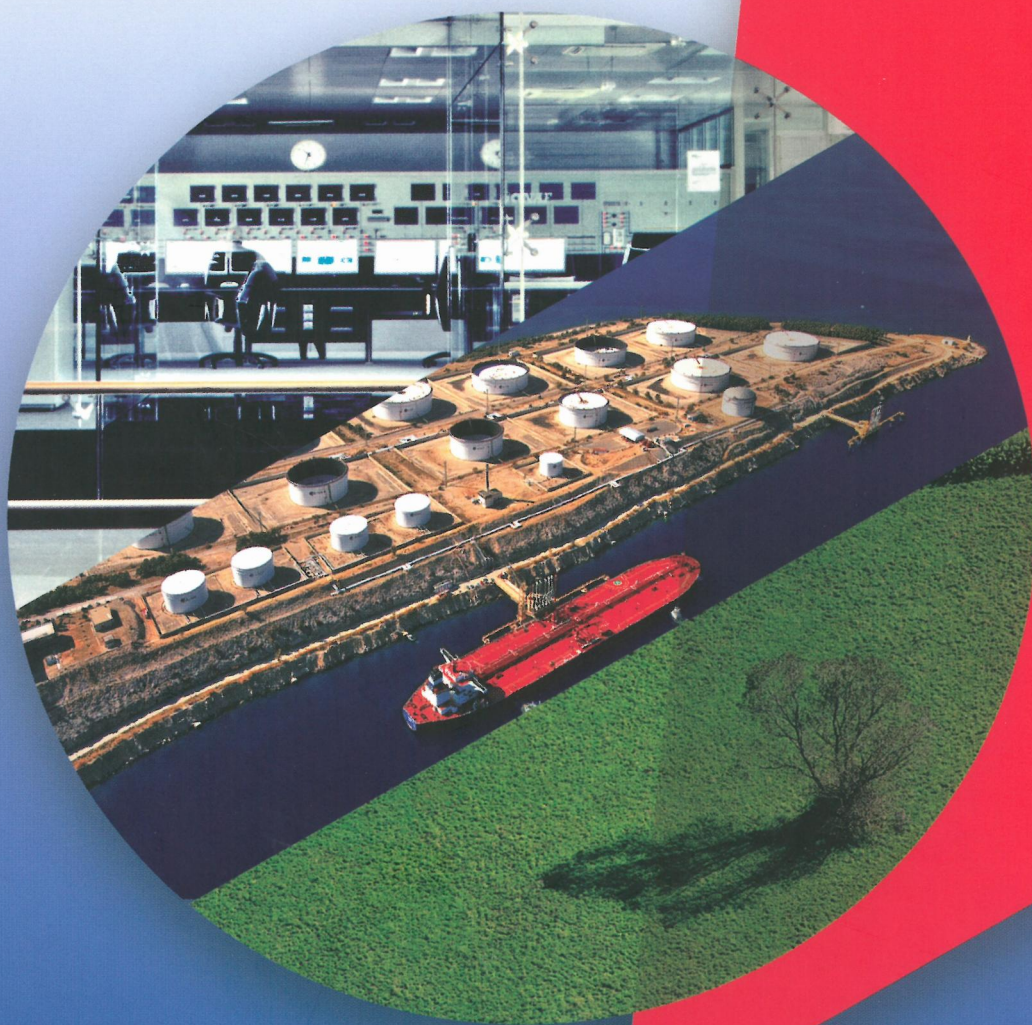


<http://www.kefo.hr>

GRADIMO POVJERENJE ZAJEDNO



Energija povezuje



JANAF