

Az SI (Système International) módosításáról

A 2018 november 13 és 16 között tartott 26. Általános Súly- és Mértékügyi Értekezlet (CGPM) úgy határozott, hogy megváltoztatja és egységes alapokra helyezi az SI hét alapegységének meghatározását [1]. Az így megújított SI 2019 május 20-án lép életbe. Ez az alapegység-rendszer mélyreható átalakítását fogja jelenteni, amely már régóta érlelődött [pl. 2-5]. Ennek az érlelődési folyamatnak fontos lépése volt a 2011 október 16 és 22 között tartott 24. CGPM, amely elfogadta az addigi tapasztalatok alapján kidolgozott ajánlásokat, és a határozatuk szerint a hét alapegységet fizikai állandókkal fogják definiálni. Ezzel további hosszadalmas egyeztetések és finomítások kezdődtek, amelyek a 26. CGMP-n vezettek eredményre. Egy új mértékegység-rendszer bevezetése időigényes feladat.

2019 május 20-án csupán a meghatározások (definíciók) változnak meg, a megvalósítások (realizációk) végleges kidolgozása még folyik, és így az elfogadásuk is évek múlva várható. Tudni kell, hogy egy ilyen egységrendszernek két oldala van. Az egyik oldal a definíciók oldala, a másik pedig az egységek gyakorlati megvalósítása. Az egységeket meg kell valósítani ahhoz, hogy gyakorlati mérésekhez használhatóak legyenek. A gyakorlati megvalósítás etalonokkal történik. Az etalon valamilyen mérőműszer, mérőrendszer vagy anyagminta, amelynek az a rendeltetése, hogy a mennyiség egységét (esetleg egy vagy több értékét) megvalósítsa, fenntartsa vagy reprodukálja, és referenciaként szolgáljon kevésbé pontos másodlagos etalonok hitelesítéséhez.

Az egységekkel, de különösen az alapegységekkel szemben támasztott követelmények: a változatlanság, a megvalósíthatóság bárhol, bármikor, bárki által. Ezek a követelmények tulajdonképpen az etalonnal szemben támasztott követelmények. A „bárhol” azt jelenti, hogy az alapegység – ha úgy tetszik – megvalósítható legyen nemcsak a Földön. A „bármikor” a változatlanság kiterjesztett követelménye, vagyis az etalon tökéletes állandóságát igényli. A „bárki által” úgy értelmezhető, hogy az egység megvalósítása ne függjön az ember személyétől (de azért a megvalósító személynek kellő ismeretekkel kell rendelkeznie).

De miért nem megfelelő az SI rendszer alapegységeinek jelenleg érvényes meghatározása ? A hét alapegység régi definícióit összehasonlítva, látható hogy az egyes definíciók különböző jellegűek, de többségük etalon jellegű.

Kilóg a sorból a kilogramm és az amper. Az 1 kilogramm etalonja egy mesterséges tárgy, az 1889-ben elfogadott tömeg prototípus. Egy platina-iridium henger (a GrandK), amelyet hármas üveghenger alatt, vákuumban őriznek. Értéke időben lassan változik, de nem lehet tudni, hogy milyen mértékbe. Már egy pollen szem is megváltoztatja a tömegét. Viszont a tömeg meghatározásától és pontosságától is függ két alapegység megvalósítása (amper és mól).

Az amper, a régi SI -beli meghatározás szerint: *olyan állandó villamos áram erőssége, amely két egyenes, párhuzamos, végtelen hosszúságú, elhanyagolhatóan kicsiny kör-keresztmetszetű és egymástól 1 méter távolságban, vákuumban elhelyezkedő vezetőben fenntartva, e két vezető között méterenként $2 \cdot 10^{-7}$ newton erőt hozna létre.* A fenti meghatározás alapján csak közelítő megvalósításokat (etalon) lehet készíteni. Amelyek pontossága nem elégíti ki a modern elektronika igényeit. Más elven alapuló megvalósításokon dolgoznak.

Legjobb a másodperc és a méter meghatározása és ezek megvalósítása. A másodperc az alapállapotú cézium 133 atom két hiperfinom energiaszintje közti átmenetnek megfelelő sugárzás frekvenciája alapján van meghatározva. Az etalon egy cézium 133 atomóra, amely a fenti meghatározásnak megfelelően működik. A pontosság 10^{-14} .

A méter nagyon pontos megvalósításában fontos szerepe volt Bay Zoltánnak. Ő javasolta, hogy a metrológusok fogadják el és rögzítsék a vákuumbeli fénysebesség aktuális értékét (1983), mint nulla bizonytalanságú értéket. Így lehetővé vált a méter nagyon pontos megvalósítása.

A régi SI további gyenge pontja volt, hogy egyes alapegységek más alapegységek meghatározásától függenek. Továbbá ez a függés megjelenik fontos fizikai állandók értékeiben. Ez azt eredményezi, hogy ha egy adott alapegységet sikerül pontosabban megvalósítani, meg kell változtatni más egységeket, illetve fizikai állandókat.

Már Maxwellnél (1870) megjelenik az a vélemény, hogy a bárhol és bármikor rendelkezésre álló etalon megvalósításának lehetőségét nem a makrovilágban, hanem a mikrovilágban, pontosabban a fizikai állandók között kell keresni. („*Ha bolygónk tulajdonságai változnak is, azért még a mi bolygónk marad, de ha egy atom tulajdonságai változnak meg, akkor az többé már nem lesz ugyanaz az atom*” James Clerk Maxwell). Ezért 2018-ban hét megfelelően választott, nagyon pontosan ismert fizikai állandó értékét rögzítették, így ezek tovább nem pontosíthatók, mérési bizonytalanságuk nulla. Ezek:

- $\Delta\nu_{CS}$ az alapállapotú cézium 133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenet frekvenciája.
- c a fény sebessége vákuumban.
- h a Planck állandó.
- e az elemi töltés.
- k a Boltzmann állandó.
- N_A az Avogadro szám.
- K_{cd} a spektrális fényhasznosítás értéke az $540 \cdot 10^{12}$ Hz frekvenciájú monokromatikus sugárzás esetén.

Az SI rendszer hét alapegységének új meghatározása a hét rögzített, azaz nulla bizonytalanságú fizikai állandóval [1]. A rögzített fizikai állandók értékei megtalálhatók az SI alapegységek definícióiban.

- Az idő egysége a másodperc és jele az *s*. A másodperc az alapállapotban lévő nemperturbált cézium 133 atom két hiperfinom szintje közti átmenet frekvenciájának rögzített $\Delta\nu_{CS}$ számértékével – amely érték 9 192 631 770 - lett meghatározva. Ahol a frekvencia Hz egységben van megadva, ami egyenlő az s^{-1} -el.
- A hosszúság egysége a méter és jele az *m*. A méter a *c* vákuumbeli fénysebesség rögzített számértékével – amely 299 782 458 – lett meghatározva. Ahol a fénysebesség $m s^{-1}$ egységben van megadva és a másodperc a $\Delta\nu_{CS}$ frekvenciájával lett meghatározva.
- A tömeg egysége a kilogramm és jele a *kg*. A kilogramm a *h* Planck állandó rögzített számértékével – amely $6,629\,070\,15 \cdot 10^{-34}$ - lett meghatározva. Ahol a Planck állandó *J s* egységben van megadva, ami egyenlő a $kg\,m^2\,s^{-1}$ -el. A méter a *c* -vel és a $\Delta\nu_{CS}$ frekvenciával, a másodperc pedig a $\Delta\nu_{CS}$ frekvenciával lett meghatározva.
- Az áramerősség egysége az amper és jele az *A*. Az amper az *e* elemi töltés rögzített számértékével – amely $1,602\,176\,620\,8 \cdot 10^{-19}$ – lett meghatározva. Ahol az elemi töltés *C* egységben van megadva, ami egyenlő az *As* -el. A másodperc a $\Delta\nu_{CS}$ frekvenciával lett meghatározva.
- A termodinamikai hőmérséklet egysége a kelvin és jele a *K*. A kelvin a *k* Boltzmann állandó rögzített számértékével – amely $1,308\,648\,52 \cdot 10^{-23}$ – lett meghatározva. Ahol a Boltzmann állandó $J\,K^{-1}$ egységben van megadva, ami egyenlő a $kg\,m^2\,s^{-2}\,K^{-1}$ -el. A kilogramm a *h*-val, méter *c* -vel és a $\Delta\nu_{CS}$ frekvenciával, míg a másodperc a $\Delta\nu_{CS}$ frekvenciával lett meghatározva.
- Az elemi részecske anyagmennyiség egysége a mól és jele a *mol*. A mól az N_A Avogadro állandó rögzített számértékével – amely $6,022\,140\,857 \cdot 10^{23}$ - lett meghatározva. Ahol az Avogadro állandó mol^{-1} egységben van megadva és Avogadro számnak is hívják. Az elemi részecske lehet atom, molekula, ion, elektron, vagy bármely más részecske, vagy ilyen részecskék meghatározott csoportja.
- Adott irányban vett fényerősség egysége a kandela és jele a *cd*. A kandela az $540 \cdot 10^{12}$ Hz frekvenciájú monokromatikus sugárzás fényhasznosításának rögzített K_{cd} számértékével - amely 683 – lett meghatározva. Ahol a fényhasznosítás $lm\,W^{-1}$ egységben van megadva, ami egyenlő a $cd\,sr\,W^{-1}$ -el, vagy a $kg^{-1}\,m^{-2}\,s^3\,cd\,sr$ -al. A kilogramm a *h*-val, a méter a *c*-vel és a $\Delta\nu_{CS}$ frekvenciával, a másodperc a $\Delta\nu_{CS}$ frekvenciával lett meghatározva. Az *sr* a szteradián.

Ugyanez más nézőpontból, amely talán jobban rávilágít, hogy milyennek kellene lennie az egység realizációjának:

- Az s úgy van meghatározva, hogy az alapállapotú cézium 133 atom két hiperfinom energiaszintje közötti átmenet frekvenciája pontosan $9\,192\,631\,770$ Hz legyen.
- Az m úgy van meghatározva, hogy a c vákuumbeli fénysebesség pontosan $299\,792\,458$ m s^{-1} legyen.
- A kg úgy van meghatározva, hogy a h Planck állandó pontosan $6,626\,069\,3 \cdot 10^{-34}$ J s legyen.
- Az A úgy van meghatározva, hogy az e elemi töltés pontosan $1,602\,176\,53 \cdot 10^{-19}$ C legyen.
- A K úgy van meghatározva, hogy a k Boltzmann állandó pontosan $1,380\,650\,4 \cdot 10^{-23}$ J K^{-1} legyen.
- A $mól$ úgy van meghatározva, hogy az N_A Avogadro szám pontosan $6,022\,141\,5 \cdot 10^{23}$ mol^{-1} legyen.
- A cd úgy van meghatározva, hogy az $540 \cdot 10^{12}$ hertz frekvenciájú, monokromatikus sugárzás K_{cd} spektrális sugárerőssége pontosan 683 lm W^{-1} legyen.

Az így definiált alapegységeknek több előnyük is van:

Az alapegység pontos, nulla bizonytalanságú. Így időben állandó. Ez nemcsak az alapegységekre igaz, hanem a belőlük levezethető származtatott egységek definíciójára is. Megszűnik az alapegység származtatott egység megkülönböztetés. Az egység pontossága, illetve bizonytalansága a megvalósításnál (realizáció) jelenik meg. De a mérés technika fejlődésével, más mérési megoldások alkalmazásával természetesen javítható a pontosság. Ez azonban nem fogja érinteni az egységek definícióját. Különböző az új definíciókat úgy állapították meg, hogy a változtatások pillanatában az új egységek nagysága ugyanakkora legyen mint a régi egységeké.

Összeállította Dr.Sztraka Lajos

- [1] <https://www.bipm.org/en/CGPM/db/26/1/>
- [2] I.M.Mills, P.J.Mohr, T.J.Quinn, B.N.Taylor, E.R.Williams: Metrologia 42 (2005) 71-80
- [3] I.M.Mills, P.J.Mohr, T.J.Quinn, B.N.Taylor, E.R.Williams: Metrologia 43 (2006) 227-246
- [4] A 24. CGPM előtt feltették a Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) honlapjára a metrologiában érdekelt szakemberek kérdéseit az új SI-vel kapcsolatban, és a válaszokat.

Az anyag magyarul is hozzáférhető:

<https://www.muszeroldal.hu/news/BevezetoazSIujrameghatarozasahoz.pdf?type=INFOM>

- [5] Bánkuti László: A Nemzetközi Mértékegység-rendszer várható megújítása.
<https://www.muszeroldal.hu/news/bankutiszept.html>