

Zmena definície základných jednotiek sústavy SI.

Dnes môžeme hovoriť doslova o revolúcii v oblasti metrológie. Až štyri zo siedmich základných jednotiek sústavy SI – **kilogram**, **ampér**, **kelvin** a **mol** budú nanovo zadefinované principiálne odlišným spôsobom, ako to bolo doteraz.

V čom spočíva táto zmena?

Táto zmena spočíva v dokončení premeny definícií jednotiek opierajúcich sa o materializovanú podobu etalónov na nové definície jednotiek opierajúcich sa o samotné fyzikálne fundamenty, reprezentované základnými fyzikálnymi konštantami. V novo definovanej SI sústave jednotiek platnej od 20. mája 2019 je fixne definovaných sedem fyzikálnych konštánt, ktorých hodnoty sa deklarujú ako presné čísla, ktoré sa už ďalej nebudú meniť a spresňovať (majú nulovú neistotu). Od týchto siedmich fyzikálnych konštánt sú potom odvodené definície siedmich základných jednotiek sústavy SI.



Sú to tieto konštanty:

$\Delta\nu_{\text{Cs}}$	frekvencia hyperjemného prechodu atómu Cézia ^{133}Cs	9 192 631 770 Hz
c	rýchlosť svetla vo vákuu	299 792 458 m.s ⁻¹
h	Planckova konštantka	6,62607015 × 10 ⁻³⁴ J.s (kg.m ² .s ⁻¹)
e	elementárny náboj	1,602176634 . 10 ⁻¹⁹ C
k	Boltzmannova konštantka	1,380649 .10 ⁻²³ J. K ⁻¹
N _A	Avogadrova konštantka	6,02214076 . 10 ²³ mol ⁻¹
K _{cd}	svetelná účinnosť monochromatického žiarenia frekvencie 540.10 ¹² Hz	683 lm. W ⁻¹

Aké dôvody stoja v pozadí týchto zmien?

Dôvodom týchto zmien je zámer úplne vylúčiť z definícií základných jednotiek SI fyzické etalóny, ktoré môžu z dlhodobého hľadiska podliehať zmenám, a sú to tiež požiadavky z oblasti najmodernejších technológií a priemyslu na zvýšenie presnosti a rozsahu meraní, napr. v nanotechnológiách, mikroelektronike, presnom strojárstve, kozmickom a leteckom priemysle, chémii a v mnohých ďalších oblastiach ľudskej činnosti.

Pozrime sa teraz na jednotlivé jednotky, ktorých definície sa zmenia od 20. mája 2019.

Kilogram

Kilogram je základnou SI jednotkou hmotnosti. Doteraz bol kilogram definovaný tak, že je to hmotnosť medzinárodného prototypu kilogramu. Tento etalón je uložený v Medzinárodnom úrade

pre váhy a miery v Sèvres vo Francúzsku a je zhotovený ako valec zo zliatiny platiny a irídia v pomere 9:1. Táto definícia kilogramu je ľahko pochopiteľná aj pre ľudí bez fyzikálneho vzdelania, prežila už viac ako sto rokov, no vzhľadom na potencionálne fluktuácie hmotnosti prototypu kilogramu dnes už nevyhovuje potrebám modernej metrológie a priemyslu.

Nová definícia kilogramu je nasledovná[1]:

Kilogram, symbol kg, je SI jednotkou hmotnosti. Je definovaný tak, že numerická hodnota Planckovej konštanty h je presne $6,62607015 \cdot 10^{-34}$, keď je vyjadrená v jednotke J.s, ktorá sa rovná $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, kde meter a sekunda sú definované pomocou c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Pri prvom prečítaní tejto definície asi každý z nás, kto si pamätá starú definíciu kilogramu ešte zo strednej školy, zostane zaskočený. Čo má kilogram spoločné s Planckovou konštantou, zavedenou v kvantovej fyzike?

Nová definícia kilogramu z roku 2019 je teda principiálne založená na deklaratórnom zedefinovaní hodnoty fyzikálnej konštanty - Planckovej konštanty $h=6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Hodnota tejto konštanty sa fyzikálnymi meraniami doteraz dlhodobo spresňovala a teraz jej prekvapivo priradíme pevnú hodnotu!? Je to ťažko pochopiteľné, tak si to skúsme vysvetliť.

Fyzikálny rozmer Planckovej konštanty je J.s (Joule sekunda), alebo $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Z toho ale vyplýva, že ak presne zdefinujeme hodnotu Planckovej konštanty, hmotnosť kilogramu môžeme odvodiť z dvoch ďalších základných jednotiek SI vystupujúcich vo fyzikálnom rozmere tejto konštanty, a síce jednotky dĺžky metra m a jednotky času sekundy s . Treba na to však nájsť vhodný experiment, ktorý si popíšeme v časti *Ako realizovať kilogram v súlade s novou definíciou*.

Aké sú dôsledky? Také, že definícia jednotky SI kilogram prestáva byť závislá na materializovanej podobe etalónu kilogramu, ktorého hodnota hmotnosti sa s časom môže meniť (napr. sorpciou chemických nečistôt z atmosféry na povrchu etalónu). Nová definícia kilogramu sa opiera len o presnú hodnotu Planckovej konštanty a ďalšie dve základné jednotky SI – meter a sekundu. Definície týchto dvoch jednotiek sú tiež vzťahované k presným fyzikálnym konštantám, sekunda k frekvencii hyperjemného prechodu základného stavu atómu Cézia ^{133}Cs a meter k rýchlosti svetla vo vákuu.

Ako realizovať kilogram v súlade s novou definíciou

V súčasnosti sú v zásade dve dostatočne presné metódy použiteľné na realizáciu jednotky kilogram v súlade s novou definíciou. Jedna metóda zahŕňa počítanie atómov v čistej kremíkovej guli ^{28}Si , ktorá váži rovnakú hodnotu ako referenčný kilogram. Toto môže byť použité na výpočet hodnoty Avogadrovej konštanty, ktorá môže byť ďalej transformovaná na hodnotu Planckovej konštanty. Druhá metóda využíva prístroj známy ako Kibbleho váha na získanie hodnoty Planckovej konštanty porovnaním gravitačnej sily na skúšobnej hmotnosti s elektromagnetickou silou na cievke pretekanej prúdom v magnetickom poli (s využitím Josephsonovho a Hallovoho kvantového javu). V posledných rokoch sa výsledky oboch týchto metód navzájom výborne zhodujú a sú dostatočne presné na to, aby spĺňali požiadavky kladené na nové definovanie kilogramu.

Po pochopení tejto novej filozofie použitej pri zedefinovaní základnej jednotky SI kilogram by už nemal byť problém pochopiť aj nové definície ďalších troch nanovo definovaných jednotiek: ampér, kelvin a mol.

Ampér

Ampér, symbol A, je SI jednotkou elektrického prúdu. Je definovaný tak, že numerická hodnota elementárneho náboja e je presne $1,602176634 \cdot 10^{-19}$, keď je vyjadrená v jednotke C, ktorá sa rovná A.s, kde sekunda je definovaná pomocou $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Kelvin

Kelvin, symbol K, je SI jednotkou termodynamické teploty. Je definovaný tak, že numerická hodnota Boltzmannovej konštanty k je presne $1,380649 \cdot 10^{-23}$, keď je vyjadrená v jednotke $J \cdot K^{-1}$, ktorá sa rovná $kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$, kde kilogram, meter a sekunda sú definované pomocou h , c a $\Delta\nu_{Cs}$.

Mol

Mól, symbol mol, je SI jednotkou látkového množstva. Jeden mól obsahuje presne $6,02214076 \cdot 10^{23}$ elementárnych entít. Toto číslo je fixovanou numerickou hodnotou Avogadrovej konštanty N_A , keď je vyjadrená v jednotke mol^{-1} a nazýva sa Avogadrovo číslo. Látkové množstvo, symbol n , systému je mierou počtu špecifikovaných elementárnych entít. Týmito entitami môžu byť atómy, molekuly, ióny, elektróny, rôzne iné častice, alebo špecifikované skupiny častíc.

Aký bude mať zmena definícií jednotiek SI význam pre ľudstvo?

Súčasná poznatosť vo fyzike predpokladá, že fyzikálne zákony platia v dnes známej podobe rovnako všade na Zemi, a tiež ľudstvu dostupných miestach vo Vesmíre. Preto i fundamentálne fyzikálne konštanty použité v nových definíciách jednotiek SI tam majú rovnaké hodnoty a budú sa dať použiť na realizáciu základných jednotiek SI. Jeden zo skrytých dôsledkov novej definície jednotiek SI je možnosť realizácie primárnych etalónov SI jednotiek všade na Zemi, a aj v blízkom Vesmíre s rovnako veľkou neistotou, čo umožní ďalší rozvoj a expanziu moderných technológií na Zemi a vo Vesmíre. Treba však zdôrazniť, že bežného človeka sa redefinícia jednotiek SI nijako negatívne nedotkne a napr. nový kilogram bude veľkosťou taký istý, ako ten starý...

Literatúra:

[1] <https://www.bipm.org>