

Nové definice základních jednotek SI

EMANUEL SVOBODA

MŮ ČVUT, Praha

Generální konference pro váhy a míry (CGPM) schválila na svém 26. zasedání ve Versailles 16. listopadu 2018 změnu základních definic jednotek soustavy SI (redefinice). Změna vstoupila v platnost na Světový den metrologie 20. května 2019 ([1, 2, 3]).

Sada sedmi základních jednotek jako taková zůstala zachována, tj. *sekunda*, *metr*, *kilogram*, *kelvin*, *ampér*, *mol* a *kandela*, ale principiálně byly změněny definice kilogramu, ampéru, kelvinu a molu. Stávající definice sekundy, metru a kandely se osvědčily, takže jsou nadále považovány za dostatečně vyhovující. Předpokládá se ale, že nové znění definice sekundy bude vzhledem k pokrokům v metrologii změněno kolem r. 2026 na základě frekvence hyperjemného přechodu ^{133}Cs , jejíž jednotkou je reciproká sekunda.

Podstatou redefinic je to, že všechny základní jednotky jsou nyní pevně vázány na sedm vybraných fyzikálních konstant, jejichž hodnoty jsou dohodou fixovány (považují se za pevně stanovené). Jinak řečeno, nové definice vycházejí z předpokladu, že všechny základní jednotky jsou vyjádřeny s použitím tzv. „tvaru s explicitní konstantou“, ve kterém je základní jednotka definována nepřímo stanovením přesné hodnoty všeobecně uznávaných fundamentálních fyzikálních konstant daných strukturou hmoty v celém vesmíru. Toto východisko pro redefinice základních jednotek SI bylo definitivně vybráno poté, když se potvrdilo světovými metrologie-

kými institucemi, že je možné s mimořádnou přesností stanovit číselné hodnoty uvažovaných konstant (např. Planckovy konstanty h) a pomocí nich definovat základní jednotky soustavy SI.

Byl vybrán soubor následujících sedmi definujících konstant s přesně definovanými hodnotami [1]:

- frekvence záření, které vzniká při přechodu atomu cesia ^{133}Cs mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu

$$\Delta\nu_{\text{Cs}} = 9\,192\,631\,770 \text{ Hz}$$

- rychlost světla ve vakuu

$$c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Planckova konstanta

$$h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

- elementární náboj

$$e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

- Boltzmannova konstanta

$$k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

- Avogadrova konstanta

$$N_{\text{A}} = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

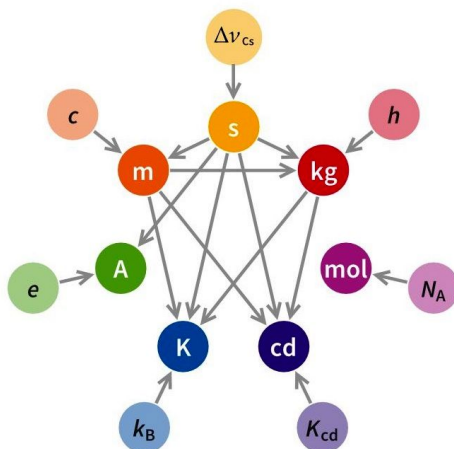
- světelná účinnost monochromatického záření frekvence 540 THz je

$$K_{\text{cd}} = 683 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$$

V tom spočívá nejdůležitější a největší změna SI. Systém již není zaveden pomocí sedmi základních jednotek, jak tomu bylo dosud, nýbrž pomocí sedmi základních veličin a jim příslušejících konstantních (fixovaných) hodnot. Relativní nejistota určení sedmi vybraných konstant je podle definice automaticky nulová. Tím se samozřejmě částečně změnily i hodnoty veličin, kterých se konstanty týkají, např. molární plynová konstanta R , Faradova konstanta F a další.

Poznámka. Mezi výše uvedené konstanty nebyla záměrně zařazena gravitační konstanta G , jejíž aktuální hodnota $(6,674\,30 \pm 0,000\,15) \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ (viz CODATA 2018) je známa jako hodnota s velkou nejistotou měření ve srovnání např. s měřením Planckovy konstanty h [4].

Změna v dokumentech CGPM a v různých dosud vyšlých člancích pojednávajících o redefinicích jednotek SI se vyjadřuje graficky, jak je znázorněno na obr. 1. Logo nové SI, Le Système International d'Unités, je na obr. 2.



Obr. 1 Vztah mezi vybranými veličinami pro definice základních jednotek SI (převzato z https://cs.wikipedia.org/wiki/Nov%C3%A9_definice_SI)



Obr. 2 Logo nové SI (převzato BIPM.CC BY-ND 4.0)

Důvody ke změnám čtyř definic základních jednotek

Jak je všeobecně známo, základní jednotka hmotnosti *kilogram* byla jako poslední základní jednotkou SI odvozovaná od svého prototypu (mezinárodního fyzického etalonu, artefaktu vytvořeného jako váleček ze slitiny platiny a iridia) uchovávaného v Mezinárodním úřadu pro míry a váhy ve Francii (obr. 3). Každá členská země organizace Metrická konvence měla kopii mezinárodního prototypu, kterou pravidelně přivážela do Mezinárodního úřadu pro míry a váhy (označován zkratkou BIPM), aby se zjistil případný rozdíl mezi originálem a národním etalonem. Uvádí se (viz např. [4]), že při těchto kontrolách a také při různých čistících procedurách (otěry) ztratil mezinárodní etalon za posledních více než 100 let na hmotnosti asi $50 \mu\text{g}$. Tato hmotnost sice odpovídá přibližně hmotnosti zrnka písku či o něco méně, než je hmotnost lidského vlasu, ale když byl kilogram definován jako aktuální hmotnost prototypu, docházelo vlastně ke změnám této hmotnosti.



Obr. 3 Mezinárodní prototyp kilogramu (zdroj: BIPM)

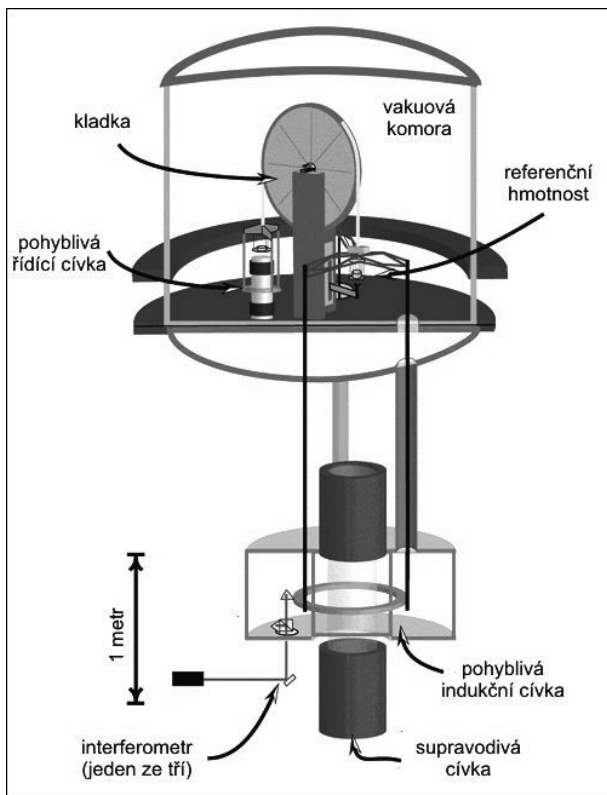
Hodnota jednoho kilogramu neodpovídala stále stejnému počtu částic v etalonu. To se ukazovalo čím dál tím více jako neuspokojivé pro metrologii po vědecké stránce (jako nepřesný způsob měření kilogramu). Navíc vědci po delší dobu přicházeli s námitkami, že etalony se mohou teoreticky ztratit nebo mohou být poničeny. Proto vědci vyžadovali, aby byla přijata „elegantnější“ definice založená na něčem univerzálním, zafixovaném na základních konstantách přírody. Problém s dosavadní definicí kilogramu byl také při měření malých hmotností (řádově mikrogramy a méně), např. při dávkování léků.

Uvedené problémy znamenaly, že nové definici jednotky kilogram vědci věnovali mnoho let značné úsilí. Postupně se ukázalo, že nevhodnější realizace kilogramu je přes *Planckovu konstantu* h [5]. V roce 2018 bylo získáno metrologickými instituty dostatek přesných měření této konstanty (nejistota měření lepší než $2 \cdot 10^{-8}$). Jako nejpřesnější metody odvození kilogramu pomocí h se ukázala jednak metoda využívající tzv. *Kibblovu váhu* (využita čtyři měření [5, 6]), jednak metoda křemíková koule (také využita čtyři měření).

Základní schéma měření pomocí Kibblových vah, navržených v r. 1975 B. P. Kibblem z anglické Národní fyzikální laboratoře (NPL), je na obr. 4. Experiment s těmito vahami se nazývá *Watt Ballance* (výkonové váhy) a jeho základní princip je jednoduchý. Tíha referenčního tělesa (s referenční hmotností) je kompenzována přes kladku protizávažím. Na rameno tělesa s testovací hmotností také působí magnetická síla vyvolaná interakcí cívky s permanentním magnetem. Proud cívkou je ovládán rezistorem, který je kalibrován kvantovým standardem (využito tzv. *Josephsonova jevu*). K měření napětí je využito kvantového Hallova jevu. Měřením proudu a napětí lze stanovit výkon kompenzujícího tělesa. Proto se experiment označuje jako výkonové váhy. Výsledkem měření při známé hmotnosti tělesa je hodnota Planckovy konstanty a naopak – při fixované hodnotě Planckovy konstanty a elementárního náboje je výsledkem měření *hmotnost referenčního tělesa*. Měření se provádí jednak ve statickém režimu (rovnováha mezi tíhovou silou a magnetickou silou), jednak v dynamickém režimu (cívka se nechá rovnoměrně pohybovat, měří se v ní vzniklé indukované napětí). Podrobněji viz např. [6, 8].

Druhým experimentem k odvození Planckovy konstanty a její použití pro definici kilogramu je mezinárodní *projekt Avogadro* [7], který probíhá již od r. 1990 a byl původně nasměrován k určení Avogadrovy konstanty. V rámci tohoto projektu byly vytvořeny co nejdokonalejší koule z izoto-

picky velmi čistého křemíku. K přesnému měření tvaru je využíváno interferometru. Drsnost jejich povrchů je menší než 0,3 nm, jejich křivost se neliší o víc než 60 nm až 70 nm. U koulí je také minimalizována povrchová oxidace a znečištění. Změřením mřížkové konstanty lze určit počet atomů ^{28}Si v kouli a při znalosti hmotnosti jednoho atomu Si (tu lze určit velmi přesně hmotnostním spektrometrem) lze vypočítat hmotnost každé koule. Podrobněji viz např. [8].



Obr. 4 Schéma experimentu Watt Ballance. Upraveno P. Kulhánkem podle R. Steinera / NIST

Dosavadní definice *ampéru* založená na měření velikosti magnetické síly, kterou na sebe působí ve vakuu dva nekonečně dlouhé vodiče (zanedbatelného průřezu) s proudem, také narážela na praktickou realizaci. Vyrobit

takové vodiče je samozřejmě nemožné, takže již samotná definice narážela na nejistoty měření (řádově 10^{-6}). Navíc odvozená veličina síla v sobě zahrnuje veličinu hmotnost. Ukázalo se, že realizace ampéru pomocí kvantových etalonů vede k výsledkům přesnějším až o tři řády. Tento fakt také umožňuje kvalitní realizaci jednotek *volt* a *ohm*.

Definice *kelvinu* jako jednotky termodynamické teploty byla vázána na teplotu trojného bodu vody. Ale přesně stanovená teplota (273,16 K) tohoto rovnovážného stavu soustavy led–voda–sytá vodní pára je až příliš závislá na chemické čistotě vody a také na jejím izotopovém složení. Navíc se ukázalo, že je dosti obtížné tuto definici používat při teplotách blízkých 0 K. Nová definice kelvinu umožňuje převést měření termodynamické teploty na měření energie částic.

Ve stávajícím systému SI používaném do května 2019 závisela jednotka látkového množství *mol* na definici kilogramu, protože svazovala veličinu látkové množství s hmotností (12 g nuklidu uhlíku ^{12}C).

Výše uvedené důvody vedly ke změně definic základních jednotek *kilogram*, *ampér*, *kelvin* a *mol*. Definice jednotek *sekunda*, *metr* a *kandela* byly jen přeformulovány, aby měly stejný formát jako nové definice kilogramu, ampéru, kelvinu a molu.

Přehled nových definic

Jak bylo uvedeno v úvodu tohoto článku, nově jsou všechny základní jednotky pevně navázány na vybrané fyzikální konstanty, jejichž číselné hodnoty jsou fixovány přijatou dohodou CGPM.

Přehled základních jednotek a jejich nové definice (viz např. [9]) jsou uváděny v takovém pořadí, aby každá základní jednotka závisela pouze na definici základní jednotky uvedené výše v pořadí (viz následující tabulku), neboli aby se nejednalo o definici kruhem. Poprvé je koncepce jednotek SI vnitřně konzistentní a není již pouhým slepencem postupně přijímaných, ale nesourodých definic.

Navržené fixní hodnoty nevznikly zaokrouhlováním, ale volbou nejvhodnější hodnoty z věrohodně naměřených hodnot, daných intervalem směrodatné odchylky (nejistoty měření).

Důležitým požadavkem na nové definice byl také požadavek zpětné kompatibility, tedy aby nové základní jednotky SI byly stejně velké jako stávající s maximální dostupnou přesností.

V následující tabulce jsou uvedeny nové definice sedmi základních jednotek SI platných od 20. května 2019:

Základní jednotka	Nová definice
sekunda	Sekunda, symbol s, je SI-jednotka času. Je definována fixováním číselné hodnoty cesiové frekvence $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, přechodové frekvence atomu cesia 133 v klidovém stavu při přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu, rovné 9 192 631 770, je-li vyjádřena v jednotce Hz, jež je rovna s^{-1} .
metr	Metr, symbol m, je SI-jednotka délky. Je definována fixováním číselné hodnoty rychlosti světla ve vakuu c rovné 299 792 458, je-li vyjádřena v jednotkách $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, kde sekunda je definována ve smyslu $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
kilogram	Kilogram, symbol kg, je SI-jednotka hmotnosti. Je definována fixováním číselné hodnoty Planckovy konstanty h rovné $h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}$, je-li vyjádřena v jednotkách $\text{J} \cdot \text{s}$, což se rovná $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, kde metr a sekunda jsou definovány ve smyslu c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
ampér	Ampér, symbol A, je SI-jednotka elektrického proudu. Je definována fixováním číselné hodnoty elementárního náboje e rovné $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}$, je-li vyjádřena v jednotce C, což se rovná $\text{A} \cdot \text{s}$, kde sekunda je definována ve smyslu $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
kelvin	Kelvin, symbol K, je SI-jednotka termodynamické teploty. Je definována fixováním číselné hodnoty Boltzmannovy konstanty k rovné $1,380\,649 \cdot 10^{-23}$, je-li vyjádřena v jednotkách $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$, což se rovná $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány ve smyslu h , c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
mol	Mol, symbol mol, je SI-jednotka látkového množství. Jeden mol obsahuje přesně $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ elementárních entit. Toto číslo je fixovaná číselná hodnota Avogadrovy konstanty, N_{A} , je-li vyjádřena v jednotce mol^{-1} a je nazývána Avogadrovo číslo. Látkové množství, symbol n , systému je mírou počtu specifikovaných elementárních entit. Elementární entitou může být atom, molekula, iont, elektron nebo jakákoliv jiná částice či specifikovaná skupina částic.
kandela	Kandela, symbol cd, je SI-jednotka svítivosti v daném směru. Je definována fixováním číselné hodnoty světelné účinnosti monochromatického záření o frekvenci $540 \cdot 10^{12}$ Hz, K_{cd} , rovné 683, je-li vyjádřena v jednotkách $\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}$, což se rovná $\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{W}^{-1}$ nebo $\text{cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^3$, kde kilogram, metr a sekunda jsou definovány ve smyslu h , c a $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Odvozené jednotky SI bude možné definovat nejenom jako dosud pomocí jednotek základních, ale i přímo pomocí výše uvedených definičních konstant.

Metodické problémy

Pro běžný život a běžné technologie jsou zavedené změny v definicích základních jednotek SI zanedbatelné, na běžného člověka nebudou mít vliv. Vědci ale budou schopni ve vědeckých aplikacích a experimentech přesně měřit veličiny v různých místech, časech a měřítkách. Byla získána stabilní základna, na níž lze rozvíjet vědecké poznávání, nové technologie, obchod a řešit současné i budoucí úkoly společnosti. Každá země si realizaci etalonu příslušné jednotky udělá sama vhodným experimentem, ve kterém vstupují ty konstanty, které jsou dohodou fixovány.

Potřeba dobrých vědeckých definic základních jednotek SI převážila nad ztrátou srozumitelnosti pro ty, kteří se na takovém vytváření nepodíleli a nebudou podílet, např. žáci základních a středních škol. V nových definicích těchto jednotek se bohužel ztratila názornost. Jak bylo dříve snadné vysvětlit žákům, co je jednotkou délky či hmotnosti, protože příslušné artefakty byly velmi názorné. Teď je a nadále bude metodicky obtížné vysvětlit smysl a princip přijatých definic základních jednotek SI. Už samotná vazba „je definována fixací číselné hodnoty...“ tomu nasvědčuje.

Bylo a zatím je nepsaným pravidlem, že v našich učebnicích fyziky [10, 11] začínáme před učivem z mechaniky Úvodem, ve kterém kromě jiného je pojednání o soustavě fyzikálních veličin a jim odpovídající soustava jednotek SI (základní, odvozené, násobné a dílčí). To může v podstatě zůstat – jen v učebnici [10] už neplatí věta, že definice sedmi základních veličin nalezneme v MFChT (platí ale, že také se dají vyhledat na internetu). Spíše je podstatné, že tyto definice jsou „rozprostřeny“ v odpovídajícím učivu v jednotlivých ročnících a učitel fyziky by měl na tuto skutečnost podle aktuálnosti učiva reagovat ve svém výkladu. V dosavadním vydání publikace [12, s. 15] jsou ale definice základních jednotek uvedeny v čl. 1.3 Fyzikální veličiny a jejich jednotky. Pokud nebude vydáno přepracované vydání této učebnice, musí učitel žáky na změny definic upozornit.

Uvedme si nyní stručně přehled možností, v kterých částech středoškolského učiva *gymnaziální fyziky* je to aktuální:

Definice *sekundy* je fixována na přechodovou frekvenci atomu cesia při přechodu mezi dvěma hladinami velmi jemné struktury základního stavu. Této situaci odpovídá rozšiřující učivo o kvantování energie, viz [13, s. 61].

Definice *metru* se v podstatě nezměnila, jen byl přidán dodatek, v jakém smyslu je definována sekunda (podobně je tento doplněk uveden i u dalších základních jednotek postupným přidáváním odkazu na předchozí jednotky). Současná učebnice [14, s. 13] na definici metru upozorňuje.

Definice *kilogramu* je fixována na Planckovu konstantu. Učebnice [13, s. 44] ji zavádí v čl. 2.1 Kvantová hypotéza vztahem pro energii kvanta záření.

Definice *ampéru* je fixována na hodnotu elementárního náboje. V současné učebnici [15, s. 116] je definice uvedena v souvislosti se vztahem pro velikost magnetické síly, která působí mezi dvěma velmi dlouhými vodiči. Protože redefinice ampéru se již neopírá o tento vztah, bude možné se o současně platné definici zmínit buď v elektrostátice při probírání pojmu elementární elektrický náboj [15, s. 17], ale vhodnější se mi jeví téma o elektrickém proudu po definici proudu jako fyzikální veličiny [15, s. 42].

Jednotka *kelvin* pro termodynamickou teplotu je nyní fixována na Boltzmannovu konstantu. Tu zavádí učebnice [16, s. 69] v čl. 3.4 pojednávajícím o střední kinetické energii jedné molekuly ideálního plynu ($E_0 = \frac{3}{2}kT$), rozšiřující učivo uvedené na CD k dané učebnici pak v R9 Typy stavové rovnice pro ideální plyn ($pV = NkT$). V souvislosti s prvním vztahem je možno charakterizovat konstantu k jako veličinu, která nám umožňuje z měření termodynamické teploty ideálního plynu zjistit zároveň také střední kinetickou energii N jeho molekul (v důsledku jejich neuspořádaného posuvného pohybu).

Jednotka *mol* jako jednotka látkového množství je fixována na číselnou hodnotu Avogadrovy konstanty N_A . V učivu molekulové fyziky podle [16] je veličina látkové množství zavedena v teoretickém cvičení 1 nazvaném „Relativní atomová a molekulová hmotnost. Látkové množství. Molární veličiny“. Cvičení je umístěno na CD. Dokud nebude učitelům a žákům k dispozici upravené vydání, měl by učitel při probírání uvedených pojmů použít např. tento upravený text:

Poněvadž látka má částicovou strukturu, byla ve fyzice, chemii a technice zavedena veličina látkové množství n chemicky stejnorodé látky. Tato veličina je mírou počtu specifikovaných částic (tzv. elementárních entit) ve zkoumané látce (obecně systému). Částicí (entitou) může být atom, molekula, iont, ale také elektron nebo jakákoliv jiná částice nebo specifikovaná skupina částic.

Jednotkou látkového množství je mol (značka mol). Je to jedna ze sedmi základních jednotek soustavy SI. Mol je takové látkové množství dané látky,

jestliže tato látka obsahuje přesně $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ elementárních entit.

Číslo $6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}$ je fixovaná (ustálená) číselná hodnota tzv. Avogadrovovy konstanty N_A , je-li tato konstanta vyjádřena v jednotce mol^{-1} . Tedy

$$N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \text{ (přesně)}.$$

Číselná hodnota Avogadrovovy konstanty $\{N_A\}$ se nazývá Avogadrovo číslo. Udává počet částic v homogenním tělese o látkovém množství 1 mol.

Při výpočtech s Avogadrovou konstantou budeme používat přibližnou hodnotu

$$N_A \doteq 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}.$$

Jednotku *kandela* zavádí učebnice [14] na příloženém CD v rámci rozšiřujícího učiva R4.1 Základní pojmy fotometrie. Je pouze konstatováno, že je to jednotka pro svítivost, definice není ale uvedena vzhledem k poměrně složité formulaci a také proto, že se v dalším učivu nevyužívají základní pojmy fotometrie.

Literatura

- [1] Resolution 1 of the 26th CGPM (2018). Dostupné online: <https://www.bipm.org/en/CGPM/db/26/1/>
- [2] BIPM: Information for users about the redefinition of the SI. Updated May 20, 2019. Dostupné online: <https://www.bipm.org/utils/common/pdf/SI-statement.pdf>
- [3] NIST: SI redefinition. Dostupné online: <https://www.nist.gov/si-redefinition>
- [4] *Kulhánek, P.*: Už není kilo to, co dříve bylo. In: Aldebaran Bulletin, č. 43 (2018). Dostupné online: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2018_43_kil.php
- [5] *Horký, M.*: Nový kilogram konečně na obzoru. In: Aldebaran Bulletin, roč. 14 (2016), č. 30, Štefánikova hvězdárna v Praze. Dostupné online: www.aldebaran.cz/bulletin/2016_30_rum.php
- [6] *Commisariat, T.*: NIST-4 watt ballance weighs in on Planck's constant. Physik World, 29 (2016). Dostupné online: <https://physicsworld.com/a/nist-4-watt-balance-weighs-in-on-plancks-constant/>
- [7] Kilogram: Silicon Spheres and the International Avogadro Project. Dostupné online: <https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram-silicon-spheres-and-international-avogadro-project>

- [8] Šíra, M.: Metrologie a revize SI (od artefaktů ke kvantovým etalonům). Dostupné online: http://www.physics.muni.cz/kof/kavarna/redefinice_SI.pdf
- [9] Český metrologický institut: Nová definice základních jednotek SI. ČMI, Brno, 2018. Dostupné online: https://www.cmi.cz/redefinice_SI
- [10] Svoboda, E. a kol.: Fyzika pro gymnázia. Mechanika. 5. přepracované vydání, Prometheus, Praha, 2013.
- [11] Lepil, O. a kol.: Fyzika pro střední školy I. Prometheus, Praha, 2012.
- [12] Svoboda, E. a kol.: Přehled středoškolské fyziky. Dotisk 5. vydání, Prometheus, Praha, 2018.
- [13] Štoll, I.: Fyzika pro gymnázia. Fyzika mikrosvěta. Prometheus, Praha, 2002.
- [14] Lepil, O.: Fyzika pro gymnázia. Optika. 5. přepracované vydání, Prometheus, Praha, 2015.
- [15] Lepil, O., Šedivý, P.: Fyzika pro gymnázia. Elektřina a magnetismus. 7. přepracované vydání, Prometheus, Praha, 2017.
- [16] Svoboda, E., Bartuška, K.: Fyzika pro gymnázia. Molekulová fyzika a termika. 6. přepracované vydání, Prometheus, Praha, 2016.

Náhrada Ruhmkorffova induktoru zdroji vysokého napětí

ČENĚK KODEJŠKA

Gymnázium, SOŠ a VOS, Komenského 77, Nový Bydžov

Tento článek se zabývá realizací experimentů, které pro své provedení používají Ruhmkorffův induktor. Za všechny jmenujme např. výboje v plynu, jiskrový výboj, nebo elektrostatické kyvadlo. Vzhledem k tomu, že Ruhmkorffův transformátor patří už mezi historické pomůcky, které ve fyzikálním kabinetě spíše dosluhují, oprava většinou není možná, a cena nového induktoru se pohybuje od 7 000 Kč do 12 000 Kč [1–3], zabývali jsme se možností náhrady této pomůcky levnými zdroji vysokého napětí,