

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

P. Carré

Nová definice metru

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 29 (1984), No. 6, 347--349

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138851>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1984

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

se dá zneužít. Matematika může být použita k mystifikaci a zastrašování místo k osvětě veřejnosti. Jako matematikové bychom se měli zajímat o toto překruco-

vání našeho oboru. Není zde žádné snadné řešení. Ale prvním krokem při řešení problému je uvědomit si jeho existenci.

Přeložil Oldřich Kowalski

vyučování

NOVÁ DEFINICE METRU

P. Carré, Paříž

Ve Francii byl metr materializován v r. 1799 jako vzdálenost mezi mezními plochami pravítka obdélníkového průřezu, zhotoveného z platiny. Délka tohoto pravítka, které bylo uloženo v Archívech Republiky, reprodukovala pokud možno věrně jednu desetimilióntinu čtvrtiny zemského poledníku.

V r. 1899 První generální konference pro váhy a míry (Conférence Générale des Poids et Mesures – CGPM) schválila „Prototyp metru“ zvolený Mezinárodní komisí a prohlásila: „Tento prototyp představuje nadále při teplotě tajícího ledu metrickou jednotku délky.“ První CGPM dala takto implicitně definici metru, která byla upravena Sedmou CGPM v r. 1927: metr byl definován vzdáleností os dvou čárek vyrytých na prototypu ze slitiny platiny a iridia při

teplotě 0 °C, uloženém v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry.

Definice z r. 1899, která byla první definicí mezinárodní, vyžadovala i dále materiální etalon. Jeho přesnost však byla značně zlepšena užitím slitiny platiny a iridia místo platiny, dále užitím tyče s průřezem tvar X místo tyče obdélníkového průřezu a přijetím etalonu „s čárkami“ místo etalonu „koncového“. Definice bohatě postačovala pro danou dobu, neboť odpovídající neurčitost byla jen asi deseti mikrometru.

Velmi brzo se však ukázalo, že etalon délky musí být stanoven délkou světelné vlny a nikoli délkou materiálního objektu, jejíž stabilita nemůže být nikdy absolutně zaručena. Užití optických záření, jejichž vlnové délky byly srovnávány s metrem, postupovalo rychle zároveň s intenzifikací studií těchto záření, která nejsou zdaleka tak jednoduchá, jak bychom si přáli.

Bylo nebezpečí, že přesnost interferenčních měření bude omezena neurčitostí, se kterou mohly být vlnové délky známy na základě etalonu metru. V roce 1960 nastal okamžik přijetí vlnové délky světla jako etalonu délky. Jedenáctá CGPM rozhodla tehdy, že od této doby metr bude délka rovná 1 650 763,73 vlnových délek ve vakuu specifikovaného záření kryptonu 86. Je třeba ocenit, že tato definice metru byla asi stokrát přesnější než předcházející.

Avšak dříve než mohla být prohlášena,

La nouvelle definition du metre. Le metre devient-il une unite derivee? P. CARRÉ, Bureau International des Poids et Mesures, Sévres; Bulletin de l'Union des Physiciens, N° 660, Janvier 1984, Paris. Přeložila MARTA CHYTILOVÁ.

© Union des Physiciens 1984

mluvilo se již o „laserech“, zdrojích optických záření, známých svou mimořádnou spektrální čistotou. Brzy bylo zřejmé, že referenční záření kryptonu 86 musí být dříve nebo později nahrazeno zářením laserovým. Avšak provedení takové změny bylo spojeno s nebezpečím, že definici metru bude nutno měnit pokaždé, kdykoli bude objeveno kvalitnější záření.

Naštěstí se objevil nový fakt. V roce 1969 se podařilo stabilizovat laser He – Ne, vysílající infračervené záření a změřit vlnovou délku tohoto záření (srovnáním s etanolovým zářením – kryptonu 86). V roce 1972 se podařilo změřit frekvenci (srovnáním s etalonem s cesiem, definujícím sekundu). Avšak frekvence f a vlnová délka λ téhož záření ve vakuu jsou vázány s rychlostí c světla ve vakuu vztahem $\lambda f = c$. Rychlost světla mohla být tedy dedukována z dvojice měření vlnové délky a frekvence. Měření byla opakována úplně nebo částečně ve velkých národních metrologických laboratořích (USA, Velká Británie, SSSR, Francie, Kanada, Austrálie, NSR) a v Mezinárodním úřadě pro váhy a míry (Bureau International des Poids et Mesures). Získala se hodnota $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ s přesností, jaké nebylo dosud ještě nikdy dosaženo. Vskutku při měření frekvence s největší přesností byla pro c neurčitost $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ téměř výhradně způsobena neurčitostí měření vlnové délky a tato hlavně neurčitostí realizace metru pomocí kryptonového zářiče.

Je velmi překvapující pro fyzika, že přesnost, se kterou lze určit základní fyzikální konstantu, je omezena dřívější volbou definice jedné jednotky. Bylo tedy výhodnější přijmout pro rychlost světla ve vakuu hodnotu v určitém libovolném rozmezí, které však je koherentní s experimentálními výsledky. V tomto smyslu

doporučila CGPM v roce 1975 pro tuto veličinu shora uvedenou hodnotu a prohlásila, že tato hodnota musí v budoucnosti zůstat nezměněna.

Toto prohlášení přesně vzato stanovilo již implicitně novou definici metru. Po provedení četných a delikátních pokusů, ověřujících schválenou hodnotu, zbývalo jen upřesnit text definice a zvláště vybrat mezi různými ekvivalentními formulacemi tu nejhodnější. Definice předložená Sedmnácté CGPM a přijatá dne 20. 10. 1983 zní:

„Metr je délka trasy proběhnuté ve vakuu světlem za dobu $1/299\,792\,458$ sekundy.“

Nová definice nepřinesla ovšem žádný převrat do běžného života a žádnou změnu do našich každodenních měřidel. Bude patrně snadnější k zapamatování, než byla definice předcházející.

Z hlediska ryze vědeckého nepřinese žádné významné zvraty do metrologie délek. Přímé praktické použití pro určení vzdálenosti pomocí měření doby šíření světelné vlny přichází v úvahu jen pro velmi velké vzdálenosti, např. vzdálenosti meziplanetární. Tato metoda se však používá již více než 10 let a od r. 1975 se pro rychlost světla používá doporučená hodnota, tj. hodnota vyplývající nyní z nové definice metru. V laboratořích se nová definice uplatní nepřímo. Principiálně se může použít kterýkoli dostatečně stabilní zdroj záření: stačí změřit frekvenci f , aby se zjistila vlnová délka λ podle vztahu $\lambda = c/f$. V praxi se použije laserových záření, jejichž vlnové délky, určené specializovanými laboratořemi, budou doporučeny; to se dělá již velmi často [1].

Na žádost Sedmnácté CGPM předložila Mezinárodní komise pro váhy a míry (Comité International des Poids et Mesures – CIPM) ve svém doporučení č. 1

(CI – 1983) instrukce pro uvedení definice metru do praxe a zároveň seznam doporučených záření s odhadem neurčitostí jejich frekvence nebo jejich vlnové délky.

V nejjemnějších měřeních délky použitím laserů se přesnost v nynější době zvětšila 10krát až 100krát, avšak nová definice metru poskytuje ještě širší perspektivy. Její potenciální přesnost je v přesnosti jednotky času, která je stotisíckrát lepší než přesnost jednotky délky založené na kryptonu a bezpochyby ji bude možno ještě zlepšit. Kromě toho se nová definice metru opírá o univerzální fyzikální konstantu a nikoli o materiální objekt nebo o záření emitované zvláštní látkou. Poskytuje tedy velmi dobré záruky trvalosti.

V souvislosti s novou definicí metru se často klade otázka: Můžeme metr ještě považovat za základní jednotku SI nebo se metr stává jednotkou odvozenou?

Bylo by vskutku možné rekonstruovat systém veličin tak, že by se rychlost považovala za základní veličinu a délka za veličinu odvozenou, definovanou z rychlosti a času. Jednotka rychlosti (které by bylo třeba dát jednoduchý název) by se mohla zvolit rovna zlomku $1/299\,792\,458$ rychlosti světla ve vakuu, tj. metr za sekundu. Odvozené jednotky se dedukují ze základních jednotek použitím rovnic jako pro odvozené veličiny. Metr, jednotka délky, definovaný vztahem $1\text{ m} = 1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 1 s by se tedy stal jednotkou odvozenou se zvláštním názvem. Struktura SI by se tím však vážně narušila, aniž by se získala nějaká praktická výhoda.

Proto se považovalo za výhodnější ponechat metr mezi základními jednotkami a metr za sekundu mezi odvozenými jednotkami.

Stejným způsobem se metr a newton

(odvozená jednotka) vyskytují v definici ampéru, hertz, watt a steradián (dvě odvozené jednotky a jedna jednotka doplňková) v definici kandely a konečně kilogram v definici molu.

Nepožaduje se tedy, aby základní jednotky byly *fyzikálně* nezávislé, je jen nutné se dohodnout, že budou považovány za nezávislé z hlediska *dimenzionálního*; jejich volba je libovolná a je diktována jedině úvahami z hlediska pohodlnosti.

Bylo také upozorněno na to, že s novou definicí metru nevyžaduje měření rychlosti realizaci žádné jednotky, avšak v principu jen srovnání této rychlosti s rychlostí světla. Měření rychlosti (odvozené veličiny) by mohlo být přesnější než měření délky (základní veličiny), protože měření délky vyžaduje realizaci jednotky času.

To se může jevit jako paradoxní, nejde však o anomálii a tato situace není nová. To se vyskytuje již u všech veličin bezrozměrných; jejich jednotka (číslo 1) nezávisí na základních jednotkách. To platí také např. pro permeability μ , které mohou být teoreticky srovnávány s permeabilitou vakua (neboli magnetickou konstantou) μ_0 , jejíž hodnota $4\pi\cdot 10^{-7}\text{ H}\cdot\text{m}^{-1}$ (přesně) vyplývá z definice základních jednotek.

Nová definice metru má za následek také přesnou znalost hodnoty permitivity vakua (neboli elektrické konstanty) ϵ_0 ; $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$; ($\epsilon_0 \doteq 0,885\,418\,762\cdot 10^{-11}\text{ F}\cdot\text{m}^{-1}$). Nyní lze tedy principiálně měřit permitivity s neomezenou přesností.

Literatura

- [1] J. TERRIEN, Bulletin de l'Union des Physiciens, N° 645, juin 1982, str. 961
- [2] C. RUHLA, Bulletin de l'Union des Physiciens, N° 655, juin 1983