Ladislav Dunajský

K problematike sústavy jednotiek

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 11 (1966), No. 3, 156--160

Persistent URL: `http://dml.cz/dmlcz/138607`

[11] R. O. Simmons, R. W. Balluffi: Phys. Rev., *109* (1958), 335.
[12] R. O. Simmons, J. S. Koehler, R. W. Balluffi: *Symposium on Radiation Damage in Solids and Reactor Materials* — Venice 1962, IAEA, Vienna (1962), 155.
[13] D. L. Gray, W. V. Cummings: Acta Met., *8* (1960), 446.
[14] M. E. Straumanis, T. Ejima: Acta Met., *8* (1960), 56.
[15] F. P. Butra: Fizika mětallov i mětallověděnije, *10* (1960), 223.
[16] S. T. Konobějevskij, F. P. Butra: *Dějstvie jaděrnych izlučenij na matěrialy*, Izd. akad. nauk, Moskva (1962), 251.
[17] B. E. Warren, B. L. Averbach: J. Appl. Phys., *21* (1950), 595.
[18] B. E. Warren: Progress in Metal Phys. *8*, Pergamon Press, London (1959), 147.
[19] A. R. Stokes: Proc. Phys. Soc. (London), *61* (1948), 382.
[20] J. W. Glen: Advances in Physics, *4* (1955), 381.
[21] B. E. Warren: *U. S. Reports*, NYO-767 (1951), NYO-3731 (1952), NYO-3732 (1952), NYO-3734 (1954), NYO-6508 (1954), NYO-6511 (1954).
[22] F. W. Kunz, A. N. Holden: Phys. Rev., *94* (1954), 1417.
[23] F. W. Kunz, A. N. Holden: Acta Met., *2* (1954), 816.
[24] I. V. Batenin a spoluprac.: *Dějstvie jaděrnych izlučenij na matěrialy*, Izd. akad. nauk, Moskva (1962), 161.
[25] Š. Š. Ibragimov, A. G. Karmilov: Fizika mětallov i mětallověděnije, *16* (1963), 40.
[26] W. V. Cummings: J. Phys. Soc. Jap., *18* (1963), Suppl. 3, 189.
[27] R. E. Smallman, K. H. Westmacott: J. Appl. Phys., *30* (1959), 603.
[28] H. H. Atkinson, R. E. Smallman, K. H. Westmacott: J. Appl. Phys., *30* (1959), 646.
[29] A. Seeger, V. Gerold, M. Rühle: Zeitschr. für Metallkunde, *54* (1963), 9.
[30] A. Seeger, M. Rühle, P. Brand: Acta Crystallographica *16* (1963), Suppl., A 114.

K PROBLEMATIKE SÚSTAVY JEDNOTIEK

Ladislav Dunajský, Nitra

Pozn. redakce: V současné době se zdá, že mezinárodním přijetím soustavy jednotek SI/MKSA vedle absolutních soustav je otázka jednotek na delší dobu vyřešena. Mohlo by se tedy zdát, že tématika článku je neaktuální. Přesto však se neustále objevují příspěvky přinášející kritické připomínky k této otázce. Takovým je i článek, který otiskujeme. Tvrzení autorovo, že soustava MKSC deg je nejvíce zdůvodněna, není bezesporné. Redakce uvítá jakékoliv diskusní příspěvky na toto téma.

Na otázku, či rozmer fyzikálnej veličiny má fyzikálny význam alebo je len konvenciou, jestvujú rôzne mienky. Napr. J. H. Jackson v [1] stojí na stanovisku ľubovoľného výberu rozmeru fyzikálnych veličín. Planck otázku skutočného rozmeru fyzikálnych veličín považoval za otázku bez zmyslu. Naproti tomu A. Sommerfeld v [2] venuje veľkú pozornosť rozmerom fyzikálnych veličín, ktoré charakterizujú elektromagnetické pole, a stojí na stanovisku, že rozmer fyzikálnej veličiny musí odpovedať jej fyzikálnej prírode. Zástancovia tohoto stanoviska kritizujú sústavu CGS a fyzikálne najviac zdôvodnenú považujú Giorgi sústavu MKSA (SI), resp. MKSC. V elektrodynamike zástancovi tohoto stanoviska považujú vektory **E** a **D**, resp. **B** a **H**, za rôzne charakteristiky elektromagnetického poľa aj vo vákuu, kým zástancovi sústavy CGS nie (pozri napr. [3]). Z polemických výmien názorov v poslednej dobe na túto otázku spomenieme len články MARXA [4] a HORVÁTHA [5]. O tom, že štandardizácia sústavy SI nesmie ísť na úkor jej zdokanalenia a vývoja, hovorí sa v [6]. KAPĽAN v [7], ktorý považuje sústavu CGS za fyzikálne nevyhovujúcu, kritizuje výber ampéru za základnú fyzikálnu veličinu a miesto neho navrhuje hlavne z metodických dôvodov coulomb. Tu je podaný aj návrh na definíciu coulomba pomocou náboja elektrónu. POST v [8] odvodzuje z rozmerových úvah transformačné vlastnosti fyzikálnych veličín pri spojitých transformáciách, pritom používa v podstate sústavu MKSC. V tomto článku ukážeme, že ak rozmer fyzikálnych veličín napíšeme v sústave MKSC deg, tak na určenie parity pri nespojitých transformáciach: inverzii času — T, inverzii priestoru — P a inverzii náboja — C, možno udať jednoduchý algoritmus. Preskúmame fyzikálny význam takto obdržaných výsledkov v obore klasickej elektrodynamiky.

V tomto článku budeme používať sústavu jednotiek m, kg, s, C, deg. Používame práve túto sústavu, lebo chceme, aby v rozmere fyzikálnej veličiny vystúpili explicitne tie veličiny, ktoré sa nespojite transformujú, tj. čas, dĺžka a náboj. V tejto sústave sú exponenty rozmerov celými číslami. Rozmer fyzikálnej veličiny X je vyjadrený vzťahom

$$[X] = \mathrm{m}^a\,\mathrm{kg}^b\,\mathrm{s}^c\,\mathrm{C}^d\,\mathrm{deg}^f\,. \tag{1}$$

Pri T, P, C, CT, CP, PT a CPT inverzií platí, že

$$X' = \eta X\,, \tag{2}$$

kde η nazývame príslušnou paritou a η nadobúda dve hodnoty $+1$ alebo -1. Z rozmerového hľadiska paritu obdržíme tak, že -1 povýšime na rozmerový exponent tých veličín (dĺžka, čas, náboj), ktoré menia pri príslušnej inverzii svoje znamienko. Tento algoritmus možno vyjadriť nasledovne

$$\begin{gathered}\eta_T = (-1)^c,\ \eta_P = (-1)^a,\ \eta_C = (-1)^d\,,\\ \eta_{CT} = (-1)^{c+d},\ \eta_{CP} = (-1)^{a+d},\ \eta_{PT} = (-1)^{a+c}\,,\\ \eta_{CPT} = (-1)^{a+c+d}\,.\end{gathered} \tag{3}$$

V tab. 1. udáva rozmery niektorých fyzikálnych veličín a znamienka ich parít, ktoré sme určili podľa vzťahov (3).

Pri použití algoritmu (3) vzniká otázka, či vzdialenosť $\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)}$ alebo $\sqrt{(x^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2)}$ zmení svoje znamienko, lebo jeho rozmer je meter. Ovšem druhú odmocninu berieme podľa jej definície v matematike nezáporne. Ak nechceme porušiť konvenciu o znamienku druhej odmocniny, treba pracovať so štvorcom vzdialenosti alebo štvorcom časo-priestorovej odľahlosti.

Snáď nečakaným výsledkom je to, že vektory $\boldsymbol{E}$ a $\boldsymbol{D}$, resp. $\boldsymbol{B}$ a $\boldsymbol{H}$ pri P inverzii transformujú sa rôzne a týmto súvisiaca zmena znamienka ε, resp. μ. Tento výsledok len potvrdzuje tú mienku, že nie je možné elektromagnetické pole ani vo vákuu opísať dvoma vektormi $\boldsymbol{E}$ a $\boldsymbol{B}$. Elektromagnetické pole aj vo vákuu treba charakterizovať štyrmi vektormi $\boldsymbol{E}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{D}$ a $\boldsymbol{H}$, lebo pri P inverzii $\boldsymbol{E}$ a $\boldsymbol{H}$ sú polárnymi vektormi, ale $\boldsymbol{B}$ a $\boldsymbol{D}$ sú axiálnymi vektormi.[1] Inou cestou k tomuto výsledku dochádza G. B. REGO [9], kde sú aj odkazy na staršie dielčie výsledky v tomto smere. Ukážeme si, že z definície týchto vektorov priamo plynú tu uvedené vlastnosti pri P inverzii. Definície týchto vektorov sú:

$$\boldsymbol{E} = \frac{\boldsymbol{F}}{Q}, \tag{4}$$

$$\oint \boldsymbol{D}\, \mathrm{d}\boldsymbol{S} = Q,$$

$$\boldsymbol{B} = \frac{1}{Q} \frac{\boldsymbol{F} \times \boldsymbol{v}}{v^2},$$

$$\oint \boldsymbol{H}\, \mathrm{d}\boldsymbol{s} = I.$$

Vidíme, že pri P inverzii z transformačných vlastností $\boldsymbol{F}$, Q, $\mathrm{d}\boldsymbol{S}$, λ, $\mathrm{d}\boldsymbol{s}$ a I, ktoré sú všeobecne uznávané, vyplýva:

1. $\boldsymbol{E}$ je polárny vektor, lebo $\boldsymbol{F}$ je polárny vektor a Q je pravý skalár;
2. $\boldsymbol{D}$ je axiálny vektor, lebo Q je pravý skalár a $\mathrm{d}\boldsymbol{S}$ axiálny vektor;
3. $\boldsymbol{B}$ je axiálny vektor, lebo je určený vektorovým súčinom dvoch polárnych vektorov; Q je pravý skalár a v^2 je nezáporné číslo;
4. $\boldsymbol{H}$ je polárny vektor, lebo I je pravý skalár a $\mathrm{d}\boldsymbol{s}$ je polárny vektor.

Maxwellove rovnice, ktoré majú tvar

$$\nabla \boldsymbol{D} = \varrho, \tag{5}$$

$$\nabla \boldsymbol{B} = 0,$$

$$\nabla \times \boldsymbol{E} = -\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t},$$

$$\nabla \times \boldsymbol{H} = \boldsymbol{j} + \frac{\partial \boldsymbol{D}}{\partial t}$$

sú invariantné voči inverziám uvedených v tab. 1. Toto znamená, ak v rovniciach (5) prejdeme k čiarkovaným veličinám, tj. X/X'^2, a potom za X' dosadíme podľa vzťahu (2), máme zas po eventuálnom vynásobení $s - 1$ pôvodný tvar rovnice.

Symbolicky:

$$X(\boldsymbol{r}, t)/X'(\boldsymbol{r}', t') = \eta X(\eta \boldsymbol{r}, \eta t) \Rightarrow \text{pôvodný tvar rovnice.} \tag{6}$$

Ukázali sme, že z rozmeraných úvah v sústave MKSC deg možno odvodiť trans-

Tabulka 1

Veličina	Značka veličiny	Rozměr					Znamienko parity — η pri inverziách						
		m	kg	s	C	deg	T	CT	P	CP	C	PT	CPT
polohový vektor	$\boldsymbol{r}$	1	0	0	0	0	+	+	−	−	+	−	−
čas	t	0	0	1	0	0	−	−	+	+	+	−	−
náboj elektr.	Q	0	0	0	1	0	+	−	+	−	−	+	−
element dĺžky	$\mathrm{d}\boldsymbol{s}$	1	0	0	0	0	+	+	−	−	+	−	−
vlnový vektor	$\boldsymbol{k}$	−1	0	0	0	0	+	+	−	−	+	−	−
nabla operátor	∇	−1	0	0	0	0	+	+	−	−	+	−	−
element plochy	$\mathrm{d}\boldsymbol{S}$	2	0	0	0	0	+	+	+	+	+	+	+
objem	V	3	0	0	0	0	+	+	−	−	+	−	−
kruhová frekvencia	ω	0	0	−1	0	0	−	−	+	+	+	−	−
rýchlosť	$\boldsymbol{v}$, c	1	0	−1	0	0	−	−	−	−	+	+	+
sila	$\boldsymbol{F}$	1	1	−2	0	0	+	+	−	−	+	−	−
energia	W	2	1	−2	0	0	+	+	+	+	+	+	+
absorbovaná energia, teplo	$\mathrm{d}Q$	2	1	−2	0	0	+	+	+	+	+	+	+
absolútna teplota	T	0	0	0	0	1	+	+	+	+	+	+	+
zmena entrópie	$\mathrm{d}S$	2	1	−2	0	−1	+	+	+	+	+	+	+
vektorový magnetický potenciál	$\boldsymbol{A}$	1	1	−1	−1	0	−	+	−	+	−	+	−
elektrický potenciál	φ	2	1	−2	−1	0	+	−	+	−	−	+	−
intenzita elektr. poľa	$\boldsymbol{E}$	1	1	−2	−1	0	+	−	−	+	−	−	+
intenzita mag. poľa	$\boldsymbol{H}$	−1	0	−1	1	0	−	+	−	+	−	+	−
objemová hustota náboja	ϱ	−3	0	0	1	0	+	−	−	+	−	−	+
magnetická indukcia	$\boldsymbol{B}$	0	1	−1	−1	0	−	+	+	−	−	−	+
hustota prúdu	$\boldsymbol{j}$	−2	0	−1	1	0	−	+	+	−	−	−	+
dielektrická polarizácia	$\boldsymbol{P}$	−2	0	0	1	0	+	−	+	−	−	+	−
magnetizácia	$\boldsymbol{M}$	−1	0	−1	1	0	−	+	−	+	−	+	−
permitivita	ε	−3	−1	2	2	0	+	+	−	−	+	−	−
permeabilita	μ	1	1	0	−2	0	+	+	−	−	+	−	−
elektrická indukcia	$\boldsymbol{D}$	−2	0	0	1	0	+	−	+	+	−	+	−
konduktivita	σ	−3	−1	1	2	0	−	−	−	−	+	+	+
elektr. prúd	I	0	0	−1	1	0	−	+	+	−	−	−	+

1. Polárny alebo pravý vektor má paritu −1; axiálny vektor, pseudovektor, má paritu +1. Skalár, ktorého parita je +1, resp. −1, nazývame pravý skalár, prípadně pseudoskalár. Rozdelenie vektorov a skalárov do týchto skupín závisí od inverzie.

2. Šikmá čiara znamená substitúciu.

formačné vlastnosti fyzikálnych veličín aj pri nespojitých transformáciách. Pre spojité transformácie to urobil E. S. POST v [8]. Z tohoto dôvodu túto sústavu jednotiek považujeme za fyzikálne najviac odôvodnenú.

M. A. Leontovič: Vestnik AN SSSR *34* (0964) No 6, 123 kritizuje sústavu SI, že v nej sú rôzne rozmery vektorov **E**, **D**, **H** a **B**. V knihe [8] POST fyzikálne odôvodňuje túto rôznosť rozmerov na základe princípu rozmerovej individuality súradníc. V tejto knihe, podobne ako v kybernetike, pracuje sa vektormi a tenzormi, ktorých jednotlivé zložky majú vo všeobecnosti rôzne rozmery.

Literatúra

[1] JACKSON J. D.: *Classical electrodynamics*, New-York London 1962.
[2] SOMMERFELD A.: *Elektrodynamik*, Leipzig 1949.
[3] BECKER R.: *Theorie der Elektrizität*, Leipzig 1957—1959.
[4] MARX GY.: Fizikai Szemle *11* (1961), 67.
[5] HORVÁTH J.: Fizikai Szemle *11* (1961), 295.
[6] IOPIŠ JU. I.: UFN *85* (1965), 186.
[7] KAPĽAN E. S.: Izvestija vysšich učebnych zavedenij-Fizika 1964, No 2, 39.
[8] POST E. S.: *Formal structure of electromagneties*, Amsterdam 1962.
[9] REGO G. B.: *Electromagnetics theory and Antennas II*, Oxford 1963, 997.

EXPERIMENTÁLNÍ PROVĚŘENÍ ZÁVISLOSTI HMOTY NA RYCHLOSTI

JAROSLAV VÁVRA, Praha

ÚVOD

Některým fyzikům se jeví dosud opodstatněné položit otázku o přesnosti, s jakou popisuje teorie relativity fyzikální jevy při vysokých rychlostech. Tak např. FARAGÓ a JANOSSY [1] přišli k závěru, že relativistické vztahy se při obvyklých experimentech potvrzují v daleko menší míře, než se většinou předpokládá. Vedl je k tomu rozbor pokusů s elektrony, při nichž rozdíl mezi experimentálními a teoretickými výsledky leží v mezích od 2 do 10 % [1].

Proto byla navržena a provedena řada experimentů, jejichž cílem bylo co možná nejpřesnější ověření zákona

$$m = m_0(1 - (v/c)^2)^{-1/2} . \tag{1}$$