

# Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

---

Jan Tesař

Zkušenosti se soustavami jednotek ve vyučovací praxi

*Pokroky matematiky, fyziky a astronomie*, Vol. 6 (1961), No. 6, 327--335

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/138135>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1961

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>

## VYUČOVÁNÍ MATEMATICE A FYZICE

### ZKUŠENOSTI SE SOUSTAVAMI JEDNOTEK VE VYUČOVACÍ PRAXI

JAN TESAŘ, Praha

Závažné potíže při vyučování fyzice zaviňovala donedávna mnohost vykládaných jednotkových soustav, což způsobovalo jak značnou ztrátu vyučovacího času, tak špatné porozumění a chaos ve vědomostech žáků. Autoři všech dřívějších učebnic považovali za nevyhnutelně nutné seznámit žáky se všemi hlavními soustavami jednotek, kterých se používalo v posledních 150 letech teoreticky i prakticky; zároveň tyto soustavy co nejvíce střídali, neboť jejich zásadou bylo užívat v každém oboru fyziky jednotek v onom oboru nejvhodnějších. Naše, a ovšem i cizojazyčné učebnice se stále snaží jakousi setrvačností — v neprospěch věci — držet se při výkladu historického vývoje fyziky, uvádět všechny dosavadní výklady jevů i mylné a překonané domněnky a jít stále jen po vyšlapaných, osvědčených cestách. Proto není divu, že i v jednotkách podávaly učebnice pěkný retrospektivní nástin vývoje jednotkových soustav.

První vědeckou soustavou jednotek byla soustava CGS, též nazývaná absolutní. Protože většina odvozených jednotek této soustavy (např. pro sílu, práci, výkon aj.) měla nevhodnou velikost pro potřeby techniky, vytvořila se vedle ní soustava statická (správněji ji nazývejme kilopondová) se základními jednotkami metr, sekunda a kilopond. S rozvojem nauky o elektřině a magnetismu vznikaly dvě „klasické“ soustavy jednotek: Absolutní soustava elektrostatická (CGSes) odvozuje všechny potřebné elektrické jednotky z Coulombova zákona o přitahování dvou elektrických nábojů, soustava elektromagnetická určuje magnetické jednotky pomocí Coulombova zákona pro magnetismus. Původně sloužila každá z těchto soustav ve své oblasti: prvá pro veličiny elektrické, druhá pro magnetické. Po objevech OERSTEDOVÝCH a FARADAYOVÝCH, jimiž byly nalezeny vztahy mezi veličinami elektrickými a magnetickými, se ovšem dá užívat každé z těchto soustav pro obojí jednotky (elektrické i magnetické). Ale pro dnešní fyziku nutno obě tyto soustavy považovat za nevyhovující po stránce teoretické i praktické. Z hlediska teoretického je hlavní závadou, že soustava CGSem vychází z pojmu neexistujícího, a tedy také nerealizovatelného magnetického množství. Nedostatkem obou soustav je, že nejsou racionalizovány, tj. nejsou upraveny tak, aby se činitelé  $2\pi$  a  $4\pi$  vyskytovali jen ve vzorcích, kde toho prostorová souměrnost vyžaduje. Z praktického hlediska vadí nejvíce nevhodná velikost většiny jednotek (např. v soustavě CGSes je jednotka proudu  $1 \text{ sA}$   $3 \cdot 10^9$ krát menší než prakticky užívaná jednotka proudu 1 ampér, v soustavě CGSem je jednotka napětí  $1 \text{ abV}$   $10^9$ krát menší než v praxi užívaný volt atd.).

Všechny uvedené zásady odstraňuje soustava MKSA, nazvaná podle začátečních písmen základních jednotek: metr, kilogram, sekunda, ampér.

Aby tato soustava, jež vznikla z tzv. soustavy jednotek praktických, vyhovovala ve všech oborech fyziky, byly její 4 základní jednotky rozšířeny ještě o další dvě, a to: deg ( $^{\circ}\text{C}$ ) pro teplotní rozdíl a o candelu (cd) pro svítivost. Mezinárodní výbor pro míry a váhy schválil v listopadu 1960 pro soustavu MKSA nový definitivní název „Mezinárodní soustava jednotek“ (zkratka SI).

Se zavedením nové soustavy jsou na našich středních školách dosud jen malé zkušenosti, neboť ještě ve školním roce 1960/61 se na některých školách v nejvyšší třídě vyučovalo podle starých osnov a učebnic, ve kterých se užívalo jednotek soustav CGSes, CGSem a jednotek soustavy praktické. Zkušenosti z ostatních škol, pokud se na nich již aspoň rok nebo dva vyučovalo podle nových učebnic z r. 1959, svědčí, že výhradní zavedení jediné soustavy MKSA značně zjednodušilo vyučovací proces: z mechaniky zmizely jednotky soustavy CGS a v nauce o elektřině dokonce jednotky obou soustav (CGSes a CGSem) a všechny vzájemné převodní vztahy jak mezi soustavami CGSes a CGSem, tak mezi každou z nich a soustavou praktickou.

Tato redukce učiva, jež vyučování na středních školách značně zjednodušila, nebude většině absolventů nijak vadit na vysoké škole, neboť posluchači vysokých škol technických — s výjimkou fakulty elektrotechnické — se při dalším studiu s jednotkami soustav CGSes a CGSem již nikdy nesetkají.

Zavedení jednotek MKSA do vyučování způsobilo ovšem i některé potíže při výkladu učiva, zejména v mechanice a nauce o elektřině, kde nastala největší změna. V ostatních oborech (např. v termice) bylo nutno provést jen některé úpravy při definování nových pojmů.

Abych objasnil změny, obtíže a výhody, které přineslo zavedení soustavy MKSA, nastíním stručně odlišnost zpracování učebnic starších a učebnice z r. 1959:

V 7. až 9. třídě se v mechanice neužívalo a dosud neužívá ani soustavy CGS ani MKSA. Jako jednotka síly se zavádí kilopond a pond. Hmotnost těles je vysvětlována tím, že všechna tělesa mají jisté společné vlastnosti; konkrétně se uvádí, že je můžeme hmatat, popřípadě jimi pohybovat. Hmota však definována není, ani jednotka pro ni se nezavádí. Jednotkou práce je kpm, výkonu kpm/s a „kůň“. Z pohybů se probírá jen pohyb rovnoměrný; jednotkou rychlosti je m/s, ale jsou uvedeny také další: cm/s, km/hod, km/min.

Watt jako jednotka výkonu se v mechanice těchto tříd nezavádí. Vyskytne se až v třídě osmé jako jednotka pro výkon elektrického proudu. Další zavedené elektrické jednotky jsou A, V,  $\Omega$ , Wh. Volt ani ampér nejsou definovány, jen je o nich řečeno, že jsou jednotkami napětí, resp. proudu.

Z tohoto přehledu je patrné, že v 7. až 9. třídě nemůže být zavedena soustava MKSA, neboť se neprobírá pojem zrychlení a není definována hmota, jejíž odlišnost od váhy by se žákům v tomto věku těžko vysvětlovala. Soustavu MKSA by bylo lze zavést jedině tak, že by se definoval newton pomocí převodního vztahu

$$N = \frac{1}{9,81} \text{ kp.}$$

V nejvyšších třech třídách jedenáctiletých a dvanáctiletých škol nepůsobilo zavedení soustavy MKSA žádných potíží v mechanice, kde se jednotek této soustavy používalo běžně vedle jednotek soustavy CGS již dříve. V nauce o elektřině se podle osnov z r. 1954 a 1957 užívalo jednotek soustavy praktické, ale též některých jednotek soustav CGSes (v elektrostatice) a CGSem (v nauce o magnetismu). Jako základní elektrická jednotka byl pomocí Coulombova zákona definován sC a coulomb byl definován jako  $3 \cdot 10^9$  sC. Intenzita pole

byla definována dvakrát: jednou jako síla působící v daném místě na jednotkový náboj (s jednotkou dyn/sC), později v homogenním poli jako spád napětí (s jednotkou V/m a V/cm). Nebylo však vysvětleno, že lze jednotku dyn/sC převést na jednotku V/m, resp. V/cm a jak lze toto převádění provést.

Při výkladu radiálního pole byl odvozen pojem potenciálu a napětí. Potenciál v místě  $A$  byl definován jako práce, kterou nutno vykonat při přenášení 1 coulombu z nekonečna do místa  $A$ . Z jednotek potenciálu byl uveden pouze volt. Kapacita byla definována pomocí vzorce  $Q = CV$ , jako její jednotka byl však definován  $sF = cm$  (jako kapacita kulového vodiče o poloměru 1 cm), aniž se vyložilo, že následkem hořejšího vzorce musí platit  $sC = sF \cdot sV$ .

Byl však definován také farad vztahem  $F = \frac{C}{V}$ . Kapacita deskového kondenzátoru nebyla teoreticky odvozena, byl jen uveden vzorec  $C = \frac{\epsilon S}{4\pi d}$ , do něhož však nutno dosazovat jednotky CGSes (!). V nauce o elektrickém proudu se užívalo jen jednotek soustavy praktické, tj. A, V,  $\Omega$ , W, J. Ampér byl definován ze vztahu  $A = \frac{C}{s}$ .

Velmi nevhodně bylo v učebnicích zpracováno magnetické pole. Absolutní jednotka (neexistujícího) magnetického množství byla definována z Coulombova zákona pro vakuum (aniž bylo uvedeno její vyjádření základními jednotkami CGS, totiž  $g \cdot cm^2 \cdot s^{-1}$ ). Pojem radiálního magnetického pole, jeho intenzity a její jednotky (oersted) byl odvozen obdobně jako při radiálním elektrostatickém poli. Další magnetické veličiny byly určeny jen nepřesně a o jejich jednotkách se učebnice většinou vůbec nezmiňovala. Magnetický indukční tok plochou  $S$  byl definován pomocí silokřivek(!), avšak chybně, takto: „Stejně jako v elektrostaticce volíme i zde účelně počet siločar jdoucích 1  $cm^2$ , položeným kolmo k silokřivkám tak, aby se číselně rovnal intenzitě pole v tom místě. Počet siločar jdoucích kolmo libovolnou plochou  $S$   $cm^2$  je  $\Phi = HS$  a nazývá se magnetický tok dotýčnou plochou.“ Má-li toto být definice magnetického indukčního toku (soudíme tak z písmena  $\Phi$ ), je tato definice nesprávná (neboť správně je  $\Phi = BS$ , kde  $B$  je magnetická indukce). Učebnicová definice  $HS$  neznámá indukční tok, nýbrž silový tok magnetický, který však je pro naše účely méně důležitý, neboť se v dalších výkladech již nikde nepotřebuje.

Vektor magnetické indukce  $B$  je v této učebnici definován takto: „Pilinovými obrázky ukážeme, že elektromagnet vzbuzuje ve svém okolí pole zcela obdobně jako cívka, ale intenzity mnohonásobně vyšší. Výslednou intenzitu(!) značíme  $B$  a nazýváme ji magnetickou indukcí. Je pak  $B = \mu H$ , kde  $\mu$  je permeabilita vloženého jádra.“ Indukčnost cívky byla definována jako „charakteristická veličina cívky, určující její vlastní indukci“. Její jednotka henry (H) byla definována správně; jako menší jednotka byl uveden  $abH = cm = 10^{-9} H$ .

Z toho, co bylo uvedeno, vyplývá, že používání trojích nekoherentních jednotek a nutnost zapamatovat si převodní vztahy mezi nimi žákům nauku o elektřině značně ztěžovalo. Tyto obtíže rázem přestaly zavedením jediné soustavy MKSA, což již zavádí učebnice z r. 1959. Podle této učebnice se od r. 1961/62 bude učit již téměř na všech všeobecně vzdělávacích školách. Ale postup při výkladu učiva zůstal v podstatě stejný, jako byl v učebnicích starších. V nauce o elektřině se vysvětlují nejdříve základní pojmy (elektrování

třením, síly mezi náboji, sídlo náboje, volné elektrony), potom se přechází k výkladu elektrostatického podle Z Coulombova zákona pro vakuum se definuje na str. 10 jako jednotka elektrického náboje coulomb takto: „V soustavě MKSA, kde k mechanickým jednotkám délky 1 m, hmoty 1 kg a času 1 s přistupuje ještě nezávislá jednotka 1 ampér pro proud, se používá pro elektrický náboj jednotky 1 coulomb (značka C). Coulomb tedy není jednotka základní, nýbrž je definován pomocí ampéru, a to jako náboj, který projde průřezem vodiče za 1 s při proudu 1 ampéru (str. 87). Měření ukázalo, že coulomb je náboj, který působí na stejně veliký náboj ve vzdálenosti 1 m ve vakuu ohromnou silou  $9 \cdot 10^9$  N. Dosadíme-li tedy do Coulombova zákona  $Q_1 = Q_2 = 1$  C a  $r = 1$  m, obdržíme pro vakuum přibližně  $\kappa = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{C}^2}$ . Ukázalo se účelným vyjádřit  $\kappa$  (pro vakuum) jako převrácenou hodnotu jiné konstanty  $\kappa = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ , kde  $\epsilon_0$  je konstanta zvaná permitivita vakua. Lze tedy Coulombův zákon pro vakuum psát  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$ . Je pak  $\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi\kappa} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 9 \cdot 10^9} \cdot \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{N m}^2}$ .“

Pomocí takto definované jednotky náboje se na str. 11 definuje intenzita elektrického pole v daném bodě jako síla, která v tom bodě působí na jednotkový náboj. Její velikost je tedy  $E = \frac{F}{Q}$  a její jednotkou  $1 \frac{\text{N}}{\text{C}}$ . V homogenním poli mezi dvěma rovnoběžnými deskami je později vypočítána velikost intenzity pole ze vztahu  $E = \frac{U}{d}$ , kde  $U$  značí napětí mezi deskami a  $d$  jejich vzdálenost. Tento vzorec je doplněn (str. 18) takto: „Odtud plyne název  $\frac{\text{V}}{\text{m}}$  (volt/m) pro jednotku intenzity  $E$ . Poměr  $\frac{U}{d}$  udává změnu napětí připadající na jednotku délky.“

Potenciál, napětí a kapacita je pak vysvětlena stejně jako v učebnicích starších. Pro kapacitu rovinného kondenzátoru se uvádí vzorec  $C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$ , kde  $\epsilon_r$  je relativní permitivita dielektrika.

Jednotka elektrického proudu je v učebnici (str. 41) zavedena takto: „Mírou velikosti elektrického proudu, který prochází drátem, je podíl elektrického náboje  $Q$ , který projde za dobu  $t$  libovolným průřezem drátu, a této doby. Tento podíl nazýváme velikost proudu nebo krátce proud. Označíme-li velikost proudu  $I$ , platí  $I = \frac{Q}{t}$ . Proud je číselně roven náboji, který projde průřezem drátu za 1 sekundu. Jednotkou proudu je ampér; je to proud, při němž projde libovolným průřezem vodiče elektrický náboj 1 coulombu za 1 sekundu (viz str. 10). Z rovnice  $I = \frac{Q}{t}$  odvodíme tedy vztahy  $1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$  nebo  $1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$ .“

Nyní, kdy se ve vyučování zavádějí výhradně jednotky soustavy MKSA, je tento postup učebnice nevyhovující, zdlouhavý, nepřírozený a nesprávný. Hlavní závady tohoto postupu jsou:

1. Bludný kruh při definování coulombu a ampéru: Na str. 10 je definován coulomb pomocí dosud nezavedeného ampéru, ampér je pak na str. 31 definován zase pomocí coulombu. Správné vymezení ampéru je uvedeno teprve na str. 87 po probrání magnetických vlastností proudu.

2. Elektrické pojmy a zákony se nevysvětlují důsledně teorií elektronovou (např. Ohmův zákon a zákon Faradayův o elektrolýze), ač by se tím výklad stal mnohem ucelenější, zajímavější a jednodušší.

3. Výklad elektrostatického pole vychází z Coulombova zákona, který není v učebnici teoreticky odůvodněn a experimentálně se ve škole dokázat nedá. Začínat nejdůležitější obor fyziky — nauku o elektřině — popisem jevů ve *vakuu* a přisuzovat tomuto vakuu dokonce určitou vlastnost (permitivita vakua!) je povážlivé, neboť mnohé žáky zastraší postup začínající nejobtížnější částí, tj. elektrostatikou, a při tom částí, kterou mnozí z nich v praktickém životě potřebovat nebudou. Nejdůležitější částí nauky o elektřině je partie o elektrickém proudu, práci a výkonu. Touto částí by se mělo začít, k ní se stále vracet, navazovat na ni a opakovat ji. Tím se stane žákovi elektrický proud, který je mu znám již z nižších tříd i z praxe, ústředním a nejdůležitějším pojmem nauky o elektřině, pojmem, jehož rozsah a vlastnosti se při dalších výkladech stále rozšiřují, doplňují a prolínají.

4. U nás je uzákoněna soustava jednotek MKSA a nikoliv MKSC (metr, kilogram, sekunda, coulomb); je tedy nepřirozené začínat výkladem coulombu dřívě, než byla vysvětlena základní jednotka ampér.

Značné zlepšení pro vyučování fyziky nastane, jestliže se začne nauka o elektřině výkladem o ustáleném stejnosměrném proudu a opustí se dosavadní historický postup. Protože v 17. století znali pouze elektrostatiku (a permanentní magnety), začínají staré učebnice vždy elektrostatikou (a také jednotkami CGSes, tj. elektrostatickými), pokračují elektrickým proudem (jednotky soustavy praktické), elektromagnetismem (proto soustava jednotek elektromagnetických), indukovaným proudem, střídavými proudy a kmity. Bylo by mnohem výhodnější, kdyby učebnice z r. 1959, která jinak velmi dobře vyhovuje, byla v tomto smyslu změněna, aby se zlepšilo vyučování tomuto předmětu. Nastíním, jak jsme v letošním roce (1960/61) po dohodě s Výzkumným ústavem pedagogickým v Praze probírali tuto partii fyziky ve dvou paralelních jedenáctých třídách dvanáctileté střední školy v Praze 5.

Nejdříve bylo nutno probrat, důkladněji než je tomu v učebnici, základy atomistiky, aby bylo možno vysvětlovat dále všechny zákony důsledně elektronovou teorií. Bylo vyloženo složení atomu (jádro a elektronový obal, atomová jednotka hmoty), základní elementární částice atomu (elektron, proton, neutron, jejich hmota, umístění v atomu, atomová hmotnost a atomové číslo), význam valenční slupky elektronů pro tvoření iontů (rozlišení prvků elektro-pozitivních a elektronegativních), rozdělení látek na vodiče a izolanty; potom se snadno objasní základní elektrické jevy (elektrování, polarita nábojů a jejich vzájemné působení, sdílení a vedení elektřiny v kovech). Výhoda tohoto postupu záleží v tom, že není nutno začínat poměrně těžkými matematickými vzorci. Pak je již možno snadno vysvětlit vznik proudu v kovech a vyložit, co je elektrický obvod, co nazýváme spotřebičem a podat funkci zdroje.

Proud procházející vodičem má různé účinky (tepelné, světelné, chemické, mechanické, magnetické) a jejich velikostí lze měřit velikost proudu ampérmetry zařazenými do obvodu. Pokusem s otáčivým obdélníkovým vodičem

z Ampérova stativu a s přímým nepohyblivým vodičem se ukáže, že dva rovnoběžné dráty se přitahují nebo odpuzují více nebo méně, prochází-li jimi souhlasným nebo opačným směrem větší nebo menší proud. Pak lze definovat ampér a odvodit vztah  $Q = It$  a definovat jednotku náboje  $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$ .

Na přímém vodiči, jehož jeden konec má nadbytek a druhý nedostatek elektronů, lze vyložit pojem elektrického pole a definovat vektor jeho intenzity  $\left(E = \frac{F}{Q}\right)$  a jeho jednotku  $\left(\frac{\text{N}}{\text{As}}\right)$ . Z velikosti práce potřebné na přemístění kladného náboje  $Q$  ve vodiči z konce záporného na konec kladně nabitý se dá definovat napětí  $U = \frac{A}{Q}$  a jeho jednotka volt:  $V = 1 \frac{\text{J}}{\text{As}} = 1 \frac{\text{watt}}{\text{ampér}}$ . Práci  $A$  vynaloženou na přemístění kladného náboje ze záporného pólu na kladný pól vodič spotřebuje. Proto se zvětší potenciální energie pole ve vodiči o hodnotu  $\Delta W = A$ . Podle zákona o zachování energie se při opačném přechodu náboje  $Q$  část  $\Delta W$  potenciální energie pole mění v práci  $A$ . Prochází-li tedy vodičem stálý proud  $I$  po dobu  $t$ , vykoná práci  $A = QU = UIt$  (zákon Joule-Lencův). Ze vztahu  $V = \frac{W}{A}$  lze definovat volt takto: Napětí 1 V je mezi konci vodiče, jehož spotřebovaný výkon je 1 W při průtoku stálého proudu 1 A.

Pole přímého vodiče připojeného na zdroj stálého stejnosměrného napětí je homogenní, tj. vektor intenzity tohoto pole má ve všech místech stejný směr i velikost, což dokážeme takto: Budiž  $F$  velikost (konstantní) síly působící na náboj  $Q$  na vodiči délky  $d$ . Práce spotřebovaná na přenesení náboje  $Q$  vodičem ze záporného na kladný pól má hodnotu  $A = Fd$ . Poněvadž  $F = QE$ , platí

$$E = \frac{F}{Q} = \frac{A}{Qd} = \frac{QU}{Qd} = \frac{U}{d}.$$

Oprávněnost uvedeného předpokladu ukážeme pokusem: Vložme na vodivý drát asi 1 m dlouhý malé stejnosměrné napětí a citlivým voltmetrem měřme napětí  $U_x$  mezi dvěma libovolně volenými místy na vodiči, jejichž vzdálenost je  $d_x$ . Snadno se ukáže, že  $\frac{U_x}{d_x} = \text{konst.}$  Tím je homogennost pole dokázána.

Ze vztahu  $E = \frac{U}{d}$  vyjde pak jednotka intenzity pole  $\frac{\text{volt}}{\text{metr}}$ , což ověříme (pomocí vztahů pro práci) rovněž takto:

$$\frac{\text{N}}{\text{As}} = \frac{\text{Nm}}{\text{Asm}} = \frac{\text{J}}{\text{Asm}} = \frac{\text{VAs}}{\text{Asm}} = \frac{\text{V}}{\text{m}}.$$

V elektrostatice aplikujeme vlastnosti homogenního pole na vodiči na pole v izolantu. Snadno se ukáže, že též zde platí pro intenzitu homogenního pole vztah  $E = \frac{U}{d} = \text{konst.}$  Pokusy se dvěma stejně velikými vodivými destičkami opatřenými izolovanými držadly, jež vkládáme do homogenního pole velkého deskového kondenzátoru, vysvětlíme jev elektrostatické indukce a obdobně též dielektrickou polarizaci. Faradayovu představu, že jakýmsi prostorovým pokračováním náboje  $Q$  v elektrickém poli izolantu je tzv. elektrický indukční

tok  $\Psi$ , osvětlí fakt, že uzemněný konduktor se v elektrickém poli náboje zelektruje nesouhlasnou elektřinou. Ještě lepší představu a možnost kvantitativního vyjádření dává Faradayův pokus se dvěma vodivými kulovými plochami: Menší koule, vložená do větší duté koule tak, aby se obě nedotýkaly, se nabije nábojem  $Q$ . Jestliže větší kouli na okamžik uzemníme a vnitřní kouli vyjmeme, lze balistickým galvanometrem ukázat, že na větší kouli se indukoval stejně veliký náboj  $Q$  opačné polaroty. Tento pokus ukazuje, že jakýmsi pokračováním náboje menší koule je indukční tok  $\Psi$ , který indukuje na větší kouli stejně veliký náboj  $Q$ , ať prostupuje libovolným prostředím (nevodivým). Velikost indukčního toku je tedy nezávislá na prostředí. Z toho plyne, že velikost indukčního toku procházejícího určitou plochou, lze měřit velikostí náboje indukovaného na této ploše, a platí vztah  $\Psi = Q$ ; jednotkou indukčního toku je tedy  $1 \text{ C} = 1 \text{ As}$ .

Kdyby byla větší koule při Faradayově pokusu složena ze dvou polokoulí, naměřili bychom na každé z nich náboj  $\frac{Q}{2}$ ; velikost indukčního toku je tedy přímo úměrná velikosti plochy, kterou tok prochází. Vložíme-li do elektrického pole rovinného deskového kondenzátoru uzemněnou destičku plošného obsahu  $S$  rovnoběžně s elektrodami kondenzátoru, naměříme velikost indukčního toku  $\Psi_0 = Q_0$ ; umístíme-li ji tak, že její normála svírá s indukčními čarami úhel  $\alpha$ , je  $\Psi = Q = Q_0 \cos \alpha = \Psi_0 \cos \alpha$ . Závisí tedy  $\Psi$  jak na velikosti plochy, kterou protéká (tj.  $S$ ), tak na její poloze. Podíl  $\frac{\Psi_0}{S} = D$  udává velikost vektoru elektrické indukce  $D$ , jež nezáleží na prostředí a má za jednotku  $\frac{\text{As}}{\text{m}^2}$ . Vztah mezi indukčním tokem  $\Psi$  a indukcí  $D$  je tedy  $\Psi = DS \cos \alpha$ .

Názornou představu o indukčním toku a indukci podávají indukční čáry, jež lze různými pokusy ukázat. Z jejich průběhu žáci snadno pochopí důležitou větu (III. hlavní Maxwelllova rovnice): „Elektrický indukční tok z vnitřku libovolné uzavřené plochy je roven součtu všech volných nábojů nacházejících se uvnitř této plochy.“ — Intenzita pole  $E$  a napětí  $U$  jsou v elektrickém poli izolantu definovány stejně jako na vodiči. V izotropním prostředí má vektor intenzity elektrostatického pole stejný směr jako vektor indukce. Podíl

$\epsilon = \frac{D}{E}$  v určitém prostředí se nazývá permitivita onoho prostředí a má rozměr  $\frac{\text{As}}{\text{Vm}}$ . Vliv prostředí vyjadřuje tzv. relativní permitivita prostředí

$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ , kde  $\epsilon_0$  je tzv. influenční konstanta (stejného rozměru jako permitivita  $\epsilon$ , takže  $\epsilon_r$  je bezrozměrné číslo).

Intenzitu radiálního elektrického pole lze nyní snadno vypočítat pomocí III. rovnice Maxwellovy: Obklopíme-li bodový náboj  $Q$  (nebo náboj rozložený rovnoměrně na povrchu koule), soustřednou kulovou plochou poloměru  $r$ , pak ve všech místech ve vzdálenosti  $r$  od bodového náboje  $Q$  (středu nabitě koule) má  $D$  velikost  $D = \frac{\Psi}{S} = \frac{Q}{4\pi r^2}$ , takže  $E = \frac{D}{\epsilon} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2}$ .

Kdybychom to uznali za potřebné, můžeme pomocí získaného výsledku odvodit Coulombův zákon.



Pomocí III. Maxwellovy rovnice lze rovněž určovat kapacity kondenzátorů. Kapacita je podíl náboje  $Q$  na vodiči a jeho napětí  $U$ , tj.  $C = \frac{Q}{U}$ ,

její jednotkou tedy je farad  $F = \frac{As}{V}$ . Pole rovinného deskového kondenzátoru,

ježž elektrody mají vzdálenost  $d$ , je omezeno jen na prostor mezi nimi, zanedbáme-li malý rozptyl indukčních čar při okraji elektrod. Obklopíme-li jednu elektrodu (o náboji  $Q$  a plošném obsahu  $S$ ) velmi blízkou uzavřenou plochou, platí  $\Psi = Q$ ,  $D = \frac{\Psi}{S} = \frac{Q}{S}$ . Protože  $E = \frac{U}{d}$ , je  $C = \frac{Q}{U} = \frac{\epsilon S}{d}$ .

Magnetické pole je radno vykládat v podstatě stejným postupem jako pole elektrostatické. Nejdříve vysvětlíme, že magnetem je každý vodič, kterým prochází elektrický proud, jakož i každý volný pohybující se náboj. Magnetické vlastnosti permanentních magnetů způsobují oběhy elektronů kolem jader a jejich rotace kolem osy. Magnetické vlastnosti lze vyšetřovat měřením a studiem sil, kterými magnety na sebe působí navzájem. Každé magnetické pole lze charakterizovat skalární veličinou  $\Phi$ , zvanou magnetický tok (indukční), který je obdobný elektrickému indukčnímu toku. Liší se však od něho podstatně tím, že elektrické indukční čáry vycházejí vždy z kladného elektrického náboje a končí na náboji záporném, kdežto magnetické indukční čáry jsou uzavřené křivky nikde nezačínající a nekončící. Vystupují sice z permanentního magnetu v místě, jemuž říkáme severní pól, a vstupují do magnetu v jižním pólu, avšak procházejí také vnitřkem permanentního magnetu, takže vytvářejí uzavřené křivky. Proto celkový magnetický tok z libovolné uzavřené plochy je vždy roven nule (IV. hlavní Maxwellova rovnice). Nelze tedy žádným způsobem oddělit a izolovat jeden magnetický pól. V pólech nejsou tedy umístěna žádná magnetická množství, jinak řečeno magnetické množství neexistuje.

Nachází-li se uzavřený vodič (smyčka) bez proudu v magnetickém poli a měníme-li velikost magnetického toku procházejícího vodičem např. tak, že pohybujeme magnetem nebo vodičem, aby se měnila velikost plochy uzavřené vodičem, vznikne ve vodiči tzv. indukované napětí  $U$  (elektromagnetická indukce). Velikost tohoto napětí je přímo úměrná změně  $\Delta\Phi$  magnetického toku a nepřímo úměrná době  $\Delta t$ , po kterou se měnil. Lze to vyjádřit rovnicí  $U = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ .

Záporné znaménko značí, že při zmenšování toku napětí roste a naopak. Jednotkou toku je tedy  $Vs = Wb$  (weber). (Důkaz správnosti této rovnice a výklad elektromagnetické indukce lze ovšem podat až později.) Klesá-li tedy rovnoměrně magnetický tok, procházející uzavřenou vodivou smyčkou o 1 Vs za 1 s, indukuje se ve smyčce napětí 1 volt.

Další magnetické veličiny a jejich jednotky (indukci  $B$ , intenzitu magnetického pole  $H$ , permeabilitu prostředí  $\mu$  a indukční konstantu  $\mu_0$ , indukčnost  $L$ , síly, jimiž magnetické pole působí na pohybující se náboj) i elektromagnetickou indukci vyložíme pak snadno tímž postupem jako při zavádění obdobných veličin elektrického pole a stejným způsobem jako v učebnici. Jestliže budeme magnetické jednotky vyjadřovat pomocí voltu, ampéru, metru a sekundy, přesvědčíme se, že *vzájemnou výměnou voltu a ampéru obdržíme z jednotky*

elektrického pole vždy analogickou jednotku pole magnetického (pro tok  $As = C$  a  $Vs = Wb$ , pro intenzitu pole  $\frac{V}{m}$  a  $\frac{A}{m}$ , pro kapacitu  $\frac{As}{V} = F$  a pro indukčnost s ní analogickou  $\frac{Vs}{A} = H$  atd.). Tato okolnost je při vyučování velmi prospěšná, neboť žáci si snadněji zapamatují a lépe porozumějí definicím zavádějícím magnetické pojmy a jejich jednotky. Další výhodou tohoto způsobu vyjadřování je tato: Ví-li žák, že např. henry  $H = \frac{Vs}{A}$ , dovede snadno a přirozeně vyslovit jeho definici („Henry je indukčnost cívky, ve které se indukuje napětí 1 V, jestliže ...“) a snadno si též uvědomí definici indukčnosti cívky ( $L = \frac{U\Delta t}{\Delta I} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta I}$ , neboť  $Vs$  je jednotkou toku) a dovede ji vyjádřit větou („Indukčnost cívky je číselně rovna napětí, které na ní vznikne, změní-li se proud o 1 ampér za 1 sekundu“).

Domnívám se, že postup zde vyličený má proti postupu učebnice podstatné výhody, z nichž uvedu jen nejdůležitější: Vychází se z pojmu elektrického proudu, který žáci již částečně — a někdy i podrobně — znají, a z jednotky 1 ampér, která je základní jednotkou soustavy MKSA. Definice všech nově zaváděných pojmů vyplývají logicky z pojmů dříve zavedených. Pojem intenzity a napětí elektrického pole lze srozumitelněji vyložit na vodiči, kde si žáci snadněji než v izolantu představí pohyby nábojů. Poněvadž se při tomto způsobu výkladu probírají obě pole, elektrické i magnetické ihned po sobě, pochopí žáci jejich podobné i odlišné vlastnosti. Důležité rovněž je, že lze v nauce o elektřině vynechat Coulombův zákon, neboť vzorec pro intenzitu radiálního elektrického pole se odvodí jinak (viz nahoře). Při tom hodnota konstanty  $\kappa = \frac{1}{4\pi\epsilon}$  ve vzorci  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r^2}$  vyplývá logicky z výkladu a netřeba ji násilně zavádět.

Ve školním roce 1960/61 jsem vyučoval způsobem naznačeným v tomto článku ve dvou paralelních jedenáctých třídách a dosáhl jsem v obou těchto třídách lepších výsledků než ve třetí pobočce, ve které jsem vyučoval podle učebnice. Upřímně závěry z toho však nelze vyvozovat, neboť třída, ve které jsem učil podle učebnice, je i v jiných předmětech nejhorší. Doporučuji však vyzkoušet tento postup také na jiných školách.

### III. MEZINÁRODNÍ MATEMATICKÁ OLYMPIÁDA

RUDOLF ZELINKA

V tomto roce byla mezinárodní matematická soutěž pro žáky středních a odborných škol uspořádána v Maďarsku. Pořadatelem byla Matematická společnost Jana Bolyaie (János Bolayie Matematikai Társulat, zkratkou JBMT); je to sesterská společnost naší Jednoty čs. matematiků a fyziků a má své pobočky na celém území Maďarska. Záštitu nad soutěží převzalo maďarské ministerstvo osvěty, které poskytlo i finanční prostředky.