

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Daniel Mayer

150 let od objevu Ohmova zákona

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 21 (1976), No. 5, 244--249

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/139320>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1976

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>

150 let od objevu Ohmova zákona

Daniel Mayer, Plzeň



MAXWELLOVA makroskopická teorie elektromagnetického pole, jež je základem mnoha soudobých elektrotechnických disciplín, je v podstatě velmi elegantní a ucelenou stavbou. Plným právem pro ni platí výrok laureáta Nobelovy ceny MAXE VON LAUEHO z r. 1947: „... podnes je Maxwellova teorie uměleckým dílem budícím nadšení...“. Jedním z jejích základních pilířů je Ohmův zákon: má poměrně široký obor platnosti, pro technickou praxi je nepostradatelný a pro svou jednoduchost se stal všeobecně známým i v neodborných kruzích.

GEORG SIMON OHM se narodil 16. března 1789 v Erlangenu. Zájem o exaktní vědy v něm vzbudil jeho otec JOHANN WOLFGANG, OHM (1753–1822), jenž byl uměleckým

zámečníkem – toto povolání se v rodině Ohmově udržovalo řadu generací – a jako samouk se pilně věnoval studiu matematiky a fyziky. Svou zálibu přenesl nejen na svého prvorozeného syna Georga Simona, ale též na svého druhého, o tři roky mladšího syna Martina, pozdějšího profesora matematiky na berlínské univerzitě.

Georg Simon Ohm složil v r. 1805 maturitu a zapsal se ke studiu matematiky, fyziky a filozofie na univerzitě v Erlangenu. Po třech semestrech, pro nedostatek finančních prostředků, přerušil studium a odjel do Švýcarska, kde přijal místo učitele matematiky na soukromé škole v Nidau a později v Neuchâtelu. V roce 1811 se vrátil do svého rodného města a na tamní univerzitě získal doktorát a zakrátko nato se habilitoval jako soukromý docent. Přesto, že jeho přednášky z matematiky na erlangenské univerzitě byly velmi úspěšné, opouští po třech semestrech univerzitu a uchází se o volné místo profesora matematiky a fyziky na gymnáziu v Bayreuthu. Na toto místo však nebyl přijat a posléze nastoupil jako učitel na reálce v Bambergu, kde žil v letech 1813–1817. Na této škole, zaměřené především na výchovu učitelů, napsal svou první knihu *Základy účelného výkladu geometrie jakožto prostředku vyššího vzdělání*. Zaměření školy patrně neuspokojovalo Ohmovy badatelské sklony, a proto na konci roku 1817 přijal místo odborného učitele matematiky a fyziky na gymnáziu, v tzv. Jezuitské koleji, v Kolíně nad Rýnem. Působení G. S. Ohma v Kolíně nezanechalo mnoho stop. Je však známo, že během svého devítiletého působení na gymnáziu (od r. 1818 do r. 1827) učinil své nejvýznamnější vědecké objevy. Ze svého původně matematického zaměření přenesl těžiště své

činnosti do oblasti fyziky. Experimentální práce, které prováděl v chudě vybaveném školním kabinetu, přinesly své ovoce až po osmi letech: Ohm publikoval články *Předběžné sdělení zákona, podle něhož vedou kovy kontaktní elektřinu* [5] a *O elektrické vodivosti kovů* [6].

Ačkoliv novou etapu v poznacích o elektrických jevech otevřely již objevy L. GALVANIHO (r. 1791) a zejména A. VOLTY, kdy k dosavadním elektrostatickým jevům přistoupily projevy elektrického proudu, byly představy o vlastnostech elektrického proudu ještě dlouhé období značně vágní. Experimentálním základem pro studium elektrického proudu byl Voltův článek (r. 1800) a Seebeckův termočlánek (r. 1821); základní poznatky o vztahu elektrického proudu a magnetismu přinesly práce OERSTEDOVY a AMPÉROVY (r. 1820) a pro teorii elektrických a magnetických jevů byl vybudován poměrně dokonalý matematický aparát – teorie potenciálu (G. GREEN r. 1828, K. F. GAUSS r. 1839). Oerstedovy a Ampérovy objevy vedly ke konstrukci elektrických měřidel (POGGENDORFF v Berlíně, SCHWEIGGER v Halle).

Nejvýznamnější Ohmovou prací, již se zapsal do dějin elektrotechniky, je článek *Určení zákona, podle něhož kovy vedou kontaktní elektřinu . . .* [7]. Ohm zde vysvětlil závislost elektrického proudu na elektromotorickém napětí zdroje a na odporu vodiče. Těžiskem pracovní metody Ohmovy byl především experiment; problémy zkoumal – stejně jako M. FARADAY a později J. C. MAXWELL – především fenomenologicky a v makroskopické oblasti: vycházel z experimentů a nesnažil se o výklad na základě tehdejších představ o mikrostruktuře látek. Tato koncepce, nezávislá na soudobých názorech na podstatu elektřiny, zajistila životnost Ohmových poznatků až po dnešní dobu. Z Ohmovy badatelské práce vystupuje do popředí především jeho mohutná invence pro vytváření nových pojmů a koncepcí a jeho geniální intuice, s níž formuloval na základě nedokonalých experimentálních poznatků obecné zákonitosti.

Stejně jako jiní badatelé si Ohm vytvářel představy o vlastnostech elektřiny na základě analogie, a to analogie mezi elektrickým proudem a tepelným tokem. Přitom vycházel z tehdy již dokonalé teorie tepelné vodivosti, vybudované francouzským matematikem J. B. J. FOURIEREM r. 1822. Již v r. 1822 Ohm píše [1]: „Velikost proudu mezi dvěma místy vodiče je přímo úměrná rozdílu elektrických sil, jež jsou v obou místech, stejně jako při tepelné vodivosti je tepelný tok přímo úměrný rozdílu teplot v těchto místech.“

Experimentováním s Voltovým článkem, s různými vodiči a s „ampérmetrem“ tvořeným magnetkou zavěšenou nad vodičem, jejíž výchylka udávala velikost proudu protékajícího vodičem, zkoumal elektrickou vodivost různých kovů a vyvrátil tehdejší nesprávné představy přejaté z elektrostatiky, že se elektrický proud šíří jen povrchem vodiče – dokázal, že je rozložen po celém jeho průřezu. Dále ukázal, že poměry v jednoduchém elektrickém obvodu jsou jednoznačně určeny třemi veličinami: proudem, napětím a odporem, jenž je přímo úměrný délce vodiče a nepřímo úměrný jeho průřezu. Ve své práci [5] popsal své pokusy, avšak při formulaci vztahu mezi napětím a proudem dospěl k nesprávným závěrům. Příčina byla v tom, že napětí Voltova článku, jehož při pokusech používal jako zdroje napětí a o němž předpokládal, že je konstantní, během měření klesalo. Článek [5], uveřejněný v Poggendorffových Análech, komentoval profesor J. CH. POGGENDORFF touto poznámkou [9]: „Bylo by žádoucí, aby si autor našel volnou chvíli a podnikl tato a podobná vyšetření pomocí tzv. termoelektrického

článku. Jeho působení je mnohem stálější než u tzv. hydroelektrických článků a umožňuje mnohem přesnější měření.“ Ohm této Poggendorffovy rady využil a ve své slavné práci [7] z r. 1826 vyšel z výsledků řady měření proudů ve vodičích různých délek a z různých kovů, připojených k termočlánku měď – vizmut. Své poznatky uzavřel tímto tvrzením: „Výše uvedená čísla lze zcela postačujícím způsobem vyjádřit rovnicí

$$X = \frac{a}{b + x},$$

kde X je velikost magnetického působení vodiče, jehož délka je x , a a , b jsou konstanty, jež značí budící sílu a odpor vodiče...“

Vyjádríme-li uvedený vztah v dnes používaném tvaru

$$I = \frac{E}{R_i + R_a},$$

kde I je proud, E je elektromotorické napětí článku, R_i je vnitřní odpor článku a R_a je odpor vodiče připojeného k článku, a uvědomíme-li si, že R_a je přímo úměrné délce vodiče x a X je mírou proudu, je význam veličin a a b ihned patrný. Tento tzv. Ohmův zákon je spolu s Kirchhoffovými zákony výchozím vztahem pro soudobou teorii elektrických obvodů a pro řadu dalších elektrotechnických disciplín, které z této teorie vycházejí. Prohlubování poznatků a budování nových teorií vedlo ke zobecnění formulaci Ohmova zákona jednak z hlediska teorie elektromagnetického pole (O. z. v diferenciálním tvaru, O. z. pro vodivé prostředí v pohybu, O. z. pro anizotropní prostředí aj.), jednak z hlediska teorie obvodů (O. z. pro dvojpol v harmonickém ustáleném stavu, O. z. v obrazovém tvaru ve smyslu některých integrálních transformací aj.).

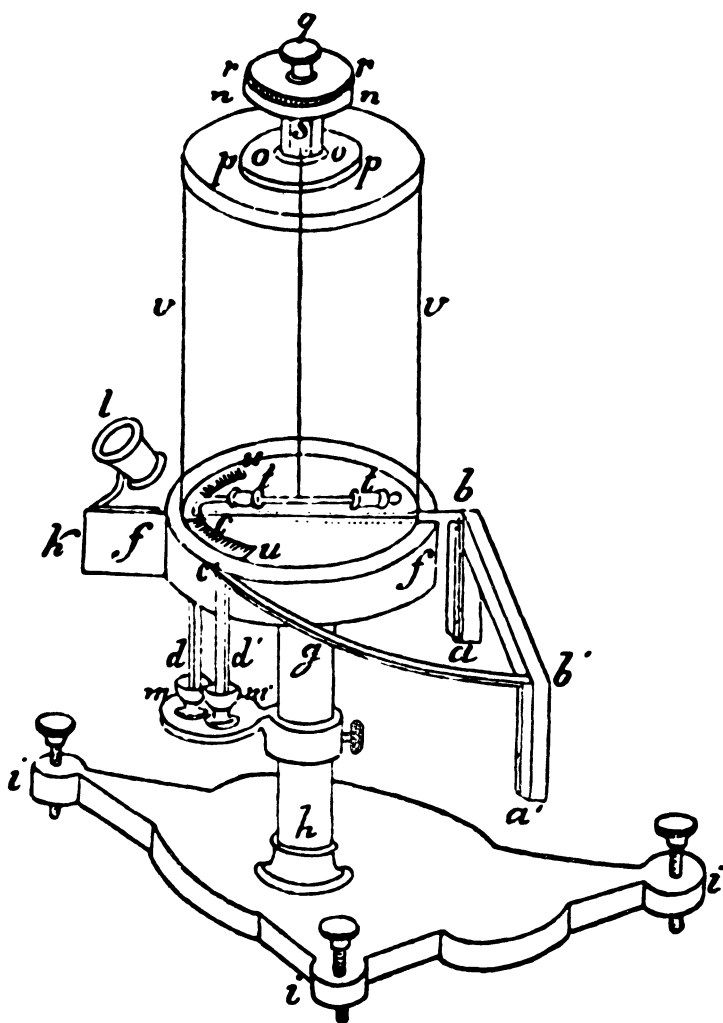
Je pozoruhodné, že vztah mezi napětím a proudem ve vodiči v podstatě formuloval HENRI CAVENDISH (1731 – 1810), již v lednu r. 1781, tedy o 45 let dříve, než tak učinil G. S. Ohm. Tento poznatek, spolu s řadou dalších zajímavých a převážně experimentálních výzkumů byl nalezen v Cavendishově vědecké pozůstalosti, již s mimořádnou péčí upravil k tisku a r. 1879 zveřejnil první ředitel Cavendishovy laboratoře v Cambridge J. C. Maxwell [2]. Přes prioritu, již nutno přiznat Cavendishovu objevu, neovlivnil tento rozvoj vědy, neboť se mu dostalo publicity až 98 let po jeho odhalení. Naproti tomu G. S. Ohm, jemuž zřejmě nebyl Cavendishův objev znám, dospěl k poznatkům obecnějším (Cavendish formuloval svůj objev pouze slovně a kromě toho se omezil jen na vedení elektřiny v roztoku kuchyňské soli) a jeho práce se stala důležitým mezníkem ve vývoji teorie elektřiny.

Na obr. 1 je uvedeno uspořádání Ohmových experimentů. Ohm použil torzní ampérmetr s termočlánkem vizmut – měď; m , m' jsou přírody uložené v kontaktech se rtuť; t je magnetka nastavovaná do nulové polohy natočením torzní hlavice r , přičemž úhel natočení vyjadřuje velikost měřeného proudu. Spoje termočlánku ab a $a'b'$ byly umístěny jednak ve vroucí vodě, jednak v tajícím ledu, tedy na teplotním rozdílu 100 °C.

Práce G. S. Ohma vzbudily pozornost, a proto mu byl ministerstvem povolen roční studijní pobyt v Berlíně. Zde dokončil a ještě v r. 1827 uveřejnil monografii *Galvanický obvod zpracovaný matematicky* [8], obsahující podrobný teoretický rozbor výše uvede-

ného vztahu. Ohm zůstal v Berlíně a vyučoval matematice na všeobecné vojenské škole. Ohmovo rozhodnutí bylo snad ovlivněno tím, že působení na vojenské škole jej příliš nezatěžovalo – zprvu měl týdně pouze 3 hodiny opakování matematiky – a otvíraly se mu tedy možnosti soustavného vědeckého bádání. Jeho plat však byl o něco menší než poloviční ve srovnání s vyučováním na gymnáziu v Kolíně [9].

Experimentální ověření Ohmova zákona je dnes velmi prostá úloha, avšak před 150 lety nebylo nikterak jednoduché vzhledem k tehdejší primitivní přístrojové technice. Ohmův objev byl zprvu přijímán odmítavě (např. vřatislavským fyzikem G. F. POHLEM) a teprve po několika letech byl po zásluze oceněn, a to zejména lipským profesorem G.



Obr. 1. Uspořádání měření, jímž byl experimentálně vyšetřen Ohmův zákon [7].

TH. FECHNEREM, jenž Ohmův objev hodnotil slovy: „... založil novou epochu v nauce o galvanismu, s několika málo symboly v jednoduchém vzorci“ [9]. Mezi prvními, kdož ocenili Ohmův geniální poznatek, byli též prof. F. PFAFF v Erlangenu a prof. J. CH. POGGENDORFF v Berlíně. S rozvojem měřicí techniky byl Ohmův zákon ověřován a spolehlivě potvrzen řadou fyziků (např. G. TH. FECHNEREM v r. 1831, R. KOHLRAUSCHEM r. 1848 a E. LECHNEREM r. 1907).

G. S. Ohm byl nejen úspěšný badatel, ale též mimořádně oblíbený učitel. Svědčí o tom mj. příhoda, podle níž se po Ohmově přechodu do Berlína za ním vypravila delegace kolínských studentů se žádostí, aby se opět vrátil na tamní gymnázium [9].

Roku 1833 odchází Ohm z Berlína do Norimberka, kde přijal místo profesora a nakonec rektora na nově založené polytechnice. Na této škole setrval až do r. 1849, kdy ve svých šedesáti letech byl jmenován 2. konzervátorem matematicko-fyzikálních sbírek s povinností přednášet matematiku a fyziku na mnichovské univerzitě. Prostředí mnichovské univerzity příznivě ovlivnilo tvůrčí aktivitu G. S. Ohma. Napsal několik pozoruhodných učebnic fyziky a svou vědeckou činnost zaměřil na zkoumání interferenčních jevů v optice a akustice. Roku 1843 objasnil zákonitosti akustického zabarvení zvuku – ukázal, že sluchem vnímáme pouze jednoduché tóny (tj. harmonické složky akustického vlnění), nikoliv však jejich fázové posuvy. Tento tzv. Ohmův akustický zákon potvrdil četnými pokusy H. VON HELMHOLTZ (r. 1862).

Teprve r. 1852 se splnilo Ohmovo dlouholeté přání, když získal na mnichovské univerzitě řádnou profesuru pro fyziku a zároveň byl pověřen vedením katedry fyziky. Ohmovy zásluhy byly oceněny až na sklonku jeho životní dráhy. Za svoje vědecké objevy byl jmenován členem několika učených společností v Německu a zahraničním členem Královské společnosti v Londýně, která též udělila Ohmovi své nejvyšší vyznamenání – Copleyovu medaili. Ohm byl i ve své vlasti vyznamenán několika řády.

G. S. Ohm prožil celý svůj život ve skromných poměrech. Nebyl ženat. Počátkem roku 1854 byl stížen záchvatem mozkové mrtvice, jíž podlehl 7. června téhož roku.

Rozhodnutím mezinárodního kongresu fyziků v Paříži r. 1881 byla s Ohmovým jménem spojena jednotka elektrického odporu.

Literatura

- [1] P. BALÁŽ: *Význační fyzici*, Slov. ped. nakl., Bratislava 1966.
- [2] H. CAVENDISH: *The Electrical Researches*, University Press, Cambridge 1879.
- [3] H. FÜCHTBAUER: *Georg Simon Ohm*, VDI-Verlag, Berlin 1939.
- [4] I. KNESSLER-MAIXDORF: *Georg Simon Ohm*, *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 57 (1939), 169–170.
- [5] G. S. OHM: *Vorläufige Anzeige des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontaktelektrizität leiten*, *Annalen der Physik und Chemie*, 4 (1825), 79–88; *Journ. f. Chemie und Physik*, 44 (Jahrb. 14) (1825), 110–118.
- [6] G. S. OHM: *Ueber Leitungsfähigkeit der Metalle für Elektrizität*, *Journ. f. Chemie und Physik* 44 (1825), 245–247.

- [7] G. S. OHM: *Bestimmung des Gesetzes, nach welchem Metalle die Kontaktelektrizität leiten nebst einem Entwurf zu einer Theorie des Voltaschen Apparates und des Schweigger's Multipliers*. Journ. f. Chemie und Physik 46 (Jahrb. 16) (1826), 137–166.
- [8] G. S. OHM: *Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet*, T. H. Riemann, Berlin 1827.
- [9] J. ZENNECK: *Georg Simon Ohm*, VDI-Verlag, Berlin 1939. (Zde jsou uvedeny další odkazy na literaturu.)

SúčasnÉ trendy v algebre*)

Garrett Birkhoff, Harvard University

Éra modernej algebrY, 1930—1970

10. Vznik „modernej“ algebrY

Tesne predtým ako GÖDEL rozdrvil veľké nádeje symbolických logikov na formalizáciu celej matematiky pomocou „peanštiny“, VAN DER WAERDENOVA kniha *Moderne Algebra* (1930—31) vyvolala novú revolúciu. Cieľ tejto brilantne napísanej knihy je jasne uvedený v jej úvode.

„Abstraktný, formálny alebo axiomatický smer, ktorý dal algebre nový rozlet²⁹⁾, viedol predovšetkým k radu nových pojmov v teórii *grúp*, v teórii *polí*, v teórii *okruhov s ohodnotením* a v teórii *hyperkomplexných čísel*, k nahliadnutiu nových súvislostí a k ďalekosiahlym výsledkom. Hlavným cieľom tejto knihy je uviesť čitateľa do tohoto nového sveta pojmov.“

Ako som už naznačil, axiomatický prístup, ako aj veľa z „modernej“ algebrY, bolo známe už pred rokom 1914. No ešte v roku 1929 prevládal na mnohých univerzitách včítane Harvardu názor, že v porovnaní s pojmi a metódami analýzy majú pojmy a metódy modernej algebrY okrajový význam. Keď však van der Waerden ukázal matematickú a filozofickú jednotu modernej algebrY a analýzy a význam výsledkov EMMY NOETHEROVEJ a jej žiakov (z ktorých treba spomenúť najmä E. ARTINA, R. BRAUERA a H. HASSEHO), dostala sa moderná algebra v matematike zrazu do centrálného postavenia. Bez preháňania možno povedať, že sviežosť a entuziazmus van der Waerdenovho výkladu priam zelektrizovali matematický svet, najmä matematikov do tridsiatky, akým som bol aj ja.

*) G. Birkhoff: *Current Trends in Algebra*, Amer. Math. Monthly 80 (1973), 760—782

© The Mathematical Association of America

V tomto čísle otiskujeme druhou časť článku, jehož preklad pořídili Jozef Dravecký a Peter Mederly.

²⁹⁾ Po nemecky: der die Algebra ihren erneuten Aufschwung verdankt.