

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Karel Novák

O galvanickém odporu vismutu v magnetickém poli

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 24 (1895), No. 5, 273--281

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123850>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1895

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>

# O galvanickém odporu vismutu v magnetickém poli.

Napsal .

**Dr. Vlad. Novák,**

asistent fyzikálního ústavu české university.

*Úvod.* Nejen v laboratorních fyzikálních, ale i v technických závodech, a to častěji, vyskytuje se úloha měření intenzity magnetického pole. Měření toto jest dosti nesnadné a složité i když se jedná o přesnost pouze 1 neb 2%. S tohoto praktického stanoviska vítán byl tudíž zjev na některých kovech pozorovaný a u vismutu vynikající, záležející v tom, že odpor galvanický na př. vismutového drátu vloženého v pole magnetické se mění.

Vismut liší se od ostatních kovů buďto tím, že některá vlastnost jeho číselně vyniká, nebo jinak svým anomálním chováním se vůči kovům jiným.

Máť na př. velikou hmotu atomovou [208·0 dle W. Ostwalda<sup>1)</sup>], tepelná vodivost jeho jest velmi nepatrná (= pouze 1% vodivosti stříbra), při tavení jeví anomalie ve změnách objemu — v elektrických vlastnostech překvapuje nás neobyčejně malou vodivostí elektrickou (= 1·25% vodivosti stříbra) a značnými změnami odporu, je-li vložen v silné pole magnetické.

Pro tuto poslední vlastnost vismut hodí se k určení intenzity pole magnetického, když ovšem je známa závislost oněch změn odporových na intenzitě pole magnetického pro určitý drát vismutový *číselně*<sup>2)</sup> vyjádřená, aneb graficky křivkou v dostatečně velkém měřítku znázorněná.

V této stati chci popsati způsoby, jakými závislost tato

<sup>1)</sup> W. Ostwald, Stöchiometrie 1891, pag. 120.

<sup>2)</sup> Tím je míněna buďto rovnice onen vztah vyjadřující nebo tabulky.

byla vyhledávána, jakých výsledků došli jednotliví pozorovatelé a jaký význam mají tyto výsledky pro praktické upotřebení.

*Podobná vlastnost u jiných kovů.*

Příčinu k těmto pokusům zavdala podobná vlastnost u železa, objevená Fischerem a Abrahamem <sup>3)</sup>, dokázaná Edlundem <sup>4)</sup> a hlavně měřeními W. Thomsonovými <sup>4)</sup> z r. 1856., kterými se zjistilo, že galvanický odpor železa temporárně zmagnetisovaného ve směru osy magnetické vzroste asi o 0·03%, dále, že odpor destičky železné rovnoběžně se silokřivkami položené menší jest ve směru aquatorialném než v axiálním. Pozorování Thomsonovo potvrdili Adams <sup>5)</sup>, Lucchi. <sup>6)</sup> Naproti tomu Beetz <sup>7)</sup> nepozoroval při magnetisaci železa transversálně nijakých změn odporu.

Podobnou vlastnost při longitudinální magnetisaci jiných kovů, jako niklu, kobaltu, oceli a prvně u vismutu našel H. Tomlinson <sup>8)</sup>, a poněvadž změny odporové u vodičů z tohoto kovu byly číselně největší, byla přirozeně tato závislost během posledních 12 let velmi důkladně prostudována. Righi <sup>9)</sup>, Hurion <sup>10)</sup>, Leduc <sup>11)</sup>, Etingshausen, Nernst <sup>12)</sup>, Goldhammer <sup>13)</sup>, Lenard <sup>14)</sup>, Howard <sup>15)</sup>, Bruger <sup>16)</sup>, van Aubel <sup>17)</sup>, Henderson <sup>18)</sup> jsou jména těch, kteří otázku tuto z různého stanoviska řešili.

<sup>3)</sup> Viz G. Wiedemann, *Lehre von der Electricität* (3) 1833, pg. 719.

<sup>4)</sup> W. Thomson (nyní Lord Kelvin), *Phil. Trans.* 1856 (3), p. 737.

<sup>5)</sup> W. G. Adams, *Phil. Mag.* (5) 1., p. 153. 1876.

<sup>6)</sup> De Lucchi, *Atti del R. Ist. Ven.* 8. 1882, p. 17. *Beibl.* 7., p. 314.

<sup>7)</sup> Beetz, *Pogg. Ann.* 128., p. 203. 1866.

<sup>8)</sup> H. Tomlinson, *Proc. Roy. Soc.* 33., p. 72. 1882.

<sup>9)</sup> Righi, *Journ. de Phys.* (2) 2., p. 355. 1884.

<sup>10)</sup> Hurion, *Compt. Rend.* 98., p. 1257. 1884.

<sup>11)</sup> Leduc, *Compt. Rend.* 98., p. 673. 1884.

<sup>12)</sup> v. Etingshausen & Nernst, *Wien. Ber.* 94. 2 Abt. 560. 1886,

v. Etingshausen, *Wien. Ber.* 95., p. 714. 1887.

<sup>13)</sup> Goldhammer, *Wied. Ann.* 31., p. 340. 1887.

" " 36., p. 804. 1889.

<sup>14)</sup> Lenard, *Wied. Ann.* 39., p. 619. 1890.

<sup>15)</sup> Lenard & Howard, *Elektrotech. Zeitschrift* 9., p. 341. 1888.

<sup>16)</sup> Bruger, *Industries* 12. Mai 1893.

<sup>17)</sup> v. Aubel, *J. d. Phys.* (3) 1., p. 424. 1892.

*J. d. Phys.* (3) 2., p. 407. 1893,

<sup>18)</sup> J. B. Henderson, *Wied. Ann.* 1894.

*Tvar a úprava vismutového vodiče.*

Co se týče vodiče samého, užíváno ku prozkoumání těchto vlastností vismutu dvoji formy, jednak tenké destičky vismutové, jednak vismutového drátu.

Někteří pozorovatelé hleděli zmíněnou vlastnost vismutu studovati spolu s fenomenem Hallovým<sup>19)</sup>, a proto užívali tenké destičky vismutové, na př. připravené dle návodu Righiho.<sup>20)</sup> Roztavený vismut nalit byl na destičku skleněnou v tenké vrstvě. Když kov schladl, byl broušen a polírován, takže tloušťka vrstvy jeho nepřesahovala několik setin mm. Takových destiček užívali Goldhammer a Leduc<sup>21)</sup>

Další důvod pro tento tvar vismutového vodiče spatřován byl v následujícím: Nebylo lze u takovéto destičky předpokládati, že změna odporu vzniká mechanickou deformací vismutu v silném poli magnetickém. Jest totiž známo, že některé kovy mění v silném poli magnetickém svůj tvar. Úkaz ten byl pozorován však pouze na drátech nebo tyčích, prstenech a pod.

Již Joule<sup>22)</sup> (1847) dokázal, že drát železný magnetisací se prodlužuje. V novější době otázku tuto studovali u železa a jiných kovů *Shelford Bidwell*<sup>23)</sup> a *Sidney Lochner*. U vismutu hlavně pak *E. Aubel*<sup>24)</sup> dokázal, že změny v délce způsobené magnetisací tyče vismutové jsou velmi nepatrné, daleko menší

<sup>19)</sup> K tenké destičce kovové tvaru obdélníkových vedou ku protějším dvěma stranám dráty od batterie. Prochází-li destičkou proud, objeví se na symmetricky položených místech druhých dvou protějším stran potentialná difference, závislá na intenzitě primárního proudu, na teplotě vodiče a na magnetickém poli, v němž jest destička. Ostatně viz G. Wiedeman, *Elektricität III.*, p. 192 a *IV.*, p. 1310. 1883—85.

<sup>20)</sup> Righi, *Journ. d. Phys.* (3) 3., p. 132.

<sup>21)</sup> *I. c.*

<sup>19)</sup> Viz G. Wiedemann, *Elektricität 3.*, p. 703. 1883.

<sup>20)</sup> *Beibl. z. Ann.* 9. pg. 689. 1885.

10. pg. 423. 726. 1886.

12. pg. 600. 1888.

34. pg. 64. 1890.

16. pg. 689. 1892.

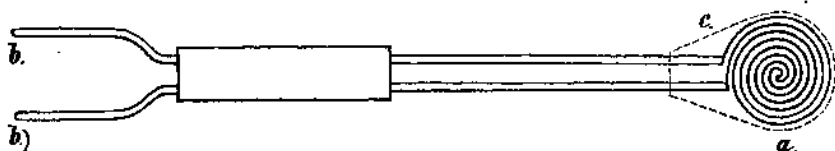
Některé kovy v slabším poli se prodlužují, za to v silnějším poli se stahují. Některé se jenom stahují.

<sup>24)</sup> *E. Aubel, Journ. d. phys.* (3); 1., p. 424. 1892.

než u kovů jiných. (Prodloužení tyče obnášelo pouze  $8 \cdot 10^{-2}$  původní délky.)

Nepatrnými těmito změnami ve tvaru vismutu není možno vyložiti veliké změny jeho odporu, a tím ovšem hořejší důvod, užívati vismutu ve formě destičky, pozbývá platnosti.

Proto pozorovatelé ostatní, jako Lenard a Howard, Henderson<sup>25)</sup> a jiní užívali výhradně drátu vismutového. Tu se nejvíce osvědčila forma spirály (viz obr. 1.), bifilárně v rovině od středu vinuté (a), jejíž konce byly připájeny k silným mezi



Obr. 1.

sebou náležitě izolovaným drátům měděným (b). Tenký drátek vismutový (0·2—0·4 mm) ochráněn před nárazem a poškozením dvěma kruhovými destičkami ze slídy (c), přilepenými kanadským balsamem nebo šelakem. Lenard užíval také drátu vismutového navinutého kol tenké obdélníkové destičky ze slonové kosti, na podélných okrajích jemně zoubkované.

Úprava vismutu vůbec měla ten účel, aby celý vodič mohl býti vložen do magnetického pole *homogenního*, kteréžto podmínce možno vyhověti jen tehdy, když jest vodič malý a co možná v rovině nebo přímce rozestřený.

V obou případech zmíněných bylo této podmínce vyhověno, ať již byl vismut destičkou nebo spirálou drátu atp.

Zvláště výhodnou osvědčila se spirála při zkoumání závislosti odporu v magnetickém poli na *teplotě*, neboť spirála snadno mohla býti opatřena kovovou krabičkou hermeticky ji uzavírající a tak vložena do lázně vodní. Teplotura lázně nesměla ovšem přestoupiti  $80^{\circ}$ , neboť pak se destičky slídivé lepené šelakem oddělovaly od spirály.

Připojení vismutu k ostatnímu vedení bylo různé dle toho,

<sup>25)</sup> l. c.

měl-li drát vismutový býti postaven v poli magnetickém kolmo k silokřivkám nebo rovnoběžně. Dle toho ovšem bývaly v některých případech také vyměněny poly elektromagnetu za jiné formy zvláštní, ano někde i postaráno o to, aby úhel, který rovina vodiče vismutového svírala se směrem silokřivek, mohl býti stanoven.

Nebude nezajímavo povšimnouti si, jakým způsobem byl hotoven onen tenký drát vismutový. V silnostěnném železném válci vismut ohřát na temperaturu 100 až 230° a lisován pak šroubem (dle Mathiessena) nebo vodním lisem (dle Lenarda) konickým otvorem ve dnu válce, kteréž mohlo býti vyměněno (pro dráty různé tloušťky).

Lenard pozoroval, že temperatura, při níž drát byl lisován, má značný vliv na specifický odpor jeho. Byl-li drát lisován

$$\begin{array}{l} \text{při temp. } 155^{\circ}, \text{ byl jeho odpor } 1.085 \cdot 10^3 \left( \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right) \text{ při } 22^{\circ}, \\ \text{„ } 230^{\circ}, \text{ „ } 1.154 \text{ „ } \end{array}$$

V obou případech drát lisován z téhož vismutu elektrolytického, jenž se osvědčil nejčistším.

Čistota vismutu pozorována právě dle těchto čísel pro odpor specifický, neboť je známo, jak sebe nepatrnější množství cizího kovu značně mění galvanickou vodivost. Ledue uvádí na př. pro spec. odpor „čistého“ vismutu

$$\text{při temp. } 23^{\circ} \text{ číslo: } 2.185 \cdot 10^3 \left( \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}} \right).$$

Tato metoda hotovení drátů vismutových lépe se osvědčila, než dřívější způsob protahovati silný zahřátý drát postupně menšími a menšími otvory v desce ocelové.

#### *Magnetické pole.*

Magnetické pole zjednávano elektromagnety často velmi mohutnými. Maximální intensity pole dosáhl Henderson, jenž použil prstenovitého elektromagnetu konstrukce Du-Boisovy<sup>26)</sup>. Intenzita v jednotkách (*cm g sec*) byla tu až 25.000. Při po-

<sup>26)</sup> Popis tohoto elektromagnetu jakož i výkres viz Wied. Ann. 51, p. 537. 1894.

kusech Lenardových a Howardových vyskytuje se největší číslo 16.200 jednotek.

Pole, jehož intenzita jest 25.000 jednotek, jest již tak značné, že musily býti vkládány zvláštní mosazné vložky mezi poly, aby se tyto přitažlivou silou nesevěřely.

Intenzita pole na místě, kde vodič vkládá, měřena obyčejně indukci, methodou ballistickou, tím, že určitý vodič kruhový rychle a z dostatečně vzdáleného místa mezi poly vsunut a zase rychle vzdálen. Kruhový vodič — někdy i malá indukční cívka — spojeny s galvanometrem, jehož indukční náraz pozorován dalekohledem a škálou.

Poněvadž se intenzita pole a odpor vismutu má určití vlastně současně, vedl Henderson onen kruhový vodič přímo kolem spirály vismutové.

#### *Měření odporu.*

Odpor vismutového vodiče měřen po většině methodou Wheatstoneovou, buďto s jedním nebo dvěma můstky dle modifikace Thomsonovy.

Lenard určoval nullové postavení kontaktu při této methodě jednak galvanometrem a jednak telefonem a tu se ukázal zajímavý rozdíl mezi oběma druhy měření. Stoupá-li intenzita pole magnetického až do 6000 jednotek (*cm, g, sec*), jest odpor naměřený telefonem asi o 0.2% menší, než odpor určený z nullového postavení galvanometru. Stoupá-li intenzita pole dále, obrátí se tato závislost a v poli 16,000 jednotek dává prvéjší způsob výsledky o 4% větší než druhý.

#### *Výsledky:*

Povšechné výsledky jsou asi následující: Odpor vismutového vodiče vzrůstá vždy s rostoucí intenzitou pole magnetického. Největší přírůstek odporu nastává, je-li vodič položen kolmo k siločívčkám.

Následující tabulka udává několik číselných dat.

Postavení vodiče	Intensita pole <i>cm g sec</i>	Změna odporu v %	Temp.	Pozorovatel
drát    se silo- křivkami . .	5400 10930	10·3 30·2	? ?	Lenard "
drát ⊥ ku silo- křivkám . .	2000 10,000 16,000	4·9 42·0 74·0	? ? ?	" " "
Destička ⊥ k si- lokřivkám . .	1650 9830	2·6 43·6	? ?	Ettingshausen & Nernst
Spirála ⊥ k silo- křivkám . .	13,070 12750 38900	80·3 62·3 233	0° 18° "	Henderson " "

Z těchto čísel lze snadno přehlédnouti, jak asi veliká jest ona změna odporu vizmutového vodiče, kterou dozná, když jej uvedeme z magnetického pole = 0 do pole intensity několika tisíc jednotek.

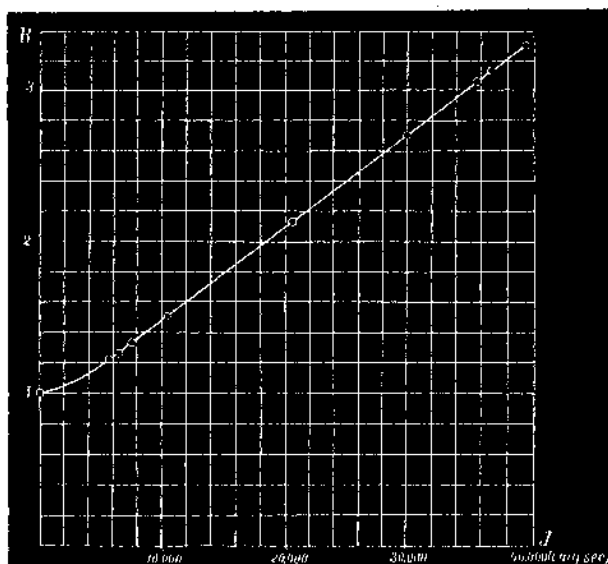
Podrobnější data dle pojednání Hendersonova jsou sestavena v následující tabulce.

Intensita pole <i>c. g. s.</i>	Poměr odporů v poli a mimo ně
0	1·000
5830	1·227
6310	1·253
7790	1·341
10410	1·496
20450	2·160
30090	2·704
35800	3·070
36600	3·160
38900	3·334.

Z těchto čísel sestrojena jest křivka na obr. 2., která z po-



čátku ukazuje urychlený vzrůst odporu, později (od 5000 *cm g sec.* počínajíc) stává se téměř přímkou.



Obr. 2.

Závislost odporu a intenzity pole možno tu přibližně vyjádřiti vzorcem Leduc-ovým

$$J = a \sqrt{z(z+b)},$$

kde  $J$  = intenzita pole,  
 $z$  = procentuální změna odporu,  
 $a, b$  = konstanty.

V praxi stačí úplně stanoviti konstanty  $a$  a  $b$  ze 2 pozorování.

Galvanický koeficient teploturní záleží především na čistotě vismutu. Lenard našel pro tento koeficient

u čistého vismutu hodnotu 0·0052 mezi 0° a 36°,  
 u nečistého „ „ 0·0021 „ 0° 70°.

Měření Hendersonova ukazují následující výsledky:

V magnetickém poli nullovém roste odpor vismutového vodiče s teplotou proportionálně. Stoupá-li intenzita pole,

jest vzrůst odporu zrychlený a to až do pole intensity 6000 jednotek. V poli 7000 jeví se pro určitou teplotu *minimum odporu*; odporu s rostoucí teplotou totiž z prvu *ubývá* a pak teprve *přibývá*. Zvyšujeme-li stále intenzitu pole, pak se ono minimum posunuje k vyšším teplotám a konečně úplně mizí; tak že v poli na př. 20,000 jednotek odporu s teplotou ubývá. Grafické znázornění Hendersonovo ukazuje v té příčině křivky, jež k dostatečně vysokým teplotám extrapolovány k jednomu bodu míří.

Aby mohla býti teplota vodiče pohodlně stanovena, Henderson navrhuje vésti kolem spirály jinou spirálu z drátu na př. platinového, jehož odpor a koeficient teploturní byl by znám. Při pozorování určí se jednoduše odpor obou spirál, teplota vodiče se pak vypočítá.

#### *Užití v praxi.*

Ze všeho dřívějšího vychází na jevo, kterak možno upotřebiti této vlastnosti vismutu k měření intenzity magnetického pole.

Nejlépe jest užívati spirály bifilárně vinutého lisovaného drátu vismutového, jejíž odpor v závislosti na poli magnetickém byl empiricky stanoven. Jsou-li výsledky takového měření pro určitou spirálu tabellárně neb graficky známy — jest určení intenzity nějakého pole magnetického převedeno na jednoduché stanovení odporu galvanického.

#### *Úkaz dosud není vyložen.*

Jak jsme poznali, bylo vykonáno dosti a důkladných studií o zajímavých těchto vlastnostech vismutu a přece dosud úkaz sám není vysvětlen.

Nepatrná změna tvaru vismutového vodiče nemůže býti příčinou tak značných změn v odporu.

Je-li vodič ve formě drátu, není možno vysvětlovati úkaz fenomenem Hallovým, který jen u destiček se vyskytuje. Lenard zkoušel, zda-li samoindukce nepůsobí změnu odporu vodiče, či úkaz Peltierův, který patrně nastává na místech, kde vodič jest spájen s dráty měděnými, všechny pokusy však podaly výsledek negativní, jinak řečeno: Změnu odporu vismutu v poli magnetickém nepodařilo se dosud převést na známé zjevy.