

Václav Felix

Změna odporu vismutu v magnetickém poli

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 41 (1912), No. 3-4, 343--352

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/122918>

Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1912

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>

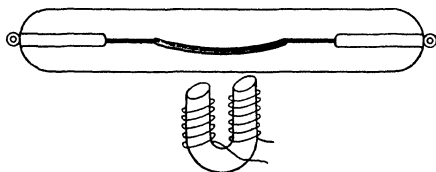
nebo rovno množství plynoucímu rovnoběžným tokem proudnicovým téhož průřezu v téže době; neboť jinak může nastati stav setrvačnosti bez odvádění energie, pro rozdíl měrných tlaků v obou průřezích rovný nulle, tedy i $k = 0$.

Změna odporu vismutu v magnetickém poli.

Napsal prof. dr. Václav Felix.

1. Před nějakým časem zabýval jsem se otázkou, jak se zvýší odpor rtuti v magnetickém poli, a dospěl jsem k číslům značně vyšším, než vykazují starší práce o tomto předmětu. *)

V dřívějších pracích byl odpor rtuti měřen Wheatstoneovým mostem, kdežto experimentální uspořádání mých pokusů se zakládalo na metodě voltmetrické tak, že část proudu protékajícího rtutí odbočovala a probíhala galvanometrem, který se nalézal v derivačním vedení.



Obr. 1.

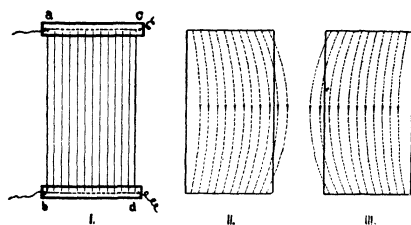
Zdalo se mi tudíž, že neshoda výsledků je snad důsledek rozdílů obou method. Zejména byla na snadě domněnka, že mimo vlastní změnu odporovou vzniká v magnetickém poli přímý vliv na proudokřivky, jichž směr a hustota ve vodiči se mění.

2. Východiskem theoretické úvahy, která mne vedla, byl známý pokus o deformaci elektrického výboje ve vakuu vlivem magnetu (obr. 1.).

Obdobně musíme si představit deformaci proudokřivek v plošném vodiči, působí-li naň magnetické pole.

*) Časopis pro pěstování math. a fys. Roč. 38 (1909), str. 582. Roč. 39 (1910), str. 167.

Vedeme-li ku př. elektrický proud vodičem tvaru obdélníkového tak, že dvě protější strany jsou čarami equipotenciálními (přívodní dráty musí býti nekonečně dobře vodivé), budou proudokřivky znázorněny přímkami rovnoběžnými, equidistantními (obr. 2. I.). Vzbuzením pole magnetického kolmo k rovině vodiče se poruší tvar proudokřivek (obr. 2. II. a 2. III.) a po případě se část jich vytlačí z vodiče, je-li to možno vedlejší spojním (galvanometrem) v bodech *c*, *d*.



Obr. 2.

Proud odbočený skrze galvanometr (voltmetr) v paralelním vedení měl by se tedy změnití vlivem silokřivek magnetických i v tom případě, *když vlastní odporová změna nenastává*. Pakli se mění zároveň odpor vodiče v magnetickém poli musí tato změna býti *nesymmetrická* při kommutování jak proudu magnetisujícího tak i proudu (primárního) přiváděného do vodiče v bodech *a*, *b*.

3. K potvrzení své domněnky jsem zvolil kov, u něhož lze předpokládati značnou pohyblivost proudokřivek, totiž vismut. Jak známo, jeví se u vismutu ve značné míře i Hallův efekt, který se vykládá deformací proudokřivek.

Prozatím jsem omezil pozorování na ten případ, že proud vismutem prochází kolmo na směr magnetických silokřivek. I tato zdánlivě malá práce vyžadovala mnoho práce a námahy proto, že jsem experimentoval s látkou, u níž byla vedle Hallova efektu pozorována řada jiných, z nichž zvláště t. zv. thermomagnetický efekt a změna thermoelektrických účinků mohly působiti rušivě. Bylo proto zapotřebí vésti si velmi opatrně a vyloučiti předem všechny rušivé okolnosti.

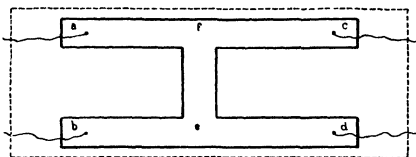
Dosavadní výsledky potvrzují sice velmi zřetelně první část předpokladu, týkající se asymmetrické změny odporu při kommutování magnetického pole, avšak změny odporu při kommutování primárního proudu ve vodiči liší se dosti málo, takže nelze říci s určitostí, jsou-li skutečně způsobeny pošinutím proudokřivek. Řada pozorovaných okolností činí tuto možnost velmi pravděpodobnou.

Podávám zde prozatím výsledky měření, k nimž jsem až dosud dospěl, jako první část práce, již bude nutno doplnit v mnoha směrech.

Při části pozorování pomáhal mi ochotně p. P. Růžek, asistent fyzikálního ústavu České techniky, jemuž za to srdečně děkuji.

4. Uspořádání pokusů bylo následující :

Vismut, jehož odporové změny jsem studoval, byl upraven ve tvar naznačený v obr. 3.



Obr. 3.

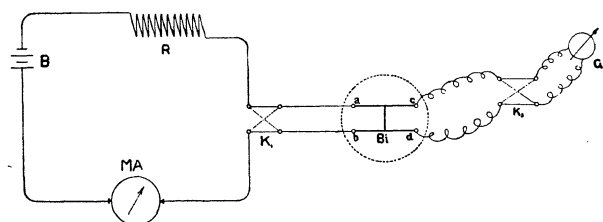
Délka strany ac obnáší 60 mm, šířka mezi body e, f měří 26 mm, příčný rozměr střední částí 6 mm; tloušťka deštičky 1 mm *).

Na všech čtyřech koncích vodiče byly nataveny měděné dráty a konečně byl vetmelen praeparat k vůli ochraně nezi dvě skleněné deštičky.

Primární proud byl přiváděn z akumulátorové batterie *B* (obr. 4.) v bodech a, b a měřen milliampermetrem; konce c, d spojeny byly s galvanometrem *Deprez-D'Arsovalovým*, jehož citlivost se měnila dle potřeby až k maximalní hodnotě

*) Vismut, vzatý ze zásob fyzikálního ústavu, nebyl asi zcela čistý.

$1.5^{sc} = 10^{-9}$ amp. Magnetické pole bylo tvořeno velikým polo-kruhovým magnetem (*Du Bois*) a bylo homogenní mezi kruhovými armaturami z měkkého železa (průměr 8 cm , vzdálenost 1.2 cm). Vismutová deska byla položena pokud možno uprostřed pole a to tak, že proud probíhal kolmo na směr silokřivek.



Obr. 4.

Pomocí kommutatorů K_1 , K_2 bylo lze měniti směr jak proudu primárního, tak i části odbočené skrze galvanometr; tím byly vyloučeny různé malé nesrovnalosti (nesouměrné postavení stupnice a j.). Mimo to byl postaven třetí kommutator (nevykreslený na obraze) ke změně směru magnetisujícího proudu.

Výchylky (α) uvedené v následujících tabulkách odvozují se vždy z několika pozorování; galvanometr byl totiž čten vždy aspoň dvakrát v každé poloze K_2 . Jest tedy každá hodnota α středem nejméně čtyř pozorovaných výchylek, sobě velmi blízkých.

5. První řadu pokusů provedl jsem proto, abych rozhodl, jaký vliv na odpor vismutu má směr magnetického pole; k rozdílům při kommutování proudu primárního jsem prozatím nepřehlížel.

Výsledky jsou shrnuty v tab. I., kde značí

i intensitu proudu (primárního) vedeného z batterie do vismutu,

H velikost magnetického pole,

α_0 původní výchylku galvanometru,

α zvětšenou výchylku při vzbuzení magnetického pole,
 $\frac{\Delta w}{w_0}$ procentuální zvýšení odporu.

Tab. I.

Změna odporu vismutu v magnetickém poli.

i	H	α_0	α	$\frac{\Delta w}{w_0} = \frac{\Delta \alpha}{\alpha_0}$	středy	t
0·2 amp	—	166·8	—			20° C
	+ 2180 G	—	168·4	1·2%		
	—	165·2	—		3·1%	
	— 2060	—	175·0	5·1		
	—	167·2				
0·1 amp	—	88·7	—			17° C
	+ 7030 G	—	106·6	15·1%		
	—	90·3	—		22·8%	
	— 7290	—	119·7	30·5		
	—	96·1	—			

Nápadný rozdíl procentuálního zvýšení odporu v magnetickém poli různého směru a velikosti takoržka stejné přiměl mne k tomu, že jsem provedl kontrolní měření na dvou vismutových spirálách (Hartmann & Braun, Frankfurt n. M.) určených k měření magnet. pole.

Výsledek udává tab. II.

Měření odporu bylo provedeno přesným Wheatstoneovým mostem, magnetické pole bylo měřeno pomocí *S. Grassotova* fluxmetru a kontrolováno ballistickým galvanometrem. Výsledky shodují se dobře s diagrammy, které přidává firma Hartmann & Braun k jednotlivým spirálám.

Tab. II.

Změna odporu vismutových spirál v magn. poli.

<i>H</i>	Spirala <i>A</i> ; $w_0 = 7.44 \text{ Ohm}$		Spirala <i>B</i> ; $w_0' = 21.78 \text{ Ohm}$	
	Δw	$\frac{\Delta w}{w_0}$	$\Delta w'$	$\frac{\Delta w}{w_0'}$
+ 700 Gauss	0.023 Ohm	0.31 ‰	—	—
— 700	0.031	0.42	—	—
+ 2180	0.280	3.76	0.88 Ohm	4.04 ‰
— 2060	0.255	3.43	0.80	3.67
+ 4720	1.04	14.0	3.44	15.57
— 4740	1.01	13.6	3.32	15.20
+ 7030	1.92	25.7	6.42	29.48
— 7290	1.91	25.3	6.37	29.25
+ 8870	2.60	34.7	8.99	40.82
— 8670	2.60	34.7	8.89	40.82

Srovnáním obou tabulek plyne, že střední hodnoty tab. I. (v šestém sloupci) souhlasí s hodnotami tab. II., pokud lze očekávat souhlas při materiálu vždy značně různém. Překvapují však rozdíly v pátém sloupci tab. I. 3.9‰ a 15.4‰, kterým se ani z daleka nevyrovnají příslušné difference v tab. II.

0.33‰ (resp. 0.37) a 0.4‰ (resp. 0.23).

Mimo to je nápadno, že tyto rozdíly jsou poměrně velikosti magnetického pole.

Stanovíme-li totiž poměr mezi differencemi hodnoty $\frac{\Delta w}{w_0}$ v pátém sloupci tab. I. a příslušným počtem silokřivek, obdržíme

$$\frac{3.9}{2120} = 0.00184 \quad \frac{15.4}{7160} = 0.00215,$$

kterážto čísla souhlasí velmi dobře.

Tab. III.

Odpor vismutu ve slabém poli magnetickém.

<i>i</i>	<i>H</i>	α_0	α	$\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0} = \frac{\Delta w}{w_0}$	středně $\frac{\Delta w}{w_0}$	<i>t</i>
+0.2 amp	--	155.7	—			19.5°C
+0.2	+ 350 Gauss	—	156.2	+ 0.32%		
-0.2	—	172.0	—		+ 0.46%	
-0.2	+ 350	—	173.0	+ 0.60		
+0.2	—	155.8	—			
+0.2	- 350	—	155.5	- 0.19		
-0.2	—	172.1	—		- 0.27	
-0.2	- 350	—	171.5	- 0.35		
+ 0.18 amp	—	223.1	—			21.5°C
+0.18	+ 700	—	225.0	+ 0.85		
-0.18	—	223.4	—		+ 0.89	
-0.18	+ 700	—	225.5	+ 0.93		
+0.18	—	223.7	—			
+0.18	- 700	—	222.2	- 0.68		
-0.18	—	223.0	—		- 0.45	
-0.18	- 700	—	222.5	- 0.22		
+ 0.10 amp	—	130.0	—			18.5°C
+0.1	+ 700	—	130.8	+ 0.66		
-0.1	—	126.7	—		+ 0.85	
-0.1	+ 700	—	128.0	+ 1.04		
+0.1	—	129.7	—			
+0.1	- 700	—	129.2	- 0.38		
-0.1	—	127.0	—		- 0.39	
-0.1	- 700	—	126.5	- 0.40		

Tab. IV.

Odpor vismutu v silném poli magnetickém.

i	H	α_0	α	$\frac{\Delta\alpha_0}{\alpha_0} = \frac{\Delta w}{w_0}$	středý $\frac{\Delta w}{w_0}$	t
+ 0·20amp	—	178·3	—			19·5°C
+ 0·20	+7030Gauss	—	227·7	27·6%		
— 0·20	—	191·0	—		27·3%	
— 0·20	+ 7030	—	242·5	27·0		
+ 0·20	—	177·8	—			
+ 0·20	— 7290	—	208·0	17·0		
— 0·20	—	190·6	—		16·6	
— 0·20	— 7290	—	221·7	16·3		
+ 0·06	—	73·8	—			21°C
+ 0·06	+ 8870	—	101·0	36·9		
— 0·06	—	74·1	—		36·4	
— 0·06	+ 8870	—	100·9	36·0		
+ 0·06	—	73·9	—			
+ 0·06	— 8670	—	90·7	22·7		
— 0·06	—	74·0	—		22·8	
— 0·06	— 8670	—	91·0	23·0		
+ 0·10	—	129	—			18·5°C
+ 0·10	+ 8870	—	176·7	36·5		
— 0·10	—	127·7	—		36·1	
— 0·10	+ 8870	—	174·5	35·8		
+ 0·10	—	129·3	—			
+ 0·10	— 8670	—	158·5	22·6		
— 0·10	—	127·9	—		22·9	
— 0·10	— 8670	—	157·6	23·2		

6. Tato poslední okolnost přímo vybízela k řešení otázky, jak závisí odporové změny na směru primárního proudu i .

Výsledky pokusů, které jsem provedl k tomu cíli, jsou sestaveny v tab. III. a IV. Výchyly α_0 jsou tu uvedeny pro úsporu místa jen jednou (ač byly pozorovány dvakrát stejně jako v tab. I.) a znamenají střed osmi jednotlivých čtení galvanometru. Ostatně je význam písmen nezměněn.

Citlivost galvanometru nebyla táž při každé řadě měření, proto také výchyly α_0 nejsou poměrný intenzitám primárního proudu i , nýbrž tento poměr se mění od řady k řadě.

Rozdíl mezi výchyly galvanometru při kommutování primárního proudu dosahuje někdy poněkud větší hodnoty a byl zaviněn bezpochyby povahou praeparatu. Thermoelektrické efekty nebyly jeho příčinou, poněvadž jsem bedlivě přihlížel k tomu, aby vismut měl co možno stejnoměrnou teplotu, a proudy jsem volil jen tak slabé, že se vismut ztelně nezahřival. Ostatně jsem vždy kontroloval „thermoelektrickou výchyly“, totiž tu, která vznikla při přerušení primárního proudu, a našel jsem, že její hodnota i při největší citlivosti galvanometru je malá jak v magnetickém poli, tak i bez něho.

Podobně jsem zkoušel, vznikají-li efekty thermomagnetické, a našel záporný výsledek.

7. Z tabulek III. a IV. plyne opět, že střední výsledky pro zvýšení odporu dobře se srovnávají s čísly tab. II.

Rozdíly hodnot $\frac{\Delta w}{w_0}$ udané v šestém sloupci tab. III., IV. obnášejí

$$0\cdot73, 1\cdot34, 1\cdot24, \text{ resp. } 10\cdot7, 13\cdot6, 13\cdot2\%$$

a jsou zase poměrný intenzitám pole; dělíme-li tato čísla příslušným počtem silokřivek, obdržíme poměry $0\cdot00208, 0\cdot00191, 0\cdot00177, \text{ resp. } 0\cdot00150, 0\cdot00160, 0\cdot00151\%$, tedy skoro tolikéž jako z tab. I.

Naproti tomu jsou rozdíly vznikající změnou směru primárního proudu nepoměrně menší a nelze tvrdit s určitostí, že jsou důsledkem této změny směru.

Ovšem je tato konkluse pravděpodobna, poněvadž smysl, v němž se dějí změny odporu při kommutování primárního proudu, jest ve většině pozorování správný. Nazveme-li procentu-

alní zvýšení odporu v kladném poli magnetickém α , v záporném poli y , konečně změnu způsobenou deformací proudokřivek ϵ , máme toto schema pro celkové změny odporu:

	$+ H$	$- H$
$+ i$	$x + \epsilon$	$y - \epsilon$
$- i$	$x - \epsilon$	$y + \epsilon$

V uvedených tabulkách shoduje se s tímto schematem většina výsledků.

Mímo to nelze opomenouti toho faktu, že vliv pole se projevuje jinak na střední hodnoty odporových změn a jinak na difference; tyto poslední jsou, jak dokázáno, poměrně intenzitám pole magnetického, kdežto střední hodnoty (t. j. poloviční součty čísel v šestém sloupci tab. III., IV.) rostou mnohem rychleji než počet silokřivek.

Na všechny výsledky má asi největší vliv krystalická struktura vismutové desky, a bude třeba v další práci studovati zevrubně tuto otázku na praeparatech vybroušených z větších vismutových krystalů a přesně orientovaných vůči krystalografickým osám.

Bohužel jsem dosud neměl podobné krystally k dispozici. Z posavadních měření usuzuji:

1. Změna odporu vismutu v magnetickém poli, kolmo ke směru silokřivek, není táž, když se změní směr pole.
2. Rozdíly jsou poměrně počtu silokřivek a nezávisly na intenzitě primárního proudu procházejícího vismutem.
3. Hlavní příčinou rozdílného zvýšení odporu jest asi krystalická povaha vismutu; pravděpodobně má vliv též deformace proudokřivek. Rozhodně nelze zjev vykládati vlivy thermoelektrickými a thermomagnetickými.
4. Změnou směru primárního proudu nastane též různé zvýšení odporu, avšak tyto rozdíly jsou vyznačeny méně přesně.