

# Časopis pro pěstování matematiky a fysiky

---

Václav Felix

Změna odporu rtuti v magnetickém poli. [I.]

*Časopis pro pěstování matematiky a fysiky*, Vol. 38 (1909), No. 5, 582--593

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123823>

## Terms of use:

© Union of Czech Mathematicians and Physicists, 1909

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>

## Změna odporu rtuti v magnetickém poli.

Napsal prof. dr. Václav Felix.

Změny odporu způsobené vlivem silného magnetického pole zkoušeny byly, jak známo, v novější době od četných badatelů a byly zjištěny u veliké řady tuhých vodičů. Nejvíce prací vztahuje se ke třídě ferromagnetických kovů a k vismutu; tenkého drátu vismutového užívá se již s prospěchem k měření magnetického pole.

Naproti tomu není dosud jisto, zdali se mění v magnetickém poli odpor kapalin. Řada experimentálních prací, které podnikli *Paktowski*<sup>1)</sup> (s roztokem chloridu železitého), *Lussana*<sup>2)</sup> (s roztokem zelené skalice), *Des Coudres*<sup>3)</sup>, *Drude* a *Nernst*<sup>4)</sup> (se rtutí a roztaveným vismutem), *Berndt*<sup>5)</sup> (se rtutí a různými elektrolyty), vedla buď k negativním výsledkům anebo bylo pozorované zvýšení odporu, obyčejně velmi malé, vykládáno změnami teploty, ponderomotorickými účinky magnetu na proudovodič a pod.

Ojedinelé práce, na př. *Bagardova*<sup>6)</sup>, však přece zaznamenaly zvýšení odporu kapalin v magnetickém poli a mimo to vyskytují se pozorování Hallova zjevu v tekutinách, který s odporovými změnami úzce souvisí; nelze tudíž pokládati otázku za rozřešenu záporně.

Existenci Hallova zjevu<sup>7)</sup> v kapalinách dovozují *Bagard*<sup>8)</sup> (pro elektrolyty), *Amaduzzi* a *Leone*<sup>9)</sup> (pro vismutový amalgam), jeho možnost připouští z theoretických důvodů *v. Everdingen*<sup>10)</sup> a nevykládají naprosto ani *Drude* a *Nernst*<sup>4)</sup>; popírají anebo

1) Zprávy Kazaňského přírodovědeckého spolku 1881.

2) Atti R. Istituto Veneto (7) 4. p. 13.

3) Verhandlungen d. Phys. Gesellschaft, Berlin 10. p. 50.

4) Wied. Annalen 42. p. 568.

5) Annalen d. Physik (4) 23. p. 932.

6) Comptes rendus 128. p. 91.

7) Koláček, Elektřina a magnetismus, str. 243.

8) Comptes rendus 122. p. 77. 123. p. 1270. Nuovo Cimento (4) 4. p. 383, (4) 7. p. 187. J. de Physique (3) 5. p. 499.

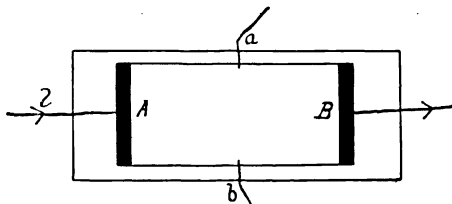
9) Rendiconti R. Accad. Lincei 1900, 1. p. 252.

10) Comm. from the Phys. Labor. Leiden No. 41.

vykládají sekundárními příčinami výše zmíněnými *Roiti*<sup>11)</sup>, *Florio*<sup>12)</sup>, *Chiavassa*<sup>13)</sup>, *Moretto*<sup>14)</sup>, *Heilbrun*<sup>15)</sup> a jiní.

Zdalo se mi proto zajímavým, že jsem našel zjev, který bylo lze vykládati jako zvýšení odporu rtuti v silném poli magnetickém. Experimentální uspořádání tohoto pokusu bylo podniknuto k jinému účelu: studoval jsem Hallův zjev ve rtuti, kde dosud nebyl nalezen.

Rtuťová vrstva byla sevřena mezi dvěma skleněnými deskami, mezi nimiž se zároveň nalézal ebonitový rámeček vymezující tvar vrstvy. Tento rámeček zobrazený na obr. 1. měl po krátkých stranách pevně zapuštěny měděné plíšky *A*, *B* s přívodními dráty jakožto elektrody primárního proudu, a dráty *a*, *b* uprostřed dlouhých stran k pozorování Hallova zjevu. Rozměry rtuťové vrstvy byly v *mm* :  $40 \times 20 \times 0,5$ , odpor asi  $0,004 \Omega$ .



Obr. 1.

Plnění dalo se tak, že byl nejprve rámeček ve vodorovné poloze položen na jednu z desk, naplněn rtuťí a pokryt tenkou kaučukovou vložkou; rtuťí byl nadbytek. Pak byla přitisknuta na kaučuk opatrně druhá skleněná deska a sevřena nejdříve mezi prsty, aby odtekla přebytečná rtuť, načež konečně celek vložen do mosazné kostry, tvaru vyznačeného v pohledu i v řezu na obr. 2. Mosaznými šrouby (počtem 4—8) utaženy byly desky i s rámečkem mezi spodní a vrchní polovinu kostry tak, že

<sup>11)</sup> Atti R. Accad. Lincei 1882.

<sup>12)</sup> N. Cimento (4) 4. p. 106.

<sup>13)</sup> L' Eletttricista 6. p. 229, N. Cimento (4) 6. p. 296.

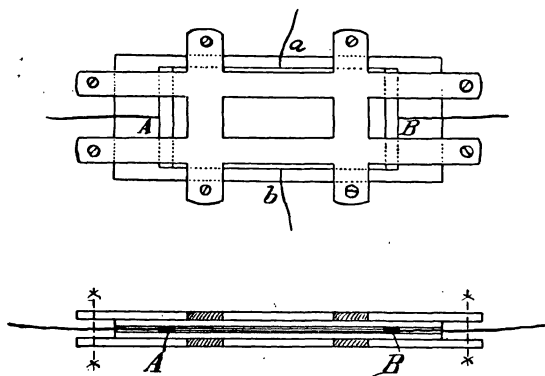
<sup>14)</sup> N. Cimento (5) 3. p. 80.

<sup>15)</sup> Annalen d. Physik (4) 15. p. 988.

rtuť vyplňovala veškeren volný prostor. Spodní skleněnou deskou bylo lze stav rtuťové vrstvy stále kontrolovati.

Magnetické pole nemělo potud vlivu na toto uspořádání, že rtuť při vzbuzení elektromagnetu neunikala mezi destičkami a rámečkem, a že po vyjmutí z pole shledána vrstva rtuťová v témže stavu jako dříve.

Dotek mezi (amalgamovanými) dráty a rtuťí byl vždy dobrý a stálý; přechodní odpory vlivem magnetického pole se neměnily. Před každým pokusem bylo zvláště vyzkoušeno, zdali se neuvolnily konce  $a$ ,  $b$  (rozpuštěním ve rtuťi).



Obr. 2.

Pozorování samo dalo se tak, že mezi body  $a$ ,  $b$  byl vepiat galvanometr o značném odporu, který tedy sloužil jako citlivý voltmetr.

Obecně nebyly body  $a$ ,  $b$  na témže potenciálu a galvanometrem procházel slabý proud. V magnetickém poli asi 14.000 gauss *tento proud se značně sesílil* a sice *nezávisle na směru silokřivek*. U rtuťi, kterou jsem považoval za čistou, obnášelo zvýšení až 40%, u rtuťi, v níž delší dobu se rozpouštěl tellur, dokonce až 78%.

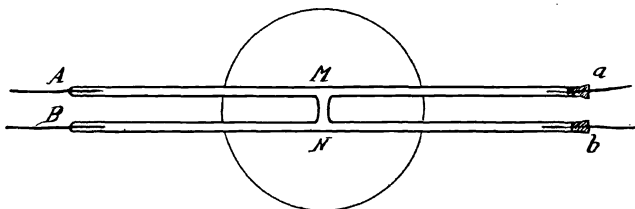
Z Hallova zjevu ani z příbuzného mu zjevu *v. Eittingshausenova* tzv. galvanomagnetického<sup>16)</sup>, nelze vyložiti stoupnutí

<sup>16)</sup> Winkelmann, Handbuch d. Physik IV. 1908, p. 466.

odchylky galvanometru, poněvadž právě nezávisí na směru magnetického pole. Spíše hledati dlužno jeho příčinu ve změnách odporu rtuťové vrstvy; zvětší-li se totiž odpor části mezi  $a$ ,  $b$  — kdežto primární proud  $i$  se nemění — zvýší se i rozdíl potenciálu mezi těmito body a tím i výchylka galvanometru.

Skutečně podařilo se mi to dokázati také opačnou zkouškou. Konce drátů  $a$ ,  $b$  přesahují poněkud rámeček a lze je ohýbati. Po několika pokusech docílil jsem jednou toho, že mezi nimi nebylo rozdílu potenciálového. Galvanometrem neprocházel proud a výchylka se neobjevila ani po vzbuzení magnetického pole (v obou směrech).

Z těchto výsledků, kladného i záporného, jsem usoudil určitě, že se odpor rtuti zvyšuje v magnetickém poli. Bylo však nutno ještě čeliti možným námitkám, především té okolnosti, že se rtuť uvnitř magnetického pole stýká s jiným kovem.



Obr. 3. a)

Z toho lze dovozovati, že se změna týká thermoelektrických proudů mezi rtuťí a mědí. Podobné změny thermoelektrické síly i Peltierova efektu byly již u některých kovů pozorovány<sup>17)</sup>.

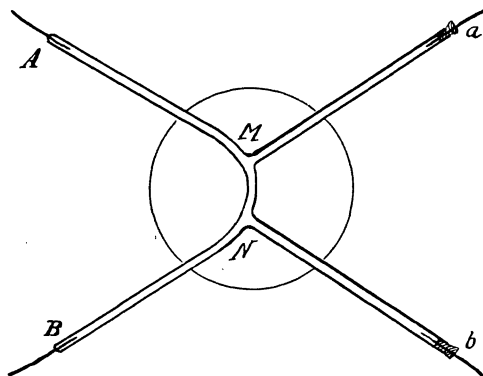
Odstranil jsem tedy všechny přívodní dráty a zařídil věc tak, aby uvnitř magnetického pole byla toliko rtuť.

K tomu účelu jsem dal zhotoviti trubice tvaru naznačeného v obr. 3. a, 3. b.

Primární proud přiváděn byl nyní drátky  $A$ ,  $B$  zatavenými do skla, galvanometr pak připojen na drátky  $a$ ,  $b$  utěsněné kaučukovými zátkami; porovnával se patrně odpor střední části rtuťového sloupce  $MN$ .

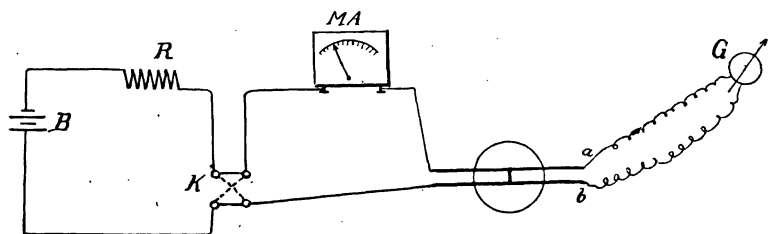
<sup>17)</sup> Winkelmann, l. c. p. 468.

Prívodní dráty byly platinové i měděné, aby bylo možno stopovati, jaký vliv má znečištění rtuť. Průměr válcových armatur, jimiž byl opatřen elektromagnet, obnášel 8 cm, délka trubic 20 cm, takže vyčnívaly z magnetického pole o 6 cm.



Obr. 3. b)

Uspořádání pokusu zobrazuje obr. 4.: Primární proud  $i$ , dodávaný přenosnou akumulátorovou baterií  $B$  o 4 článcích, měří se Westonovým milliampmetrem  $MA$ , proud odbočený



Obr. 4.

v  $a, b$  D'Arsonvalovým galvanometrem  $G$  od firmy Siemens a Halske v Berlíně; 1 dílec na stupnici znamenal při největší citlivosti galvanometru  $6.5 \cdot 10^{-10}$  amp. Elektromagnet byl polokruhový, dle prof *du Bois*, dodaný firmou Hartmann a Braun ve Frankfurtě n. M., a dával již při malých intenzitách magne-

tisujícího proudu 4–6 amp. podle délky vzduchové mezery (6–12 mm) pole intenzity 8.000–10.000 gauss.

Přímé působení elektromagnetu na galvanometr nebylo pozorováno.

Teplota, kde není jinak udáno, rozumí se obyčejná, laboratorní 19°–20° C. Při této teplotě ukazovalo se, že lze zanedbat proudy thermoelektrické; aby však nicméně i malý jich vliv byl vyloučen, vložen do primárního proudu kommutátor *K* a pozorována výchylka galvanometru při obou směrech primárního proudu.

Ve výsledcích prvního pokusu otištěny jsou jednotlivé výchylky ( $\alpha_1, \alpha_2$ ) galvanometru, po dvou pro každé postavení kommutátoru. aby bylo patrné, že souhlas je velmi dobrý. V ostatních výsledcích jsou zaznamenány jenom středy těchto výchylek, získaných stejným způsobem. Konečně je každé řadě pokusů připojena velikost výchylky thermoelektrické, pozorované při přerušení proudu primárního tak, že zůstal obvod galvanometru zavřen.

Tímto uspořádáním byly vyloučeny všechny sekundární příčiny zvýšení odporu a zbývala jediná námitka: elektrodynamické účinky magnetického pole na proudovodič.

*Des Coudres* konal svoje pokusy (v trubici 4 mm vnitřního průměru, zdělí 1·5 m) právě proto, aby dokázal, že vířivé pohyby vznikající v magnetickém poli musí míti za následek zvýšení odporu jako důsledek zvýšené spotřeby energie.

*Drude* a *Nernst*, kteří neudávají světlosti použitých capillar, pracovali různou intenzitou primárního proudu a našli (při 8000 gauss)

při 0·086 amp. zvýšení odporu o 2·371%  
 „ 0·318 „ „ „ o 0·159%.

Z toho usuzují<sup>18)</sup>:

„Vzrůst odporu mění se tedy značně s intenzitou proudu protékajícího rtutí a tak vzniká snadno výklad, že svrchu nalezený vzrůst odporu nelze míti za obdobný tomu, jež pozorujeme u tuhého vismutu, nýbrž, že snad má původ v přímém elektrodynamickém působení magnetismu na tekutý vodič.“

<sup>18)</sup> Wied. Annalen 47. p. 578.

Konečně *Berndt* v práci výše citované měřil v magnetickém poli 3040 resp. 1020 Gauss odpor rtuti uzavřené v kapillarách průměru 0.37 mm a 0.29 mm a sice kolmo k silokřivkám i ve směru silokřivek a nenalezl takřka žádného zvýšení. Tento negativní výsledek vykládá právě tím, že zamezil úzkými kapillarami elektrodynamický vliv pole.

Tab. I.

$i$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$	$G$	$\frac{\Delta w}{w}$
0.005	+ 9.5	- 8.9	9.3	—	—
	9.6	9.2			
"	+ 10.9	- 10.3	10.5	9980	12.9%
	10.9	10.2			
0.010	+ 18.2	- 19.1	18.6	—	—
	18.3	18.7			
"	+ 21.0	- 21.3	21.2	9980	14.0
	20.3	22.2			
0.015	+ 16.0	- 38.6	27.6	—	—
	15.9	39.8			
"	+ 19.8	- 42.3	31.0	9980	12.3
	21.6	40.1			
0.020	+ 47.1	- 30.0	37.8	—	—
	45.5	28.4			
"	+ 51.0	- 32.6	41.7	9980	10.3
	51.6	31.6			
0.040	+ 74.0	- 74.0	74.0	—	—
	73.6	74.2			
"	+ 79.2	- 83.0	81.5	9980	10.3
	82.8	81.0			
0.090	+ 170.0	- 150.6	160.0	—	—
	170.5	149.0			
"	+ 186.0	- 176.0	181.2	9980	13.2
	187.6	175.0			

Střed: 12.2%



Trubice, se kterými jsem pracoval, byly ovšem značně širší než *Berndtovy*, totiž 2 mm vnitřního průměru, poněvadž se mi dosud nepoštěstilo dostati tak úzké kapillary ve tvaru nakresleném (obr. 3. *a*, *b*). Jediná cesta vedoucí k rozhodnutí otázky byla tudíž metoda, kterou již pracovali *Drude* a *Nernst*.

A tu jsem dospěl k výsledkům zcela opačným: procentuální zvýšení odporu v magnetickém poli jeví se při mých pokusech daleko větším a v širokých mezích nezávislým na intenzitě primárního proudu.

V následujících tabulkách značí:

$i$  intenzitu primárního proudu v amp.,

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  pozorované výchylky v mm stupnice,

$\alpha$  výslední výchylku,

$G$  intenzitu magnetického pole v Gauss. jednotkách,

$\frac{\Delta w}{w}$  zvýšení odporu v procentech.

Výsledky tab. I. (str. 588) se vztahují ke rtuti znečištěné měděnými dráty a dobře se shodují s dalšími pokusy kontrolními, které byly provedeny v jiné trubici (tvaru 3. *b*) za jiných podmínek.

Tab. II.

Nullová poloha otevřeného galvanometru: + 4.0.

Výchylka způsobená thermoel. proudem: + 13.5.

$i$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$	$G$	$\frac{\Delta w}{w}$
0.080	+ 127.5	- 99.1	112.40	—	—
"	+ 138.4	- 109.3	123.85	8650	10.2%

Tab. III.

Nullová poloha otevřeného galvanometru: + 6.0.

Výchylka způsobená thermoel. proudem: + 1.1.

$i$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$	$G$	$\frac{\Delta w}{w}$
0.050	+ 75.3	- 72.9	74.1	—	—
"	+ 81.8	- 82.2	82.0	9980	10.7%

Značnou odchylku však vykazují pozorování druhé řady provedená s platinovými elektrodami v trubici stejné světlosti jako I a tvaru 3 b.

Tab. IV.

Nullová poloha otevřeného galvanometru :

— 10·8, resp. — 9·6, resp. — 6·0.

Výchylka způsobená thermoel. proudem :

— 11·3, resp. — 13·8, resp. — 7·7.

$i$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$	$G$	$\frac{\Delta w}{w}$
0·002	+ 2·3	— 24·1	13·2	—	—
"	+ 4·0	— 23·9	13·95	9120	5·7%
0·020	+ 129·2	— 156·2	142·7	—	—
"	+ 124·9	— 162·5	148·7	9120	4·2
1·000	+ 133·8	— 147·0	140·4	—	—
"	+ 140·7	— 157·1	148·9	9120	6·0
Střed: 5·3%					

Při třetím pozorování ( $i = 1·000$  amp.) bylo třeba značně snížit citlivost galvanometru, pomocí shuntu. Vliv toho jevil se i na nullové poloze galvanometru i na velikosti thermoelektrické výchylky. Z tab. I. a IV. plyne naprostá nezávislost odporových změn na intenzitě primárního proudu.

V prvním případě mění se tento v poměru 1 : 18, v druhém 1 : 500, kdežto krajní zvýšení odporu jsou v poměru 1 : 1·36 a 1 : 1·43.

Nesouhlas mezi velikostí změny v I. a IV. pokuse mohu vyložit jen tím, že poprvé byla rtuť znečištěna mědí, snad i jinými kovy, podruhé byla vyčištěna. Bude dalším úkolem hledatí zvýšení odporu při rtuť chemicky nejčistší.

Není pochybnosti, že se podaří při dalších pokusech nalézt i vliv intenzity  $i$ , který dosud není patrný, avšak to nebude zajisté námitkou proti možnosti, že se odpor rtuť v magnetickém poli mění.

Lze si přece představit, že magnetické pole působí přímo i nepřímo na odpor: přímo tím, že zvyšuje specifický odpor, nepřímo pak elektrodynamickými účinky; jeden zjev nemusí nutně vylučovati druhý.

Velikost pozorovaných změn je taková, že bude asi stěží možno je připisovati na vrub pohybů oprouděné rtuti v magnetickém poli. Bude nyní zajímavo zkoušeti, jaký vliv mají pohyby ve rtuti (proudění, víry a pod.) na její vodivost elektrickou, jsou-li způsobeny mechanicky, mimo pole elektromagnetu.

Velmi případným pokračováním pokusů právě popsanych zdála se mi býti měření provedená se zmrzlou rtutí. Pokud mi známo, nebyla dosud provedena podobná práce, a přece myšlenka ta je na snadě.

Provedení její vyžadovalo, bohužel, velmi mnoho práce i času, a bezpečných výsledků mám dosud málo. Hlavní nesnáz, která moje pokusy dlouho mařila, bylo nerovnoměrné rozdělení teploty ve rtuti a plynoucí z toho thermoelektrické proudy, které úplně zastíraly zvýšení potenciálového rozdílu mezi *a*, *b*.

Aby rtuť ztuhla, ponořil jsem ji do nádoby z tenkého plechu, kterou jsem isoloval asbestem a plstí vůči plochám armatur elektromagnetu. Nádoba ta byla buď otevřená a plnila se shora zimotvornou směsí anebo představovala obal úplně uzavřený okolo trubice, opatřený dvěma trubičkami, jimiž proudil schlazený líh. Této druhé metody jsem zanechal po marných pokusech trvavších přes měsíc: rozdíl mezi teplotou líhu vtékajícího (asi — 76° toluolového teploměru) a vytékajícího (nejhlubší — 65°) nepodařilo se mi zmenšiti na tak malý obnos, aby bylo dovoleno zanedbati vliv thermoelektrických proudů. Líh totiž na dosti dlouhé cestě, kterou protékal, nebyl náležitě chráněn před tepelným účinkem okolí, hlavně pólových ploch elektromagnetu, dobře vodivých a těsně přiléhajících. Mimo to i těsnění trubic v plechovém obalu trpělo jednak hlubokou teplotou, jednak rozpouštěním v líhu, a unikající líh prosákoval asbestem a plstí, jichž isolační schopnost tím se zmenšila.

Lepších výsledků nabyl jsem první methodou, totiž přímým chlazením rtuti pomocí zimotvorné kaše, záležející ze ztuhlého kysličníku uhličitého, prosáklého étherem. Tato směs, jejíž teplota obnášela — 78° toluolového teploměru, byla vtlačována, jak ře-

čeno, shora do plechového žlábků, který obemýkal trubici (obr. 3. a) (od konců *A*, *B* ke středu *MN*. Galvanometrické konce *a*, *b* nebyly ponořeny do směsi, nýbrž obaleny tajícím sněhem, a toto uspořádání osvědčovalo se tak dobře, že za dobu celé hodiny změnila se thermoelektrická výchylka jen o 5–6 dílků; pokus sám trval pak 40–50 minut.

Výsledky jsou zaneseny v tabulkách V. a VI.

*Tab. V.*

Nullová poloha galvanometru: -- 7·5.

Thermoelektrická výchylka před pokusem — 6·7, po pokuse — 9·0.

<i>i</i>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$	<i>G</i>	$\frac{\Delta w}{w}$	<i>t</i>
0·470	+ 14·3	— 16·7	15·5	—	—	19°
· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·	· · ·
0·500	+ 8·6	— 11·2	9·9	—	—	— 78°
"	+ 7·0	— 17·1	12·05	8650	21%	— 78°

*Tab. VI.*

Nullová poloha galvanometru: + 6·0.

Thermoelektrická výchylka před pokusem — 3·0, po pokuse + 3·5.

<i>i</i>	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha$	<i>G</i>	$\frac{\Delta w}{w}$	<i>t</i>
0·020	+ 52·0	— 59·2	55·6	—	—	— 77°
"	+ 68·9	— *71·5	70·2	8650	26·4	"

V první z nich je připojeno relativní měření potenciálového rozdílu za obyčejné teploty. S ohledem na poměr intenzit primárního proudu  $\frac{0·47}{0·50}$  plyne srovnání galvanometrických výchylek  $\alpha$  pro obě teploty, že rtuť mezi body *MN* snížila následkem zmrznutí odpor v poměru 1 : 1·67, kterážto číslo je

v dobrém souhlase s poměrem 1 : 1·5 nalezeným od Grunmacha <sup>19)</sup> (později opraveným na 1 : 2·5).

Z obou tabulek plyne, že zvýšení odporu zmrzlé rtuti v magnetickém poli je mnohem značnější, nežli ve skupenství kapalném. Tab. VI. vztahuje se ke rtuti asi stejně znečištěné jako tab. I, potvrzuje se tedy i při zmrzlé rtuti, že nečistoty přispívají ke zvýšení odporu.

Po skončení těchto pokusů napadla mi druhá metoda, která se zbaví rušivých thermoelektrických vlivů. Stačilo by snad voliti větší sloupec rtuti *MN* a pracovati silnějšími proudy, ačli by ovšem se neukázal vliv Jouleova tepla. Provésti tuto metodu jsem dosud nemohl, poněvadž počátkem dubna t. r. byl jsem nucen přerušiti pokusy.

Z dosavadních pokusů usuzuji:

1. Odpor tekuté rtuti mění se v magnetickém poli, jestliže sloupec rtuti leží kolmo k magnetickým silokřivkám.

2. Velikost změny závisí na čistotě rtuti.

3. Zvýšení odporu je tak značné, že je nelze prozatím vyložiti *úplně* elektrodynamickým působením pole magnetického na tekutý vodič. Bude třeba vykonati další pokusy a zejména vyšetřiti, jaký vliv mají pohyby ve rtuti, nejsou-li způsobeny magnetickým polem.

4. Ve skupenství tuhém zvyšuje se magnetickým polem odpor rtuti více než dvakrátě tolik, jako je ve skupenství kapalném.

## Několik poznámek ku přednášce „O zjevu Hallově“.

### II. Odpověď prof. dru. Vlad. Novákovi. <sup>1)</sup>

Napsal prof. dr. Václav Felix.

Uveřejniv I. část „Odpovědi“ prof. Novákovi domníval jsem se, že zbývá mi toliko vytisknouti výsledky svých pozorování, vztahujících se k předmětu diskusse a takto věcně ukončiti spor. Bohužel vidím, že nestačí k obraně předchozí můj

<sup>19)</sup> Wied. Annalen 35. p. 364; 37. p. 508.

<sup>1)</sup> Srovn. Časopis pro pěstování mathem. a fysiky XXXVIII. str. 41, 306, 445.