

Vladimír Novák

Několik pokusů o elektrické vodivosti plynů

Časopis pro pěstování matematiky a fysiky, Vol. 38 (1909), No. 5, 570--581

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/123822>

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>

Několik pokusů o elektrické vodivosti plynů.

Napsal dr. Vladimír Novák, professor české techniky v Brně.

Elektrickou vodivost plynů lze ukázati některými instruk- tivními pokusy, které nevyžadují zvláštních prostředků, tak že lze je provést i ve fyzikální laboratoři středoškolské. Pokusy, které na tomto místě uvádím, ukázal jsem téměř všechny v jediné přednášce *) a to objektivně, tak že snad i tato okolnost přispěje k jich opakování. Poučnost těchto pokusů při základním studiu elektrické vodivosti plynů je taková, že jest nevelká práce přípravná značně odměněna průběhem a výsledkem pokusů.

Elektrická vodivost plynu obsaženého mezi dvěma kovo- vými elektrodami řídí se zákonem Ohmovým potud, pokud po- tenciální rozdíl na elektrodách je malý.

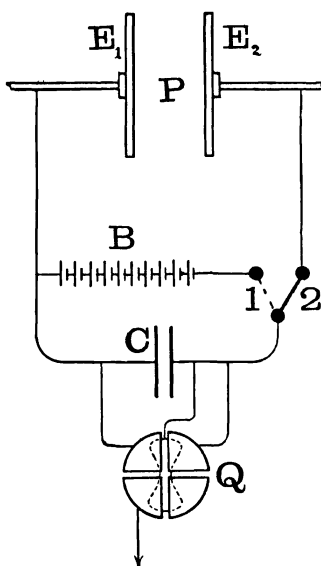
Vodivost lze si tu představití podobně jako vodivost kapa- liny, roztoku, t. j. mysliti si ionty plynu v pohybu o malé střední rychlosti. Intensita proudu jdoucího plynem roste v tomto stadiu úměrně s potenciální diferencí na obou elektrodách. Jakmile však překročí potenciální diference určitou hodnotu, přibývá intensity proudu volněji a při dalším zvyšování poten- ciální diference intensita proudu zůstává stálou, proud se *na- sytí*. Pokračuje-li vzrůst potenciální diference i nadále, udělí se iontům značná rychlost postupná, vedle vedení nastane *kon- vekce* a intensity proudu přibývá pak s elektromotorickou silou urychleně.

Vnější příčiny ionisace plynu mohou býti velmi různé. Tak se plyn ionisuje *zvýšením teploty* nad určitý stupeň, *stykem s plyny*, které opouštějí *plamen*, *oblouk* nebo *jiskřiště*, *dotekem se žhavými tělesy* tuhými, *prouděním výbojovou drakou*, *ozá- řením paprsky ultrafialovými*, *kathodovými*, *Lenardovými*, *Roentgenovými*, *zářením látek radioaktivních* atd. Naproti tomu zbavuje se plyn iontů, bublá-li vodou, filtruje-li se vatou anebo podléhá-li působení zvláštního pole elektrického.

Pokusy, které v dalším budou popsány, vztahují se hlavně k těmto rozmanitým příčinám ionisace plynu (většinou vzduchu);

*) Dne 25. dubna 1907 v přírodov. odboru musea Františkova v Brně.

provedeny byly tak, aby bylo možno alespoň relativně posouditi výsledky ionisace. Společná metoda znázorněna jest schematicky obr. 1. Baterií B byl nabíjen kondensátor C (proměnný)



Obr. 1.

na stálou diferenci potenciálnou při spojení klíče (1). Byl-li klíč přesunut na spojení (2), vybil se kondensátor C prostorem P , který obsahuje ionisovaný plyn mezi elektrodami E_1 a E_2 . Výboj sledován časově tím, že pozorována doba, za kterou klesla úchylka elektrometru Q o určitou hodnotu, resp. z určité hodnoty na danou hodnotu nižší. Baterie B sestávala z 53 vodních článků Voltových; její potenciálná diference udržovala se během pokusů prakticky stálou. Citlivost metody měněna kapacitou C , která mohla býti zvýšena od 0 (t. j. od kapacity elektrometru) po tisícinách až na 1 Mikrofarad. Elektrometrem Q byl kvadrantní elektrometr Hallwachsův, jehož zrcátko osvětleno bylo totálně reflektujícím hranolem pravoúhlým, aby bylo možno promítnouti obraz žárového vlákna lampičky na velikou škálu dělenou na decimetry. Nepochybují o tom, že pro pokusy objektivní bylo by možno

užití stroje levnějšího, po případě i citlivého projekčního elektroskopu, elektrometr Hallwachsův *) osvědčil se mi však v tolika případech, že pro stálost jeho nulové polohy, pohodlnost v justování a rychlé ustalování se úchytky byl použit i pro tyto účely demonstrační. Škála, na níž ubývání úchytky bylo pozorováno, byla 228 cm vzdálena od zrcátka elektrometru, nulová poloha souhlasila s dílcem 150 cm, pozorování časová prováděna stopkami (stop-watch) a to teprve při ubývání úchytky při průchodu určitým celým dílcem na škále. Úprava elektrod prostoru vodivého P byla ovšem při různých pokusech různá, a bylo potřeba před vlastním pokusem, t. j. před zavedením ionisační příčiny, zkoušet vodivost původní. To dalo se pozorováním časového průběhu úchytky elektrometru před pokusem. Aby bylo možno různé případy v dalším uvedené srovnati, jest z časového pozorování ubývání potenciálního rozdílu určen odpor alespoň z hruba a to na základě předpokladu, že se během pozorování tento odpor *nemění* a že je tak velký, že lze vyjádřiti ubývání potenciálu funkcí exponenciální. Předpokládáme tudíž, nehledíce k vlastnímu pohybu jehly elektrometru, platnost rovnice

$$E = V + RC \frac{dV}{dt},$$

při čemž E značí potenciální rozdílný baterie B , V proměnný potenciální rozdílný na elektrodách odporu R a C kapacitu, jež byla původně nabita baterií B . Řešením této rovnice vychází

$$V = E \left(1 - e^{-\frac{1}{RC}t} \right),$$

čili

$$RC = \frac{t \cdot \log e}{\log E - \log (E - V)}.$$

Pozorují-li se doby t_1 a t_2 , v nichž byl potenciální rozdílný V_1 , resp. V_2 , vychází z příslušných rovnic

$$RC = \frac{(t_2 - t_1) \log e}{\log (E - V_2) - \log (E - V_1)}.$$

*) Popis a justaci tohoto stroje viz *W. Hallwachs »Ueber ein aperiodisches, magnet- und nachwirkungsfreies Quadrantelectrometer«*. Wied. Ann. 55. 170. 1895.

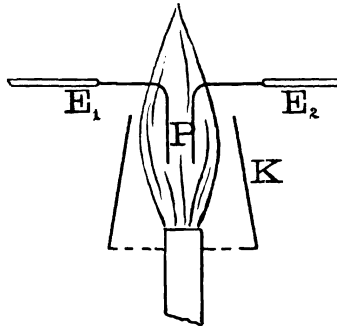
Při daném spojení jehly elektrometru s jedním párem kvadrantů, a se zemí, zatím co druhý pár kvadrantů jest nabíjen na potenciál E , jest však úchylka úměrna čtverci tohoto potenciálu. Lze tudíž psáti

$$E = c \sqrt{n},$$

kde n značí úchylku způsobenou baterií B a podobně

$$V_1 = c \sqrt{v_1} \quad \text{a} \quad V_2 = c \sqrt{v_2},$$

kde v_1 a v_2 jsou pozorované úchyly v okamžicích t_1 a t_2 .



Obr. 2.

Dosazením těchto hodnot promění se hořejší rovnice na

$$RC = \frac{(t_2 - t_1) \log e}{\log(\sqrt{n} - \sqrt{v_2}) - \log(\sqrt{n} - \sqrt{v_1})}.$$

Užívání této rovnice má tu výhodu, že lze jí jednak zkoušeti původní předpoklad, za něhož byla odvozena a že lze při určení R omeziti se na ty rozdíly potenciální, při kterých je zákon Ohmův ještě splněn, t. j. omeziti se na část křivky proudové, vzdálenou od podmínek proudu nasyceného. Číselné doklady uvedeny budou v jednotlivých případech zvláštních.

I. *Povrchová a vnitřní ionisace plamenem.* Elektrody a ionisační uspořádání naznačeno jest obr. 2. Plameník Bunsenův opatřen byl komínkem K , aby plamen hořel stejnoměrně. Na elektrody E_1 a E_2 připevněny dva drátky železné (asi 0.5 mm silné), ohnuté do pravého úhlu dolů. Vzdálenost těchto rovnoběžných částí drátů byla 12 mm. Průběh úchylky byl pozorován

bez plamene, s plamenem pro vyžíhané drátky (t) a s plamenem zbarveným parami natriovými (T), při kapacitě 1 Mikrofard.

Úchylka = 100	90	80	70	60 <i>cm</i>
t = 0	17	31	51	80 <i>sec</i>
T = 0	6	8·5	10·5	12 "

Vodivost vzduchové vrstvy (bez plamene) byla velmi nepatrná, úchylka klesla o 1 *cm* teprve za 100 *sec*.

Počítáme-li odpor plamene dle uvedeného vzorce, můžeme ovšem voliti z průběhu časového, kterékoliv hodnoty t_1 a t_2 . Počátek křivky se pro počet nehodí, neboť při ubývání úchylky nebyl vlastní pohyb jehly elektrometru nikterak uvažován. Poněvadž jsou úchylky 100 *cm* značně (při vzdálenosti škály od zrcátka elektrometru 228 *cm*) od oblouku odchylny, přepočítány předem tyto úchylky na stupně. Jest pak dle $tg\ 2\varphi = \frac{\text{úchylka}}{228}$

při úchylce	103	100	90	80	<i>cm</i>
φ =	12·156	11·842	10·770	9·668	stupňů
$\sqrt{\varphi}$ =	3·4866	3·4412	3·2818	3·1093	"
při úchylce	70	60	50		<i>cm</i>
φ =	8·535	7·374	6·186		stupňů
$\sqrt{\varphi}$ =	2·9215	2·7155	2·4871		"

Této tabulky uijeme k výpočtu odporu plynové vrstvy tím, že $\sqrt{V_2}$ považujeme za stálou, volíce za ně hodnotu poslední a místo $\sqrt{V_1}$ klademe postupně hodnoty z tabulky pro $\sqrt{\varphi_1}$ kombinující je s příslušnými rozdíly časovými.

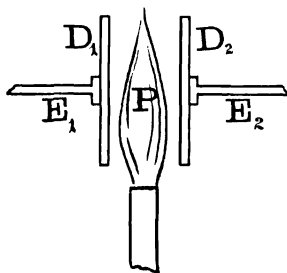
Z udaných čísel při počáteční úchylce 103 *cm* plynou tyto hodnoty pro odpor

v plameni nesvítivém: 28, 48, 69 a 93 Megohm,
v plameni s parami Na 4·2, 4·5, 4·9, 4·8 "

Hodnotami spolehlivějšími jsou teprve čísla poslední. Ostatně není vyloučeno, že se odpor během pokusu měnil. Zvýšení vodivosti plynu parami natriovými je velmi nápadné.

II. *Vnitřní ionisace plynu.* Úpravu elektrod pro objemovou ionisaci plynu ukazuje obr. 3. K elektrodám E_1 a E_2 našroubovány kruhové, vyleštěné desky mosazné D_1 a D_2 (o průměru 8 *cm*), které vzdáleny 5 *cm* od sebe. Do prostoru P

zaveden plamen Bunsenův a to v prvném případě horký, nesvítivý, ve druhém chladnější, svítivý. Výsledky pozorování poskytl tato čísla :



Obr. 3.

Pro plamen horký :

úchylka 100, 90, 80, 70, 60, 50

$t = 0, 7.8, 11.8, 17, 28, 60 \text{ sec}$ pro $C = 0.06,$

$t' = 0, 10.8, 20, 38, 75, 140 \text{ " "}$ $C = 0.12;$

pro plamen svítivý :

$t'' = - 0, 28, 88, - - \text{ sec}$ pro $C = 0.06.$

Měření pro plamen nesvítivý provedena po sobě dvě, při různých kapacitách 0.6 resp. 0.12 Mikrofarad. Výsledky pro odpor jsou :

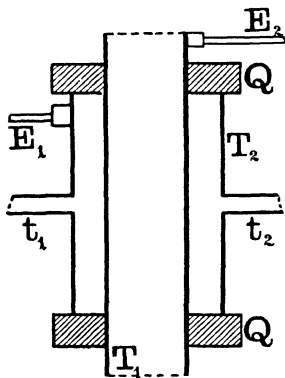
pro $C = 0.06 \dots 323, 549, 824, 1260, 2050 \text{ Megohm.}$

„ $C = 0.12 \dots 377, 680, 1000, 1490, 2090 \text{ "}$

Čísla první řady jsou menší nežli při měření druhém, což lze vyložiti větším vlivem nedostatečné izolace při menším náboji. Z dobrého souhlasu čísel posledních ukazuje se, že předpokládaný zákon exponenciální platí teprve pro odlehlou část křivky. Poněvadž pro stejné rozdíly úchylek a stejné kapacity mají se odpory k sobě jako příslušné difference časové, byl odpor vrstvy ionisované plamenem svítivým 9.6 až 11.5krátě větším, nežli odpor plamene nesvítivého.

III. *Ionisace plynů nassátých z okolí plamene.* K elektrodám E_1 a E_2 připojen přístroj naznačený obr. 4. Do eboni-

tových kroužků Q zasazený jsou dvě kovové souosé trubice T_1 a T_2 , spojené s příslušnými elektrodami E_1 a E_2 .



Obr. 4.

Trubice T_1 a T_2 tvoří vodivé stěny prostoru, který může býti naplněn různými plyny. V tomto případě byl násadec t_2 spojen s vodní vývěvou, k násadci t_1 pak připojen 20 cm dlouhý kovový dutý kužel, který širším svým otvorem byl blízko hořícího plamene Bunsenova.

Při tomto uspořádání dosáhne se ionisace velmi slabé, takže bylo potřebí učiniti $C=0$, tím zmenšena kapacita kruhu pouze na malou kapacitu elektrometru plus ještě menší kapacitu přístroje. Pozorováno ubývání úchylky *a*) bez plamene, *b*) s plamenem a při čerpání vývěvou a *c*) s plamenem a při filtraci plynu vatou.

Výsledky byly úchylka = 100, 90, 80, 70 cm

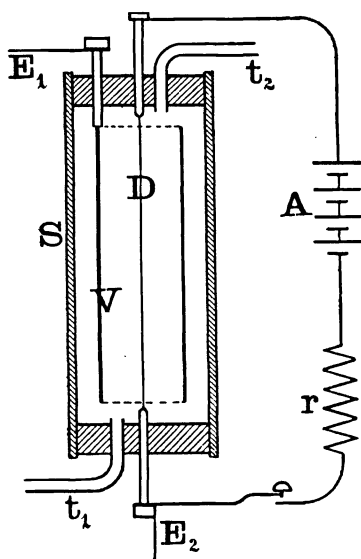
a) . . . $t = 0, 54, - - sec$

b) . . . $t = 0, 9, 17, 27 "$

c) . . . $t = 0, 49, - - "$

Při neznámé kapacitě elektrometru a značných vlivech ruší vých, způsobených nedokonalou izolací, nelze odpor nassátých plynů leda zhruba odhadnouti. Kapacita elektrometru jest asi 30 cm, t. j. v elektromagnetické míře asi 0'00003 Mikrofarad, z čehož se velikost odporů zmíněných dá posouditi.

IV. *Ionisace plynu dotekem se žhavým drátem platinovým.*
 Ke zkoušení ionisace plynu dotekem se žhavým drátem platinovým osvědčil se přístroj, naznačený obr. 5. Prostor, který



Obr. 5.

se dá naplniti tím neb oním plynem, dán jest širokou trubicí skleněnou S , do níž lze přívodními trubičkami t_1 a t_2 vssáti libovolný plyn, po př. plyn právě daný zřediti. Trubice S obsahuje kovový válec V , jenž obklopuje v ose izolované upevněný platinový drát D . Drát tento lze baterií akumulátorů mírné nebo více rozžhavití dle vloženého odporu r . Elektrody E_1 resp. E_2 připojeny jsou jednak k. válci V , jednak ku drátu platinovému.

Celkem provedena byla 4 měření, prvá dvě při nabíjení válce V pólem negativním, druhá dvě při nabíjení válce pólem pozitivním. Prvá dvě měření a podobně i druhá dvě měření lišila se intenzitou proudu, kterým drát byl zahříván. Výsledky při $C = 0.004$ Mikrof. byly tyto:

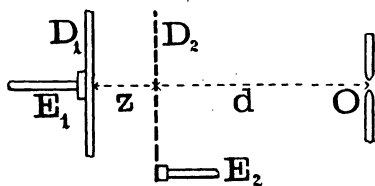
	Úchylka 100, 90, 80, 70, 60, 50	
drát v červeném žáru	$t_1 =$	— — — 15, 35, 63 sec
„ v žlutočerveném žáru	$t_2 =$	— — — 7, 12, 23 „
	válec V spojen se záporným pólem;	
drát v červeném žáru	$t_3 =$	— — — 150, — — „
„ v žlutočerveném žáru	$t_4 =$	— — — 31, 77, 180 „
	válec V spojen s kladným pólem.	

Mimo to byl válec napuštěn svitplynem, v němž se drát teprve při proudu 6 amper zahřál do tmavočervena. Ionisace byla tak slabá, že se nedala měřit. Zředováním vzduchu ukázalo se pěkně klesnutí tepelné vodivosti plynu a tím ovšem značné zahřátí drátu spojené s velkým vzrůstem ionisace.

Odpory ionisovaného vzduchu, popsáním způsobem určené, jsou:

pro první pokus	16200, 21000 a 27000	Megohm
„ druhý „	5900, 7010, 10600	„
„ třetí „	16.000, — —	„
„ čtvrtý „	46200, 65900, 99200	„

Z čísel těchto pěkně se ukazuje, kterak ionisace záleží na teplotě drátu a jak se značně zmenší, mají-li negativní ionty postupovati ke drátu.



Obr. 6.

V. *Ionisace zářením ultrafialovým.* Úprava elektrod pro pokusy se zářením ultrafialovým naznačena jest v obr. 6. K elektrodě E_1 připojena byla kruhová deska zinková jemně vyleštěná D_1 ; druhou elektrodou D_2 byl plech zinkový, dirkovaný, ve vzdálenosti z od desky D_1 . Ve vzdálenosti d nalézal se oblouk elektrický.

Přímý účinek ultrafialového záření posouditi lze z těchto tří pokusů (při $C = 0.001$ Mkf.):

- | | | | |
|------------------------------|--------------|---------------------------|-------------------------------------|
| 1. $z = 5$ mm, $d = 170$ mm | úchylka 103, | 90 cm | |
| | | | čas 0 . . . 10 sec . . . 255 Megohm |
| 2. $z = 5$ mm, $d = 340$ mm | „ | 0 . . . 74 sec . . . 1890 | „ |
| 3. $z = 10$ mm, $d = 170$ mm | „ | 0 . . . 32 sec . . . 816 | „ |

Mimo to proveden pokus jiný, při němž záření oblouku nemohlo přímo stihnouti desku D , ale teprve odrazem od parabolického zrcadla kovového. V tomto případě padal poněkud zvětšený obrázek oblouku na desku D_2 a mohl být snadno zachycen skleněnou deskou. Výsledek tohoto pokusu byl

- | | | |
|------------------------------|------------|----------------------------------|
| 4. $z = 12$ mm, $d = 500$ mm | od zrcadla | úchylky 103 cm — 90 cm |
| | | čas 0 — 53 sec . . . 1350 Megohm |

Vložením desky skleněné vzrostl odpor vrstvy plynové prakticky na hodnotu nekonečnou.

VI. *Ionisace paprsky Roentgenovými.* Lampa Roentgenova (L) na doskok 10 cm vložena byla do dřevěné skřínky (S_1) pobité plechem zinkovým. Ruhmkorffův induktor s pomalým přerušováním rtuťovým postaven i s lampou pod velikou sítí kovovou (S_2), která měla proti antikathodě čtvercové okénko. Podobné okénko bylo též v plechu na dřevěné skřínce. Poněvadž ionisovaný vzduch i sítě pronikal, pokryta stěna sítě obrácené k prostoru P silnou deskou zinkovou se štěrbinou 1 cm širokou. Zkoumaný prostor P dán byl vrstvou vzduchu mezi dvěma deskami mosaznými E_1 a E_2 jako při pok. (II.) viz obr. 3., které byly postaveny paralelně se štěrbinou O v plechu zinkovém. Schematicky znázorněno jest uspořádání v půdoryse obr. 7. Celkem bylo provedeno 7 pokusů a to:

1. Ionisace objemová při uspořádání naznačeném, obr. 7., kde desky E_1 a E_2 jsou ve stínu zinkové stěny.

2. Proud v ruhmkorffu komutován, aby se ukázalo, že příčinou ionisace jest záření Roentgenovo.

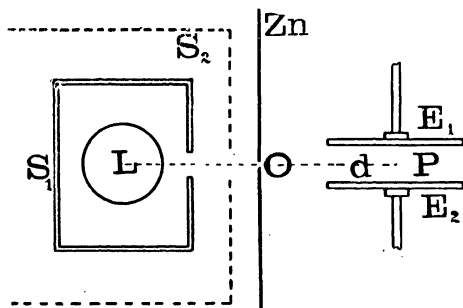
3. Ionisace difusí. Desky E_1 a E_2 sešinuty (dolů), tak že prostor P byl ve stínu stěny Zn .

4. Závislost ionisace objemové na vzdálenosti P od L ($= d$).

5. Ionisace paprsky Sagnacovými. Elektroda se záporným pólem spojená byla ozářena paprsky Roentgenovými, druhá elektroda ve stínu.

6. Při normálním postavení 1) zkoušena absorpce paprsků Roentgenových různými látkami (aluminiový plech, skleněná a lepenková deska).

7. Ionisace plynu nasátého z prostoru, kterým procházely paprsky Roentgenovy.



Obr. 7.

Užito bylo přístroje naznačeného v obr. 4. v uspořádání výše popsaném. Kuželový násadec postaven proti štěrbině O . Výsledky všech sedmi pokusů obsahuje tabulka vedlejší.

Z pokusů 1. a 4. plyne nezávislost ionisace objemové na vzdálenosti prostoru P od lampy a jeho šířky (v malých mezích), čili malá absorpce paprsků Roentgenových vrstvou vzduchovou. Pokus 3. ukázal pěkně difusi ionisovaného plynu do okolního prostoru. Vliv sekundárných paprsků, jak patrné z pokusu 5., je velmi nepatrný. Propustnost paprsků Roentgenových různými látkami dá se, jak ukazují pokusy 6., i tímto měřením ionisace pěkně studovati. Při pokusu 7. se ukázalo zvýšení ionisace nasátím roentgenovaného vzduchu zcela patrně, odpory jsou tu řádově větší než při analogických pokusech ad III. uvedených, v souhlase poměrného zvětšení odporu při ionisaci objemové paprsky Roentgenovými proti ionisaci plamenem (II.).

Pokus	Poznámka	d cm	Úchylka cm				Odpory v Megohm			C Mikro- farad
			80	70	60	50				
1	desky (od sebe) 3 cm	24	0	11	21	35	35900	42000	54000	0'001
	> > 5 >	24	0	11	21	35				
2	desky (od sebe) 5 cm	—	—	—	—	—	∞	∞	∞	0'001
3	desky (od sebe) 5 cm	—	0	19	40	64	65700	78900	92500	0'001
4	desky (od sebe) 5 cm	48	0	12	21'5	36	36900	42100	55900	0'001
5	desky (od sebe) 5 cm	24	0	10	19	33	33900	40300	54000	0'001
6	aluminium	48	0	17	35	58	59500	71900	88700	0'001
	sklo	48	0	28	61	115	118000	152000	208000	0'001
	papír	48	0	16	38	61	62600	78900	88700	0'001
7	bez ssání	—	0	10	17	28	—	—	—	x
	ssáním vývěvou .	—	0	9	14	21	—	—	—	x

VII. *Ionisace zářením dusičnanu uraničitého.* Z nedostatku preparátu radioaktivního použito bylo drobných krystalků dusičnanu uraničitého, kterými naplněna byla čtyřhranná nádobka plechová. Pokusy provedeny projekčním elektroskopem Kolbeovým, jemuž udělen indukci třenou tyčí skleněnou náboj záporný. Do elektroskopu vložena především podobná nádobka, naplněná krystalky síranu měďnatého a pozorováno časové ubývání úchylky. Při tomto pokusu teprve po 20 minutách klesla úchylka z původních 29 dílců o 0·1 dílce. Vložením nádoby se solí uranovou bylo pozorováno za 5 minut klesnutí z 29 na 20·8 dílce, tudíž o 8·2 dílce.

Pro *subjektivní* studium zjevů I.—VI. byla by metoda galvanometrická pohodlnější, pro demonstraci elektrické vodivosti plynu je uvedena metoda instruktivnější.