

## Помір питомого опору плинного воздуха.

Плинний воздух має температуру —  $191^{\circ}$  С при тисненні одної атмосфери і є дуже злим електричним провідником. Отже при помірі питомого опору плинного воздуха можна користуватись лише тими методами, які надаються до мірення великих опорів. Такими є якраз електростатичні методи, які ще й тим визначаються, що ними можна осягнути дуже велику чутливість. Злою стороною при електростатичних методах являється вплив злучних потенціалів (Kontaktspannungen) і вплив інфлюенції внішних електричних піль. Злучні потенціали дадуться усунути, коли уживається платинових контактів, які мусять бути старанно вичищені. Щоби позбутися інфлюенційних впливів, уживається т. зв. статичних рурок, т. є провідників з металевими рурками довкруги, котрі лучиться з землею. Як ізолятор подається найкраще янтар, який треба гарно виполірувати й час від часу почистити крейдою з алкоголем. Електрична струя централі до таких помірів не надається з причини своєї нестійности. Цілком постійну струю дають не надто свіжі сухі батерії.

Електричний опір можна означити зовсім просто при помочи методи т. зв. розрядження кондензатора. Помір виконується в сей спосіб, що наладовується кондензатор і лучиться його через опір, який мається означити, з землею. Коли потенціал  $V$  наладованого кондензатора спадає в часі  $t$  зі своєї вартости  $V_1$  на  $V_2$ , то електричний опір  $R$  дається обрахувати в слідуєчий спосіб. Електричний наряд  $dQ$ , що відпливає з кондензатора в часі  $dt$ , рівняється з одної сторони  $\frac{V}{R} dt$ , а з другої —  $C dV$ , при чому  $C$  означає поємність кондензатора. Отже отримаємо рівнання:

$$\frac{V}{R} dt = - C dV$$

Зінтегруймо се різнничкове рівняння методом розділу змінних, то одержимо

$$\frac{1}{R} \int_{t_1}^{t_2} dt = -C \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

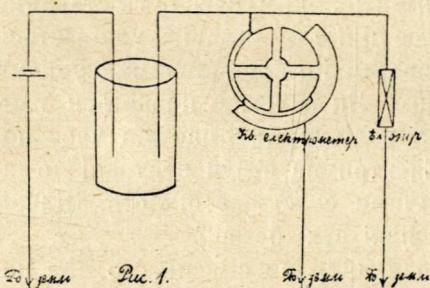
$$\frac{1}{R}(t_2 - t_1) = -C(\ln V_2 - \ln V_1) + const$$

Інтеграційну постійну можемо означити в сей спосіб, що для  $t_2 = t_1$  мусить  $V_1 = V_2$ , отже  $const = 0$ . В кінці дістанемо:

$$R = \frac{t}{C \ln V_1 - \ln V_2}$$

де  $t_2 - t_1 = t$ . Ся метода не надавалася для моїх помірив тому, що треба було досить довго чекати, щоби досягнути значний спад потенціалу, а до сього двониткового електрометра, яким я розпоряджував і якого вживав я рівночасно як кондензатора і вольтметра, не вдалося мені мимо моїх зусиль привести до належної ізоляції.

Друга метода, яку можнаби ту примінити, полягає на помірі сили струї зі спаду потенціалу при великім опорі. Схему сеї методи представляє рис. 1.



Одна електрода батерії получена з землею, а друга веде до посудини, в якій знаходиться плинний воздух. Друга електрода посудини получена з одною парою квадрантів квадрантового електрометра, а крім того через великий електричний опір зі землею. Квадрантовий

електрометер мірить тоді спад потенціалу при влученім опорі. Означім потенціал батерії  $V$ , незваний опір, який хочемо змірити  $R$ , влучений опір  $R'$ , а потенціал, який показує кв. електрометер  $V'$ , то тоді сила тока  $I$  рівняється:

$$I = \frac{V'}{R'}$$

а звідси незваний опір

$$R = \frac{V - V'}{I} = \frac{(V - V') \cdot R'}{V'}$$

З експериментальних зглядів  $V$  не можна брати дуже велике, тому приходить ся влучати можливо великий опір  $R'$ . Великий

електричний опір можна самому зовсім легко утворити, напр. звичайний сірник, але дуже добре надається до сього фотоелектрична комірка (Photozelle), в якій через освітлювання можна опір в довільних межах змінити. Щоби отже обчислити  $R$ , треба знати  $R'$ , а так великих опорів (яких 100000 Ohm) вимірених нема й тому саме ся метода під тим оглядом не дуже приємна.

Третя метода т. зв. наряджування, якої я саме до своїх помірів уживав, виходить цілком просто з попередньої методи, коли влучений опір зробимо нескінчено великим т. зн. отримання з землею цілком перервемо. Ся метода є й найбільше чутливою, тому хочу над нею ширше спинитися. Квадрантового електрометра уживав я в т. зв. квадрантовім влученню. Одна пара протилежних квадрантів була получена з землею, а друга пара з одною електродою, що находилась в плинному воздуху. Голка кв. електрометра була наряджена на 100 Volt'ів. Тоді вихилання голки є пропорційне до потенціалу:

$$V = C \cdot a$$

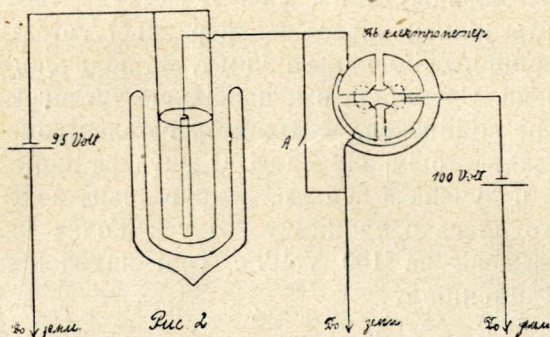
Постійну  $C$  треба означати досвідно.

При уставлюванні квадрантового електрометра, що справляє досить велику трудність, поступав я в сей спосіб, що обі пари квадрантів получив разом. Одну електроду 100-вольтової батерії получив з квадрантами, а другу з голкою, при тому відчитував вихилання голки при помочи далековида. Відтак перемінив обі електроди т. зн., коли напр. передше + електрода була получена з квадрантами, то відтак була — електрода влучена до квадрантів. Вихилання голки знова відчитував. Оба вихилання можуть бути різно великі й положення їх від зера може бути по тій самій стороні або по різних боках. Се залежить від положення голки зглядом квадрантів, а також грають ролю ту й злучні потенціали. При помочи шрубок, на яких стоїть квадрант електрометра, дається довести до того, що при переміні електрод голка зовсім не вихиляється, а згл. вихилання її дуже мале.

Щоби означити чутливість електрометра, получив я обі електроди 2-вольтового акумулятора опором, що мав кілька тисяч омів. Один кінець опору був получений з землею, а одна пара квадрантів з пересувним контактом (Potentiometerschaltung). Рівнобіжно до сього лежав прецизійний вольтметр, на якому можна було ще цілком добре відчитати  $10^{-4}$  вольтів. При відступі скалі на 4 m вихилялась голка при потенціалі одного мілівольта на 1 cm, а вихилання в залежности від потенціалу було

цілком пропорційне. Тим електрометром міг я відчитати без ніяких труднощій десятитисячну часть вольта. При спеціально тонкій нитці, на якій висить голка, можна досягнути 50 разів більшу чутливість.

Апаратуру, що служила до моїх помірв, представляє рис. 2. Пливний воздух находився в  $\frac{1}{4}$  літрової посудині Dewar'a.



При впливанні воздуха треба вважати, щоби не налити на край посудини, бо тоді посудина тріскає. Зараз при вступних пробах показалося, що пересування електричних нарядів у посудині Dewar'a дуже перешкаджали, для того посріблено в середині посудину після методи Böttger'a (нітрат срібла + сен'стова сіль), а зовні обліплено станіолем. Обі електроди були з міді у виді вальцевих рурок, щоби — як дальше побачимо — було легше перевести потрібні обрахування. Висіли вони на тоньких ( $\frac{1}{2}$  mm) дротиках з константану так, щоби жадна з них не дотикала стіни посудини. Константану уживав я тому, бо він проводить дуже лиху тепло і в сей спосіб воздух так скоро не випаровував. Коли взяти грубші дроти, то перешкаджають при помірах бульки, що повстають довкола них. В сей спосіб вдалося досягнути, що доперва по (кругло) десять годинах стільки воздуха випарувало, що електроди починали виступати з течі.

Самі поміри відбувалися в сей спосіб, що контактом А (рис. 2.) вилучувано одну пару квадрантів електрометра з землі і відчитувано вихилення голки в залежности від часу. Поміри повторювано по означеному часі, як се видно з рис. 3. Показалося, що скорість наряджування електрометра з часом меншав, т. зн. електричний опір плинного воздуха став більший. Як причину побільшення опору не можна вважати поляризації при електродях, бо струя, що переходить через плинний воздух, дуже маленька. Се дасться в сей спосіб пояснити, що воздух занечисений ріжними малесенькими частинками, які наряджуються електрично й вандрують до електрод, де розряджуються. Чим довше пливе струя, тим більше частинок перейде до електрод

т. зн. плинний воздух очищується. На се т. зв. електролітичне чищення звернули увагу Heydweiller і Warburg<sup>1)</sup> ще при кінці минулого століття. З рис. 3.

бачимо, що по яких шість годинах електрична струя набирає постійної вартости і ся струя проводить вже чистий плинний воздух. Дуже можливо, що й ся струя по довшому часі змінюється і щоби се розслідити, треба так постройти апаратуру, щоби означена скількість плинного воздуха значно довше продержалась, чим 10 годин, як се було при моїх помірах.

Однак мені не ходило о точний помір питомого опору плинного воздуха, мою задачею було приблизно означити питомий опір, бо до сього часу се не було відоме.

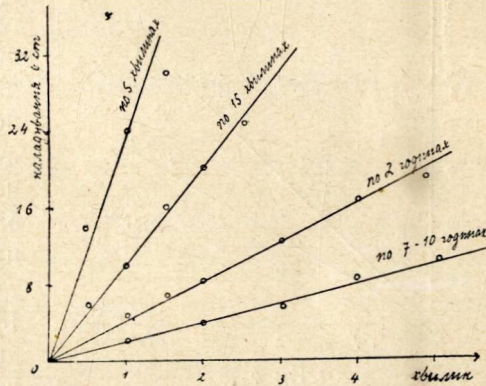


Рис 3

По хвили- нах	Вихилення електрометра в см						При нарузі в Volt'ax
	Поміри			Поміри			
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	
1.	2,1	2,0	2,0	1,9	2,1	1,8	90
2.	4,1	4,0	3,9	4,1	4,0	3,9	
3.	5,8	6,2	5,9	6,1	6,1	6,2	
4.	8,1	7,9	8,2	7,8	7,9	8,0	
5.	10,2	10,0	10,1	10,0	9,8	10,2	
1.	1,1	1,0	1,1	1,2	1,1	1,2	54
2.	2,1	2,1	2,2	2,3	2,2	2,3	
3.	3,3	3,2	3,4	3,2	3,4	3,2	
4.	4,2	4,2	4,3	4,4	4,5	4,5	
5.	5,6	5,5	5,4	5,6	5,5	5,4	
1.	0,6	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	35
2.	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,1	
3.	1,6	2,0	1,8	1,9	1,7	1,8	
4.	2,4	2,3	2,3	2,5	2,4	2,5	
5.	3,1	3,2	3,0	3,1	3,0	3,0	

<sup>1)</sup> F. K. u. Heydweiller, Wiedemanns Annalen Bd. 53, S. 209, 1894; Bd. 54, S. 385, 1895. Warburg, Wiedemanns Annalen Bd. 54, S. 396, 1895.

Дальше провів я також закон Ohm'a. До цього змінював я потенціал електрод (90, 54, 36 Volt) і мірив нарядження елек-

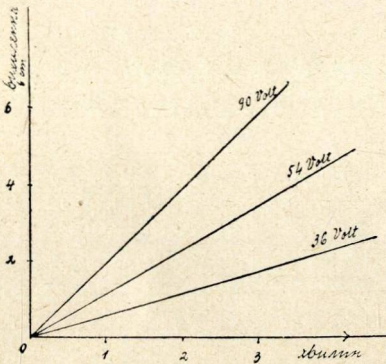


Рис 4

тричної струї через плинний воздух маємо аналогічне явище, як при електролітах, але тих 13 вольтів не є потенціал поляризації, а дуже можливо, що се є потенціал іонізації т. зн. елек-

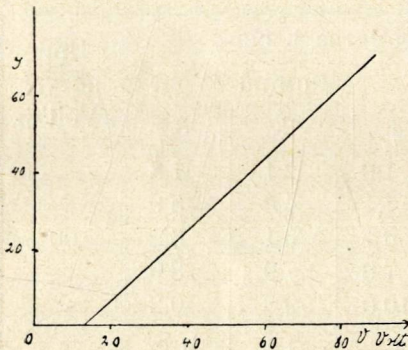


Рис 5

ривання

$$i = \frac{1}{\rho} \mathcal{E}$$

де  $\rho$  означає питомий опір. Замість  $\frac{1}{\rho}$  пишеться звичайно  $\kappa$ , при чому  $\kappa$  називаємо питомим проводом. У вальцевому конденсаторі розділяється електрична сила поля відворотно пропорційно до луча, отже

$$\mathcal{E} = \frac{c}{r}$$

метра в залежності від часу, гл. рис. 4. Кождій лінії відповідає означена сила струї, яка дається обрахувати з електричного наряду і часу. Коли нарисуємо струю в залежності від потенціалу, то, як бачимо з рис. 5, струя рівнається zero не при різниці потенціалів рівній також zero, але при різниці 13 вольтів. Проста не переходить отже через початок укладу сорядних. При переході елек-

тричної струї через плинний воздух маємо аналогічне явище, як при електролітах, але тих 13 вольтів не є потенціал поляризації, а дуже можливо, що се є потенціал іонізації т. зн. електромоторна сила струї, яка є потрібна, щоби молекул плинного воздуха розбити на поодинокі йони. Та щоби се вияснити, треба би довше попрацювати, як на те мені час позволяв.

Вихилання голки електрометра подавало силу струї, з якої питомий опір треба щоби йно обчислити. Означимо густоту електричної струї  $i$ , а електричну силу поля  $\mathcal{E}$ , то обі ці величини творять знане

$c$  означає сталу, яка дається обрахувати. Сила електромоторна струї  $V$  і електрична сила поля  $\mathcal{E}$  стоять між собою в зв'язи:

$$V = \int \mathcal{E} ds,$$

де  $ds$  означає лінійний елемент. Вставлю за  $\mathcal{E}$  вартість з попереднього рівняння, то одержимо

$$V = c \int_r^R \frac{da}{a} = c \ln \frac{R}{r}.$$

А відси  $c$

$$c = \frac{V}{\ln \frac{R}{r}}$$

де  $R$  є лучем більшої,  $r$  лучем меншої електроди. Щоби досягнути з густоти  $i$  силу струї  $I$ , треба інтегрувати над цілою поверхнею; отже:

$$I = \int i d\sigma.$$

Тому однак, що в вальцеві густина струї розділяється рівномірно, треба лише помножити поверхнею вальця, отже:

$$I = 2 r \pi h \cdot i = 2 r \pi h \cdot \frac{1}{\rho} \mathcal{E} = 2 r \pi h \cdot \frac{1}{\rho} \cdot \frac{c}{r}$$

$$I = 2 \pi h \cdot \frac{V}{\rho} \cdot \frac{1}{\ln R - \ln r}$$

Сила струї  $I$  дається обрахувати з електромоторної сили  $V'$ , яку відчитуємо з електрометра, коли знаємо pojemність  $C$  електрометра разом з належними проводами.

$$I = \frac{V' \cdot C}{t}$$

де  $t$  означає час, в якому електрометер дістає наряд  $Q = I \cdot t$ . Коли узгляднимо два останні рівняння, то одержимо кінцеву формулу для питомого опору

$$\rho = \frac{2 \pi h \cdot V \cdot t}{V' \cdot C (\ln R - \ln r)}$$

Цілком точною остання формулка не є, бо при її випrowadженні поминено розсівання електричних ліній на обох краях валців і через се випаде питомий опір трохи за малий. Коли однак довжина валців в порівнанні до ширини велика, то зроблена похибка є дуже мала. При постійних помірах требаби означити  $t$ . зв. опорову pojemність посудини.

У повисшому рівняння всі величини знані з виїмком  $\rho$ . Поємність  $C$  змірено мостом при помочи перемінної струї. Змірені величини представляються так:

$$r = 1,2 \text{ cm (луч внутрішньої електроди),}$$

$$R = 5,0 \text{ cm (луч внішньої електроди),}$$

$C = 70 \text{ cm} = \frac{7}{9} \cdot 10^{-10} \text{ Farad}$  (поємність електрометра разом з проводами),

$$h = 9,44 \text{ cm (довжина електрод),}$$

$V = 90 \text{ Volt}$  (потенціал електрод, від него треба відтягнути іонізаційний потенціал  $13 \text{ Volt}$ 'ів, отже в рахунку  $V = 90 - 13 = 77$ ),

$V' = 4 \cdot 10^{-3} \text{ Volt}$  (потенціал, який показує при означеному наряді електрометер),

$$t = 120 \text{ секунд (час наряджування).}$$

Вставмо отсі величини в рівняння для  $\rho$ , то одержимо:

$$\rho = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 9,44 \cdot 77 \cdot 120}{4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{7}{9} \cdot 10^{-10} \cdot 1,43}$$

$$\rho = \underline{1,2 \cdot 10^{18} \text{ Ohm. cm}}$$

Отже стовп плинного воздуха високий на  $1 \text{ cm}$  з підставою  $1 \text{ cm}^2$  має електричний опір округло  $10^{18} \text{ Ohm}$ 'ів. Плинний воздух є одним з найліпших ізоляторів.

Сю працю зробив я в І. фізичному інституті в Гетінгені у проф. R. Pohl'a. Своїому учителеві Вп. Проф. R. Pohl'єві складаю на сьому місці щирю подяку за цінні вказівки,

Гетінген, 15. березня 1927.

