

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

ORGAN STOWARZYSZENIA ELEKTROTECHNIKÓW POLSKICH

pod naczelnym kierunkiem prof. M. POŻARYSKIEGO.

Rok IX

15 Grudnia 1927 r.

Zeszyt 24.

Redaktor inż. WACŁAW PAWŁOWSKI.

Warszawa. Czackiego 5, tel 90 23.

Aleksander Volta, Andrzej Marya Ampère i Jerzy Szymon Ohm

Prof. Mieczysław Pożaryski, Warszawa.

Sto lat minęło od roku 1827, w którym zostały zakończone podstawowe prace badawcze i utrwalone koncepcje teoretyczne, stanowiące pierwsze podwaliny współczesnej techniki elektrycznej.

Wyzyskanie sił elektrycznych i magnetycznych w pewnej mierze utajonych w przyrodzie, stało się możliwem dopiero po dokładnem poznaniu podstawowych praw; rządzących temi siłami. Zawdzięczamy to przede wszystkim trzem spostrzegawczym i twórczym umysłom, — Volty, Ampère'a i Ohm'a.

W działalności tych uczonych wybitnie występują oba najcharakterystyczniejsze elementy klasycznej pracy naukowej: dokładne i możliwie bezstronne badanie „rzeczywistości” zjawisk, zachodzących w przyrodzie, a następnie stworzenie wyobrażeń i pojęć teoretycznych, wiążących się w ścisłe zależności matematyczne, które wyrażają prawa, rządzące temi zjawiskami.

Prace, które mamy na myśli, zapoczątkował Aleksander Volta.

Volta urodził się w roku 1745 na ziemi Italskiej, w Como. W roku 1779 został profesorem fizyki na uniwersytecie w Pawii.

Główne prace naukowe przeprowadził on w okresie czasu od roku 1792 do 1800.

W roku 1801 jeździł Volta do Paryża, gdzie w gronie członków Instytutu Francuskiego wygłosił komunikat z doświadczeniami o swych pracach. Szczególną uwagę ówczesnych uczonych zwróciła identyczność, jak wtedy mówiono, „galwanizmu” i elektryczności.

Na wniosek Napoleona Bonaparte, pierwszego konsula Republiki Francuskiej, członka Instytutu, Instytut Francuski obdarzył Voltę złotym medalem.

W roku 1819 Volta otrzymał tytuł hrabiego i senatora Lombardji. Zmarł w Como w wieku sędziwym 5 marca 1827 roku.

W lecie roku bieżącego w Italji obchodzono uroczyste setną rocznicę jego śmierci.

Współczesny mu uczoney, Arago, daje nam świadectwo, że umysł Volty był silny i bystry, idee — wielkie i trafne, a charakter — szczery i serdeczny, zamiłowanie do badań nie było zamącone żądzą złota i wygórowaną ambicją.

Największą zasługą Volty jest zbadanie zjawisk zachodzących przy zetknięciu różnych ciał przewodzących. Bodziec dla tych badań, jak wiadomo, dało spostrzeżenie Galwaniego, dotyczące spreparowanego kręgosłupa żaby z tylnymi nóżkami, zawie-

szonemu za pomocą drucika mosiężnego na kracie żelaznej. Gdy kołyszące się nóżki dotykały kraty, następował skurcz mięśni, tak jak przy działaniu wyładowań butelki lejdejskiej lub też elektrycznych zaburzeniach atmosferycznych. Galvani przypisał to zjawisko działaniu elektryczności zwierzęcej, utajonej w udku żaby, Volta poszedł inną drogą.



A. Volta.

Przez szczegółowe badanie skurczu mięśnia żaby w różnych okolicznościach, Volta przekonał się, że skurcz ten wywołać można, dotykając w dwóch różnych miejscach udo żaby różnemi metalami, których drugie końce są między sobą bezpośrednio zetknięte albo połączone przewodnikami.

Szczególnie zwróciła jego uwagę ta okoliczność, że należało użyć koniecznie dwóch różnych metali.

Przypuszczenie, że mięsień jest źródłem elektryczności, Volta zgóry odrzuca: widzi on przyczynę zjawiska w osobliwych właściwościach metali. Oto ustęp z jednego listu Volty do opata A. M. Vassalli, gdzie jasno wyraża on swoje poglądy:

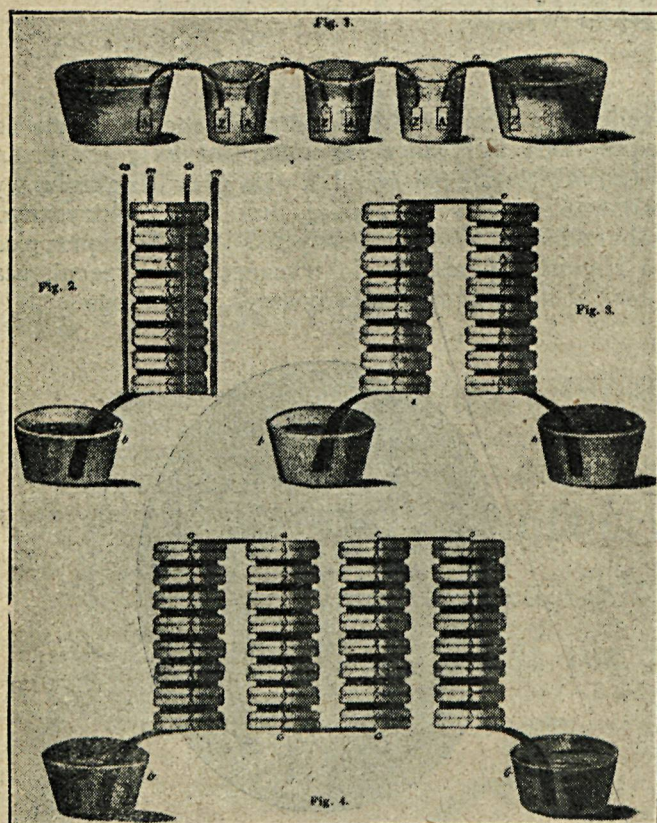
„Jakie jest Pańskie zdanie o domniemanej elektryczności zwierzęcej? Co do mnie, to od dłuższego czasu jestem przekonany, że całe działanie ma swe źródło pierwotne w metalach, stykających się z ciałami wilgotnemi lub z samą wodą; dzięki temu zetknięciu płyn elektryczny w ciałach wilgotnych jest party naprzód przez owe metale, przez jeden mniej, przez drugi więcej”...

A dalej: „Ale czyż można to, co wskazuje tu na

elektryczność zwierzęcą, uważać za coś właściwego... Czy nie jest raczej o wiele więcej prawdopodobne, że one zachowują się biernie tylko, że są jedynie bardzo czułymi elektrometrami, natomiast właściwie czynnikami są metale..., że wogóle metale nie tylko przewodzą, ale naprawdę pędzą elektryczność”.

W tem oświadczeniu widzimy genialną intuicję uczzonego, który spostrzegł nowy czynnik, dotąd niezany, wywołujący zjawiska elektryczne.

Za pomocą prostego elektroskopu, zaopatrzonego w lekkie ździebełko słomy i kondensator, Volta stwierdził elektryzację metali przy zetknięciu i ułożył znany „szereg Volty”, w którym metale, dalej sto-



Stosy i wieniec kubków Volty.

jące od siebie, elektryzują się przy zetknięciu mocniej. Z czasem wprawdzie przekonano się, że zetknięcie czystych metali nie daje tak znacznej elektryzacji, jak ta, którą spostrzegł Volta, i bodziec, wytwarzający stan elektryczny metali, w wielu doświadczeniach Volty, według współczesnych wyobrażeń, umiejscowiono głównie na powierzchni zetknięcia metali z płynem. Pierwszą jednakże myśl wyjaśnienia tych zjawisk przez bodźce, istniejące w miejscach styku przewodników, zawsze będziemy zawdzięczali Volcie.

Ujęcie rozważanych zjawisk, przedstawione w przytoczonym ustępie listu, doprowadziło Voltę do zbudowania ogniwa, składającego się z miedzi, cynku i naczynia napełnionego, jak powiada Volta, wodą zwyczajną, lub lepiej osoloną, albo ługiem.

Wyobrażenie o owym parciu elektrycznym w zetknięciu metali, oczywiście, nasunęło Volcie myśl o możliwości zwiększenia tego parcia przez uszeregowanie par metali w jeden obwód w ten sposób, aby te parcia wzajemnie się potęgowały.

W tym celu zbudował Volta swój stos z par krążków miedzi i cynku, przedzielonych wilgotnym su-

knem, jedna para nad drugą w ilości kilkudziesięciu. Obmyślił on również i inny przyrząd, tak zwany w i e n i e c k u b k ó w, składający się z szeregu naczyń z dowolnego materiału, jak pisze Volta, za wyjątkiem metali: kubków drewnianych, muszli, naczyń glinianych. Naczynia te Volta napełniał wodą zwyczajną, soloną lub ługiem i wkładał łuki metalowe, sporządzone z dwóch kawałków różnych metali zlutowanych ze sobą, tak że jeden metal zanurzony był w jednym kubku, a drugi — w sąsiednim. Volta radzi stosować miedź, misiądz, lub lepiej miedź posrebrzaną, zlutowaną z cyną lub lepiej z cynkiem.

Przez doświadczenie Volta przekonał się, że najsilniejsze działanie takiego wieńca otrzymamy wtedy, gdy łuki metalowe będą zwrócone tym samym metalem w jedną stronę, stwierdził również, że łuki, obrócone w przeciwną stronę osłabiają działanie przyrządu.

Wszystkie te zjawiska Volta spostrzegł, postępując się swymi palcami, które przy dotknięciu odczuwały lekkie uderzenia elektryczne, lub kondensatorem, który ładował i badał jego rozbrojenie czy też rozchylenie się ździebełek słomy lub kulek elektroskopu przy oddalaniu okładzin połączonego z nim kondensatora. Główną osobliwością źródeł elektrycznych, wynalezionych przez Voltę, była ich ciągłość działania i osobiwa budowa przy użyciu jedynie przewodników w całym obwodzie, gdy tymczasem cechą zasadniczą maszyn elektrycznych, dotąd używanych, było uszeregowanie przewodników i izolatorów na przemian.

Źródła ładunków elektrycznych, podobne do swoich, widział Volta w narządach ryb elektrycznych.

Przyrządy Volty umożliwiły badanie prądu elektrycznego, to też Anglicy słusznie nazywają prąd otrzymany z baterji ogniwa, *prądem voltaicznym* wbrew nazwie, która się u nas utarła „prąd galwaniczny”.

Sporządzone przez Voltę źródła prądu elektrycznego stały się niebawem przedmiotem badań wielu uczonych. Jednym z najwybitniejszych był Andrzej Marya Ampère. Urodzony w roku 1775 w Lyonie we Francji, już w młodym wieku odznaczał się zamiłowaniem do matematyki i badań przyrodniczych. Kolejno profesor uniwersytetu w Lyonie, docent i profesor analizy w Szkole Politechnicznej w Paryżu, profesor fizyki w Collège de France, w r. 1814 był już członkiem Instytutu Francuskiego oraz wielu towarzystw naukowych zagranicznych. Zmarł w roku 1836 w Marsylii.

Prace Ampère'a ukazały się w 20 lat po publikacjach Volty. Najważniejsze wyniki przedstawił Ampère Instytutowi Francuskiemu we wrześniu i październiku 1820 r. Odkrył on działanie elektrodynamiczne prądu na prąd, magnesu na prąd i ziemi na prąd, on pierwszy wprowadził pojęcie „prądu elektryczny” (*le courant électrique*).

Ustalił przyjęte obecnie pojęcie kierunku prądu i wprowadził nazwę *galwanometr* dla przyrządu, jak pisał wówczas, wyznaczającego „energię” prądu. Ampère usystematyzował wyniki odkrycia Oersted'a, dając znaną regułę pływaka, określającą kierunek odchylenia igły magnesowej pod wpływem prądu elektrycznego.

Odkryte przez siebie zjawiska Ampère studiował głęboko. On to ustalił prawo: siła działania biegun

magnesu na cząstkę prądu jest równa, równoległa i przeciwna sile działania tej cząstki prądu na powyższy biegun.

Opierając się na wynikach badań doświadczalnych i pewnych hipotezach wyprowadził na drodze



A. M. Ampère.

rozumowań matematycznych wzór na siłę współdziałania nieskończenie małych cząstek prądu:

$$\frac{i \cdot i'}{r^2} \cdot ds \cdot ds' (\cos \alpha - \frac{3}{2} \cos \beta \cdot \cos \beta').$$

tu i, i' — natężenia prądów, ds, ds' długość odcinków przewodów z prądami, r — odległość pomiędzy środkami odcinków, α — kąt pomiędzy kierunkami prądów, β i β' kąty pomiędzy kierunkami prądów i prostą, łączącą środki odcinków *).

Temi pracami zasłużył Ampère na nazwę *Newtona elektrodynamiki*, daną mu przez sławnego następcę — Maxwell'a.

Charakterystyka jednak zasług Ampère'a nie byłaby całkowita, gdybyśmy pominęli jego pomysły w dziedzinie wyjaśnienia budowy magnesu.

Ta zdolność oddziaływania magnesów na prąd i prądów na magnes, analogiczna do oddziaływania magnesów na magnesy, zwróciła szczególnie uwagę Ampère'a, zapatrzonego na swoje różnokształtne obwody z prądem obracające się wokoło siebie.

Charakterystyczną cechą umysłu ludzkiego, jest dążenie do zastąpienia w koncepcjach naukowych różnorodności przez jednorodność i uproszczenia sposobu ujęcia zjawisk obserwowanych.

Ampère postanowił wyjaśnić magnetyzm przez elektryczność i udało mu się to znakomicie.

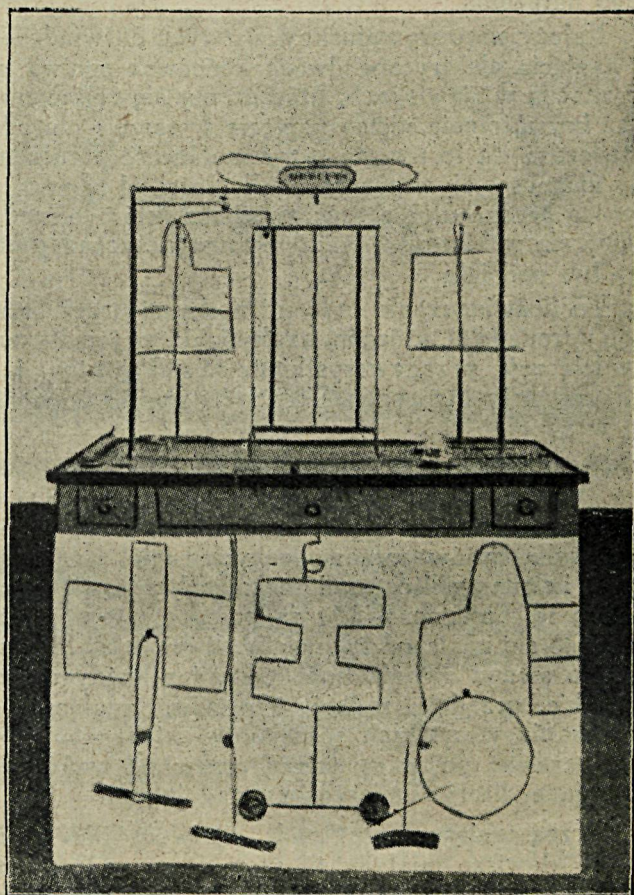
Jest on twórcą elektrycznej teorii magnetyzmu. Elementarny magnes Poissona stał się u niego elementarnym prądem kołowym, a elementarne włókna, składające się z szeregu elementarnych magnesów, ułożonych wzdłuż jednej linii, zastąpił on odpowiednimi rurkami, po powierzchni których krążą nieskończenie małej średnicy, nieskończenie blisko do siebie

*] Ampère. Mémoire sur la théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience. Mém de l'Acad. (2). 6 p. 175. 1823.

kołowe prądy elektryczne w płaszczyznach prostopadłych do osi rurki. Taką rurkę z prądami nazwał *elektrodynamicznym solenoidem* (od greckiego słowa „solenoeides”, co znaczy rurkowaty).

Zespół nieskończenie wielu takich solenoidów stanowi magnes. Wywodami matematycznymi dowiódł Ampère zgodności tych wyobrażeń z doświadczeniem.

W tym czasie jednak, kiedy Ampère pracował, koncepcja jego solenoidów była pomysłem dowolnym — zgoła teoretycznym, powiedzmy więcej: matematycznym symbolem, nie wiążącym się głębiej z całokształtem znanych naówczas zjawisk. Dla czego magnesy nie miały być utworami odrębnymi, nie mającymi żadnego związku z elektrycznością poza zdolnością w pewnych okolicznościach wzajemnego oddziaływania?



Przyrządy, używane przez Ampère'a.

Genjusz jednak przenika głębiej, niż umysł powierzchownego obserwatora, i stwarza takie koncepcje, które znajdują później — nieraz dopiero po latach kilkadziesiąt — silne poparcie w doświadczeniach i nowych odkryciach. Tak też się stało i tutaj, — w dziedzinie budowy elektrycznej materii, dziś przez wszystkich uznanej i stanowiącej nowy punkt wyjścia dla coraz subtelniejszych badań i nowych pomysłów, ujmujących coraz głębiej mechanizm zjawisk elektromagnetycznych. Doświadczalnie przekonano się o istnieniu prądów elementarnych Ampère'a.

Pomimo różnych ewolucji, jakie z biegiem czasu zachodzą w nauce, zasadnicze wyniki i koncepcje

prac Ampère'a są tak ściśle i ważne dla dzisiejszej nauki i techniki, że stoją niewzruszenie i stanowią abecadło, którem się wszyscy stale posługujemy.

A. M. Ampère jest także wynalazcą telegrafu elektromagnetycznego.

Ciekawe są przesłanki myślowe, które doprowadziły go do tego pomysłu.

Oto jest dokładny przekład kilku ustępów z komunikatu, przedstawionego Królewskiej Akademii Nauk 2 października 1820 r.

Rozważając działanie elektrodynamiczne prądów na prądy, Ampère pisze:

„.....Ja myślałem początkowo, że trzeba wywoływać prąd w dwóch przewodnikach za pomocą osobnych ogni, lecz to nie jest konieczne, wystarcza, jeżeli te przewodniki stanowią dwie części tego samego obwodu, gdyż prąd tam jest wszędzie tego samego natężenia.

Należy więc wynioskować z tych doświadczeń, że napięcia elektryczne dwóch końcówek ogniwa nic nie znaczą w zjawiskach, któremi my się zajmujemy; gdyż bezwątpienia niema napięcia w reszcie obwodu; potwierdza się to jeszcze przez możliwość poruszenia igły magnesowej w znacznej odległości od ogniwa, za pomocą bardzo długiego przewodnika, którego środek zagina się w kierunku południka magnetycznego nad igłą lub pod igłą.

To doświadczenie było mi poddane przez sławnego uczonego *), któremu nauki fizykomatematyczne zawdzięczają przedewszystkiem wielki postęp, jaki widzimy w tych czasach. Doświadczenie to powiodło się w zupełności...”

A dalej:

„Wobec udania się doświadczenia, poddanego mi przez pana markiza Laplace'a, można byłoby za pomocą tyłu drutów przewodzących i igieł magnesowych, ile mamy liter, umieszczając każdą literę nad osobną igłą magnesową, i za pomocą ogniwa, znajdujacego się zdala od tych igieł, które łączyłoby się kolejno swemi dwoma końcówkami z każdym przewodnikiem, urządzić, rodzaj telegrafu, zdolnego do opisywania wszystkich szczegółów, które chcielibyśmy przesłać po przez szereg przeszkód osobie, obszerwującej litery, umieszczone nad igłami.

Przez umieszczenie nad ogniwnem klawiatury, której klawisze miałyby te same litery, a przy naciśnięciu wywoływałyby połączenia, ten sposób komunikacji mógłby odbywać się dość łatwo i nie wymagałoby więcej czasu, jak tylko na dotknięcie klawisza z jednej strony i odczytanie litery z drugiej”.

Praktyczny umysł Anglika wnet zastosował pomysł Ampère'a do użytku w dziedzinie stosunków handlowych.

Ampère wynalazł również astatyczny układ igieł magnesowych.

Gdy ustalilo się pojęcie prądu elektrycznego, powstało zagadnienie praw, rządzących jego przepływem.

Rozwiązanie tego problemu zawdzięczamy uczonemu niemieckiemu Ohm'owi.

Jerzy Szymon Ohm urodził się w Erlangen 1847 roku, jako najstarszy syn majstra ślusarskiego. Po ukończeniu studjów uniwersyteckich, głównie w dziedzinie matematyki, zajął się pracą pedagogiczną w



Jerzy Szymon Ohm.

gimnazjach. Będąc nauczycielem w Kolonji, zainteresował się fizyką i w roku 1825 napisał pierwszą rozprawę o swoich badaniach nad prawami przepływu prądu w obwodach elektrycznych pod tytułem: „Vorläufige Anzeige des Gesetzes, nach welchen Metalle die Contact - Electricität leiten“ w Annaloch Poggen-dorfa.

W roku 1826 ukazała się druga jego rozprawa pod tytułem: „Bestimmung des Gesetzes, nach welchem Metalle die Contact - Electricität leiten“, w wydawnictwie Schweigger'a.

Dla zapoznania się dokładniejszego z literaturą przedmiotu przeniósł się Ohm do Berlina i tam w roku 1827 ogłasza najważniejszą pracę pod tytułem „Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet“, za którą dopiero w roku 1841 otrzymał od angielskiego Towarzystwa Królewskiego (Royal Society) medal Copley'a.

W Berlinie Ohm był początkowo nauczycielem w szkole wojskowej, i dopiero w kilka lat po ogłoszeniu swoich wiekopomnych prac o prawach przepływu prądu, powołany został w roku 1833 na stanowisko profesora fizyki do Szkoły Politechnicznej w Norymburdze, a mając już lat 60 został profesorem w uniwersytecie Monachijskim i konserwatorem zbiorów matematycznych i fizycznych Akademii Monachijskiej. Po roku 1830 Ohm pracował głównie nad innymi działaniami fizyki: dźwiękiem i optyką. Umarł w roku 1854.

Rozprawy Ohm'a z roku 1825 i 1826 dotyczyły prac doświadczalnych.

Pierwsze próby dały wyniki niepewne, gdyż Ohm posługiwał się, jako źródłem prądu, ogniwnem Volty z miedzi, cynku i zakwaszonej wody, które dawało, jak mówił, siłę falującą (Wogende Kraft).

*) Laplace.

W rozprawie z roku 1826 przedstawił już lepsze wyniki, posługując się za radą Pogendorfa ogniwnem termoelektrycznym z miedzi i bizmutu o dwóch spoiniach, z których jedno było zanurzone w gotującej się wodzie, a drugie — w topniejącym śniegu.

Prąd z takiego ogniwa termoelektrycznego Ohm przepuszczał po drutach różnej długości i przekroju z różnych metali; dla porównywania natężeń prądu posługiwał się magnesem, zawieszonym na nitce, odchylającym się pod wpływem przewodnika z prądem. Z tego odchylenia obliczał on siłę magnetyczną prądu według zasady, tak zwanej wagi skręceń Coulomba.

Obszerne badania w tym układzie przyrządów doprowadziły Ohma do wzoru:

$$X = \frac{a}{b + x}$$

X oznacza natężenie działania prądu, x — długość włączanego drutu, a — stała, zależną od siły wzбудzającej (Erregende Kraft), b — stała, zależną od właściwości przewodzących reszty obwodu.

Następnie Ohm badał wpływ szeregowego połączenia ogniw i znalazł wzór:

$$i = \frac{am}{bm + x}$$

Poza tem Ohm mierzył napięcie elektroskopem i stwierdził, że na środku przewodnika, włączonego pomiędzy bieguny ogniwa „napięcie”, jak pisze, równa się zero.

W ostatniej pracy swojej z roku 1827 Ohm uzupełnia wyniki swych badań doświadczalnych rozumowaniami teoretycznymi.

Wzór jego prawa dla obwodu zamkniętego ma postać

$$S = \frac{A}{L}$$

S — natężenie magnetycznego działania prądu, A — suma sił elektromotorycznych całego obwodu, L — według Ohma — tak zwana „długość zredukowana”, stanowiąca iloraz geometrycznej długości drutu przez przekrój i przewodność. Wielkość tę teraz nazywamy opornością.

Wzorując się na pracach Poisson'a i Fouriers'a, dotyczących przewodnictwa ciepła, Ohm podaje analogiczny wzór na przewodność elektryczności,

$$dg = -k \cdot dS \cdot \frac{du}{dn} \cdot dt.$$

dg — ilość elektryczności, przepływająca przez przekrój dS w ciągu czasu dt, u — jest to, według określenia Ohma „Siła elektroskopowa” w rozważanym punkcie przewodnika, określa się ona przez siłę, z jaką ten przewodnik w tem miejscu odpycha drugie ciało ruchome o niezmiennym stanie elektrycznym, zwane „elektroskopem”.

$\frac{du}{dn}$ stanowi, według Ohma „spadek” siły elektroskopowej w kierunku normalnym do przekroju ds, k — współczynnik przewodności elektrycznej, zależny

wyłącznie od materiału przewodnika i jego temperatury.

Z tego wzoru, drogą matematycznych przekształceń, dochodzimy do znanego wzoru prawa Ohma dla skończonej części obwodu:

$$i = k \cdot S \frac{U_1 - U_2}{l}$$

Według Ohma $U_1 - U_2$ stanowi tu, tak zwane „napięcie”. Ohm zwraca uwagę, że podobne napięcie musimy spostrzec na granicy zetknięcia się dwóch różnorodnych ciał.

Szczególną cechą prac Ohma jest właściwe ujęcie zagadnienia od samego początku badań, gdzie myślą przewodnią obok wzbudzającej siły, względem której prąd musi być proporcjonalny, były własności całego obwodu. Szczególnie trafnym było zwrócenie uwagi na długość drogi, którą prąd ma przebyć. Poza tem Ohmowi również zawdzięczamy spostrzeżenie analogii pomiędzy rozchodzeniem się ciepła i elektryczności w przewodnikach.

Teoria przewodności elektrycznej, podana przez Ohma, dość długi czas, lat ze 20, była zwalczana przez różne inne koncepcje ówczesnych fizyków, jednak ostatecznie zwyciężyła i stała się podwaliną nauki o prądzie elektrycznym i elektrotechniki.

Oto są dzieje wysiłków umysłu trzech wielkich fizyków, z których prac my wszyscy teraz tak wszechstronnie korzystamy.

Źródła: Osnowania uczenia ob elektryczeskich i magnitnych jawljenjach I. I. Borgmana, — ETZ. Zeszyt 17, 1927 r. Rev. Gen. de l'Electr. Novembre 1922. — Z dziejów rozwoju fizyki, T. II. Grotowski, Landau i Werner, 1914 r.

Kongres Międzynarodowej Komisji Elektrotechnicznej we Włoszech, we wrześniu 1927 r.

(Sprawozdanie delegatów P. K. E.)

(Dokończenie)

5. KOMITET MASZYN ELEKTRYCZNYCH.

Na porządku dziennym były następujące sprawy:

a. Zatwierdzenie sprawozdania R. M. 36 z posiedzeń w Nowym Jorku (mat. Nr. 78).

b. Dyskusja w sprawie nowego wydania przepisów maszyn elektrycznych (publ. CEI Nr. 34).

1. Temperatura otoczenia (mat. Nr. Nr. 84, 86, 89).

2. Tabliczki cechowania mat. Nr. 86).

c. Przygotowanie tablicy tolerancji w celu złożenia jej zebraniu plenarnemu (mat. Nr. Nr. 77, 79, 81, 85, 86, 88).

d. Rozpatrzenie propozycji co do prób dielektrycznych (mat. Nr. Nr. 79, 82, 85, 86, 88, 93, 97).

e. Sposób wyznaczenia sprawności (mat. Nr. 75).

f. Rozpatrzenie sprawy wymiarów iskierników (mat. Nr. Nr. 92, 94, 97).

g. Rozpatrzenie sprawy kształtu fali (mat. Nr. Nr. 76, 86, 90, 92).

h. Rozpatrzenie sprawy temperatur w transformatorach (mat. Nr. Nr. 79, 82, 84, 88).