

Odkrycie Galvani'ego i Volty.

Zwykła droga, na jakiej zapoznajemy się z jakąś nauką — to studjowanie podręczników lub dzieł obszerniejszych, obejmujących jej całość. W książce takiej spotykamy się z budową wykończoną, systematycznie ułożoną i ujednostajnioną przez autora; wszystkie cechy indywidualne właściwych twórców nauki, myślicieli i eksperymentatorów, muszą z natury rzeczy ustąpić przed myślą systematyzującą, zacierającą odrębności na to, aby, harmonizując ze sobą wyniki dociekań poszczególnych badaczy, stworzyć z nich całość spoiwą i jednolitą.

Niewątpliwie, wobec nagromadzenia olbrzymiej ilości badań szczegółowych, podręczniki takie są niezbędne, jako przewodniki w labiryncie prac specjalnych, wyławiające rzeczy najdonioślejsze z powodzi faktów i hipotez i oszczędzające trudu szperania po pracach źródłowych; ale ich niezaprzeczony pożytek posiada — jak wszystko na świecie — swą stronę odwrotną. Przecież nauka nie jest całością skończoną, zamkniętą raz na zawsze w idealnych, lecz martwych kształtach — a taką właśnie widzimy ją na kartach podręczników; nauka jest organizmem żywym, rosnącym, zdolnym do przemian i do rozwoju; jest ona rezultatem wysiłków indywidualnych, nieraz średnicowo różnych; znajdziemy więc w niej szczegóły jeszcze niezharmonizowane, sprzeczności dotąd nie rozwiązane, przeżytki tamujące rozwój swobodny, zarodki wielkich odkryć, oczekujące warunków pomyślnych; pełno w niej walki, ścierania się sprzecznych teorii i poglądów; na tle wyrobionych pracą zbiorową metod i uznanych powszechnie pojęć rysują się postacie indywidualne bojowników prawdy naukowej, typy umysłowe i temperamenty różnorodne, osobowości wybujałe, a obraz jednolity wiedzy podręcznikowej rozpada się na mozaikę, bogatą w szczegóły i barwy.

Tej strony twórczości naukowej nie poznamy z podręcznika — to nie należy do jego zadań; a poznać ją warto i trzeba. To też, dla usunięcia jednostronności wykształcenia podręcznikowego niezbędne jest zapoznawanie się z dziejami nauki i to nietylko przez studjowanie

książek, poświęconych historii danej gałęzi wiedzy, lecz przede wszystkim przez zapoznawanie się z pracami oryginalnymi wielkich uczonych odkrywców. Nie pożałujemy poniesionego trudu; obcowanie z wielkimi duchami nie tylko kształci i pobudza do wysiłków samodzielnych, ale daje tę wzniosłą rozkosz natury estetycznej, jakiej doznajemy na widok dzieł gienjalnych.

Dopiero takie zapoznanie się bezpośrednie ze źródłami, chociażby odnoszącymi się tylko do drobnego zakresu wiedzy, pozwala ocenić właściwie, w jakim stopniu treść teorii naukowych i cały rozwój nauki jest zależny od właściwości indywidualnych badaczy, jak dalece umysły silne potrafiły wycisnąć piętno na poglądach pokoleń społecznych i następnych, jak szczęśliwe, gienjalne rozwiązanie zagadnienia popycha naukę gwałtownie naprzód, stwarzając w jednym wysiłku to, czego nie mogłyby dokonać całe pokolenia pomniejszych badaczy, jak odwrotnie, błędne poglądy, zaszczerpione dzięki autorytetowi ich twórców, hamują rozwój całych działów wiedzy.

Do zupełnej jasności i zrozumienia pojęć, praw i teorii naukowych niezbędna jest gruntowna znajomość stosunku ich do materiału doświadczalnego, faktycznego, dla którego ujęcia zostały stworzone; niezbędne jest zrozumienie, gdzie kończy się ściśle logiczne wnioskowanie z faktów, a gdzie zaczyna mniej lub więcej dowolna ich interpretacja, gdzie powzięte lub przejęte poglądy zaczynają przerywać ściśle indukcyjny bieg myśli,—gdzie, jednym słowem, myśl twórcza, a więc indywidualna, wnosi harmonję i jasność w chaos szczegółów mozolnie gromadzonych, obiektywnie wiernych, ale same przez się nic nie mówiących. Tego też nie znajdziemy zazwyczaj w podręczniku; rzeczona granica zwykle jest zartarta, pojęcia i teorie nabierają charakteru pewników, faktów, albo—odwrotnie—wolnych, z palca wyssanych fantazji. Pogląd właściwy możemy zdobyć tylko czerpiąc wiedzę z prac oryginalnych — istotnego źródła praw, pojęć i teorii naukowych. Jest to szczególnie ważne dla uczącego; przecież uczeń, który ma dopiero zapoznać się z rzeczą nową dla niego, znajduje się w położeniu podobnym do położenia badacza, który ją odkrywa; jak on, musi przejść stopniowo od zupełnej nieznajomości do jasnego ujęcia, kierując się wskazówkami, jakich mu dostarczają fakty stwierdzone i prawidła rozumowania. To też śledzenie biegu myśli gienjalnych odkrywców powinno dać wykładowcemu niejedną cenną wskazówkę i wskazać drogę, na której może najskuteczniej trafić do umysłu słuchacza.

Szkic niniejszy, kreślący dzieje jednego z najdonioślejszych odkryć, ma na celu przede wszystkim zachęcenie do zapoznania się z pismami jego twórców.

I.

W czasie, kiedy Galvani wykonywał doświadczenia, które miały się stać punktem wyjścia dla badań nad najważniejszym działem nauki o elektryczności, nad prądami elektrycznymi, wiadomości uczonych o własnościach elektryczności w spoczynku były już dość bogate. Znano sposoby elektryzowania przez tarcie i przez wpływ, a także przez nagrzewanie pewnych ciał krystalicznych (piroelektryczność), znano prawa przyciągania i odpychania oraz ich matematyczne sformułowanie przez Coulomba, zbudowano szereg machin do wytwarzania silnych ładunków elektrycznych, oraz elektroskopów do mierzenia stopnia naelektryzowania. Doświadczenia z elektrycznością były wówczas w modzie, zajmowali się nimi nie tylko uczeni, ale i laicy, jedni dla rozrywki, inni dla nauki. Powtarzano, odmieniano doświadczenia, obmyślano nowe, posługując się przytym znanymi już źródłami elektryczności, ale nowe jej źródło — połączenie dwóch różnych metali z przewodnikiem ciekłym — pozostałoby zapewne długo jeszcze nieodkryte, gdyby nie szereg szczęśliwych okoliczności.

Trudno przypuścić, aby nadzwyczaj drobne napięcia, otrzymywane w prostym ogniwie galwanicznym, mogły być odkryte za pomocą ówczesnych, niezbyt jeszcze czułych przyrządów elektroskopicznych; nadzwyczajna zręczność i pomysłowość, użyte następnie przez Voltę do stwierdzenia ładunków, powstających przy zetknięciu metali, wskazują, że musiałyby istnieć przynajmniej podejrzenie takiego zjawiska, aby skłonić do prób tego rodzaju. A podejrzenie podobne leżało bardzo daleko od ówczesnych pojęć o naturze zjawisk elektrycznych, jak tego dowodzi zdumienie, a nawet niedowierzanie, z jakim początkowo spotkały się doświadczenia i hipotezy Volty. Ale gdyby nawet udało się wówczas stwierdzić istnienie napięcia galwanicznego, to i takie odkrycie nie wskazywałoby jeszcze na zasadniczą właściwość ogniwa — na podtrzymywanie prądu ciągłego, na nieustanne wytwarzanie coraz to nowych zapasów elektryczności. Na to był potrzebny przyrząd, reagujący nie na ładunki elektryczne w spoczynku, lecz na ruch elektryczności, czyli na prąd. Jednym słowem potrzebny był galwanoskop. Technika przyrządów dostarczyć go nie mogła, rzecz prosta, przed odkryciem prądu i zbadaniem jego własności. Na szczęście przyroda dostarczyła nam sama galwanoskopu bardzo czułego, który nadto, sam będąc przewodnikiem wilgotnym, jest w stanie wytworzyć przy połączeniu z dwoma kawałkami metalu ogniwo elektryczne. Przyrządem takim są nerwy zwierzęce i ich to podwójnej roli — jako przewodników

drugiej klasy i jako bardzo czułych wskaźników prądu—zawdzięczamy w pierwszej linii tak wczesne odkrycie galwanizmu.

Ten cudowny, choć popospolity przyrząd nie był jednak w użyciu w pracowniach fizyków, więc jest zrozumiałe, dlaczego tak ważnego odkrycia fizycznego dokonał nie fizyk, lecz lekarz-przyrodnik. Był nim Ludwik Aloizy Galvani, profesor anatomji uniwersytetu bolońskiego. Legienda twierdzi, że Galvani zawdzięcza swe odkrycie przywiązaniu do żony, dla której, gdy była chora, sam miał przygotowywać rosół z ud żabich. Lecz uczony boloński nie potrzebował uciekać się aż do zajęć kucharskich, aby mieć w ręku niepokaźny przyrząd, z którym następnie zostały wykonane prawie wszystkie doświadczenia, podstawowe dla nauki o prądzie elektrycznym; Galvani zajmował się oddawna badaniami nad drażnieniem nerwów żaby i wywoływaniem w niej ruchów mięśniowych, więc odpreparowane uda żabie były gościem powszednim w jego pracowni. Zajmował się też doświadczeniami elektrycznymi, i miał u siebie maszynę elektryczną, z którą on, lub jego uczniowie wykonywali próby. Dodajmy do tego cechy osobiste Galvani'ego — bystry umysł, wyrobioną spostrzegawczość, żywą wyobraźnię naukową i młodzieńczy zapał do wiedzy, a otrzymamy układ warunków, które umożliwiły bezcenne odkrycie, dokonane w r. 1780¹⁾. Nie ufając legiendzie, posłuchajmy, jak sam Galvani opisuje zdarzenia wiekopomnego dnia.

„Robiłem²⁾ sekcję żaby, odpreparowałem ją tak, jak na rysunku³⁾ i położyłem na stole, na którym stała maszyna elektryczna. Gdy jeden z pomagających mi ludzi przypadkiem dotknął bardzo lekko końcem skalpela wewnętrznych nerwów udowych żaby, wszystkie mięśnie członków zdawały się kilkakrotnie kurczyć, jakgdyby opanowane przez gwałtowne skurcze. Ale innemu, który nam pomagał przy doświadczeniach z elektrycznością, zdawało się, że stało się to podczas wydobywania iskry z maszyny elektrycznej. Zdziwiony tym nowym zjawiskiem, zwrócił mi... na to uwagę. Wówczas ogarnął mnie zapał nadzwyczajny, żeby to wypróbować i wyciągnąć na światło dzienne, co się pod tym ukrywało. Dotykałem więc sam końcem noża tego lub owego nerwu udowego, a w tej samej chwili jeden z obecnych wydobywał iskrę. Zjawisko było zawsze to samo. Gwałtowne skurcze w oddzielnych

¹⁾ Doświadczenia G. zostały ogłoszone drukiem dopiero w r. 1791.

²⁾ Tłumaczone według wydania niemieckiego w „Ostwald's Klassiker“ № 52, str. 4 i dalsze.

³⁾ Uda żabie, odarte ze skóry, są obcięte wraz z częścią kręgosłupa, z którym się łączą za pomocą obnażonych nerwów udowych.

mięśniach członków występowały niechybnie w tej samej chwili, w której przeskakiwała iskra”.

Stwierdziwszy samo zjawisko, Galvani zajął się dokładniejszym oznaczeniem warunków, w jakich występowało. Trzymając skalpel to za rączkę kościaną, to za ostrze, używając zamiast noża cylindrów szklanych i żelaznych, stwierdził, że do „wystąpienia zjawiska konieczne jest zetknięcie ciała przewodzącego (elektryczność) z nerwem”, a tym samym dowiódł, że zjawisko jest natury elektrycznej, że powoduje je „płyn elektryczny, działający w żabie w jakiś sposób”¹⁾.

W owym czasie nie przestała jeszcze żywo zajmować umysłów sprawa tożsamości elektryczności zwykłej i atmosferycznej, stwierdzonej przez klasyczne doświadczenia Franklina w r. 1752; to też Galvani, upewniwszy się o charakterze elektrycznym odkrytego przezeń zjawiska, pospieszył sprawdzić, czy wyładowania elektryczności atmosferycznej będą wywierały taki sam wpływ na odpreparowaną żabę, jak iskry, wydobywane z maszyny; w tym celu powtarzał doświadczenia podczas burzy, uda żabie zawieszał za nerw na drucie, a drugi drut, uczepony do stopy, zanurzał w wodzie studni; „ilekroć powstawała błyskawica, w tej samej chwili wszystkie mięśnie wpadały w gwałtowne, powtarzające się drgania, tak że... ruchy mięśni i skurcze poprzedzały grzmoty i zapowiadały go niejako”²⁾.

Dotychczas właściwie nic niezwykłego nie wykryto; anatom Galvani był szczerze zdumiony temi objawami, lecz fizyk Volta, lepiej obeznany z własnościami elektryczności, opisując jego doświadczenia w rok po ich ogłoszeniu, wyznaje bez ogródki, że

„to zjawisko wywołało w Galvanim zdumienie większe może, niż by należało³⁾; gdyż zdolność nie tylko iskry elektrycznej, napotykającej nerw lub mięsień bezpośrednio, lecz każdego prądu, który z jakąkolwiek prędkością krąży po ciele, jego potężna, powtarzam, właściwość wywoływania podrażnień była rzeczą dobrze znaną; było zresztą oczywiste, że w tym doświadczeniu... przez żabę przepływał prąd. Należy sobie tylko wyobrazić dobrze znane działanie atmosfery elektrycznej, czyli t. zw. ciśnienia elektrycznego; przez nie elektryczność przewodnika, zanurzonego w obszar czynny ciała elektrycznego, zostaje odepchnięta w zależności od tego, jak silną i jak obszerną jest ta sfera działania i pozostaje w tym stanie przemieszczenia dopóty, dopóki trwa elektryczność ciała działającego, oraz powraca na swe dawne miejsce, jak tyl-

¹⁾ l. c. str. 7.

²⁾ l. c. str. 18.

³⁾ Ostw. Klass. № 114. Str. 74.

ko ta zostanie usunięta.... Owo to uderzenie zwrotne wywołuje skurcze i ruchy we wspomnianych doświadczeniach" ¹⁾).

Ale czasem naiwny zapal dokona więcej, niż najuczepsza analiza. Gdyby Galvani znał to proste tłumaczenie, byłby może zarzucił dalszą pracę nad zjawiskami, odartymi z uroku tajemniczości; tymczasem, wierząc, że ma do czynienia z odkryciem istotnie wielkim i nowym, z całą gorliwością prowadził dalej swe badania, powtarzając wielokrotnie doświadczenia i zmieniając ich szczegóły; trudy jego zostały uwiecznione dostrzeżeniem zjawiska, stanowiącego rzeczywiście odkrycie wielkie, nieobliczalne w swych skutkach.

„Gdy parokrotnie zauważyłem ²⁾, że odpreparowane żaby, zaopatrzone w haczyki mosiężne, zawieszono na kracie żelaznej, okalającej ogród przy naszym domu, wpadały w zwykłe drgania nietylko przy błyskawicach, lecz także przy pogodzie spokojnej i jasnej, przypuściłem, że należy przypisać powstawanie tych skurczów zmianom, jakie podówczas zachodziły w atmosferze.... Ruchy występowały zaledwie kiedy niekiedy. Znużony daremnym oczekiwaniem zacząłem przyciskać i przygniatać haczyki brązowe, wbite w mlecz pacierzowy, do żelaznej kraty... Zauważyłem wprawdzie dość częste skurcze, ale nie takie, któreby zależały od rozmaitego stanu atmosfery i elektryczności. Ponieważ obserwowałem te skurcze tylko na powietrzu otwartym,... przeto niewiele brakło, abym przypisał te skurcze elektryczności atmosferycznej. Łatwo bowiem — czyni Galvani trafną uwagę — „ludzić się przy doświadczeniu i mniemać, że się widzi i znajduje to, co widzieć i znaleźć pragniemy. Gdy jednak przeniosłem zwierzę do pokoju zamkniętego, położyłem je na płycie żelaznej i zacząłem przyciskać do niej haczyk, oto te same skurcze, te same ruchy! To samo wypróbowałem wielokrotnie, używając innych metali.... Nareszcie przyszło nam na myśl użyć do doświadczenia innych ciał, przewodzących jednak elektryczność źle, lub wcale nie przewodzących, a więc składających się ze szkła, gumy, żywicy, kamienia lub drzewa i to w stanie suchym. Nic podobnego nie wystąpiło, nie było widać żadnych skurczów ani ruchów. Rzecz prosta, że podobny wynik wzbudził w nas niemałe zdumienie i wywołał domniemanie, że wewnątrz samego zwierzęcia znajduje się elektryczność. Zostaliśmy

¹⁾ Zdziwiająca jest jasność, z jaką Volta, zapożyczając, jak to sam przyznaje, teorię uderzenia zwrotnego (the returning stroke) od anglika Mahona, tłumaczy to zjawisko. W ustępie tym tkwi w zarodku idea prądów indukcyjnych — ograniczona wprawdzie do tego specjalnego wypadku — wypowiedziana na 40 lat przed odkryciem Faraday'a.

²⁾ Ostw. Klass. № 52. Str. 22 i dalsze.

pod obu względami utwierdzeni przez przypuszczenie fluidu nerwowego bardzo subtelnego, który płynie podczas zjawiska od nerwów do mięśni, podobnie do prądu elektrycznego w butelce lejdejskiej”.

I oto Galvani, zaledwie uniknąwszy jednego błędu w interpretowaniu zjawiska, wpada w drugi i, powziąwszy błędną hipotezę istnienia w nerwach i mięśniach specjalnej elektryczności zwierzęcej, zamyka sobie drogę do właściwego zrozumienia własnego odkrycia. Odkrył fakt, ale nie znalazł jego wyjaśnienia.

Wszystkie dalsze doświadczenia Galvani'ego były tylko odmianami pierwszych, przedsięwzięciami w celu potwierdzenia hipotezy istnienia elektryczności w organizmie zwierzęcym; polegały one przeważnie na tworzeniu łuku, łączącego nerw z mięśniem, z coraz to innymi materiałami w coraz to innym kształcie użytych, na włączaniu węń swego ciała, lub tworzeniu łańcucha z kilku ludzi i t. p. W tych doświadczeniach, zgodnie z własną uwagą, Galvani „widział i znajdował to, co pragnął widzieć i znaleźć”. Inaczej nie pozostawiłby bez należytego uwzględnienia obserwacji pierwszorzędного znaczenia, która nie dawała się pogodzić z jego poglądami, a zwróciwszy następnie uwagę Volty, posłużyła w jego rękach za punkt wyjścia do właściwego objaśnienia zjawiska Galvani'ego. Obserwacja ta była następująca:

„Nadto udało się nam¹⁾ zauważyć to szczególne i godne uwagi zjawisko, mianowicie że różnorodność i odrębność substancji metalu silnie spóldziała wzbudzaniu, jakoteż szczególnie zwiększaniu skurczów mięśni i to o wiele więcej, niż przy użyciu jednej i tej samej substancji metalicznej. Tak np. gdy cały łuk był żelazny, albo haczyk żelazny, a również i płyta przewodząca, skurcze najczęściej się nie pojawiały, lub były bardzo drobne. Gdy jednak jedno z nich było np. żelazne, a drugie mosiężne, lub—jeszcze lepiej—srebrne (srebro mianowicie zdało nam się bardziej odpowiednim do przewodzenia elektryczności zwierzęcej niż wszystkie pozostałe metale), występowały skurcze wielokrotne, znacznie silniejsze i długotrwałe”.

Jak dalekim był Galvani od właściwej oceny swego odkrycia, świadczy zwrot, umieszczony w nawiasie; włoski uczony pragnie w nim sprowadzić zauważone zjawisko do różnic w przewodnictwie, pomimo wyraźnej uwagi, że właśnie „różnorodność i odrębność” grają tu rolę główną. Sprzeczność, tkwiąca w przytoczonym ustępie jest tak uderzająca, że tylko zaślepioną wiarą w słuszność swojej hipotezy, można objaśnić obojętność, z jaką Galvani pominął fakt, kryjący w sobie rozwiązanie zagadki. Dopomogła do tego i ta okoliczność, że otrzymy-

¹⁾ I. c. str. 27.

wano ruchy mięśniowe nawet wtedy, gdy łuk, łączący nerw z mięśniami, był zrobiony z jednego tylko metalu, np. żelaza; choć ruchy były słabe i występowały nie zawsze, jednak mogły uchodzić za dowód, że rola metalu ogranicza się do przewodzenia elektryczności, nagromadzonej w zwierzęciu. Trzeba było tak bystrego umysłu i tak wielkiego talentu eksperymentatorskiego, jakimi był obdarzony Volta, aby wyjaśnić to łudzące zjawisko.

W innym miejscu swej pracy Galvani powraca do zagadnienia przewodnictwa metali dla „elektryczności zwierzęcej“, a otrzymawszy działanie silniejsze przy użyciu drutu srebrnego lub złotego, niż przy użyciu żelaznego lub ołowianego, wnioskuje, że zdolność przewodzenia tych metali jest taka sama, jak dla „elektryczności zwyczajnej“. O ile można wnioskować z niezbyt jasnego ustępu, Galvani używał przy tym doświadczeniu cynfolji, którą okładał nerw, a łukiem metalowym łączył ją z mięśniami; otóż porządek, w którym wymienione metale układają się pod względem przewodnictwa jest taki sam, jak pod względem napięcia, jakie wywołują w połączeniu z cyną i z przewodnikiem wilgotnym (żabą); ta przypadkowa zgodność usprawiedliwia pomyłkę Galvani'ego. Widać jednak zarazem błędność jego metody badania, dążącej raczej do potwierdzenia, niż sprawdzenia słuszności powziętej hipotezy. Wszak wystarczyło wziąć inny metal (np. srebro) jako okładkę, lub płytę przewodzącą, aby za jednym zamachem obalić tłumaczenie Galvani'ego. To właśnie uczynił Volta.

Inna jeszcze okoliczność, pozornie potwierdzająca wywody Galvani'ego, utwierdziła go w powziętym mniemaniu.

„...zacząłem usilnie rozmyślać¹⁾ nad metodą zwiększenia napięcia elektryczności; i, za wskazaniem analogji, nasunęła mi się najpierw ta metoda: nerwy, w których zdawała się występować... elektryczność, osłonić cienką blaszką metalową, najlepiej z cyny (cynfolją), tak jak to czynią fizycy przy swoich kwadratach magicznych i butelkach lejdejskich“.

Ta metoda, zmniejszając znakomicie opór przejściowy pomiędzy nerwem a łukiem drucianym, sprawiła istotnie oczekiwany skutek: siła skurczów wzrosła.

Czwartą, najobszerniejszą część swej rozprawy poświęca Galvani „przypuszczeniom i wnioskom“. Jest to bardziej szczegółowe opracowanie zasadniczej hipotezy elektryczności zwierzęcej, w której mięśniom przypisuje się własności, podobne do własności butelki lejdejskiej. Ale że sam pomysł był pozbawiony jasnego ujęcia i twardego oparcia się na

¹⁾ l. c. str. 30.

faktach, więc i wnioski, z niego wysnute, są niczym nie krępowanymi fantazjami, ważnymi może dla poznania psychologii Galvaniego, lecz pozbawionymi wartości naukowej.

Dochodzi w nich autor do przekonania, że oba ładunki—dodatni i ujemny—znajdują się na zewnętrznej i wewnętrznej powierzchni mięśnia, zaś nerw, dla którego w tym celu obmyśla ad hoc skomplikowaną budowę, służy wyłącznie jako przewodnik¹⁾. Dla udowodnienia swego twierdzenia, które zresztą sam uważa tylko za próbę teorii, przytacza szereg luźnych, powierzchownych analogii; porównywa np. własności mięśnia do własności piroelektrycznych turmalinu, a wyładowanie wiązkowe butelki lejdejskiej do skurczu mięśni. Ciekawszym jest wyliczenie podobieństw elektryczności zwierzęcej do zwyczajnej z jednej, a do elektryczności ryb elektrycznych z drugiej strony. Na zakończenie zastanawia się autor nad źródłem elektryczności zwierzęcej i snuje szereg gołosłownych rozważań nad stosowaniem swojej teorii do zjawisk fizjo- i patologicznych. Jako przykłady tej odstraszałającej metody dowolnego fantazjowania przytoczę tu dwa ustępy charakterystyczne.

„Myślimy, że płyn elektryczny jest przygotowywany przez jedną z sił mózgu, prawdopodobnie przez krew, przechodzi do nerwów i przepływa wewnątrz nich, czy to, że są one wydrążone i puste, czy też, co jest prawdopodobniejsze, że zawierają bardzo lotną limfę, lub inny podobny płyn bardzo lotny, który, jak przypuszczają niektórzy, jest wydzielany przez substancję korową mózgu. Jeśli tak, to może tajemnicza i dotąd napróżno badana natura duszy zwierzęcej zostanie wydobyta z ciemności“²⁾.

„Jak elektryczność zwyczajna, skierowana np. zapomocą konduktora butelki lejdejskiej wprost na mózg, albo na nerwy, albo na mlecz paciery, gdy w pewnej ilości i z pewnym pędem uderza na te części, drażni je i wprawia zwierzęta w skurcze gwałtowne, gdy jednak w znacznie większej ilości rani i wstrząsa gwałtownie ich substancją, zwierzęta te paraliżuje lub wywołuje apopleksję, albo, gdy była nazbyt silna, zabija—to samo, wydawało mi się, może skuteczniej elektryczność zwierzęca w człowieku, przedewszystkim gdy, jak to czyni elektryczność zwykła, porywa ze sobą owe materje lotne i szybko się z nimi łączy, przez co otrzymuje daleko większą siłę... Tak zanieczyszczona elektryczność zwierzęca, płynąc z mięśni lub innych części przez nerwy do mózgu i wdzierając się do niego, może spowodować to epi-

¹⁾ l. c. str. 46 i dalsze.

²⁾ l. c. str. 54.

lepszę, to apopleksję, zależnie od tego, czy jej pęd i uderzenie substancji mózgu lub nerwów jest większe czy mniejsze, a jej zanieczyszczenie cięższe, czy lżejsze“¹⁾.

Z tego, cośmy dotąd powiedzieli, widać, że cechy osobiste Galvani'ego, poparte przez szereg szczęśliwych okoliczności, umożliwiły mu wykrycie i wydobyć na światło dzienne nowych faktów, których wielką doniosłość ocenił odrazu; zapał, z jakim prowadził i rozszerzał badania, uchronił odkrycie od utonięcia w powodzi innych faktów. Lecz ani wykształcenie fizykalne, ani temperament, ani powierzchowna metoda eksperymentalna nie wystarczyły mu na rozwikłanie splątanego kłębka zjawisk. Kierując się analogjami powierzchownymi, chwycił się pierwszej z brzoza i na niej oparł swoją teorię, przy której następnie obstawał wytrwale, utwierdzony w swych mniemaniach przez szereg pozornych tryumfów, a nie dając się przekonać odkryciom Volty, obalającym stanowczo jego teorię. Nic dziwnego, że przyjęta przezeń hipoteza miała charakter fizjologiczny: jako fizjolog, mając przed oczyma zjawisko, w którym kardynalną, jak się mogło wydawać, rolę odgrywał organizm zwierzęcy, szukał w nim przedewszystkim tego, co dla niego było najciekawsze i najlepiej znane — procesu życiowego.

Odkrycie Galwaniego żywo zajęło wszystkich przyrodników, ale fakty dochodziły do nich razem z teorjami odkrywcy i te ostatnie przesączały się do umysłów wraz z pierwszemi. Wprawdzie już Reil, profesor medycyny z Hali wypowiedział mniemanie, że doświadczenia Galwaniego dowodzą tylko niezwykłej wrażliwości nerwów na elektryczność, której źródło leży w zetknięciu przewodników, ale większość uczonych z zapałem powitała odkrycie prawdziwej elektryczności zwierzęcej. Przez taki obrót całemu odkryciu groziło zatonięcie w bezpłodnych doświadczeniach nad elektrycznością zwierząt i w mętnych spekulacjach nad tą tajemniczą i nieuchwytną siłą życiową. Dopiero Volta przez bezstronne, nieuprzedzone badanie, zręczną analizę oraz znakomicie pomyślane i świetnie przeprowadzone doświadczenia, dzięki spostrzegawczości niezwykłej, ostrożności w wyciąganiu wniosków i bystrości umysłu zdołał wprowadzić jasność do zaciemnionej kwestji i sprowadził zjawisko Galvani'ego do przyczyn właściwych, do drażniącego nerwy prądu, wzbudzonego przez zetknięcie przewodników niejednorodnych.

¹⁾ l. c. str. 61.

II.

Alessandro Volta, profesor fizyki na uniwersytecie w Pawji, długo już zajmował się badaniami nad elektrycznością. On to wynalazł elektrofor, a doświadczenia nad nim doprowadziły go do budowy kondensatora płaskiego, który następnie zastosował do elektroskopów w celu zwiększenia ich czułości; jeden z tych ostatnich — o żdźbłach słomy — jemu zawdzięcza swe powstanie; odkrył też Volta (jednocześnie z Bennetem) wyładowujące działanie płomienia, prowadził badania nad elektrycznością atmosferyczną i potwierdził obserwację Lavoisiera i Laplace'a nad elektryzowaniem pary i wody podczas parowania. Podróżując po całej Europie i obcując z ludźmi tej miary, co Lavoisier, Laplace, Saussure, van Marum, Priestley, Lichtenberg, zapoznał się głęboko i wszechstronnie ze znanymi wówczas zjawiskami i teorjami fizycznymi. W chwili więc, gdy spotkał się z odkryciem Galvani'ego, był już człowiekiem wielkiej wiedzy i okazałych zasług naukowych.

Opis swych odkryć zawarł Volta w listach do przyjaciół i uczonych zagranicznych; wrażenie pewnego chaosu, jakie wskutek tego otrzymuje czytelnik, okupuje stokrotnie świeżość i bezpośredniość tych listów. Szczególniej pierwsze z nich, pisane w odstępach zaledwie kilkutygodniowych, pozwalają śledzić, jak myśl Volty pracowała nieustannie, jak wielkimi krokami dążył on do rozwiązania zagadnienia, stawiając przyrodzie coraz to nowe pytania i szukając odpowiedzi na nie w znakomicie pomysłanych doświadczeniach; to też trudno o bardziej zajmującą i pouczającą lekturę, jak pisma Volty, będące odzwierciedleniem zachodzącego w nim samym procesu twórczego. Najwłaściwszą drogą zapoznania się z jego wielkim odkryciem będzie zatem śledzenie na podstawie listów, jak dojrzewało ono stopniowo w jego umyśle.

W pierwszym z listów, dotyczących odkrycia elektryczności zwierzęcej, pisany do Baronio'a d. 3 kwietnia 1792 r., a więc w kilka miesięcy po ukazaniu się rozprawy Galvani'ego, Volta staje w zupełności na stanowisku ostatniego, uważając za stwierdzone istnienie elektryczności zwierzęcej i widząc w działaniu mięśni analogię do butelki lejdejskiej. Jedyne co do roli nerwu nie zgadza się z odkrywcą, uważając nerw za wewnętrzną okładkę rzekomej butelki, oraz dochodzi do odmiennych niż Galvani rezultatów, badając znaki ładunków nerwu i mięśnia. Ale poprzez pozorną zgodę przebija odrazu samodzielność myśli i odrębny sposób pojmowania zjawiska; kładąc nacisk od pierwszych niemal słów na wrażliwość nerwu na naboje elektryczne tak nieznaczne, że najczul-

sze nawet elektroskopy wykryć ich nie potrafią, wstępuje już na właściwą drogę badania; wymienionej okoliczności przypisuje tak ważną rolę, że w tym i w następnych listach dużo miejsca i uwagi poświęca pomiarom ilościowym nabożów najdrobniejszych, zdolnych do wywołania podrażnień nerwu, a już samo to świadome akcentowanie strony ilościowej odróżnia go korzystnie od Galvani'ego.

Następną swą enuncjację, pierwszą rozprawę „Sull' Elettricit  animale“, datowaną 5 maja 1792 r., a pomieszczoną w „Giornale Fisico-medico Sign. Brugnatelli“, rozpoczyna Volta obszernym dowodzeniem, że wszystkie dotychczas znane objawy elektryczności zwierzęcej są tylko objawami elektryczności zwykłej, wywołanej przez tarcie ciał organicznych; stanowiące wyjątek pod tym względem ryby elektryczne zawdzięczają swe własności organom specjalnym, a ztym odkrycie Galvani'ego, stwierdzające istnienie powszechne elektryczności zwierzęcej jest istotnie nowym i niezwykłym. Ale na tym kończy się zgoda w poglądach obu uczonych; już teoria butelki lejdejskiej znajduje w Volcie krytyka — na razie łagodnego i mało stanowczego.

„Wykonaliśmy wiele nowych prób¹⁾, rozpatrując rzecz to z tego, to z owego punktu widzenia, zawsze jednak podobieństwo z butelką lejdejską oddalało się mniej lub więcej“. Zamiast tej hipotezy przyjmuje Volta własną, której nie przytaczam, gdyż wraz z upadkiem całej teorii elektryczności zwierzęcej, straciła swe znaczenie.

Umieszczona w tym samym tomie „Giornale“ druga rozprawa jest poważnym krokiem naprzód; przynosi ona mnóstwo świeżego, ciekawego materiału; doświadczenia coraz to nowe, coraz bardziej urozmaicane usuwają krok za krokiem mrzonki o cudownej zdolności organizmów do samodzielnego wytwarzania ładunków elektrycznych. Przewszystkim oddziela Volta to, co w doświadczeniach Galvani'ego było istotnie nowe, od tego, co stanowiło konsekwencję znanych już faktów i zasad, i wprowadza wspomniane w rozdziale pierwszym pojęcie uderzenia zwrotnego dla wytłumaczenia znacznej liczby doświadczeń nad żabami; to pozwala mu potym na skupienie całej uwagi na rzeczy istotnie nowej, t. j. na wzbudzaniu drgań przez proste połączenie łukiem metalowym. Badając to zjawisko, wykonywa uderzające doświadczenie, obalające stanowczo teorię butelki lejdejskiej. Obnażony i oczyszczony nerw żaby okłada cynfolją²⁾ w dwóch miejscach, oddalonych od siebie zaledwie o parę linji. „Jeśli doprowadzić jaknajślabszy, za-

¹⁾ Ostw. Klass. № 114. Str. 26.

²⁾ Przytym wyjaśnia właściwie znaczenie okładki metalowej, fałszywie komentowane przez Galvani'ego.

ledwie dający iskrę nabój elektryczny z butelki na owe okładki, tak że tylko część nerwu pomiędzy nimi będzie przez nią¹⁾ przeniknięta, to jednak wszystkie mięśnie poruszają się i noga podskakuje; pomimo, że, jak to jasno widać, przepływ materji elektrycznej był ograniczony tylko do nerwu, a nawet do małej jego części, a mięśnie i stopa pozostawały poza nim... To samo dzieje się bez użycia owych naboj, zapomocą jedynie okładek i łuku przewodzącego... Jeśli obnażyć i odosobnić nerw udowy żaby, lub nerw lędźwiowy owcy i zaopatrzyć go, jak wyżej, w podwójną okładkę, jedną z cyny, drugą z mosiądzu, a jeszcze lepiej ze srebra, i połączyć je trzecim metalem, albo zbliżyć je tak do siebie, aby się zetknęły, powstają natychmiast wstrząśnienia w całym członku²⁾.

Kilka innych jeszcze doświadczeń potwierdza wynikający stąd wniosek, że „płyn elektryczny działa w pierwszym rzędzie na nerwy, przez które przepływa: przez to podrażnienie nerwów powstaje, jako zjawisko wtórne, ruch zależnych od nich mięśni“. Nastęrczający się zarzut, że obok pobudzania nerwów może się odbywać i bezpośrednie drażnienie mięśni, na co mogłoby wskazywać jego własne doświadczenie, w którym otrzymywał skurcze pokrajanych na kawałki mięśni, odpiera Volta nietylko uwaga: „czyż nerwy nie są rozgałęzione we wszystkich mięśniach? czyż mogą się one umknąć wstrząśnieniom elektrycznym?“, ale i bezpośrednim doświadczeniem nad mięśniami tak nadzwyczajnie ruchliwym, jak język; pomimo tej ruchliwości pozostaje on w zupełnym spoczynku, gdy drażnić go elektrycznością; dopiero przyłożenie jednej z okładek do nasady, t. j. tam gdzie się znajduje nerw ruchowy, wywołuje żywe, energiczne ruchy. Czyż więc elektryczność nie działa wcale na tę sieć nerwów, która pokrywa powierzchnię języka?

„W tych doświadczeniach³⁾ drażnione są przez płyn elektryczny nie nerwy ruchowe (w końcu języka i na całej jego powierzchni przedniej ich niema) lecz nerwy czucia; stąd powstaje w języku czucie smaku, a nie powstaje żaden ruch, żaden skurcz, choć język bardzo się do tego nadaje, ale następuje ono przez działanie innych nerwów, mających swe siedlisko w nasadzie języka... Dowiedziono więc, że działanie odpowiada zawsze drażnionemu nerwowi i jego przeznaczeniu naturalnemu“ — bardzo ważną zasadą psycho-fizyczna.

To samo przez się doniosłe odkrycie również pośrednio przyczy-

¹⁾ t. j. przez elektryczność.

²⁾ l. c. str. 53—55.

³⁾ l. c. str. 58.

niło się do posunięcia naprzód prac Volty; dostarczyło mu ono nowego narzędzia, nowego galwanoskopu naturalnego w postaci własnego języka. Posiada on przewagę nad dotychczas przez niego używanym udem żaby, nie tylko dlatego, że zawsze jest gotowy do użycia, ale głównie dlatego, że pozwala na określanie kierunku prądu.

„Niemniej godnym uwagi jest to ¹⁾, że jeśli doświadczenie odwrócić i umieścić monetę srebrną na końcu języka, a na jego środku cynę ²⁾, odczuwa się na końcu języka inny smak, już nie kwaśny, lecz raczej alkaliczny, ostry, zbliżony do gorzkiego”.

Dzięki subtelnemu smakowi i spostrzegawczości, Volta przebiegł następnie z tym niewyszukanym przyrządem najważniejsze stopnie, wiedące go do wynalezienia stosu. Na poczekaniu czyni doniosłą obserwację że „ów smak trwa przez cały czas, jak długo mianowicie cynk i srebro się stykają, a nawet staje się żywszym. To dowodzi, że przechodzenie materji elektrycznej z jednego miejsca na drugie odbywa się nieustannie”.

Wszystkie te i inne jeszcze, mniej ważne odkrycia, są właściwie przygotowaniem do rozwiązania pytania zasadniczego: gdzie znajduje się źródło elektryczności, której objawy z taką skrzętnością zostały zebrane? Najważniejszym krokiem w tym kierunku jest stanowczość z jaką Volta nalega na konieczność użycia okładek z metali niejednakowych; idzie już teraz tak daleko, że zestawia metale w trzy grupy takie, iż metale należące do grup blizkich dają działania słabsze, metale wzięte z grup krańcowych — znacznie silniejsze, a metale pochodzące z jednej i tej samej grupy — ledwo dostrzegalne.

Cała ta długa, 85 stron obejmująca rozprawa robi wrażenie rzeczy, pisanej w samym ogniu pracy twórczej. Jest przez to trochę chaotyczna, gdyż myśli niedość jeszcze przetrawione, pędzone gorączką tworzenia, nie zdołały jeszcze ułożyć się w konsekwentną całość; niektóre pomysły i obserwacje powtarzają się parokrotnie, doniosłe ustępy zawarte są w kilku wierszach, lub pomieszczone w przypiskach, a szczegóły mniej ważne zajmują całe strony. Ale już w następnej pracy, w dwóch listach pisanych do p. Cavallo, członka Królewskiego Towarzystwa Nauk w Londynie, a datowanych 13 września i 25 października 1792 r., właściwa Volcie jasność odzyskuje swe prawa. Listy te — to systematyczny, wzorowy w swej przejrzystości opis odkryć Gal-

¹⁾ l. c. str. 71.

²⁾ Przy pierwszym doświadczeniu Volta kładł na końcu języka pasek staliu, na środek monetę srebrną i doprowadzał te okładki do zetknięcia; odczuwał przytym smak kwaśny.

vani'ego i jego teorii, oraz tego, co sam autor dokonał na tym polu treść jego nie różni się wiele od treści poprzedniej rozprawy. Nowych, a ważnych faktów nie przynosi, poza decydującym doświadczeniem, wymierzonym wprost przeciwko teorii „butelki lejdejskiej”: połączenie dwóch analogicznych miejsc obu ud odpreparowanej żaby zapomocą łuku, złożonego z różnych metali, wywołuje w mięśniach wstrząśnienie.

Ale postęp jest widoczny w rozwoju myśli, we wzmożonej jasności i precyzji ujęcia, w pogłębieniu i skoordynowaniu pomysłów, wreszcie w pewności, z jaką przemawia. Poruszając się z zupełną swobodą w chaosie zjawisk, poraz pierwszy wypowiada Volta jasno i stanowczo swój własny pogląd.

Porównyując zjawisko, otrzymywane na żabie świeżo zabitej przy użyciu łuku z materiału rzekomo jednolitego, ze zjawiskiem, występującym przy łuku z dwóch różnych metali, pisze:

„Jest to zupełnie inna gra płynu elektrycznego¹⁾, o której można powiedzieć, że raczej narusza równowagę, niż że ją przywraca; gdyż płyn ten przepływa z części mięśnia lub nerwu zarówno wewnątrznie przez przewodzące włókna, jak i zewnątrznie przez przyłożone przewodniki metalowe, nie wskutek istniejącego niedoboru lub nadmiaru²⁾, lecz wskutek działania własnego tychże metali, o ile są one różne. W ten sposób odkryłem nowe prawo, które jest nietyle prawem elektryczności zwierzęcej, ile prawem elektryczności zwykłej; tej to należy przypisać większość objawów, które... zdawały się należeć do elektryczności zwierzęcej, co jednak nie jest; są to w istocie działania bardzo słabej elektryczności sztucznej, wzbudzonej w sposób, o którym nie miano pojęcia, przez proste przyłożenie dwóch okładek z różnych metali. Muszę tu zauważyć, że przy odkryciu tego nowego prawa, tej nieznaney dotąd elektryczności, odnosiłem się nieufnie do wszystkiego, co zdawało się dowodzić naturalnej elektryczności zwierzęcej we właściwym znaczeniu tego słowa, i że byłem gotów już zupełnie zarzucić to pojęcie. Ale, poddawszy starannej krytyce wszystkie zjawiska... znalazłem, że niektóre z nich wytrzymują krytykę i że istnieje naturalna, czysto organiczna elektryczność zwierzęca i nie może być całkiem zaprzeczona“.

Na razie więc staje Volta na stanowisku połowicznym, dopuszczającym istnienie niezależne dwóch różnych zgoła zjawisk.

1) l. c. str. 80.

2) W myśl teorii Franklina, która przyjmuje istnienie jednego tylko rodzaju elektryczności; w ciałach obojętnych jest ona zawarta w określonym stosunku; nadmiar jej odpowiada naelektryzowaniu dodatniemu, niedobór — ujemnemu.

List z d. 24 listopada do Aldini'ego, profesora uniwersytetu w Bolonji, siostrzeńca i zwolennika Galvani'ego, nosi charakter spokojnej i rzeczowej polemiki. Broni się w nim Volta przeciw zarzutowi, jakoby powtórzył tylko dawniejsze doświadczenie Sulzera, który w podobny, jak on sposób otrzymywał czucie smaku na języku; ale Sulzer, którego odosobniona obserwacja nie była zresztą znana Volcie, nie podejrzewał nawet, że ma do czynienia ze zjawiskiem natury elektrycznej. O sprawie źródła prądu mówi Volta w sposób podobnie połowiczny, jak w liście do p. Cavallo.

Następne 3 listy, pisane do profesora z Turynu Vassalli'ego, zostały pomieszczone w „Giornale Fisico-medico“ w latach 1794—5. W ciągu blisko dwuletniego okresu czasu, leżącego między pierwszym z nich, a listem do Aldini'ego, zdołał Volta ostatecznie ugruntować swoje pomysły, to też od pierwszych zaraz słów występuje energicznie przeciwko zwolennikom elektryczności zwierzęcej, zaprzeczając wprost istnieniu podobnego czynnika.

„...jestem od dłuższego czasu przekonany¹⁾, że całe działanie ma swe źródło pierwotne w metalach, stykających się z ciałami wilgotnymi lub z samą wodą, dzięki któremu to zetknięciu płyn elektryczny w ciałach wilgotnych lub wodnistych jest party naprzód przez owe metale, przez jeden mniej, przez drugi więcej; jeśli wówczas przyłożyć nieprzerwany dobry przewodnik, to płyn zostaje wprowadzony w obieg“.

W dalszym ciągu pierwszego listu gromadzi Volta dowody dla poparcia swego zdania. Przedewszystkim określa dokładniej zależność zjawiska od rodzaju użytych metali; zamiast wspomnianych w drugiej „Rozprawie“ trzech grup, ustawia przewodniki w szereg taki, że „te czucia i te ruchy są tym żywsze, im bardziej oba użyte metale są od siebie oddalone w przytoczonym porządku:

Cynk — cynfolja — zwykła cyna w płytach — ołów — żelazo — mosiądz i bronz o różnym składzie — miedź — platyna — złoto — srebro — rtęć — grafit.

„Na końcu można jeszcze dodać niektóre węgle drzewne, te mianowicie, które przewodzą prawie tak, jak metale, podczas gdy inne nadają się do tego źle, lub wcale się nie nadają“.

Jest to pierwszy przykład t. zw. szeregu napięć, który Volta później uzupełnił innymi metalami.

Jedynym motywem, który powstrzymywał dotąd Voltę od wyrzeczenia się zupełnego elektryczności zwierzęcej, był zauważony przez niego i innych badaczy fakt, że używając jako łuku, łączącego nerw z mięśniem,

¹⁾ l. c. str. 106.

drutu z jednego tylko metalu, lub biorąc okładki z tego samego metalu, mimo to otrzymuje się, wprawdzie niezawsze, wstrząśnienia w mięśniach. Z tej okoliczności korzystali Galvani i jego zwolennicy w polemice, skierowanej przeciwko Volcie; pomimo przekonywujących argumentów i znakomych doświadczeń, zwycięstwo jego nie byłoby zupełne, gdyby zaniedbał wyjaśnienia tego punktu. Już w liście do Aldini'ego powątpiewa Volta o ścisłości tej obserwacji, nazywając metale „pozornie jednakowemi“, teraz zaś rozwija szerzej swoją myśl: „Jakże można twierdzić¹⁾, że użyte metale są dokładnie i zupełnie jednakowe? Są one niemi z pozoru, nie z istoty; własności przypadkowe, jak twardość, miękkość i blask powierzchni, ciepło i t. d. mogą je uczynić wystarczająco różnemi pod względem działania elektrycznego“.

Taką zależność zauważono już dawniej przy badaniu wzbudzania elektryczności przez tarcie, więc i przy odkrytym przez Voltę wzbudzaniu można się jej spodziewać. Te trafne rozumowania popiera Volta szeregiem doświadczeń bezpośrednich.

„Wygiąłem gruby drut z żelaza sprężynowego i próbowałem, czy przez zanurzenie obu jego końców do dwóch szklanek z wodą, w których była zawieszona świeżo i dokładnie odpreparowana żaba, mianowicie w jednej tylnymi kończynami, a w drugiej grzbietem, uda mi się doprowadzić ją do skurczów i podskoków“. Prawie wszystkie użyte druty wywoływały na razie ruchy, jeden tylko nie działał od samego początku. „Zanurzałem jeden koniec tego łuku na jakąś minutę do wody wrzącej, wyjąłem go i nie dając mu czasu na ostygnięcie, powtórzyłem doświadczenie..., żaba skurczyła się i to dwa, trzy, cztery razy przy powtarzaniu doświadczenia, dopóki drut... nie ostygł i nie stał się w ten sposób niezdolnym do wzbudzania konwulsji w zwierzęciu. Następnie wyzarzyłem jeden z końców tego drutu i zmiękczyłem go w ten sposób, podczas gdy drugi koniec pozostał zahartowany, i oto znów odzyskał on własność wywoływania ruchów w żabie, nawet po ochłodnięciu...“.

Następują próby z innymi metalami, badania nad wpływem powierzchni — wszystkie uwieńczone pomyślnymi wynikami — oraz stwierdzenie faktu, że przy jednakowych możliwie pod każdym względem metalach drgania nie występowały prawie nigdy; wyjątki należy przypisać drobnym, niedostrzegalnym różnicom, a jeśli Galvani chce nadal twierdzić, że gra tu rolę elektryczność zwierzęca, to musi dowieść że „pod względem wspomnianych i innych, nie rozpoznanych jeszcze wła-

¹⁾ l. c. str. 109.

ściwości, nie zachodzi najmniejsza różnica, któraby mogła mieć wpływ,... żadna różnica, dostrzegalna, czy też niedostrzegalna". Gdyż:

„jeśli ta zasada¹⁾, czyli to działanie metali, które zostało odkryte i wyraźnie dowiedzione, wystarcza, to poco mamy się uciekać do innej jeszcze, domniemanej tylko zasady, mianowicie zakłóconej przez naturę równowagi płynu elektrycznego w organach zwierzęcych? Byłoby to pomnażaniem przyczyn dla działań tej samej natury. Pozostaniemy przy tym, co jest dowiedzione bezpośrednio i niewątpliwie i nie damy się uwieść domniemaniom i hipotezom, na pozór pięknym i kuszącym, które jednak stają się tymbardziej czczymi i zbytecznymi, gdy przekraczają poza to, co jest wyrazem prostego i jasnego doświadczenia“.

List drugi, napisany z nadzwyczaj przekonywującą logiką, nie przynosi nic zasadniczo nowego. W przypiskach załatwia się Volta ze swemi oponentami, Aldinim i jakimś anonimem, przytaczając jako dowody nietylko dawne swoje doświadczenia, ale i obmyślając nowe, jeszcze bardziej przekonywujące; między innymi podaje takie „experimentum crucis“:

„Na desce jest rozpięta odpreparowana żaba²⁾);... dwa paski srebra o jednakowych własnościach leżą, jeden pod kręgosłupem, drugi pod jednym udem; a pod drugim udem, na odpowiadającym tamtemu mięśniu, leży pasek cyny, lub lepiej cynku. Zapomocą dowolnego łuku metalicznego łączy się to oba paski srebrne, to jeden z nich, leżący pod udem, z paskiem cynowym, czy cynkowym, leżącym pod drugim udem“.

Teorja „butelki lejdejskiej“ wymagałaby, aby w pierwszym wypadku nastąpiło wstrząśnienie, w drugim nie; tymczasem dzieje są wprost przeciwnie, co wyraźnie przemawia na korzyść teorji Volty.

Ale i zwolennicy Galvani'ego nie zasypiali sprawy; otrzymali oni poważny atut do ręki przez odkrycie, dokonane przez d-ra Valli'ego, któremu udało się otrzymać skurcze w mięśniach żaby bez udziału przewodnika metalowego, co było warunkiem niezbędnym według teorji Volty. Valli preparował np. żabę tak, że obnażone nerwy udowe zwiślały, zaopatrzone najwyżej w kawałeczek kręgosłupa; przy zetknięciu się tego ostatniego, lub samego nerwu z obnażonym mięśniem udowym powstawał skurcz całej nogi. To doświadczenie zdołało, jak przyznaje Volta, nawrócić napowrót wielu uczonych, którzy już dali się przekonać o mylności hipotezy Galvani'ego; to też należało zająć się

1) l. c. str. 113.

2) l. c. str. 122.

tym zjawiskiem. Początkowo Volta próbował sprowadzić je do mechanicznego drażnienia nerwu, ale takie tłumaczenie nie było przekonujące, tymbardziej, że pomiędzy licznymi warjantami doświadczenia były i takie, w których nerw zanurzano w wodzie i połączenia dokonywano poprzez wodę, gdzie zatem nie mogło być mowy o pobudzeniu nerwu przez mechaniczne dotknięcie; tkwiło w tym więc coś zagadkowego.

Volta nie ufał nigdy przeczytanym opisom doświadczeń; wiedział on, że jedno i to samo zjawisko, opisane przez różne osoby, przedstawia się za każdym razem inaczej, zależnie od tego, czego każda w nim szuka; że po własnoręcznym przerobieniu rzecz przedstawia się zgoła inaczej, niż po przeczytaniu opisu niezawsze bezstronnego obserwatora. Dlatego powtarzał cudze doświadczenia, ale nie poprzestawał na tym tylko; analizował je, zmieniał, próbował wpływu to tych, to owych okoliczności, póki nie doszedł do wyników niewątpliwych. Tak też postąpił i tym razem, a rezultaty swych dociekań opisał w trzecim liście do Vassalli'ego. Stwierdziwszy słabość badanych objawów w porównaniu z temi, które otrzymywał przy użyciu metali niejednakowych, ustalił, jakie warunki są niezbędne do otrzymania zjawiska; są to dwa następujące:

„Po pierwsze ¹⁾: zabita, odarta i przygotowana żaba nie powinna być tak czysto wytarta, jakby była obmyta wodą; raczej powinna być zawalana krwią, lub pokryta innymi sokami, być mniej lub więcej lepka... W braku tego należy (jak to zauważa sam wspomniany autor) te części uda, nerwów i tułowiu, pomiędzy którymi ma nastąpić zetknięcie, posmarować śliną, wodą słoną, moczem, śluzem, lub rozmaitymi innymi sokami roślinnymi i t. d., a jeszcze lepiej mydłem rozpuszczonym w odrobinie wody, najlepiej jednak, gdy się je posmaruje zgęszczonymi cieczami kwaśnymi, lub alkalicznymi... Po drugie zetknięcie obnażonego nerwu udowego albo nagiego mięśnia tułowiu nie może być uczynione z każdą częścią stopy, lecz musi być dokonane ścięgnem, którym się kończy mięsień łydkowy”.

Innymi słowy, aby doświadczenie się udało, należy utworzyć obwód złożony z trzech różnych ciał: mięsień lub nerw | krew lub inna ciecz | ścięgno. Porównując to ze schematem używanego zwykle przez Voltę zestawienia: metal *A* | przewodnik wilgotny | metal *B*, widzimy, że i tu i tam użyte są trzy różne od siebie przewodniki, a różnica polega na tym, że mamy tu do czynienia z trzema przewodnikami wilgotnymi. Ta okoliczność skłoniła Voltę do rewizji swych poglą-

¹⁾ l. c. str. 153.

dów na rolę przewodników pierwszej i drugiej klasy. Z ostatnich jego listów widać, że uważał obecność metali za nieodzowną, obecnie jednak cofa to twierdzenie, przyznając się otwarcie do omyłki.

„Czyż przewodniki niemetaliczne, wilgotne, lub jakkolwiek wilgoć zawierające przewodniki drugiej klasy nie są również pobudźcami (ekscytatorami), tak jak metale, czyli przewodniki pierwszej klasy są nimi w porównaniu do przewodników drugiej klasy?”

Ta myśl nie była obca Volcie; wyraził ją już w roku 1792 w liście do przeora Tommaselli'ego:

„Nie przypuszczam jednak¹⁾, aby ta siła (wzbudzania ruchu elektryczności) była właściwa tylko metalom, ale i wszystkim innym przewodnikom; i jestem zdania, że proste zetknięcie przewodników o rozmaitej powierzchni, szczególnie jednak różnego rodzaju, wystarcza do naruszenia równowagi płynu elektrycznego i do poruszenia go, bez pomocy jakiegokolwiek tarcia; tarcie... może mieć wpływ tylko przez to, że mnoży punkty zetknięcia tych przewodników“.

Doświadczenia Valli'ego wykazały słuszność tego pierwotnego, później zapomnianego poglądu. Rozumowania Volty streszczają się w następującym zdaniu:

„Nasza zasada, że przy każdym zetknięciu niejednakowych przewodników powstaje działanie, które wprawia płyn elektryczny w silniejszy lub słabszy ruch, staje się teraz szerszą, ogólniejszą; tak, że jeśli tylko obwód przewodzący składa się z trzech jakichkolwiek przewodników, aby tylko były różne od siebie, zawsze powstaje średni, słaby, lub najslabszy obieg tego płynu“.

Uogólnienie to jest nieco za obszerne — każe przypuszczać, że zestawienie trzech przewodników pierwszej klasy również mogłoby wzbudzić prąd; ale tego, zdaje się, Volta już wówczas nie przypuszczał, jak dowodzą inne ustępy tego samego listu, więc błąd, zawarty w przytoczonym zdaniu należałoby przypisać nieostrożnemu wyrażeniu się. Porównyując np. siłę działania różnych połączeń, wymienia tylko trzy ich rodzaje: 1) przewodnik pierwszej klasy pomiędzy dwoma różnymi drugiej klasy, 2) przewodnik drugiej klasy pomiędzy dwoma różnymi pierwszej klasy, 3) trzy różne przewodniki drugiej klasy; przytem dwum pierwszym typom przypisuje siłę działania znacznie większą od typu trzeciego. Przykładem ostatniego jest właśnie zjawisko, odkryte przez Valli'ego. Ten sam podział na trzy typy utrzymuje Volta w dalszych swoich pracach.

¹⁾ l. c. str. 149.

Należy w każdym razie zaznaczyć, że, porównyując wspomniane ustępy z przytoczonym powyżej wyjątkiem z listu do Tommaselli'ego oraz z innymi ustępami omawianego listu, łatwo dostrzec, że Volta nie zdawał sobie jasno sprawy z różnicy, zachodzącej pomiędzy naelektryzowaniem przez zetknięcie, t. j. jednorazowym przesunięciem „pływu elektrycznego“ z jednego ciała do drugiego, a prądem elektrycznym, czyli bezustannym tego płynu przepływem.

W r. 1796 ogłasza Volta trzy listy nadzwyczaj ważne do prof. Grena z Halli. W pierwszym z nich autor rozpatruje szeroko i systematycznie różne sposoby, w jakie można ustawić w szereg kilka przewodników pierwszej i drugiej klasy; przedsiębrane doświadczenia wykazują zupełną zgodność z teorią Volty; o ile porządek przewodników jest taki, że każdemu zetknięciu metalu z cieczą przeciwdziała drugie zetknięcie tych samych ciał, ustawionych w porządku odwrotnym, nie można zauważyć żadnych objawów; jeśli taka symetria nie jest zachowana i suma działań skierowanych w jedną stronę przeważa sumę pobudzeń działających przeciwnie, występują wyraźne objawy: ruchy mięśni, czucie smaku na języku, wrażenie światła w oku. To też nie można otrzymać obiegu elektryczności, używając do tego dwóch tylko przewodników, gdyż działanie jednej powierzchni zetknięcia niweczy działanie drugiej; zatem do otrzymania prądu potrzebne są conajmniej trzy różniące się od siebie przewodniki.

Te bardzo obszerne wywody wskazują, jak opanował Volta swoją teorię, jak drobiazgowo starał się wniknąć w jej szczegóły; każde nowe zjawisko układa mu się odrazu w schemat, który należy tylko porównać ze zbadanymi już, najprostszymi zjawiskami, aby je móc najdokładniej wyjaśnić. Te najprostsze zjawiska—to wspomniane już trzy typy zestawień przewodników pierwszej i drugiej klasy. Obszerniej zajmuje się teraz Volta drugim typem, t. j. metalem, umieszczonym pomiędzy dwiema cieczami, i przytacza dużą ilość odpowiednich doświadczeń; tak np. każe zanurzyć zabita żabę do dwóch szklanek, z których jedna jest napełniona wodą, a druga roztworem kwasu, ługu, soli i t. p.; zanurzając dwa końce drutu jednorodnego do obu szklanek jednocześnie, można wywołać skurcz mięśni żaby; wystarczy nawet do obu szklanek nalać wody, a jeden z końców drutu zwilżyć stężoną cieczą. Modyfikując tę metodę, Volta zestawia szereg tak konsekwentnie obmyślanych doświadczeń, że zawarty w nich dowód słuszności zapatrywań Volty nie da się niczym obalić.

Pomyślny wynik, jaki osiągnął przy próbie uszeregowania metali tak, aby w zetknięciu z cieczami dawały prądy tym silniejsze, im dalej od siebie są umieszczone w szeregu, skłonił ruchliwy umysł Volty do

pokuszenia się o ułożenie podobnego szeregu napięć dla przewodników drugiej klasy; zszeregował wprawdzie przeszło 20 rozmaitych cieczy w sposób, który miał być słuszny dla znacznej liczby metali, lecz sam przyznaje, że spotkał się ze znacznymi wyjątkami, tak że należałoby dla każdego metalu ułożyć szereg oddzielny. Przy tych badaniach uważał Volta, że najsilniejsze działanie przy użyciu jednego metalu dają cyna i cynk, niemniej silne—żelazo, najslabsze—srebro. W innym miejscu czyni uwagę, że srebro najmniej cierpi przy tych doświadczeniach, podczas gdy inne metale, żelazo w szczególności, ulegają powierzchownym wprawdzie, ale znacznym zmianom. Z zestawienia tych dwóch faktów nie wyciąga jednak Volta żadnych wniosków.

W drugim liście do Greny stara się Volta rozstrzygnąć pytanie ogromnego znaczenia: która z powierzchni zetknięcia w kombinacji „dwa metale, jedna ciecz”, daje elektryczności właściwy impuls, powodujący powstanie prądu: czy zetknięcie metalu z cieczą, czy też dwóch różnych metali ze sobą? Dotychczas stanowisko Volty było chwiejne; z różnych ustępów jego pism widać, że skłaniał się to ku jednej, to ku drugiej hipotezie; doświadczenia z obwodami o jednym metalu, lub bez metalu silnie skłoniły go ku pierwszej z nich, lecz nagle, uderzony nowym, odkrytym przez siebie zjawiskiem elektryzowania metali przez zetknięcie, porzucił ją na korzyść drugiej; hipoteza ta, t. zw. teoria kontaktowa ogniwa elektrycznego, dziś może być uważana za obaloną, ale wiek prawie trwała walka, która się około niej toczyła; niemało wysiłków kosztowało usunięcie błędu, w jaki popadł Volta. Początkowo zajmuje on, podobnie jak to czynił w kwestji elektryczności zwierzęcej, stanowisko połowiczne.

„Nie można w istocie zaprzeczyć¹⁾, aby przez zetknięcie metali z przewodnikami wilgotnemi, nie powstawało to słabsze, to silniejsze działanie, jak tego dowodzą doświadczenia opowiedziane w poprzednich §§... Mimo to przekonały mnie nowe, niedawno odkryte fakty, że przy zwykłym sposobie urządzania doświadczeń galwanicznych²⁾... otrzymane działanie należy zapisać w znacznie większej części na rachunek wzajemnego zetknięcia metali ze sobą, niż ich obustronnego zetknięcia z przewodnikami ciekłemi“.

„Przy wzajemnym zetknięciu się np. srebra z cyną, powstaje za tym działanie, siła, dzięki której pierwsze oddaje elektryczność, a dru-

¹⁾ Ostwald's Klassiker. № 118, str. 35.

²⁾ Volta pierwszy ochrzcil „galwanizmem“ cały obszar nowo odkrytych zjawisk, jeden z dowodów, że, choć występował przeciw teorjom Galvani'ego, potrafił cenić jego zasługi naukowe.

ga ją przyjmuje, czyli że pierwsze przelewa ją do drugiej. To działanie wytwarza, gdy pozatym obwód jest uzupełniony przewodnikami wilgotnymi¹⁾, prąd, ciągłe krążenie tego płynu, który... przechodzi od srebra do cyny, stąd poprzez przewodnik, czy przewodniki wilgotne napowrót do srebra, aby, płynąc znowu do cyny i t. d., powtórzyć tę samą igraszkę. Jeśli obwód nie jest uzupełniony (łańcuch nie zamknięty), powstaje w cynie, gdy oba metale są odosobnione, nagromadzenie rzeczonoego płynu na koszt srebra, czyli elektryczność dodatnia, albo plus w pierwszej, ujemna, albo minus w drugim: elektryczność, którą, choć bardzo drobna i znacznie poniżej tego stopnia, który byłby potrzebny do rozpoznania zapomocą wskazania zwykłego elektrometru, udało mi się wreszcie i to lepiej niż oczekiwałem, wykazać a nawet wzmocnić aż do otrzymania iskry zapomocą mojego kondensatora, a jeszcze lepiej zapomocą duplikatora p. Nicholsona“....

Przyrząd ten, rodzaj kondensatora złożonego z 3 płyt, posiada tę dogodność, że kolejnych połączeń, potrzebnych do wzmocnienia naboju, dokonywa się zapomocą obrotu korby; liczba obrotów, potrzebnych do osiągnięcia ładunku dostrzegalnego, służyła Volcie za miarę wielkości ładunku. Doświadczenia polegały na tym, że dwie płyty z różnych metali, opatrzone w rączki odosabniające zostały doprowadzone do dokładnego zetknięcia, a następnie rozerwane; gdy je poddawano potym badaniu zapomocą duplikatora, wykazywały naboje elektryczne: jedna dodatni, druga ujemny, zgodnie z przewidywaniami Volty. Te doświadczenia, wykonane z podziwienią godną sumiennością i ostrożnością, są w gruncie rzeczy doświadczeniami elektrostatycznymi i nie powinny by były odgrywać decydującej roli przy rozstrzygnięciu pytania, dotyczącego połączonego z wydatkowaniem energii prądu elektryczności; ale Volta, który i tak nie zdawał sobie jeszcze jasno sprawy z różnicy między temi dwoma zjawiskami, dał się porwać otrzymanym przez siebie wynikom, przewyższającym własne jego oczekiwania, a niekępowały nieznanym wówczas pojęciem energii, uznał zetknięcie dwóch różnych metali za istotne źródło prądu, dając tym wyraz oddawna kiełkującej w jego umyśle, lecz dotąd przygłuszanej idei. W świetle dzisiejszej nauki wniosek Volty wydaje się błędnym, ale do popelnienia tej omyłki dopomógł mu szereg okoliczności. Volta, mówi o nim Ostwald, stwierdzał tylko to, co mu doświadczenia bezpośrednio dawały. W tych ostatnich tkwiły więc okoliczności w błąd wprowadzające.

¹⁾ Volta uważa więc ciała drugiej klasy jedynie za przewodniki, metale zaś za przewodniki i ekscytatory jednocześnie.

Taką np. była zgodność w „szeregu napięć“, znalezionym drogą elektrostatyczną, zapomocą zetknięcia i badania duplikatorem i drogą galwaniczną, zapomocą prądów wzbudzanych przez zetknięcie z ciałami płynnymi. Ten fakt, do dziś dnia należy nie wyjaśniony, tak jest zgodny z zapatrywaniami Volty, że ten wspomina o nim, jak o rzeczy zrozumiałej samej przez się; niestrudzony zazwyczaj w przytaczaniu najdrobniejszych faktów, popierających jego teorię, nie zadaje sobie trudu szczegółowego dowiedzenia swego twierdzenia i zbywa czytelnika uwagą ogólnikową.

Druga okoliczność, to słabe bardzo działanie, jakie zauważył przy zetknięciu metali z przewodnikami drugiej klasy; do doświadczeń używał ciał porowatych, takich jak papier, skóra, drzewo, zwilżonych o tyle, aby stały się dobrymi przewodnikami, nie o tyle jednak, żeby zwilżały zetknięty z nimi metal, gdyż, jak rozumuje słusznie Volta, „gdy w ostatnim przypadku przy odrywaniu płyty od przewodnika wilgotnego pozostaje na niej warstwa, lub powłoka wodna, nie metal odrywa się od przewodnika wodnistej, lecz woda od innej wody, jeden przewodnik jednolity od drugiego“. Ale czyż było dokładne zetknięcie metalu z płynem, jeśli nie nastąpiło zwilżenie? Przytym metal styka się nietylko z cieczą, ale i z samym ciałem porowatym, które osuszone, elektryzuje wyraźnie zetknięte z nim metale. Te doświadczenia Volty kryły w sobie zatym znaczne źródła błędów; wogóle na drodze wskazanej przez niego, sprawy elektryzowania przy zetknięciu metalu z cieczą rozstrzygnąć się nie dało i dopiero użycie elektrometrów włoskowatych, opartych na odkrytej przez Lippmanna zależności napięcia powierzchniowego rtęci od naelektryzowania, dało odpowiedź na to pytanie, odpowiedź odmienną od tej, do jakiej doszedł Volta. Ostatni znalazł wprawdzie pewne działanie, ale tak drobne, że nie dawało się porównać z działaniem zetknięcia metalicznego. Wspomina także, iż istnieją wyjątki, jak tego dowodzi istnienie obwodów o jednym metalu, ale nie umiając tych obserwacji, przemawiających przeciw bezwzględnemu stosowaniu jego teorii, włączyć do systemu własnych poglądów, nie uwzględnił ich wcale i w dalszych wywodach pomija milczeniem.

Doświadczenia z metalami doprowadziły Voltę do ciekawych wyników. Zdaje on sobie jasno sprawę z podwójnego procesu, który zachodzi przy zetknięciu dwóch płyt równoległych: wzbudzania przejścia elektryczności w punktach zetknięcia, oraz działania kondensatora, w którym rolę izolatora odgrywa cienka warstwa powietrza, zawarta pomiędzy płytami, zastępowanymi okładki. Słuszności tego poglądu dowodzi Volta, zaopatrując jedną z płyt w trzy śrubki z tego samego metalu; na ich ostrzach spoczywa druga płyta; zmieniając zapomocą śrubek

odległość płyt, Volta stwierdził zależność wielkości naboju po rozłączeniu od grubości warstwy powietrza, przy nieziennej powierzchni zetknięcia. Następnie stykając płyty brzegami, trzymając je ukośnie, Volta zwiększył znacznie tę powierzchnię i jednocześnie zmniejszył działanie kondensujące; otrzymał w rezultacie nabój mniejszy niż poprzednio; stąd wyprowadził wniosek, że działanie zetknięcia metali na elektryczność jest niezależne od wielkości stykających się powierzchni, wniosek, zgodny z naszymi poglądami, ale wyprowadzony drogą raczej szczęśliwej intuicji, niż przekonującej logiki, gdyż wspomniane doświadczenie zbyt jest niedokładne, aby mogło pozwolić na wypowiedzenie twierdzenia tak kategorycznego.

Trzeci list do Greny zawiera powtórzenie powyższych doświadczeń, wykonanych bez pomocy duplikatora, jedynie przy pomocy kondensatora, butelki lejdejskiej i czułego elektroskopu; były one najeżone trudnościami doświadczalnymi, które gienjusz Volty szczęśliwie potrafił omijać. Na uwagę zasługują pierwsze uświadczenia ilościowego porównania ze sobą działania różnych kombinacji metali, dające jeszcze jedno świadectwo niewyczerpanej pomysłowości Volty.

Dotąd mogliśmy śledzić niemal krok za krokiem bieg myśli Volty, który z żelazną wytrwałością i konsekwencją rozwijał i uzupełniał swoje teorie. Po listach do Greny następuje trzyletni okres milczenia, poczym, jak świetny meteor, zjawia się nagle na horyzoncie naukowym wiekopomne odkrycie, jedna z najświetniejszych zdobyczy naukowych — stos Volty. Nie kusząc się o zobrazowanie tego odkrycia, przytaczam w tłumaczeniu początek historycznego listu do Sir Joseph'a Banks'a, prezydenta Królewskiego Towarzystwa Nauk w Londynie, zawierający nieporównany w swej prostocie i wdzięku opis.

Como 20 marca 1800¹⁾.

„Po dłuższym milczeniu, którego nie będę się starał uniewinniać, mam przyjemność udzielenia Wam, a przez Was Towarzystwu Królewskiemu, wiadomości o uderzających wynikach, do jakich doszedłem, rozwijając moje doświadczenia nad elektrycznością, wywołaną przez proste zetknięcie wzajemne metali różnego rodzaju, lub nawet innych przewodników, także różnych od siebie, czy to płynnych, czy też zawierających tylko jakąś wilgoć, której zawdzięczają właściwe swe przewodnictwo. Najistotniejszym z tych wyników, obejmującym niemal wszystkie inne, jest sporządzenie przyrządu, który przez swe działanie, t. j. przez uderzenia, jakie wywołuje w rękach i t. d. podobny jest do butelki lejdejskiej, lub raczej do słabo nabitej baterji elektrycznej, któ-

¹⁾ l. c. str. 76 i dalsze.

ra działa jednak nieustannie, albo której nabój odnawia się sam przez się po każdym wybuchu; który, innemi słowy, posiada nabój niewyczerpany, trwałe działanie na płyn elektryczny, popęd (impulsion); który jednak pozatym różni się od niej całkowicie, zarówno przez owo właściwe mu działanie trwałe, jak i przez to, że zamiast składać się, jak zwykle butelki i baterje elektryczne, z jednej lub kilku płyt odosabniających lub cienkich warstw tychże ciał, uważanych jako jedynie elektryczne, obłożonych przewodnikami, czyli ciałami anelektrycznymi, odwrotnie, zbudowany jest wyłącznie z kilku tych ostatnich ciał, które wybrano zpośród najlepszych przewodników, które więc, według wierzeń powszechnych, są najbardziej oddalone od natury elektrycznej¹⁾. Tak, aparat o którym mówię i który Was niewątpliwie wprowadzi w zdumienie, nie jest niczym więcej, jak tylko zestawieniem pewnej liczby przewodników różnego rodzaju, które następują po sobie w sposób określony. Trzydzieści, czterdzieści, sześćdziesiąt lub więcej kawałków miedzi, lub lepiej srebra, z których każdy położony jest na kawałku cyny, lub, znacznie lepiej, cynku i równa liczba warstw wody, lub innej jakiej cieczy, przewodzącej lepiej, niż woda zwykła, jak woda osolona, ług i t. d., lub kawałki tektury, skóry i t. p. dobrze przepojone temi cieczami, te kawałki włączone pomiędzy każdą parę, czyli pomiędzy każde połączenie dwóch różnych metali: tego rodzaju następczość stale w tym samym porządku trzech rodzajów przewodników, oto wszystko, z czego składa się mój nowy przyrząd, który, jak powiedziałem, naśladuje działanie butelek i baterji elektrycznych, dając te same co one wstrząśnienia, przyczym, co prawda, działanie jego pod względem siły i hałaśliwości wybuchów, iskry, odległości iskrowej i t. d., jest znacznie słabsze niż działanie baterji silnie nabitych, podobny jest zaledwie do baterji słabo nabitej, posiadającej natomiast pojemność nadzwyczajną, prześciga jednak nieskończenie siłę i zdolność tych baterji tym, że nie wymaga nabicia uprzedniego elektrycznością obcą, i że jest w stanie dać uderzenia za każdym razem, gdy go się dotknie odpowiednio, chociażby te dotknięcia powtarzały się jaknajczęściej“.

„Przyrząd ten, który, jak to wykaże, zarówno pod względem swej istoty, jakoteż, tak jak go zbudowałem, i kształtu, jest o wiele podobniejszy do naturalnego organu elektrycznego węgorza, raji elektrycznej i t. d., niż do butelki lejdejskiej i znanych baterji elektrycznych,

¹⁾ W owych czasach przypuszczano, że tylko izolatory dają się elektryzować, nazywano więc je po prostu ciałami elektrycznymi; przewodnikom zaś, nie wykazującym, jak mniemano, ładunku po potarciu, odmawiano własności elektrycznych i nazywano je ciałami anelektrycznymi.

nazwałbym sztucznym organem elektrycznym. I czyż nie jest on istotnie, jak tamten, złożony wyłącznie z materji przewodzących? czyż nie jest nadto czynnym sam z siebie, bez uprzedniego nabicia?“....

Dalej idzie opis przyrządu w powszechnie dziś znanych kształtach, a więc 1^o t. zw. stos suchy, złożony z krążków miedzianych lub srebrnych i cynkowych oraz z krążków papierowych, nasiąkniętych wodą zwykłą, osoloną, lub ługiem, 2^o bateria ogniw cynkowo-miedziowych z temi samemi płynami; Volta nazywa ją „koroną kubków“ (couronne des tasses). Zgodnie ze swą teorią, umiejscawiającą działanie ogniwa na powierzchni zetknięcia dwóch metali, mówi Volta wciąż o „parach“ metali (couple), przedzielanych od siebie przewodnikami ciekłemi; rola tych ostatnich ogranicza się według niego do przewodzenia elektryczności, wzbudzonej przez metale, więc wszystkie czynniki, zwiększające przewodnictwo użytej cieczy — a przewodnictwo to jest znacznie mniejsze niż w metalach — przyczyniają się do wzmocnienia potęgi przyrządu; więc dodanie do wody ługu lub soli, podniesienie temperatury, ściśle przyleganie i duża powierzchnia zetknięcia z płytą metalową.

Drugi sposób wzmocnienia jego działania to zwiększenie liczby „par“. W tej uwadze mieści się właściwie całe jądro odkrycia; Volta znalazł po długich poszukiwaniach, że łącząc „pary“ (mybyśmy powiedzieli: ogniwa) we wskazany przez niego sposób (językiem dzisiaj: w szereg), można sumować napięcia, wytworzone przez oddzielne elementy i tym odkryciem stworzył podstawę nie tylko dla rozwoju nauki o prądach elektrycznych, ale i do ich zastosowań praktycznych. Volta ilustruje to niezmiernie ważne spostrzeżenie doświadczeniem następującym:

„Ustawić ¹⁾ trzykroć po dwadzieścia filiżanek lub kubków i połączyć w łańcuch łukami metalowemi, lecz w ten sposób, żeby w pierwszych dwudziestu łuki były zwrócone w tę samą stronę, np. ramiona ze srebrem na lewo, z cynkiem na prawo; ale w drugich dwudziestu w kierunku odwrotnym, t. j. cynk na lewo, srebro na prawo; wreszcie w ostatnich dwudziestu srebro znów na lewo, jak na początku. Po takim ustawieniu zanurzyć palce do pierwszego kubka i dotknijcie trzymaną w drugiej ręce płytką pierwszego łuku metalowego (tego który łączy pierwszy kubek z drugim), następnie drugiego łuku pomiędzy drugim i trzecim kubkiem, i potem po kolei następnych aż do ostatniego. Jeśli woda jest dobrze osolona i ciepła, a skóra ręki dobrze zmoczona i zmiękczona, poczujecie małe wstrząśnienia w palcach już po

¹⁾ l. c. str. 84.

dojściu do czwartego lub piątego, a przy przechodzeniu po porządku do szóstego, siódmego i t. d. uderzenia stopniowo wzmagają się aż do dwudziestego łuku, t. j. do ostatniego, zwróconego w tę samą stronę; jeśli jednak przejdziecie do 21, 22, 23, pierwszego, drugiego, trzeciego drugiej dwudziestki, to uderzenia będą za każdym krokiem słabsze i to tak, że przy 36 lub 37 stają się niedostrzegalne, i zupełnie zanikają przy 40; gdy ten przekroczyć (i zacząć trzecią dwudziestkę, skierowaną odwrotnie do drugiej, lecz analogicznie z pierwszą), uderzenia będą niedostrzegalne aż do 44 lub 45; odtąd będą dostrzegalnymi i będą się wzmagaly stopniowo, posuwając się do 60, przy którym staną się tak silnymi, jak przy 20 łuku. Gdyby dwadzieścia środkowych łuków obrócić w tym samym kierunku, co dwadzieścia poprzedzających i dwadzieścia następnych, gdyby więc wszystkich 60 współdziałało przy pędzeniu płynu elektrycznego w tym samym kierunku, to zrozumiałe, o ile działanie byłoby w końcu większe, a wstrząśnienie silniejsze⁴.

Mówiąc o sile działania przyrządu, Volta uwzględnia oba decydujące czynniki: pędzącą elektryczność siłę zetknięcia metali, którą w jednym z dalszych listów nazywa wprost napięciem, oraz opór, zależny od natury przewodników, ich długości i przekroju; posiada więc świadomość tych zależności, które stanowią treść prawa Ohma; brak mu tylko ścisłych ilościowych pojęć. Jak dokładnie zdaje sobie Volta sprawę z zachodzących zjawisk, dowodzi następujący ustęp:

„Gdy łańcuch¹⁾, albo korona kubków jest dość długa i w stanie dać silne uderzenie, to odczuje się je nawet, coprawda o wiele słabsze, jeśli zanurzyć obie ręce do jednego tylko dość dużego naczynia z wodą, w którym kończą się pierwszy i ostatni łuk metalowy, o ile tylko jedna lub druga z zanurzonych rąk, lub lepiej obie, dotykają tych łuków, lub są blisko nich; odczuje się, powiadam, uderzenie, skoro tylko (po przerwaniu w jakikolwiek sposób łańcucha) wznowi się połączenie i zamknie obwód w którykolwiek ze wspomnianych sposobów. Można by się zadziwić, że w tym obwodzie prąd elektryczny, chociaż ma przejście swobodne przez nieprzerwaną masę wody, mianowicie przez wodę w naczyniu, opuszcza ten dobry przewodnik, aby przejść przez ciało osoby, która zanurzyła do wody ręce i w ten sposób nakłada drogi. Ale to zdziwienie ustąpi, jeśli rozważyć, że żyjące i ciepłe materje zwierzęce, a szczególnie jej wilgocie są wogóle przewodnikami lepszymi, niż woda. Więc ciało osoby, która włożyła ręce w wodę, daje prądowi elektrycznemu przejście łatwiejsze, i ten musi je obrać, pomimo że jest dłuższe. Ponieważ zresztą płyn elektryczny, gdy ma prze-

¹⁾ l. c. str. 85.

niknąć przewodniki niedoskonałe w większych ilościach, w szczególności przewodniki wilgotne, lubi się rozlać szerszym kanałem, lub rozdzielić się na kilka części a nawet obejść dłuższą drogą, jeśli znajdzie tam opór mniejszy, niż gdyby poszedł drogą najkrótszą,—więc i w naszym wypadku tylko część prądu elektrycznego obiera sobie drogę przez osobę i oddala się od wody, druga część, większa lub mniejsza, przechodzi przez wodę w naczyniu“.

To trochę rozwlekłe rozumowanie, wyrażone właściwym Volcie stylem wielosłownym, można uważać za przeczcucie drugiego prawa Kirchhoff'a dla prądów rozgałęzionych.

Jedną jeszcze ważną uwagę czyni Volta w tym liście: oto, opisując swą „koronę kubków“, wspomina, że połączenia pomiędzy płytkami miedzi i cynku nie koniecznie muszą być z jednego z tych metali; można do tego użyć innego, różnego od tamtych, gdyż „działanie na płyn elektryczny¹⁾, pochodzące od wszystkich zetknięć kilku bezpośrednio po sobie następujących metali,... jest bezwzględnie, albo prawie takie same, jakiego by doznawał od zetknięcia bezpośredniego pierwszego metalu z ostatnim, bez żadnego metalu pośredniego, jak to sprawdziłem bezpośrednimi doświadczeniami“.

Tu wypowiada Volta prawdę fundamentalną, wieńczącą wspaniałe jego badania nad kontaktem metali—odkrywa t. zw. prawo szeregu Volty. Ponownie zajmuje się tą niezmiernie doniosłą kwestją w wykładzie w „Institut de France“, wygłoszonym wobec konsula Bonaparte'go i najwybitniejszych sił naukowych Francji ówczesnej, oraz w poprzedzającym ten wykład liście do p. de Lamétherie.

Powraca w nim Volta do pomiarów elektryzowania metali za pomocą kondensatora i elektroskopu; sprawdza tym sposobem ideę podstawową stosu: możliwość sumowania napięć elektrycznych, a następnie wypowiada w słowach następujących prawo szeregu:

„Nawet przez uwarstwienie trzech różnych metali i więcej²⁾, nie da się, bez przewodników wilgotnych, spowodować wzmocnienia elektryczności, gdyż siły, z jakimi przewodniki pierwszej klasy pędzą ją przy wzajemnym zetknięciu z jednego do drugiego, stoją w stosunku określonym. Znaczy to: założmy, że srebro pędzi płyn elektryczny do miedzi z siłą 1, miedź do żelaza z siłą 2, żelazo do cyny z siłą 3, ta do ołowiu z siłą 1, wreszcie ołów do cynku z siłą 5, to srebro pędzi elektryczność do cynku, z którym się styka bezpośrednio, z siłą 12, miedź—do cyny z siłą 5, a żelazo do cynku z siłą 9 i t. d. Więc

¹⁾ s. l. str. 82.

²⁾ Cytowane według: Ostwald. Elektrochemie. Lipsk, 1896.

siła, czyli impuls, z jakim dwa metale działają na płyn elektryczny, równy jest sumie sił metali, stojących pomiędzy nimi...“

Te pomiary Volty były grube, niedokładne, zbyt niedokładne, aby na nich oprzeć dowód prawa tak doniosłego; bardziej przekonującego dowodu dostarczył Volta już poprzednio — w liście do Banksa, stwierdzając niezależność napięcia ogniwa od obecności trzeciego metalu, włączonego pomiędzy płyty wzbudzające; a mimo to wówczas wyraził się z rezerwą, teraz zaś występuje z zupełną pewnością siebie. To dowód, że kierowała nim nietylko żelazna logika faktów, ale i to, właściwe gienjuszom, intuicyjne przeczucie praw natury, pozwalające dojść do celu szybciej i pewniej, niż przy pomocy ścisłych, mozolnych badań. Volta uwierzył w swoje prawo, zanim zdołał bezspornie go dowieść. Ale nie trzeba zapominać, że takie instynktowne znajdowanie drogi właściwej dostępne jest tylko tym, co przedmiot swych badań tak gruntownie poznali i opanowali, że nie przedstawia on już dla nich żadnych tajemnic.

„Ten ładny stosunek, to stopniowanie prawidłowe sił elektrycznych w metalach i wogóle w przewodnikach pierwszej klasy... pozbawia nas możliwości zbudowania przyrządu elektrycznego z samych tylko metali, który napewno byłby nieskończenie dogodniejszy i trwalszy. Ale nie należy z tego powodu uznawać za niemożliwe wynalezienie innego elektromotoru, złożonego z samych ciał stałych. Na to wystarczyłoby wykrycie przewodnika stałego bez wszelkiej siły bodźczej (lub któryby ją posiadał w stosunku zupełnie różnym), któryby można włożyć zamiast przewodnika wilgotnego pomiędzy parę metali—odkrycie, wydające mi się trudnym, ale nie całkiem niemożliwym“.

Na szczęście przewodniki ciekłe nie wykazują tej regularności, nie stosują się do prawa szeregu, co właśnie umożliwia sumowanie sił oddzielnych par metali i zbudowanie „przyrządu elektrycznego“. To określa w sposób dobitny rolę, jaką Volta przypisywał przewodnikom ciekłym w ogniwie galwanicznym.

Dziwnym musi się wydawać, że tak świetny obserwator, jak Volta, mówiąc szeroko o rozmaitych działaniach swego aparatu, nie wspomina ani słowem o zjawiskach chemicznych, np. elektrolizie, którą można otrzymać za pomocą prądu, a którego dokonali dwaj badacze angielscy Carlisle i Nicholson; mówi wprawdzie, że sam dostrzegł to zjawisko, z entuzjazmem prawi o dziwach, jakie zdolen jest sprawić jego przyrząd, ale zupełnie nie uwzględnia tego faktu w dalszych swoich rozważaniach; nie mieścił się w jego teorii, musiał go więc uważać za równie mało mający wspólnego z właściwym zjawiskiem galwanicznym, jak np. drażnienie nerwu, lub trzask iskry.

Teoria Volty prowadziła go wprost, jakeśmy to widzieli, do uznania możliwości istnienia perpetuum mobile elektrycznego; jest to zresztą konsekwencja jego teorii, nie szukającej żadnej rekompensaty nawet za zjawiska tak dobitne, jak iskra elektryczna. Volcie brakło niejasnego choćby przecucia zasady energii, przecucia nie obcego innym badaczom ówczesnym, których też zrażała do teorii „kontaktu“ ta jej strona; pociągnięci mnożącemi się wciąż dowodami ścisłego związku pomiędzy zjawiskami elektrycznymi i chemicznymi w przewodnikach ciekłych, wypowiedzieli wojnę teorii Volty, przeciwstawiając jej inną — teorię chemiczną ogniwa elektrycznego; wojny tej dziś nawet nie można uważać za zupełnie rozegraną, pomimo świetnych tryumfów teorii chemicznej, a raczej elektrochemicznej. Volta brał czynny udział w początkach tej walki, ale argumenty jego nie dodają już nic zasadniczo nowego do jego dorobku; jego praca twórcza nad zjawiskami galwanizmu została uwieczniona i zamknięta dwoma świetnymi czynami naukowymi: zbudowaniem stosu i odkryciem prawa szeregu.

Spoglądając na całość badań Volty nad galwanizmem, trudno się oprzeć zdumieniu wobec ogromu pracy twórczej, wykonanej przez jednego człowieka i to w tak krótkim czasie. Sam jeden, posługując się przeważnie przyrządami najprymitywniejszemi, wiedziony jedynie gienjuszem, wspierany bystrą spostrzegawczością, ześrodkowując całą energję myślenia na tym jednym punkcie, w ciągu lat dziewięciu przekształca do niepoznania skromne zrazu odkrycie Galvani'ego; oczyszcza je z chwastów fałszywych teorii, analizuje, rozwija, odrzuca zbyteczny balast, opracowuje szczegóły, prostuje błędy, buduje teorie, jednym słowem stwarza osobistym wysiłkiem nową gałąź wiedzy i kładzie trwałe podstawy dla potężnego gmachu współczesnej nauki o elektryczności.

Dr. W. Werner.