

Prócz teorii Lorentza, najbardziej opracowanej w rozlicznych szczegółach, posiadamy inne jeszcze teorie metali, różniące się od niej, w wielu względach nawet istotnych<sup>1)</sup>. Wszystkim tym teoriom jest jednak wspólna zasada ekwipartycji. Nie ulega zatem wątpliwości, że w konsekwentnym rozwinięciu każdej z pomiędzy nich musielibyśmy też natrafić na trudność, o której była mowa przed chwilą.

<sup>1)</sup> J. J. Thomson, *Corpuscular Theory of Matter.*, str. 49.

<sup>2)</sup> P. Gruner, *Physik. Zeitsch. X*, str. 48, 1909.

## TREŚĆ.

### ROZDZIAŁ PIERWSZY.

| Metody mierzenia stałych optycznych metali. |                                                                                                       | Str. |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| § 1.                                        | Wstęp . . . . .                                                                                       | 353  |
| § 2.                                        | Pomiary elementów eliptyczności w widmie widzialnem . . . . .                                         | 357  |
| § 3.                                        | Pomiary elementów eliptyczności w widmie nadfioletowem i podczerwem . . . . .                         | 362  |
| § 4.                                        | Metody, oparte na pomiarach jednego tylko elementu eliptyczności, przy wielu kątach padania . . . . . | 363  |
| § 5.                                        | Pomiary absorbcyi, zdolności odbicia i zdolności emisji . . . . .                                     | 365  |
| § 6.                                        | Zwierciadła metalowe . . . . .                                                                        | 368  |

### ROZDZIAŁ DRUGI.

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Materyał liczbowy. . . . . | 371 |
|----------------------------|-----|

### ROZDZIAŁ TRZECI.

| Teoria elektromagnetyczna i elektronowa metali. |                                                                      |     |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----|
| § 1.                                            | Teoria Maxwella . . . . .                                            | 397 |
| § 2.                                            | Teoria Drudego . . . . .                                             | 402 |
| § 3.                                            | Teoria Lorentza . . . . .                                            | 405 |
| § 4.                                            | Porównanie teorii z doświadczeniem . . . . .                         | 414 |
| § 5.                                            | Stosunek teorii Lorentza do teorii promieniowania czarnego . . . . . | 419 |

NAPOLEON CYBULSKI.

## ELEKTRYCZNOŚĆ ZWIERZĘCA.

Prądy spoczynkowe i czynnościowe.

(Model prądów czynnościowych w mięśniach).

*L'électricité animale. Les courants de repos et d'action. (Un modèle des courants d'actions dans les muscles).*

Od stu przeszło lat sprawa elektryczności zwierzęcej zajmuje umysły uczonych. Mimo ogromnej liczby prac, a skutkiem tego i bardzo obszernej literatury w tej kwestyi, mimo wszelkich usiłowań badaczy, nie zdołano dotychczas faktów, obserwowanych na żywych tkankach, ująć w jedną całość i oprzeć na znanych prawach fizycznych. Pomijając badania samego Galvani'ego i rozmaitych uczonych z okresu pierwszego, którzy w rzeczywistości w swoich doświadczeniach nie mieli do czynienia z elektrycznością zwierzęcą w ścisłym słowa tego znaczeniu, lecz z prądami, powstającymi wskutek zetknięcia się metali z cieczami, lub wilgocią tkanek, jak tego zupełnie słusznie dowodził Volta, pierwsze dokładne spostrzeżenia nad elektrycznością samych tkanek były dokonane dopiero przez du Bois Reymonda.<sup>1)</sup> On bowiem pierwszy obmyślił metodę i zbudował o tyle czuły galwanometr, że rzeczywiście mógł obserwować prądy samych tkanek. Najważniejszą zasługą du Bois Reymonda było wynalezienie sposobu odprowadzania prądu elektrycznego od żywych elementów; on pierwszy zastosował do tego celu t. zw. elektrody niepolaryzujące się i tak je skonstruował, że przy zetknięciu się z tkankami nie wywierały one żadnego działania na tkanki, były względem nich zupełnie obojętne. Elektrody te, połączone ze sobą przez galwanometr, nie wykazywały żadnego prądu, również nie wykazywały żadnego prądu i wtedy, gdy się stykały ze sobą za pośrednictwem symetrycznych miejsc ja-

<sup>1)</sup> Untersuchungen über thierische Elektrizität. T. 1 i 2. Berlin 1848, 1849.

kiejś tkanki. Jeżeli więc przy połączeniu jakiejs tkanki, lub jakiegoś narządu zapomocą tych elektrod z galwanometrem, otrzymywano prąd, ten ostatni mógł zależeć tylko od siły elektromotorycznej samej tkanki. Bardzo też liczne, przez szereg lat prowadzone, doświadczenia du Bois Reymonda wykazały, że prawie wszystkie tkanki, a szczególnie mięśnie i nerwy, posiadają własności elektromotoryczne, oraz, że działanie siły elektromotorycznej tkanki podlega pewnym stałym prawom.

Jakkolwiek w swoich doświadczeniach na mięśniach du Bois Reymond głównie posługiwał się kawałkami mięśni i wszystkie prawa, wynikające ze swych obserwacji, odnosił tylko do t. zw. „cylindra mięsnego“, to jednakże w szeregu jego doświadczeń znajdujemy i takie, w których prąd odprowadzano od całego mięśnia. Odnośnie do tych przypadków du Bois Reymond wyraźnie zaznacza, że w nich prawie stale występuje kierunek prądu od dołu ku górze, t. zw. prąd wstępujący. Fakt ten wskazywał, że mięsień cały, wzięty jako źródło prądu, w górnym końcu posiadał bieguna dodatni, w dolnym ujemny. Natomiast w doświadczeniach du Bois Reymonda na kawałkach mięśnia było stałym zjawiskiem, że przekrój poprzeczny odgrywał rolę bieguna ujemnego, powierzchnia zaś zawsze rolę bieguna dodatniego, bez względu na to, czy przekrój poprzeczny był zrobiony z góry, czy z dołu.

Jakkolwiek dwa tylko co przytoczone fakty niezupełnie ze sobą były w zgodzie, jednakże nie znajdujemy w pracy du Bois Reymonda żadnych prób ani usiłowań, mających na celu wyjaśnienie tej sprzeczności, nie znajdujemy nawet wskazówki, że autor z tej sprzeczności zdawał sobie sprawę. W doświadczeniach, które w ostatnich kilku latach wykonałem, udało mi się tę sprzeczność wyjaśnić<sup>1)</sup>, a mianowicie wykazać, że, jeżeli przy odprowadzeniu od dwóch punktów powierzchni mięśnia otrzymujemy pewien prąd, odpowiadający pewnej różnicy potencjałów, to, po zrobieniu w tych punktach poprzecznych przekrojów i po odprowadzeniu od przekrojów prądu do galwanometru, otrzymujemy tę samą różnicę potencjałów; skąd oczywiście musimy wnosić, że źródła siły elektromotorycznej w obu razach muszą być te same i znajdują się w samym mięśniu.

Prądy, obserwowane na mięśniach całych lub uszkodzonych, lecz nieczynnych, nazwał du Bois Reymond prądami spoczynkowymi (Ruhestrom). Przez tę nazwę autor pragnął prąd obserwowany podczas spoczynku odróżnić od prądu, który zjawiał się w chwili, gdy mięsień ze stanu spoczynku przechodził w stan czynny, t. j. gdy się kurczył.

Odprowadzając prawie zawsze prądy spoczynkowe od dolnego poprzecz-

<sup>1)</sup> Prądy elektryczne w mięśniach nieuszkodzonych i uszkodzonych etc. Rozprawy Wydz. Mat.-przyr. Akad. Umiej. w Krakowie. T. 2. Ogóln. Zbiorn. T. 51. Prądy elektryczne w mięśniach czynnych etc. Ibidem. T. 52.

nego przekroju mięśnia i od powierzchni, du Bois Reymond, a także i późniejsi badacze, drażniąc ten mięsień z nerwu lub wywołując stan czynny bezpośrednio, znajdowali, że nowy prąd, pojawiający się w okresie czynności, posiada kierunek odwrotny względem prądu spoczynkowego. Wychylenie, które wykazywał galwanometr pod wpływem prądu spoczynkowego, zawsze się zmniejszało. Zjawisko to nazwał du Bois Reymond wahaniami wstecznymi (negative Schwankung).

Takie są główne wyniki wieloletnich doświadczeń du Bois Reymonda. Pragnąc zjawiska te wytłómaczyć, du Bois Reymond stworzył hipotezę czysto fizyczną, a mianowicie przyjął, że żywa materyja posiada specjalną budowę, że jest złożona ze specjalnych cząsteczek, z których każda posiada dwa bieguny: dodatni i ujemny. Cząsteczki te miały być ułożone parami, biegunami dodatnimi w każdej parze ku środkowi, ujemnymi nazewnątrz. Taki układ według niego miał z jednej strony tłómaczyć powstanie prądu spoczynkowego, z drugiej wahania wsteczne, które miało powstawać skutkiem obrotu tych cząsteczek; nadto, zdaniem du Bois Reymonda, hipoteza ta tłómaczyła i te przypadki, w których od mięśnia nieuszkodzonego żadnego prądu nie otrzymywano, a więc miano do czynienia z powierzchnią izopotencyalną.

Wobec faktu, że rozwój badań fizycznych nie dostarczył najmniejszych dowodów na korzyść tej hipotezy, a badania biologiczne wcale nie wykazały, że w budowie materyi żywej zachodzą jakieś zasadnicze różnice co do potencjału elektrycznego w porównaniu z materyą martwą, nad hipotezą tą i dowodami du Bois Reymonda nie mam zamiaru dłużej się zatrzymywać, tem bardziej, że sztuczność tej hipotezy zanadto rzucała się w oczy, ażeby ją można było przyjąć bez krytyki. I rzeczywiście, bardzo prędko przeciwko niej wystąpił jeden z uczniów du Bois Reymonda, Hermann i dla wytłómaczenia tych zjawisk podał nową teorię, znaną pod nazwą „Alterationstheorie“.

Według tej nowej teorii (Hermann) wszystkie tkanki normalne, a zatem i mięśnie, żadnych sił elektromotorycznych nie posiadają, powierzchnie ich są zupełnie izopotencyalne; z chwilą jednakże, gdy tkanka zostaje uszkodzona, t. j. gdy jej całość fizyologiczna zostaje nadwreżona, gdy np. mięsień zostaje w pewnym miejscu przecięty, albo też gdy tkanka, np. mięsień, nerw, gruczoł ze stanu spoczynku przechodzi w stan czynny, wtedy w niej powstaje siła elektromotoryczna i tkanka połączona zapomocą elektrod nie polaryzujących się du Bois Reymonda z galwanometrem okazuje istnienie prądu.

Biorąc pod uwagę stałość kierunku obserwowanych prądów, Hermann właściwie nie tworzy żadnej teorii, tylko słowami określa sam fakt w sposób następujący: „Każda cząsteczka zmienionej protoplazmy, bądź obumierającej,

bądź czynnej, jest elektryczna w stosunku do cząsteczki tej samej tkanki normalnej lub nieczynnej”.

Blіszszego źródła siły elektromotorycznej ani Hermann, ani bardzo liczni jego zwolennicy (gdyż ten pogląd został prawie powszechnie przyjęty), nigdzie nie podają.

Jednakże z wypowiedzianych tu i owdzie zdań trzeba wnosić, że powstawanie siły elektromotorycznej, według Hermann, zostaje w związku z samym aktem zmienności protoplazmy, z aktem stopniowego obumierania np. na przekroju (lub stopniowego przechodzenia w stan czynny), albowiem tkanka, na całej przestrzeni obumiera, staje się napowrót izopotencyalna. Co jednakże jest momentem, wywołującym zjawienie się siły elektromotorycznej, dlaczego ta siła działa zawsze tak, że przekrój poprzeczny lub miejsce czynne jest biegunem ujemnym tego prądu, który galwanometr wykazuje, powierzchnie zaś lub miejsce nieczynne biegunem dodatnim, nad tem teorya Hermann zupełnie się nie zastanawia, nigdzie tej sprawy nie porusza i dla samego faktu żadnego uzasadnienia fizycznego nie dodaje.

Jakkolwiek pogląd Hermann, jak zaznaczyłem wyżej, został prawie powszechnie przez fizyologów przyjęty, jednakże nie mogło uść uwagi, że zawiera on w sobie pewnego rodzaju dwuznaczność, że teorya Hermann wymaga jeszcze bliższego określenia, a mianowicie: miejsce uszkodzone lub czynne możemy uważać za elektryczną, jeżeli będziemy mieli na względzie kierunek prądu w galwanometrze, natomiast takim samym prawem możemy uważać to miejsce za elektrododatnie, jeżeli bierzemy pod uwagę kierunek prądu w mięśniu lub nerwie.

Teorya ta musiała się wydać tembardziej nieodpowiednią, gdy z czasem i sam Hermann i jego uczniowie poczęli tę elektryczność uważać jako tylko miejscowe obniżenie potencjału elektrycznego, coś w rodzaju ładunku ujemnego, który się zjawia w pewnym miejscu mięśnia czy nerwu, lub przenosi się wzdłuż włókien. Sam Hermann tak dalece uwierzył w możliwość takiej lokalnej zmiany potencjału, że na tem oparł tłumaczenie zmian elektrycznych w stanie czynnym.

Już du Bois Reymondowi i Matteucci'emu był znany fakt, że, jeżeli na mięśniu, wprawionym w tężec, położymy nerw od drugiego mięśnia, to ten drugi mięsień również przedstawi skurcz tężcowy. Zjawisko to du Bois Reymond nazwał „sekundäre Tetanus“, Matteucci zaś „contraction induite“. Z faktu tego trzeba było wnosić, że prąd, powstający podczas stanu czynnego, nie jest prądem stałym, lecz przerywanym. Stwierdzono nawet, że tężec drugorzędny posiada ten sam rytm, który posiada tężec pierwszego mięśnia. Bernstein i Hermann, zastosowawszy t. zw. reotom różniczkowy, wykazali, że faktycznie, w chwili, kiedy mięsień przechodzi w stan czynny, powstają w nim nie jeden, lecz dwa prądy, jeden o kierunku zstępu-

jącym, drugi—wstępującym, i w ten sposób stwierdzili, że w chwili podniecenia mięśnia zmiany elektryczne przedstawiają w nim dwie fazy. Te same dwie fazy zostały następnie wykazane elektrometrem Lippmana, a w ostatnich czasach galwanometrem Einthovena. Lecz tu zaszła pewna okoliczność, która miała decydujący wpływ na dalszy rozwój pojęć fizyologów. Mianowicie ani sam twórca reotomu różniczkowego, Bernstein, ani Hermann nie zbadali właściwości stosowanego aparatu; nie uwzględnili tego, że reotom różniczkowy jest aparatem, który do badań ścisłych wogóle stosowany być nie powinien. Już bowiem w samej konstrukcyi tego aparatu i w jego połączeniu z galwanometrem kryje się właściwość tego rodzaju, że oznaczenie chociażby najstałego prądu, trwającego pewien krótki czas, zapomocą tego reotomu przedstawi go zawsze, jako prąd stopniowo narastający i stopniowo się zmniejszający, coś w rodzaju fali. Jeżeli zaś będziemy badali dwa prądy następujące po sobie, lecz posiadające kierunek odwrotny, otrzymamy dwie fale: falę ujemną i dodatnią.

Uzyskane też przez wymienionych autorów na mięśniach wyniki posłużyły za podstawę do „nowej orientacyi“ fizyologów. Hermann wprowadza pojęcie fali elektrycznej i obserwowaną dwufazowość prądu czynnościowego tłumaczy zapomocą tej „Elektronegativitätswelle“ bardzo prosto.

Gdy podniecamy mięsień, do którego przyłożone są dwie elektrody w pewnej odległości od siebie, stan czynny przebiega wzdłuż tego mięśnia. Gdy więc podczas tego przejścia fala ujemna, t. j. cząsteczki czynne znajdują się pod pierwszą elektrodą, elektroda ta będzie odgrywała rolę bieguna ujemnego. druga zaś bieguna dodatniego. Gdy następnie podniecenie przeniesie się pod elektrodę drugą, pod pierwszą zaś stan czynny zniknie, elektroda druga staje się biegunem ujemnym, pierwsza zaś dodatnim. Oczywiście galwanometr wykaże dwie fazy, czyli dwa prądy, prąd zstępujący i wstępujący.

Można było przypuszczać, że autor lub jego zwolennicy postarają się skontrolować prawdziwość tego przypuszczenia, wyznaczając choćby naprzykład inną drogą szybkość przewodzenia stanu czynnego w mięśniu i porównując na tej podstawie momenty zjawienia się pierwszego i drugiego prądu, lub ustawiając elektrody na dwóch mięśniach, pozostających ze sobą w związku, z których tylko jeden jest podniecany i t. p. Lecz stało się inaczej: nie tylko nie skontrolowano aparatu, ani nie porównano chwili powstania drugiej fazy z szybkością przenoszenia się stanu czynnego, lecz wielokrotnie zupełnie pomijano obserwowane fakty, które z hipotezą elektryczności lokalnej były w sprzeczności, a niekiedy uważano je tylko za wyjątki z ogólnej reguły.

Oczywiście ten stan rzeczy nie mógł zadowalać wszystkich. Okolicznością, która najbardziej zmuszała do innego tłumaczenia tych zjawisk, był, bez wątpienia, fakt, że tłumaczenie Hermann nie znajdowało ze stanowiska

fizyki najmniejszego uzasadnienia, nic więc dziwnego, że od czasu do czasu zjawiały się próby uzależnienia tych zjawisk od znanych faktów fizycznych.

Właściwie pierwszy Ostwald<sup>1)</sup>, wprawdzie bardzo ogólnikowo, zwrócił uwagę na to, że zjawiska elektryczne w tkankach dałyby się tłumaczyć niejednakową przepuszczalnością błon dla różnych jonów, otaczających żywą materię. Biorąc to za przypuszczenie za podstawę i uwzględniając fakt, że cała przemiana materii żyjącej odbywa się przez błony, otaczające elementy żywe, względnie przez ich warstwę zewnętrzną, jeszcze w r. 1898<sup>2)</sup> wypowiedziałem hipotezę, że podczas tej przemiany materii w żywej tkance, dzięki niejednakowej przepuszczalności dla jonów warstwy zewnętrznej, może powstać na tej granicy podwójna warstwa jonów: — wewnątrz, + nazewną. Gdybyśmy taki układ wyobrazili sobie we włóknie mięsnym, połączenie poprzecznego przekroju i powierzchni z galwanometrem musiałoby wykazać tak sam prąd spoczynkowy, jaki widzieliśmy w mięśniach. Zmiany, zachodzące w tej warstwie podczas stanu czynnego, łatwo możnaby było tłumaczyć zmianami, które zachodzą w składzie chemicznym podczas stanu czynnego mięśni, które zatem muszą być połączone z powstawaniem nowych jonów. Taka koncepcja miała tę zaletę, że usuwała potrzebę opierania się na jakichś, bliżej nieokreślonych zmianach podczas obumierania tkanki, które przyjmował Hermann. Że takie przypuszczenie ma swoją podstawę i nie posiada w sobie nic tajemniczego, wykazałem to na preparacie, który nazwałem „włóknom sztucznym“, a który sporządziłem z kisзки żabiej w sposób następujący: Oczyszczoną i odtłuszczoną kiszkę żaby wypełniłem wewnątrz żelatyną, rozpuszczoną w roztworze żelazosinku potasu, nazewną zaś otoczyłem ją warstwą żelatyny, rozpuszczonej w siarkanie miedziowym<sup>3)</sup>. Ponieważ wiadomo, że zetknięcie się roztworu żelazosinku z siarkanem miedzi tworzy błonę nawpół przepuszczalną, pragnąłem się przekonać, czy taka błona spowoduje powstanie siły elektromotorycznej i czy, gdy przepuszczalność dla jonów ujemnych będzie mniejsza, prąd rzeczywiście będzie miał kierunek taki, jak w mięśniu. Jakkolwiek doświadczenie to było bardzo grube w porównaniu do zjawisk w mięśniu lub we włóknie nerwowym, to jednakże mogłem się przekonać, że rzeczywiście powierzchnia tego włókna jest izopotencjalna, połączenie zaś poprzecznego przekroju z powierzchnią wykazuje dość znaczny prąd, a siłę elektromotoryczną prawie tę samą, jak mięsień.

Chociaż w danym doświadczeniu nie mieliśmy żadnego obumierania, mimo to mogliśmy obserwować prąd długotrwały, zachowujący się zupełnie

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. physikal. Chemie. Tom 6, str. 71. 1890.

<sup>2)</sup> Próba nowej teorii etc. Anzeiger d. Ak. d. Wiss. in Krakau. Mai 1898.

<sup>3)</sup> Ein Beitrag z. Theorie etc. Bulletin de l'Academie des Sciences de Cracovie. Octobre 1903.

analogicznie, jak prąd mięśniowy. Podobne doświadczenie wykonywał także nad siłą elektromotoryczną powierzchni zetknięcia się żelazo-sinku z siarkanem miedzi w żelatynie Bernstein<sup>1)</sup>, a nadto autor ten wykazał, że siła elektromotoryczna mięśni zmienia się zależnie od temperatury bezwzględnej zupełnie tak, jak w ogniwach płynnych lub koncentracyjnych.

W ten sposób powstała nowa teoria prądów tkanek, pod nazwą „Membrantheorie“.

Teoria ta wprawdzie daje nam możność wytłumaczenia prądów, które obserwujemy, łącząc poprzeczny przekrój mięśnia z powierzchnią, lecz nie tłumaczy nam wcale prądów w mięśniach nieuszkodzonych, o których wspominałem wyżej.

Badając siłę elektromotoryczną rozmaitych połączeń tych samych elektrolitów o rozmaitej koncentracji, spostrzegłem, że, gdy w symetrycznym połączeniu, np. kwas: rozcieńczony | zgęszczony | rozcieńczony, które prądu nie daje, między jednym i drugim roztworem umieścimy jakąś błonę, jakąś substancję o innej konsystencji, np. białko, żelatynę i t. p. lub wprost roztwór nieelektrolitu, to połączenie takie wykazuje prąd, niekiedy nawet bardzo silny, zależnie od rozgraniczającej substancji. Połączenie takie nazwałem ogniwem płynnym niesymetrycznym.

Łącząc szeregi podobnych ogniw ze sobą postępowo, otrzymałem sumę różnic potencjałów, tak, że mogłem utworzyć baterię, nawet o sile elektromotorycznej kilku lub kilkunastu voltów. Badania nad tą kombinacją, wykonane wspólnie z p. Borkowskim<sup>2)</sup>, pozwoliły nam stwierdzić, że różnica potencjałów danej kombinacji zależy od zmiany ruchliwości jonów (Überführungszahl) w danej przegrodzie.

Ponieważ badania mikroskopowe nie tylko elektrycznych aparatów ryb, ale i mięśni dawno już wykazały, że budowa tych narządów daje się zredukować do układu komór—posiadających błony i treść dwójakiego rodzaju, substancję gęstszą przy jednej błonie i płynną przy drugiej—jakkolwiek widzialnych tylko pod mikroskopem, jednakże przypominających układ naszych komórek niesymetrycznych, nasunęło się więc przypuszczenie, że właśnie ta budowa włókna mięsnego jest źródłem siły elektromotorycznej, którą obserwujemy w mięśniach przy odprowadzeniu z powierzchni.

Pierwszy na tę analogię wskazał właściwie Czagowec<sup>3)</sup>, jednakże jego spostrzeżenia ogłoszone tylko po rosyjsku, w chwili, gdy wykonywałem swoje doświadczenia, były mi zupełnie nieznane. Zresztą Czagowec, stwierdziw-

<sup>1)</sup> Untersuch. z. Thermodynamik etc. Pflüger's Arch. T. 92, str. 521.

<sup>2)</sup> Einfluss v. Membranen etc. Bulletin de l'Acad. d. Sciences de Cracovie. Kwiecień, 1909.

<sup>3)</sup> Newrologičeskij Wiestnik. T. 6, wyp. I, str. 173–188; wyp. II, str. 1–24.

szy fakt, że, łącząc zgęszczony roztwór kwasu z rozrzedzonym, z jednej strony zapomocą gliny rozmieszanej z wodą, z drugiej bibułką, otrzymuje się prąd o pewnej sile, bliżej tego zjawiska nie zanalizował i wogóle jego przyczyny wcale nie badał. Już znacznie później po nas podobne doświadczenia przeprowadza Brünning<sup>1)</sup>, nie powołując się zupełnie na nasze spostrzeżenia, jak to od pewnego czasu czyni większość niemieckich autorów. I ten autor również zjawiska samego nie analizuje, przyjmuje wprost jako rzecz zupełnie pewną, że ono zależy od porowatości przegrody, i nadaje nazwę tej kombinacji „Diosmotische Käte“.

Ponieważ, badając prądy powierzchniowe mięśnia, znaleźliśmy zależność siły elektromotorycznej od długości odcinka pomiędzy elektrodami; ponieważ prąd, odprowadzony do galwanometru, trzeba właściwie rozpatrywać jako odgałęzienie tego prądu, który płynie poza włóknami po ich powierzchni i w przestrzeniach międzywłókiennych, zbudowałem baterię ogniw płynnych niesymetrycznych, w której ściany komór (dół, boki i góra) składały się z pęcherza, i taką baterię, po wyznaczeniu jej całkowitej siły elektromotorycznej w powietrzu, zanurzałem do wanny, zawierającej wodę i słaby roztwór soli, lub kwasu. Oczywiście ciecz, do której zanurzona była bateria, jako zawierająca pewną ilość elektrolitów, mogła służyć, częściowo przynajmniej, do wyrównywania się różnic potencjałów nie tylko każdej pary komór z osobna, ale i wszystkich komór wziętych razem. To też wyznaczenie siły elektromotorycznej takiej baterii w wannie wykazywało zawsze znaczne zmniejszenie w porównaniu do siły elektromotorycznej w powietrzu. Równocześnie, zanurzając dwie niepolaryzujące się elektrody do cieczy, zawierającej ową baterię, można było wykazać w niej istnienie prądu o kierunku odwrotnym do kierunku w baterii. Prąd ten wzrastał w miarę oddalenia od siebie elektrod, t. j. w miarę, jak wzrastała liczba ogniw pomiędzy elektrodami. A nadto przy danej odległości elektrod od siebie można było stwierdzić wzrastanie lub zmniejszanie się prądu w galwanometrze, w miarę zwiększania lub zmniejszania grubości warstwy cieczy między ścianą wanny a znajdującą się w niej baterią, czyli zmianę prądu można było widocznie uzależnić od zmiany oporu pomiędzy elektrodami, odprowadzającymi prąd do galwanometru.

Spostrzeżenia te w zupełności zgadzały się z faktami, otrzymanymi na mięśniach. Badania bowiem wykazały, a zresztą i w literaturze znane były fakty, że prąd spoczynkowy od powierzchni mięśnia bywa tem większy, im bardziej pozbawiamy mięsień wody i odwrotnie tem mniejszy, im więcej mięsień bywa nasiąknięty cieczą, a w mięśniach obrzękłych bardzo znacznie może nawet spadać prawie do zera.

<sup>1)</sup> Pflüger's Archiv. T. 98 i T. 117.

Przytoczone spostrzeżenia pozwalają, jak się zdaje, wypowiedzieć przypuszczenie, że prądy, przynajmniej w mięśniach nieczynnych, mają dwojakie źródło: jednym źródłem siły elektromotorycznej jest podwójna warstwa jonów, która na granicy każdego włókienka wciąż się tworzy, drugim zaś źródłem jest budowa mięśnia, układ komorowy włókienka, oraz przemiana materii w komorach, która w mięśniu żywym stale ma miejsce i niejako ten stan spoczynku charakteryzuje. Przyczyną różnicy potencjałów w tym układzie jest niesymetryczne połączenie komór ze sobą: siła elektromotoryczna powstaje skutkiem niejednakowej dyfuzji jonów wzdłuż włókienka z każdej komory do sąsiedniej, przyczem w błonach rozgraniczających zmianie ulega ruchliwość pewnych jonów tylko po jednej stronie komór.

W normalnym stanie każdego włókienka, ono, jako bateria, posiada biegun dodatni u góry, ujemny u dołu, lecz niezależnie od tego układu, z powodu niejednakowej ruchliwości jonów w osłonce włókienka, treść jego przy połączeniu z powierzchnią odgrywa rolę bieguna ujemnego, powierzchnia zaś dodatniego.

Gdy więc odprowadzamy prądy od dolnego poprzecznego przekroju i powierzchni, mamy sumę obu sił elektromotorycznych, gdy naodwrot od odprowadzamy od górnego przekroju i powierzchni, otrzymujemy ich różnicę, wogóle więc prąd w drugim przypadku bywa znacznie słabszy niż w pierwszym, a niekiedy może być nawet odwrotny, gdy prąd z włókna, jako baterii, jest silniejszy, niż ten, który powstaje wskutek podwójnej warstwy na osłonce.

Dzięki tym doświadczeniom i analogiom, znaleźliśmy fizyczną podstawę do wytłumaczenia prądów spoczynkowych; pozostawało jeszcze zbadać na nowo prądy czynnościowe i znaleźć dla nich również tłumaczenie, opierające się o podstawę fizyczną. Do badań nad prądami czynnościowymi użyłem galwanometru Einthovena o nitkach ze znacznym oporem, średnio napiętych, tak, że ich wychylenia były stale aperyodyczne. Na podstawie fotogramów, otrzymanych z mięśni czynnych, przedewszystkiem stwierdziłem, że rzeczywiście prądy, które występują po skompensowaniu prądów spoczynkowych, są w przeważnej liczbie przypadków dwufazowe, mogą jednakże być i jednofazowe. Pierwsza faza, stale towarzysząca podnieceniu, wykazuje prąd o kierunku, w którym przebiega stan czynny i zawsze posiada ten sam charakter: powstaje bardzo szybko, odpowiada dość znacznej sile elektromotorycznej, zjawiającej się nagle, jakby wskutek wybuchu, i trwa stosunkowo bardzo krótko, zaledwie około 0.004 sekundy; tylko przy znacznych odległościach elektrod od siebie czas ten dochodzi zaledwie do 0.006"; poczem prąd zaczyna się zmniejszać, lecz ruch nitki w kierunku zera w znacznej części przypadków odbywa się szybciej, niż jej powrót po zupełnem otwarciu prądu, nadto nitka nie tylko dochodzi do zera, lecz mniej lub więcej stopniowo wychyla się w stronę przeciwną, niekiedy bardzo znacznie i dopiero po paru setnych sekund

wraca do zera. Ten charakter wychylenia w stronę odwrotną wskazuje, że w tym okresie mamy do czynienia z nowym prądem odwrotnego kierunku. Jest to więc prąd odpowiadający drugiej fazie Hermanna. Atoli, jeżeli uwzględnimy szybkość przenoszenia się stanu czynnego w włóknach mięsnych, przekonamy się bardzo łatwo, że z końcem fazy pierwszej, gdy rozpoczyna się faza druga, stan czynny znajduje się już o wiele dalej, niż miejsce przyłożenia drugiej elektrody; faza ta zjawia się nie tylko w tym okresie, gdy podniecenie objęło całą przestrzeń między elektrodami, lecz niekiedy nawet znacznie później i trwa prawie przez cały czas skurczu. Fakt ten wskazuje, że zapatrywanie Hermanna co do pochodzenia drugiej fazy nie ma najmniejszych podstaw. Jeżelibyśmy nawet przyjęli jakąś elektroujemność cząstek podnieconych, to ta elektroujemność już dawno musiałaby minąć drugą elektrodę w chwili, gdy się rozpoczyna, nie mówię już, dochodzi do szczytu, faza druga. W końcu doświadczenia wykazały, że takie same dwufazowe prądy otrzymujemy i wtedy, gdy jedna elektroda znajduje się na środku mięśnia, druga na ścięgnię, gdy obie elektrody są ustawione na obu ścięgniach mięśnia, a nawet gdy obie elektrody umieścimy na dwóch różnych np. symetrycznych mięśniach, nie odciętych od tułowia i tylko jeden mięsień podniecimy. Doświadczenia te wykazały więc w sposób niezbity, że druga faza nie pozostaje w żadnej zależności od miejsca, gdzie znajduje się druga elektroda.

Rozważając tedy możliwe źródła prądów czynnościowych w mięśniach<sup>1)</sup>, doszedłem do przekonania, że źródłem tem są zmiany chemiczne, które podczas podniecenia cząsteczki mięśnia w niej zachodzą, oraz dyfuzja wzdłuż włókna tych nowych związków, które wskutek rozkładu cząsteczki podnieczonej powstają.

Jeżeli wyobrazimy sobie, że we włóknie mięsnym  $AB$  (fig. 1) podniecenie rozchodzi się od  $A$  do  $B$ , i że linia  $ab$  jest granicą między protoplazmą mięśnia czynną i nieczynną, wówczas, gdy w tej okolicy do powierzchni włókna są przyłożone elektrody  $E$  i  $E_1$ , połączone z galwanometrem, ten ostatni w chwili przejścia stanu czynnego przed elektrodami wykazuje prąd, o kierunku wskazanym strzałkami na fig. 1. Jest to prąd, mający zawsze ten kierunek, w którym przebiega podniecenie. Z kierunku prądu widzimy, że powstała różnica potencjałów ma po stronie części mięśnia nieczynnej biegun dodatni, czyli jest wywołana przez jony dodatnie, po stronie zaś mięśnia podnieczonej — biegun ujemny. Ta różnica potencjałów pomiędzy częścią mięśnia podnieconą i niepodnieconą ze względu, że mięsień musi być rozważany jako ciało półpłynne, zawierające pewne elektrolity, może powstać tylko wskutek

<sup>1)</sup> Prądy elektryczne w mięśniach czynnych, ich charakter i źródła. Rozpr. Wyd. mat.-przyr. Ak. Um. Serya B. Tom 52.

układu jonów w postaci podwójnej warstwy, zależnej, jak widzieliśmy wyżej, od niejednakowej ich szybkości. Ponieważ wszystkie doświadczenia dotychczasowe przemawiają za tem, że w czasie podniecenia mięsień staje się kwaśnym, z tego powodu więc nasuwa się przypuszczenie, że rozkład protoplazmy mięsnej podczas podniecenia polega na wytworzeniu się jakiegoś kwasu ( $\text{CO}_3\text{H}_2$  lub mlekowego?) i że z chwilą, gdy ten kwas powstaje, jony wodoru,

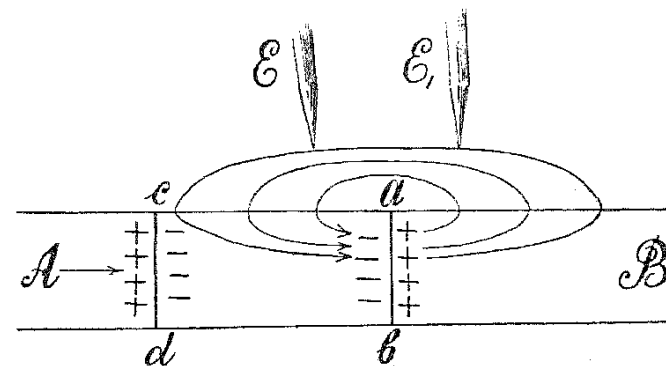


Fig. 1.

jako bardziej ruchliwe, wysuwają się w kierunku protoplazmy nieczynnej szybciej, niż jony ujemne kwasowe. Taki właśnie momentalnie wytwarzający się układ powoduje różnicę potencjałów na tej granicy.

We wspomnianej wyżej pracy zwróciłem uwagę także na to, że ta różnica potencjałów staje się tem większa, im większą przestrzeń zajmują elektrody, z czego wypadałoby wnosić, że, przynajmniej w mięśniach prążkowanych, taki układ jonów powstaje właściwie w osobnych komorach i że oczywiście, im więcej takich komór obejmują elektrody, tem różnica potencjałów będzie większa. Że przytem nie udaje się zaobserwować zupełnej proporcjonalności, jakby to musiało być, gdybyśmy mieli szereg postępowo połączonych komór, tłumaczy się tem, że galwanometr tworzy uboczne zamknięcie prądu, który istnieje w samym mięśniu i dla którego przewodnikami są ciecze i elementy tkaninowe, które obok włókien mięsnych w mięśniach się znajdują. Ponieważ opór galwanometru i elektrod jest stały, opór zaś tych przewodników w mięśniu jest zmienny i obliczenie jego jest niemożliwe, przeto różnica potencjałów pod elektrodami, oprócz zależności od siły elektro-motorycznej włókna mięsnego, będzie zależała jeszcze od każdorazowego stosunku znanego oporu galwanometru do tych nieznanych oporów w mięśniu; dlatego siła prądu obserwowanego w galwanometrze w każdym danym przypadku, przy każdym nowym ustawieniu, będzie inna i zmiany jej nie mogą być proporcjonalne do odległości elektrod.

Podniecenie mięśnia, jak wiadomo, wywołane w jednym miejscu, przebiega wzdłuż całego włókna, w rzeczywistości więc wytwarzająca się różnica potencjałów przechodzi coraz nowe cząstki włókna z pewną szybkością. Szybkość ta w mięśniach żaby wynosi od 2—3 m. na sekundę. Jeżeli więc wyobrazimy sobie, że podniecamy włókno w miejscu *A* (fig. 2) i że to podniecenie z pewną szybkością biegnie w kierunku od *A* do *B*, przekonamy się, iż w pewnym okresie, po podnieceniu, różnica potencjałów będzie się znajdowała

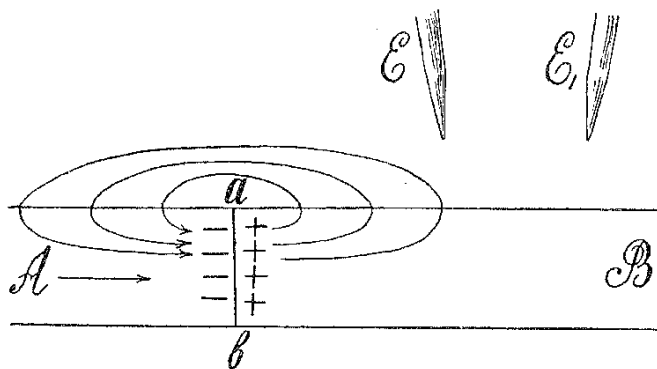


Fig. 2

w pewnej odległości od elektrod, np. na przestrzeni *A—ab* fig. 2 i wtedy na elektrody nie działa. Działanie rozpoczyna się tylko w chwili, gdy podniecenie dojdzie do pierwszej elektrody, gdy znajduje się przed pierwszą elektrodą i, gdy ta ostatnia znajdzie się w sferze jonów  $+$ , czuły galwanometr *E* i *th* o-vena na krzywych fotograficznych przedstawia też króciutkie wahnięcia w stronę, która wskazuje, że elektroda *E* stała się dodatnią. Lecz działanie to jest bardzo krótkie, podniecenie szybko w mięśniu mija tę elektrodę i ona odrazu znajduje się w sferze bieguna ujemnego, podczas gdy druga elektroda zostaje w sferze bieguna dodatniego. Wtedy powstaje prąd, o którym mówiliśmy wyżej, prąd zstępujący, charakteryzujący pierwszą fazę Hermanowską. Po pewnym czasie stan podniecenia dochodzi do drugiej elektrody i wtedy właściwie galwanometr powinien wrócić do zera. Tak też bywa niekiedy, lecz wogóle bywa inaczej. Galwanometr nie tylko wraca do zera, ale je przechodzi w stronę przeciwną mniej lub bardziej znacznie i dopiero potem wraca do zera. Fakt ten wskazuje, że w mięśniu po przejściu pierwszego okresu powstaje prąd nowy, odwrotny, oczywiście wskutek nowej, przeciwnej różnicy potencjałów. Dzieje się to, przynajmniej na mięśniach żaby, wtedy, kiedy podniecenie już dawno doszło do końca mięśnia, o czym można przekonać się najprostszym obliczeniem potrzebnego na to przejście czasu. Ten nowy prąd, występujący zawsze w tym samym czasie, możemy sobie wytlómaczyć, jeśli przyjmiemy,

że po podnieceniu połączonem z pewną zmianą chemiczną, która trwa pewien czas w każdej cząsteczce, następuje proces odwrotny, jakby pewna odwracalność zjawiska, przy którym wytwarza się także pewna różnica potencjałów, lecz odwrotna *cd* (patrz fig. 3). Ta nowa różnica potencjałów, powstająca z kolei również w coraz to nowych cząstkach i z tą samą szybkością jak pierwsza posuwająca się po włóknie, przenosząc się pod elektrodami, wywołuje oczywiście nowy prąd odwrotnego kierunku. Jak widzimy więc, sprawa

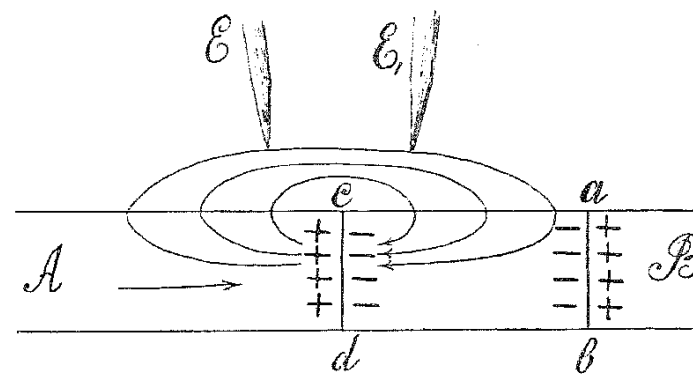


Fig. 3.

powstawania prądów czynnościowych, obserwowanych w galwanometrach, redukuje się ostatecznie do przenoszenia się po włóknach dwóch przeciwnych różnic potencjałów w środowisku, które dla tych różnic jest zamknięciem, i w którym oczywiście powstają odpowiednie prądy, przyczem elektrody połączone z galwanometrem, znajdujące się w tem środowisku, tworzą dla tych prądów zamknięcie uboczne.

Wszystkie te warunki można urzeczywistnić w następującym modelu, a identyczność wyników, otrzymanych na modelu z wynikami obserwowanymi w mięśniu, może niewątpliwie służyć za dowód, że przytoczona wyżej hipoteza jest słuszna. Model taki przedstawia załączona rycina (tabl. I).

Do szklanej wanny *GB*, zawierającej warstwę od 3—4 mm. grubą rozczynu zgęszczonego siarkanu cynkowego, wstawiamy pionowo mniej więcej w środku trzy grube druty *A*, *B*, *C*, cynkowe, zakończone spiczasto; końce te są dobrze oczyszczone i naaalgamowane. Druty stoją pionowo w rurkach szklanych, utrzymywanych zapomocą odpowiednich statyw. Od górnych końców drutów cynkowych prowadzą zwykłe druty miedziane do klucza *S*<sub>0</sub>, zapomocą którego mogą być połączone z galwanometrem. Odległość wzajemna drutów cynkowych, zanurzonych w cieczy, znajdującej się w wannie, oczywiście może być dowolna. W moich doświadczeniach wynosiła 30 mm. Nad wanną *GB* w osobnych szynach znajduje się wózek kauczukowy *w*, zaopa-

trzony w haczyki  $h_1$ , z drugiej zaś strony przymocowany do sprężyny  $F$ . Haczyk  $h_1$  zapomocą drugiego haczyka  $h_{11}$  umocowanego na osi, a więc ruchomego, utrzymuje sprężynę w napięciu. Gdy za pośrednictwem nitki  $t$  pociągniemy haczyk górny  $h_{11}$  ku dołowi, odczepia się haczyk dolny  $h_1$  i sprężyna  $F$  ze znaczną szybkością przeciąga wózek w drugą stronę.

W wózku również pionowo ustawione są cztery druciki cynkowe, także amalgamowane i także spiczasto zakończone, lecz zanurzone w cieczy tylko na głębokość 2 mm. Z tych drucików jedna para  $a$  i  $b$  jest połączona z ogniwem Daniela  $Ds$  zapomocą drutów i kluczy  $S_3$  i  $S_4$ , druga zaś para drucików  $c$  i  $d$  w ten sam sposób jest połączona z drugim ogniwem  $Ds_1$ . Gdy klucze  $S_2$  i  $S_3$  są zamknięte, klucze zaś  $S_1$  i  $S_4$  są otwarte, prąd od ogniw, dochodząc do drucików  $ab$  i  $cd$ , przepływa przez siarkan cynkowy. Połączenie drucików z biegunami ogniw jest w ten sposób uskutecznione, że  $a$  jest biegunem  $+$ ,  $b$  —,  $c$  —,  $d$   $+$ .

Prąd od ogniw, doprowadzony zapomocą dwóch drutów ostro zakończonych do cieczy, przepływa, jak wiadomo, nie tylko między drutami, ale i w pewnym oddaleniu od nich, tworząc coraz większe obwody w kierunku linii sił (patrz fig. 4).

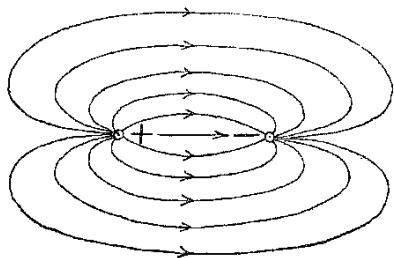


Fig. 4.

Każda z tych linii, zależnie od odległości od linii środkowej, przedstawia większy lub mniejszy spadek potencjału. Jeżeli więc na jednej z linii sił ustawimy dwie elektrody, połączone z galwanometrem, to galwanometr, tworząc boczne zamknięcie tej drogi, wykaże istnienie prądu o tym samym kierunku, który istniał na danej linii (patrz fig. 5).

Gdy więc wózek przesuwa się obok elektrod  $A, B, C$  w odległości od 25 do 30 mm. i gdy jeden lub drugi, lub oba prądy są zamknięte, a jedna z par elektrod  $AB$  lub  $BC$  jest połączona z galwanometrem, to w chwili, gdy linie prądów wózka znajdują się podczas jego ruchu w sferze elektrod, galwanometr wykaże nam pojawienie się prądu o odpowiednim kierunku. Wskutek szybkiego ruchu wózka wychylenia nitki galwanometru są tak szybkie, że zaledwie można je dostrzedz; dla dokładnego więc zanalizowania wychylenia te muszą

być fotografowane. Ażeby je uchwycić w momencie, w którym płytka w spadkownicy znajduje się przed szparą, posługiwałem się dodatkowym urządzeniem, oznaczonym na rys. przez  $HH$  (młotek Helmholtza). Płytkę fotograficzną, podczas ruchu w spadkownicy, otwiera prąd od elektromagnesów  $Em$ , które utrzymywały młotek w górze. Gdy młotek spada, uderza dźwignię  $D$ . Dźwignia  $D$  pociąga za nitkę  $f$ , połączoną z haczykiem  $h_{11}$ , który odczepia się od haczyka  $h_1$  i zwalnia sprężynę napinającą wózek. Wózek pod wpływem

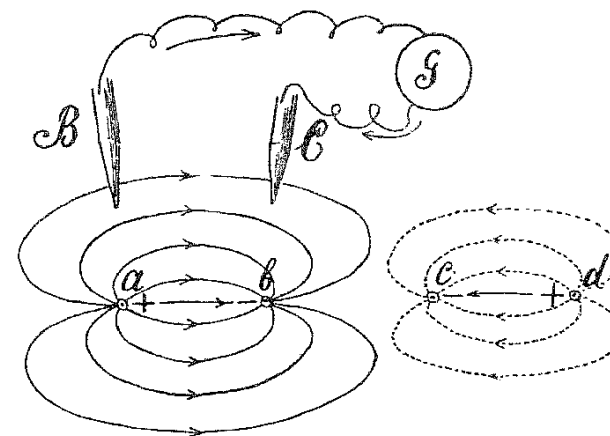


Fig. 5.

sprężyny przesuwa się po szynach na drugą stronę wanny i gdy znajdzie się w czasie ruchu przed elektrodami, wywołuje wychylenie nitki galwanometru, które powstaje dokładnie w chwili, gdy płytka znajduje się przed szparą.

W opisanem urządzeniu mamy najzupełniejszą analogię do tego, co dzieje się w mięśniu, gdy stan czynny przenosi się po jego włóknach. Po zamknięciu bowiem obu prądów mamy na drucikach  $a, b, c, d$  dwie różnice potencjałów, z których  $a$  i  $b$  idąca przodem ma  $+$  z przodu, — z tyłu, druga  $c$  i  $d$  w pewnym oddaleniu od pierwszej (od 1 do 20 mm.) — z przodu,  $+$  z tyłu. Gdy połączymy z galwanometrem druty  $B$  i  $C$ , jak na rysunku, lub  $A$  i  $B$ , albo  $A$  i  $C$ , otrzymamy w galwanometrze wychylenie, które najzupełniej przypomina wychylenie, wywołane przez prąd pod wpływem czynności w mięśniu. Gdy przed elektrodami  $BC$  znajduje się prąd  $ab$ , powstaje wychylenie analogiczne do fazy pierwszej. Gdy następnie podsuwa się prąd  $cd$ , otrzymujemy fazę drugą prądu mięśniowego (patrz tabl. II rys. 2). Gdy to samo wykonamy, połączwszy z galwanometrem elektrody  $A$  i  $B$ , otrzymamy zupełnie analogiczną krzywą dwufazową, zjawiającą się tylko nieco później, niż pierwsza. Z opóźnienia tego, biorąc pod uwagę położenie elektrod, możemy najdokładniej obliczyć szybkość przesuwania się wózka.

Opisany model pozwala również stwierdzić, że, gdy przed elektrodami *AB* lub *BC* przesuwają się tylko jedna różnica potencjałów *ab* lub *cd*, otrzymujemy na fotogramach zawsze tylko jedną fazę, w pierwszym przypadku fazę pierwszą (p. tabl. II rys. 2), w drugim—drugą (tabl. II rys. 3) i ani śladu wychylenia w pierwszym kierunku fazy drugiej, w drugim—pierwszej. Ponieważ w mięśniach faza pierwsza występuje zawsze, faza zaś druga nie jest stała i zmienia się co do swego charakteru, schemat niniejszy pozwolił także i pod tym względem znaleźć wytłumaczenie, a mianowicie: fakt ten może zależeć tylko od zmian w natężeniu prądu drugiego *cd*; możemy bowiem tę fazę zmniejszać albo zwiększać w porównaniu z pierwszą, zmieniając natężenie prądu drugiego; gdy natężenie staje się bardzo małe, faza ta znika zupełnie. Fakt więc obserwowany w mięśniach świadczy, że faza druga, restytucyjna, zależna od anabolizmu, jest zmienna i charakteryzuje pod pewnym względem indywidualność mięśnia, mianowicie jego zdolności anaboliczne w danym momencie.

Jakkolwiek analogie nie mogą być uważane za ścisły dowód prawdziwości czegoś, co podlega badaniu, jednakże w danym przypadku zupełna zgodność tego, co obserwujemy w mięśniach, z tem, co otrzymujemy na modelu, dla nieuprzedzonego czytelnika może niewątpliwie bardzo przemawiać za prawdziwością hipotezy, podanej na wstępie. Lecz model ten nabiera jeszcze większego znaczenia, i analogia nabiera charakteru i ścisłości prawie dowodu naukowego, gdy zapomocą tego schematu skontrolujemy doświadczenia, ogłoszone przez Pawła Hoffmanna. P. Hoffmann, w pracy pod tytułem: „Das Verhalten zweier Erregungswellen, die sich in der Muskelfaser begegnen“<sup>1)</sup>, występując w obronie teorii Hermanna, sądzi, że znalazł nowe dowody, które świadczą na korzyść tej teorii. W tym celu P. Hoffmann łączy mięsień nie z dwiema, jak zwykle, lecz z trzema elektrodami, z których środkowa zostaje połączona z jednym kontaktem galwanometru, dwie zaś boczne z drugim. Gdy przy takim połączeniu drażni mięsień tylko z jednej strony, otrzymuje krzywą fotograficzną prądu trójfazowego, przyczem pierwsza i trzecia faza są jednostronne, druga jest w stosunku do tych odwrotna i znacznie większa; drażniąc zaś mięsień z dwóch stron naraz, t. j. z obu końców, otrzymuje krzywe nie tylko trójfazowe, ale niekiedy także dwufazowe. Według niego właśnie ten charakter krzywych świadczy na korzyść teorii Hermanna. Gdy w pierwszym przypadku Hermanowska „Negativitätswelle“ znajduje się pod pierwszą elektrodą, najbliższą miejsca podrażnienia, powstaje pierwsza faza, gdy znajdzie się pod drugą, środkową, powstaje druga faza, przeciwna pierwszej; gdy znajdzie się pod trzecią, powstaje trzecia, mająca

<sup>1)</sup> Zeitschrift für Biologie. 1912. Bd. 59. I Heft.

ten sam charakter, jak pierwsza, tylko nieco mniejsza, z powodów, których bliżej P. Hoffmann nie wyjaśnia. W drugim przypadku, gdy ma dwie fale ujemne, ma krzywą dwufazową, z tego powodu, że „ujemna fala po podrażnieniu mięśnia z początku leży pod obiema brzożnymi elektrodami, potem obie ujemne fale leżą pod środkową i tu mają się wzajemnie znosić, dlatego też występują tylko dwie fazy, lecz obie większe niż w pierwszym przypadku“. Dla uzasadnienia prawdziwości swych poglądów, autor obrachowywa na zasadzie praw Kirchhoffa natężenie prądu i dochodzi do wniosku, że gdy fala ujemna znajduje się pod środkową elektrodą, prąd ma być dwa razy silniejszy.

Pomijając tę okoliczność, że przy zastosowaniu praw Kirchhoffa, autor Hermanowską falę ujemną wprost identyfikuje z różnicą potencjałów, zapomina on o tem, że, gdy o jakiegokolwiek różnicy jest mowa, muszą być porównywane ze sobą co najmniej dwa punkty. P. Hoffmann, gdy fala ujemna znajduje się pod środkową elektrodą, wcale nie wskazuje, między jakimi punktami różnicę potencjałów ma na względzie; czy ta różnica znajduje się między elektrodą i mięśniem, czy też między powierzchnią mięśnia i substancją mięsną? W każdym razie, sądząc z równań, które on otrzymał, można powiedzieć, że pierwsze może mieć zastosowanie tylko wtedy, gdy taka różnica potencjałów wytworzy się bądź pomiędzy elektrodą i mięśniem, bądź pomiędzy powierzchnią mięśnia i wewnętrzną jego treścią i oczywiście wzór ten odnosi się tylko do tego jednego momentu. Gdy różnica potencjałów leży gdziekolwiek poza tym środkowym punktem, otrzymamy zawsze prąd według drugiego wzoru, w jego przypadku dwa razy słabszy.

To tłumaczenie autora, z góry nasuwało mi szereg wątpliwości, raz dlatego, że samo pojęcie ujemnej fali nigdy i przez nikogo nie zostało dokładnie zdefiniowane; ani Hermann, ani jego zwolennicy nigdy dotychczas nie podali jakiegokolwiek naukowego uzasadnienia tego pojęcia; powtóre dlatego, że, o ile by w elektrolicie, jakim jest mięsień, znalazły się warunki do powstania w jakimś miejscu elektroujemności, w tym samym mięśniu musiałaby powstać najzupełniej współcześnie taka sama elektrododatność. Samodzielnych bowiem jonów ujemnych, poruszających się zupełnie niezależnie od dodatnich, nikomu dotychczas wykazać się nie udało. Nie mamy również dotychczas żadnej postawy do przyjęcia jakichkolwiek zupełnie nowych właściwości jonów dodatnich lub ujemnych w tkance mięsnej. Zresztą autor swoją elektroujemną falę, w krótkiej drodze, jak wspominałem wyżej, uważa wprost za różnicę potencjałów, i jako taką wprowadza do wzoru, opartego na prawach Kirchhoffa, a dotyczącego rozgałęzienia się prądów w danych połączeniach, wśród określonych przewodników. Nie wchodzę zresztą w rozbiór kwestyi, czy P. Hoffmann zrobił słuszne czy niesłuszne zastosowanie praw Kirch-

hoffa do danego przypadku, zaznaczę tylko, że krzywe, otrzymane z mięśnia, są najzupełniej prawdziwe; takie elektromiogramy rzeczywiście w danych warunkach z mięśnia otrzymujemy. Stąd jednakże wniosek, że te krzywe mają dowodzić istnienia fal elektroujemnych, jest niczem nieuzasadniony i zupełnie dowolny. Wzory bowiem, które P. Hoffmann przytacza na str. 26 i 27, nie mają nic wspólnego z falą ujemną, lecz tylko z określoną różnicą potencjału.

Opisany wyżej schemat przebiegu stanu czynnego w mięśniach najzupełniej też o tem przekonywa.

Jeżeli, zamiast dwóch elektrod, ustawimy w naszej wannie trzy elektrody A, B i C i połączymy je z galwanometrem w ten sposób, że dwie boczne będą prowadziły do jednego kontaktu galwanometru, środkowa zaś do drugiego, i jeżeli przy takim połączeniu, obok tych trzech elektrod, z pewną szybkością przebiega wózek, niosący dwie różnice potencjałów:  $\overset{+}{a}$ ,  $\overset{-}{b}$ ,  $\overset{-}{c}$ ,  $\overset{+}{d}$ , zupełnie tak samo, jak w poprzednim doświadczeniu, to nie tylko wychylenie nitki w galwanometrze daje nam krzywą trójfazową, ale krzywa ta jest zupełnie identyczna z tą, którą P. Hoffmann przytacza w swojej pracy, otrzymaną z mięśnia (patrz rys. 6 z pracy Hoffmanna, str. 26 i tabl. II rys. 5, otrzymany bez-

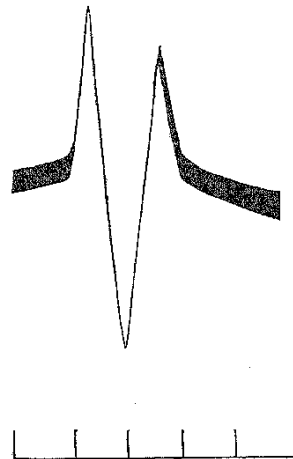


Fig. 6.

pośrednio). Że w tych warunkach krzywa musi być taka, i nie może być inna, świadczy o tem najprostsze rozpatrzenie rozkładu linii sił w chwili, gdy wózek przebiega przed elektrodami. Wyżej widzieliśmy, że gdy ten sam wózek przebiega przed dwiema elektrodami, które są połączone z galwanometrem, otrzymujemy krzywą dwufazową, zupełnie podobną do krzywych, otrzymywa-

nych na mięśniu. Przy dwóch więc elektrodach i dwóch różnicach potencjału otrzymujemy krzywą dwufazową, przy trzech—trójfazową, słowem, znajdujemy najzupełniejszą analogię. Nadto model ten wykazuje, że przy dwóch elektrodach odprowadzających w żadnym innym przypadku podobnych krzywych otrzymać nie możemy.

P. Hoffmann, jak wskazałem wyżej, przytacza jeszcze krzywe, otrzymane z mięśnia przy odprowadzeniu trzema elektrodami i przy podrażnieniu z obu końców naraz. Ma to, według niego, być przypadek, w którym dwie fale ujemne spotykają się przed środkową elektrodą, skutkiem czego, zgodnie z jego wywodem teoretycznym, krzywa musi być dwa razy większa, a to, że pozostaje dwufazową, ma służyć za dowód, że fale ujemne, gdy się spotykają wzajemnie się znoszą i w ten sposób przerywa się dalsze posuwanie się stanu czynnego; wpływ ten jest tem większy, im silniejsze podrażnienie. Przy bardzo silnych podrażnieniach trzecia faza znika zupełnie. Stąd Hoffmann wysnuwa nawet prawo (str. 35): „Erregungen, die sich in den Muskelfasern begegnen, erlöschen, nachdem sie ineinandergeflossen sind“. Twierdzenie autora, na podstawie znanych dotychczas faktów, pozwalał sobie zaopatrzyć wielkim znakiem zapytania; wszystko bowiem, co dotychczas wiemy o przebiegu pojedynczego podniecenia w mięśniu, świadczy o tem, że tak nie jest, że, przeciwnie, podniecenia mogą się sumować, a więc niema racji, ażeby wyraz tego podniecenia, zmiana elektryczna, nie występował wcale, gdy dwa podniecenia się spotkają. Jeżeli w tym przypadku trzeciej fazy nie mamy, albo występuje ona bardzo słabo, to może pochodzić albo stąd, że jej wogóle niema, i że teoria, która ją przewiduje, jest fałszywa, albo że powstaje taki układ prądów, że się te prądy wzajemnie kompensują.

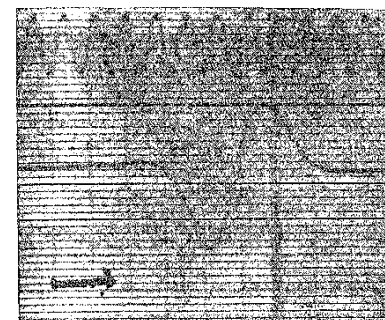
Ażeby i ten przypadek zbadać na modelu i przyczynę dwufazowości wyjaśnić, urządziłem drugi wózek analogiczny do pierwszego z drugiej strony elektrod, i ustawiłem go nad wanną w tej samej odległości, jak pierwszy, z tą tylko różnicą, że gdy pierwszy po podniesieniu się haczyka, utrzymującego go, przebiegał z prawa na lewo, drugi w tej samej odległości względem elektrod i z tą samą szybkością przebiegał z lewa na prawo. Napięcie sprężyn było tak uregulowane, że podczas ruchu, który rozpoczynał się w tej samej chwili, oba wózki w tym samym momencie znajdowały się naprzeciw elektrod; przytem wszystkie cztery różnice potencjałów były symetrycznie względem elektrod rozłożone. Krzywe w ten sposób otrzymane, jak widzimy na rys. 6 (tabl. II) są trójfazowe i prawie zupełnie identyczne z przeważną częścią krzywych Hoffmanna, a jakkolwiek w naszym modelu napewno nie mieliśmy żadnej fali ujemnej, a tylko prądy, wywołane przez dane różnice potencjału elektrycznego. Krzywą dwufazową, podobną do krzywej, otrzymanej przez Hoffmanna przy odprowadzeniu trzema elektrodami, otrzymaliśmy

tylko w tym przypadku, gdy na obu wózkach mieliśmy tylko po jednej różnicy potencjałów (patrz rys. 7 tabl. II), t. j. gdy wyraźnie występowała tylko faza pierwsza, co prawdopodobnie musiało mieć miejsce także w doświadczeniach Hoffmanna, gdy zaś oba wózki posiadały podwójną różnicę potencjałów, zawsze otrzymywaliśmy krzywą trójfazową.

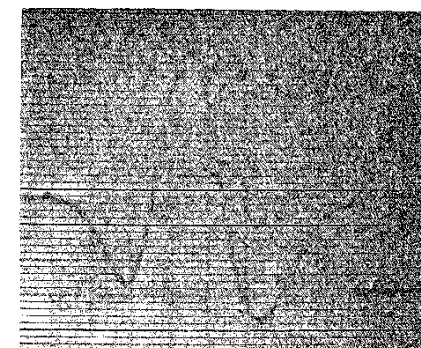
Sądzę, że wobec tej niezwyklej zgodności faktów, obserwowanych na mięśniu żywym i w przytoczonym modelu, dalsza obrona fali elektrycznej w mięśniach czynnych stanie się bardzo trudna, chyba, że zwolennicy tej teorii i nadal nie będą liczyli się z zasadami fizyki.



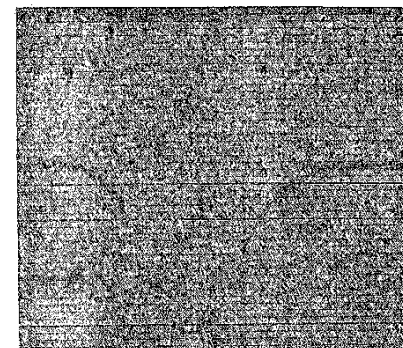
1916  
206.



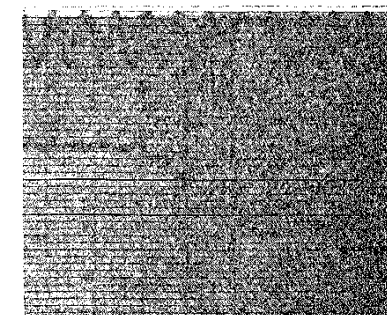
2.



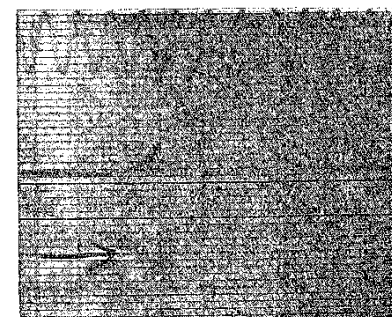
5.



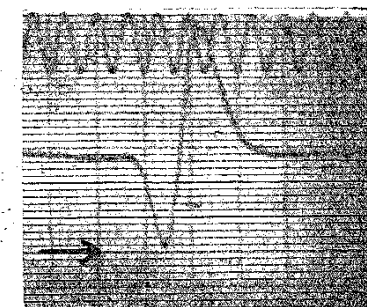
3.



6.



4.



7.

TABLICA I.