

O zastosowaniu kondensatora
do podrażniania nerwów i mięśni,
zamiast cewki Du-Bois-Reymonda

przez
prof. N. Cybulskiego i J. Zanietowskiego.

(Z 27 rycinami w tekście).

Rzecz przedstawiona na posiedzeniu 20 Kwietnia 1891 r. przez czł. N. Cybulskiego.

Ścisłe badanie naukowe rozpoczyna się z chwilą, kiedy mamy możność mierzenia zjawiska i jego przyczyn. Fizyjolog jednak nie rozporządza temi środkami co chemik lub fizyk, a w jego nauce daleko do tego, aby fakt każdy dał się mierzyć jednostkami przestrzeni, masy lub czasu. Że tak jest, tego dowodzą nawet najbardziej opracowane działy fizjologii, jak n. p. fizjologija mięśni i nerwów, w której obok coraz to nowszych zdobyczy na polu wypadków czysto biologicznych zjawisk, tak mało się zajmowano określeniem, a co zatem idzie, i mierzeniem siły, użytej do ich wywołania.

Ze wszystkich, stosowanych w tym celu bodźców, najdośćpniejszem do mierzenia i najdogodniejszem w użyciu jest niewątpliwie podrażnienie elektryczne, używane w postaci prądu stałego, lub indukcyjnego, o którym wszyscy badacze mogą powtórzyć z Hermannem: „von allen Reizungen ist nur der elektrische Reiz einer näheren Bestimmung zugänglich“. Mimo to do dziś dnia nie posiadamy sposobu dokładnego oznaczania ani ilości elektryczności przepływającej w chwili działania

przez nerw lub mięsień, ani jej energii, wyrażonej w pewnych jednostkach fizycznych zarówno wtedy, gdy używamy przyrządu saneczkowego du Bois Raymonda, za pomocą którego wywołujemy prądy indukcyjne, jak i wtedy, gdy używamy prądu przerywanego od zwykłej baterji.

W przyrządzie saneczkowym spotykamy się z całym szeregiem takich czynników, od których zależy skutek podrażnienia, a których bliżej w żaden sposób określić nie możemy, jako niezostających w ścisłym związku z samą istotą prądu; wymienimy tu tylko: niejednostajność konstrukcyi samych przyrządów, niejednakowy charakter drgnięć młotka Neefa, zmienność kontaktów i t. p. Przy użyciu zaś stałego prądu jako bodźca, musimy również albo przerywać go, albo co najmniej zmieniać jego natężenie. Najprostsze doświadczenie wykazuje, że w obu tych przypadkach skutek wywołany w mięśniach, drażnionych pośrednio przez nerw, lub bezpośrednio, zależy nietylko od pierwotnego natężenia prądu, ale od sposobu, za pomocą którego przerwy lub zmiany w natężeniu zostały wywołane.

W tym ostatnim przypadku rzecz się komplikuje jeszcze tem, że prąd stały, przechodząc przez tkanki żywe, wywołuje w nich pewne swoiste działania, które zmieniają same własności tkanek, n. p. zmiany elektrotoniczne, elektrolizę i t. p., oraz inne zjawiska, zostające w zależności od natężenia prądu.

Te braki, nawet najbardziej używanych bodźców były tak oczywiste, że od dawna usiłowano ciągle wprowadzać ulepszenia i modyfikacje używanych przyrządów, ażeby, jeżeli nie mamy możebności wyrażenia siły bodźca w pewnych określonych jednostkach, przynajmniej mieć go niezależnym od wpływów ubocznych, jakkolwiek istnieją próby, w których starano się podać także pewne sposoby ilościowych pomiarów.

Dopierwszej kategorii zaliczyć wypada *Orthorheonom* Fleischla¹⁾, a z nowszych przyrządów *Kymorhéonome* Danilewskiego²⁾, maszyny Stöhrera^{3, 4)}, Tiegela⁵⁾, metodę d'Arsonvala⁶⁾ wywoływania prądów indukcyjnych za pomocą kondensatorów i t. d.

¹⁾ Fleischl. (Sitzungsberichte d. W. Ac. LXXVI. III Abth. 1877.

²⁾ Кимореономъ. Физиологическій сборникъ I. 1888 s. 119. Харьковъ.

³⁾ „Ein Beitrag zur elektrischen Reizung des quergestreiften Muskels von seinen Nerven aus“. Jul. Schott aus Tübingen. Pflügers Archiv f. d. gesammte Physiologie. Bonn. 1891, Bd. 48 S. 354.

⁴⁾ Oraz uwagi Grätznera „Ueber die Stöhrersche Maschine“ w Arch.-Pflüg. Bd. 41 S. 256. i w Tagebl. der Naturforscher Vers. zu Könl. 1889, 70.

⁵⁾ Ueber Tetanisiren durch Influenz. Pflügers Archiv. XII, s. 141 i Ueber den Gebrauch eines Condensator: XIV, s. 330.

⁶⁾ Académie des sciences 27 Janv. 1881.

Do drugiej kategorii należą badania Ficka, który sądził, o natężeniu prądu na podstawie odchylenia igły magnesowej busoli, włączonej w obwód cewki drugorzędnej, oraz pomiary Fleischla, który oznaczał natężenie prądu pierwszorzędnego dla każdego minimalnego skurczu mięśnia, włączonego w obwód cewki drugorzędnej. Wszystkie te modyfikacje nie mogły jednak doprowadzić do pożądanego celu z tego powodu, że autorowie, o ile przynajmniej na podstawie ich własnych doświadczeń sądzić można, nie zupełnie zdawali sobie sprawę z własności prądów elektrycznych i z tego, do czego przy zastosowaniu prądu dążyć trzeba.

Przedewszystkiem wypada zaznaczyć, że gdziekolwiek ma się do czynienia z elektrycznością, tam trzeba mieć wzgląd na różnicę potencjałów, natężenie prądu, ilość elektryczności i energiję. Każdy z tych czynników możemy, jak wiadomo, wyrazić w pewnych określonych jednostkach a mianowicie: różnicę potencjałów w Voltach; natężenie prądu w Ampèrach; ilość elektryczności w Kulombach; a energiję w Ergach.

Znać więc bodziec elektryczny znaczy to samo, co dać jego określenie pod wszystkimi wyżej wymienionymi względami. Przy zastosowaniu elektryczności jako bodźca fizjologicznego, spotykamy jeszcze jeden nowy czynnik, którym jest czas, w ciągu którego zachodzi jakaś zmiana w stanie elektrycznym, n. p. zmiana natężenia, ilości i t. p. Działając n. p. prądem stałym bezpośrednio na mięsień lub pośrednio przez nerw, możemy wywołać skurcz przez zmianę natężenia; ale im ta zmiana w natężeniu zachodzi szybciej, tem większy wywołuje skutek, tak, że przerwy nagle słabego prądu mogą wywołać skurcz ten sam, lub nawet większy od skurczu wywołanego przez przerwy powolne silnego prądu.

Od dawna zatem przyjęto, że nie bezwzględne natężenie użytego bodźca elektrycznego jest przyczyną działania prądu, lecz zmiany, jakie zachodzą w ilości elektryczności, przepływającej przez dany przekrój, czyli *gęstości* prądu. Zdanie to przyjęte zostało przez wszystkich autorów, a w tak poważnych rozprawach jak Du-Bois-Reymonda: „Untersuchungen, ueber thierische Elektrizität“ 1848 I. S. 258, lub Hermannna: Handbuch der Physiologie II, s. 106 spotykamy się ciągle z ową gęstością (Stromdichte). Jednakże ci sami autorowie przyznają, że owa gęstość nie odpowiada wymaganiom nauki. Pod tym względem przytoczymy ustęp z wymienionej rozprawy Hermannna, który brzmi jak następuje: „Von allen Reizen ist einzig der elektrische einer Maassbestimmung zugänglich und hier wieder die Schwierigkeit vorhanden, dass der Reiz durch einen Differentialquotienten der Strom-

dichte auszudrücken ist.“ Rzeczywiście, wśród środków, jakimi dziś rozporządzamy, ta „Maassbestimmung“ jest niemałą trudnością, gdyż przy zastosowaniu wszystkich powyżej wymienionych, a dotąd używanych przyrządów, nie mamy absolutnej możności zdać sobie sprawy, jakim właściwie był prąd elektryczny, użyty do podrażniania.

Czy podczas powstania prądu indukcyjnego w cewce drugorzędnej przy zamknięciu pierwszorzędnej cewki przyrządu saneczkowego, możemy obliczyć, jak się zmienia różnica potencjałów w obu biegunach, połączonych z nerwem, jakim zmianom ulega napięcie prądu, jaką energiją reprezentuje ilość elektryczności przepływająca przez nerw? Absolutnie wymierzyć tego nie jesteśmy w stanie, tem bardziej, że wszystkie te własności będą zależeć nie tylko od siły pierwszorzędnego prądu, ale też i od sposobu zamknięcia.

To samo będzie przy otwarciu, — oczywiście, że w skutek tych różnic oba te prądy będą różne; w dodatku komplikują sprawę jeszcze indukcja wewnętrzna cewek, tak, że gdyby nawet dla każdej cewki dały się wyznaczyć pewne stałe, to i wtedy przypuściwszy nawet idealne zamykanie i otwieranie prądu, mielibyśmy w wyrażeniu prądu użytego do drażnienia w pewnych jednostkach niesłychane trudności.

Nie wchodząc tu w szczegółowy rozbiór innych wyżej wymienionych przyrządów, przyszliliśmy do przekonania, po zastanowieniu się nad niemi, że na tej drodze nie dojdziemy do celu.

Z całego tego zestawienia wymagań, na które odpowiedzieć musimy, chcąc dokładnie skreślić bodziec elektryczny, wynika, że jedynym przyrządem, któryby najlepiej jeszcze tym wymaganiom czynił zadość, byłby jakiś kondensator, którego nabijanie lub rozbrajanie uskuteczniamy przez nerw. Wniosek ten wypływa z własności kondensatorów. — Jeżeli o użytym do podrażnienia nerwu bodźcu mechanicznym mówimy, że on, pomimo niektórych trudności technicznych, jakie się nasuwają przy jego zastosowaniu, da się, mimo to, dokładnie oznaczyć, ponieważ możemy dokładnie wymierzyć osobne czynniki, wchodzące w jego skład, jakoto: wielkość ciężaru, wysokość, z której spada, i czas, w którym się to odbywa — możemy to samo powtórzyć przy używaniu naboju kondensatora, jako bodźca. Pojemność kondensatora odpowiada tu bowiem wielkości ciężaru, różnica potencjałów wysokości, trzeci czynnik, t. j. czas, wreszcie pozostaje niezmieniony — a powiedzieliśmy wyżej, że znać bodziec elektryczny, to jest znać dokładnie wszystkie czynniki w jego skład wchodzące.

Czy to teoretyczne przypuszczenie potwierdzonem zostanie w praktyce, pokaże się z dalszego toku niniejszej rozprawy; na razie za-

znaczamy tylko, że wniosek ten wypływa wprost z zestawienia określenia bodźca elektrycznego i własności fizycznych kondensatorów. Wprawdzie było rzeczą znaną, że kondensator może być użyty do podrażniania, jak tego dowodzą prace Chauveau¹⁾ i Mareya²⁾, którzy jednak, ograniczając się prawie do stwierdzenia samego faktu, że kondensator podrażnia, nie podali opisu obserwowanych zjawisk i nie zastanawiali się nad tem, o ile ten sposób inne przewyższa.

O ile nam z dostępnej literatury wiadomo, pierwszym, który najzupełniej ocenił doniosłość tego sposobu drażnienia, jest p. d'Arsonval. Autor ten podaje nową metodę zastosowania kondensatorów do podrażniania nerwów, motywując potrzebę swojej metody w sposób następujący: Używane dotąd bodźce elektryczne nie dają się obrachować, ani wymierzyć, i nie są, jak mówi p. d'Ars, dosłownie: „rattachées aux unités fondamentales d'une manière simple“. Bodziec będzie tylko wtedy ściśle określony „ze stanowiska fizjologicznego“, jeżeli będziemy znali pojemność zbiornika elektryczności, różnicę potencjałów, przy której ten zbiornik nabijamy, i czas, w którym się ten proces odbywa.

Metoda, o której autor wspomniał w „Société de Biologie 1882“, a którą treściwie opisał w „Archives de physiologie normale et pathologique 1889“ pod tytułem: „Relations entre la forme de l'excitation électrique et la réaction névro-musculaire“ polega na zastosowaniu następującego urządzenia. — Stos Daniela, lub cały ich szereg oznaczony na figurze 1 literą *P*, jest zamknięty w jeden obwód za pomocą cylindra napełnionego siarkanem miedziowym lub rtęcią *p'*; biegun dodatni jest połączony z górną powierzchnią płynu, biegun ujemny zaś z metalowym dnem naczynia, oraz z ziemią. Potencjał zatem n. p. przy 10 Danielach spada

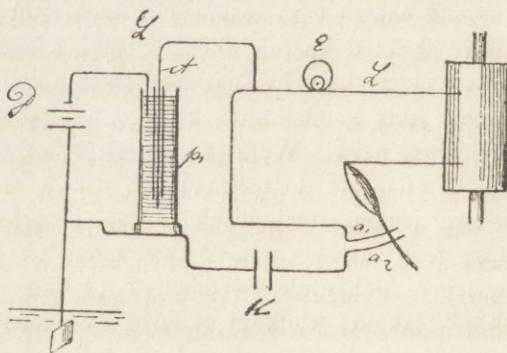


Fig. 1.

wzdłuż siarkanu miedziowego od 10 Voltów do zera. W cylindrze tym porusza się za pomocą odpowiednio urządzonej dźwigni *L*, oraz excentra *E*, drut *A* izolowany, aż do samego dołu, a zakończony metalowym kontaktem. Łatwo zrozumieć, że w powyższym przytoczonym przy-

¹⁾ Archives de Physiologie. 1889, I. 247.

²⁾ Nouveaux éléments de Physiologie humaine. Beaunis. I. 1881, s. 521.

kładzie potencjał tego kontaktu będzie się równał zeru przy dnie, a dziesięciu Voltom w górze naczynia. Połączmy teraz ruchomy drut A z nerwem, a dno naczynia z jedną okładką kondensatora (K), którego druga okładka jest połączona z nerwem, a będziemy mieli przyrząd gotowy do drażnienia nerwu. Za każdym poruszeniem się druta w górę nabija się kondensator dowolną różnicą potencjałów przez nerw, a za każdym poruszeniem na dół rozbraja się tak, że podczas każdego wahanania nerw zostaje podrażniony tym nabojem, który przezeń przechodzi. Wahania te można zapisać na walcu ponad krzywą skurczu mięśniowego, jeżeli przytwierdzimy pióro do dźwigni (L) obracanej za pomocą excentra. Zmieniając szybkość tego ostatniego, dalej powierzchnię kondensatora, wreszcie ilość stosów, możemy temi sposobami wprowadzić w rachubę dowolną różnicę potencjałów, pojemność, oraz dowolny czas.

Jako jednostkę podrażnienia elektrycznego, proponuje p. d'Arsonval ilość elektryczności, która się rozbraja przez nerw za pomocą kondensatora o pojemności $\frac{1}{100}$ m. F, w ciągu $\frac{1}{100}$ sekundy, przy różnicy potencjałów $\frac{1}{100}$ Volt.

Zanim się zastanowimy nad tem, czy wprowadzenie takiej jednostki jest pod jakimkolwiek względem korzystne i czy w rzeczywistości będzie istniała możliwość mierzenia wszelkich podniet elektrycznych w jednostkach „Galvani“, pomówmy najpierw w krótkości o samem urządzeniu, proponowanem przez p. d'Arsonvala i rozważmy trudności, z którymi się spotykamy przy jego zastosowaniu.

Szereg doświadczeń, któreśmy wykonali za pomocą urządzenia, które proponuje p. d'Arsonval, wykazał, że przedewszystkiem głównego celu, dla którego cała metoda jest proponowana, t. j. dokładnej znajomości bodźca, za pomocą urządzenia p. d'Arsonvala osiągnąć nie można. Ciecz w rurze A łączy przewodniki stosu w ten sposób, że na przestrzeni tej cieczy potencjał elektryczności spada od 10 Volt. n. p. do zera. Jeżeli użyjemy, jak proponuje p. d'Arsonval, siarkanu miedziowego, lub nawet jeszcze znaczniejszego oporu, n. p. siarkanu cynkowego w roztynie glicerynowym, ciecz się polaryzuje i wskutek tego siła pierwotnego prądu ulega zmianom i należałoby ją wciąż oznaczać. Następnie, ażeby przy posuwaniu pręcika P , w połączeniu p. d'Arsonvala otrzymać skurcz mięśnia, potrzeba: ażeby słup cieczy był dość nieznaczny (co najwyżej w naszych doświadczeniach = 10 cm.), aby siła baterji równała się co najmniej 5 Voltom, aby kondensator miał dość znaczną pojemność i wreszcie ażeby ruchy pręcika na całej tej przestrzeni na dół i do góry odbywały się z pewną znaczną szybkością. Otóż w skutek

tej szybkości i małej przestrzeni, na której się ruch odbywa, dokładne oznaczenie, o ile przy posuwaniu pręta zmieni się różnica potencjałów na jego końcach, jest niemożliwe, a oczywiście, że w danym przypadku idzie o jak najdokładniejsze takie oznaczenie, gdyż w przeciwnym razie całe urządzenie staje się zbytecznym. Tem bardziej ta dokładność staje się wątpliwą, jeżeli uwzględnimy, że podług założenia autora, ażeby otrzymać jednostkę podrażnienia, potrzeba posuwać pręt P z taką szybkością, ażeby nabijanie lub rozbrojenie kondensatora nastąpiło w ciągu $\frac{1}{100}$ sekundy. Najważniejszą jednak rzeczą w całym tem urządzeniu jest ta okoliczność, że nabijanie i rozbrojenie kondensatora odbywa się przez nerw i że jeden biegun baterji zostaje połączony z nerwem. W skutek takiego bowiem połączenia może zachodzić jednobiegunowe podrażnienie, które całą rzecz komplikuje i uniemożliwia dokładne i pewne oznaczenie czynnika podrażniającego. Ażeby się o tem przekonać, że takie podrażnienie może istnieć, potrzeba tylko w urządzeniu p. d'Arsonvala zamiast nerwu włączyć galwanometr, a natomiast zupełnie wyłączyć kondensator. Każde posunięcie na dół lub do góry pręta P pociąga za sobą odchylenie igły magnesowej, dowodzące, że tu powstaje prąd, który jest słabszy rzeczywiście, niż w tym przypadku, kiedy jest włączony kondensator, ale wystarczający już sam przez się, aby wywołać skurcz mięśnia przy drażnieniu nerwu. Taki skurcz szczególnie łatwo możemy wywołać, posługując się urządzeniem p. d'Arsonvala, lecz z wyłączeniem kondensatora, jeżeli żaba, której nerw drażnimy, jest połączoną z jakimś przewodnikiem znacznej pojemności, chociażby ten przewodnik stał na podstawie izolującej, jak n. p. jeżeli jeden z asystentów dotyka drucika połączonego z żabą, podczas gdy experymentator posuwa prętem P , w górę i w dół.

Oczywiście więc, że podczas zmiany potencjału elektrycznego, która się odbywa wśród przesuwania pręta P , we wszystkich ciałach mających jakąś styczność z drutami a_1 , a_2 (patrz fig. 1) nerw odgrywa rolę przewodnika, po którym przebiega pewien prąd i w ten sposób może być zadrażniony bez wszelkich kondensatorów.

Z tego wszystkiego cośmy powiedzieli o urządzeniu p. d'Arsonvala wynika, że w tej formie urządzenie to, podobnie jak i przyrząd saneczkowy nie pozwala na dokładne określenie bódźca, co też prawdopodobnie uznał i sam autor, skoro dotychczas żadnych doświadczeń, przeprowadzonych za pomocą tej metody, nie podał, przez dwa lata, pomimo obietnicy złożonej w powyżej przytoczonym artykule.

Nadto przypuszczenie p. d'Arsonvala, że rozbrojenie kondensatora jest zupełnie równoległe do wahań pręta w cieczy, wydaje się także być

niezupełnie uzasadnione, a to na podstawie ogólnych własności kondensatorów, o których p. d'Arsonval zupełnie nie wspomina. Czas, w ciągu którego rozbraja się kondensator, nie jest stały, lecz zależy z jednej strony od pojemności kondensatora, a z drugiej od oporu łącznika. — Oczywiście więc, że te dwa czynniki należy przedewszystkiem wziąć na uwagę przy zastosowaniu tego lub innego urządzenia. Zależność ta, jak wiadomo, wyraża się wzorem:

$$E_1 = E_0 e^{-\frac{t}{rc}} \quad (1)$$

gdzie e oznacza zasadę systemu naturalnego = 2.7182818285; r — opór łącznika; c — pojemność kondensatora. E_0 i E_1 — różnice potencjałów na okładkach kondensatora, E_0 w początku doświadczenia, E_1 po upływie czasu t . Już na pierwszy rzut oka widzimy z tego wzoru, że zależność czasu wyładowania nie jest bynajmniej „proportionelle à la résistance ohmique du nerf“²⁾.

Z tego wzoru natomiast łatwo możemy obliczyć, w jakim czasie t na kondensatorze zostanie $\frac{1}{2} E_0$, $\frac{1}{4} E_0$ i t. d., w ogóle: po jakim czasie kondensator będzie zupełnie rozbrojony.

Ponieważ pojemność obliczamy w faradach dla każdego kondensatora, a w niniejszym wzorze podstawić musimy jednostki systemu *cgs*, więc farady zamieniamy na jednostki elektromagnetyczne. Dla kondensatora wynoszącego n. p. $\frac{1}{2}$ mikrofarada,

$$\text{pojemność } c = \frac{\frac{1}{2} F}{10^6} = \frac{0.5}{10^6} = \frac{0.5}{10^6} 10^{-9} \text{ cgs} = \frac{0.5}{10^{15}} \text{ cgs.}$$

Przypuścimy, że opór przewodnika wynosi 1000000 Ω , czyli w tych samych jednostkach *cgs* 10^{12} , to iloczyn $rc' = 10^{12} \times \frac{0.5}{10^{15}} = \frac{1}{2}$.

Podstawiając do powyżej podanego wzoru wartość na rc , dostaniemy: $E_1 = E_0 e^{-2t}$.

Aby różnica potencjałów w danej chwili równała się połowie pierwotnej wartości, powinien współczynnik $e^{-2t} = \frac{1}{2}$, aby się równała $\frac{1}{4}$, powinno $e^{-2t} = \frac{1}{4}$; aby się równała $\frac{1}{100}$, powinno $e^{-2t} = \frac{1}{100}$ i t. d.

W tym przypadku $2t \log e = \log 2$ czyli $t = \frac{\log 2}{2 \log e}$, w drugim przypadku $t =$ analogicznie $\frac{\log 4}{2 \log e}$, w trzecim $t = \frac{\log 100}{2 \log e}$ i t. d.

¹⁾ Mascart et Joubert. *Électricité* I. s. 267, t. II, s. 313.

²⁾ *Arch. de Physiologie* 1891, S. 588.

Obliczywszy z osobna te wartości, możemy znać dokładnie, jaką różnicę potencjałów każdy kondensator jest w danej chwili nabity, a co zatem idzie, możemy dla każdego kondensatora wyrysować krzywą jego rozbrajania się.

Dla 3 kondensatorów najczęściej przez nas używanych, z których :

pierwszy miał pojemność = $50000 \cdot 10^{-11}$ Far.

drugi " " = $7825 \cdot 10^{-11}$ "

trzeci " " = $1228 \cdot 10^{-11}$ "

podajemy poniżej wartości w ten sposób obliczone.

t wyrażamy w sekundach.

Kondensator.

wielki		średni		mały	
$(C = 50000 \cdot 10^{-11} \text{ F})$		$(C = 7825 \cdot 10^{-11} \text{ F})$		$(C = 1228 \cdot 10^{-11} \text{ F})$	
$E = \frac{1}{2}$	$t = 0.345$	$E = \frac{1}{2}$	$t = 0.0269$	$E = \frac{1}{2}$	$t = 0.008$
$E = \frac{1}{4}$	$t = 0.65$	$= \frac{1}{4}$	$= 0.1014$	$= \frac{1}{4}$	$t = 0.015$
$E = \frac{1}{8}$	$t = 1.045$	$= \frac{1}{8}$	$= 0.163$	$= \frac{1}{8}$	$t = 0.025$
$E = \frac{1}{10}$	$t = 1.15$	$= \frac{1}{10}$	$= 0.1794$	$= \frac{1}{10}$	$t = 0.0276$
$E = \frac{1}{100}$	$t = 2.30$	$= \frac{1}{100}$	$= 0.3588$	$= \frac{1}{100}$	$t = 0.0552$
$E = \frac{1}{1000}$	$t = 3.45$	$= \frac{1}{1000}$	$= 0.5382$	$= \frac{1}{1000}$	$t = 0.0828$

Jeżeli wykreślimy oś rzędnych i oś odciętych, na pierwszej odmierzymy odstęp odpowiadające osobnym częściom całkowitej różnicy potencjałów, przypuścimy 10 miliwoltów, na drugiej zaś odstęp, odpowiadające częściom sekundy, któreśmy dla każdego kondensatora obliczyli wyżej i oznaczmy punktami różnicę potencjałów, jaką znajdujemy na każdym kondensatorze po pewnym określonym czasie, to łącząc te punkta, otrzymamy krzywą, wyobrażającą graficznie spadek potencjałów podczas rozbrojenia dla każdego kondensatora przy oporze 1000000 Ohmów (Fig. 2). Z samego przebiegu tych linii, oraz krzywych otrzymanych w ten sam sposób przy rozmaitych oporach, możemy się przekonać, że, aby zostawać w warunkach tych samych co do czasu rozbrojenia, możemy używać tylko kondensatorów o małej pojemności od $\frac{1}{50}$ do $\frac{1}{100}$ mikrofarada. Czas ten bowiem w kondensatorach większych zmienia się bardzo znacznie, jak niemniej charakter krzywej roz-

brojenia przy jednym i tym samym naboju, a względnie małych zmianach w oporze.

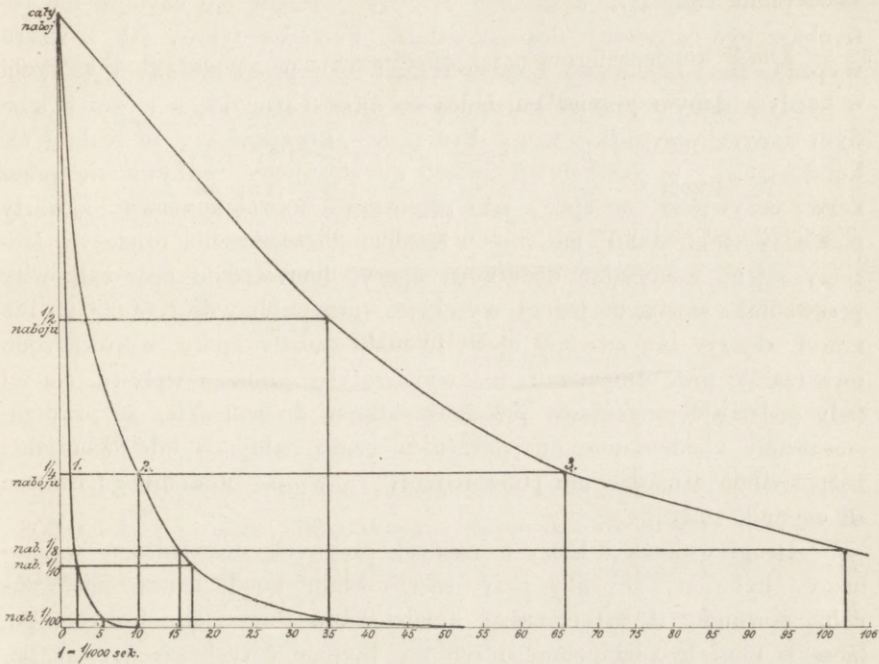


Fig. 2.

Tej własności kondensatorów właśnie nie uzględnia p. d'Arsonval, jak to wyżej zauważyliśmy. Z tego wypada, że równoległość między wahaniami prądu w cieczy a rozbrojeniem kondensatora jest co najmniej wątpliwa, a p. d'Arsonval nie przytacza żadnych dowodów dla usunięcia tej wątpliwości.

Co do wartości samej jednostki, którą proponuje p. d'Arsonval, dodatkowo musimy jeszcze zauważyć, że dążąc do dokładnego oznaczenia podniety, bynajmniej nie potrzebujemy tworzyć nowych jednostek, przeciwnie wystarczy zupełnie, jeśli potrafimy znaleźć zależność funkcji fizjologicznych od znanych nam, a ściśle określić się dających bodźców, których siłę wyrażamy w znanych jednostkach fizycznych. Znowu tylko badania dalsze, których nie znajdujemy w rozprawie p. d'Arsonvala, będą w stanie wykazać, czy i w jakich granicach zachodzi ścisła zależność pomiędzy natężeniem bodźca fizycznego i natężeniem funkcji fizjologicznych; dopiero w takim razie, gdyby tę zależność udało się wykryć, możnaby dążyć do utworzenia jakiejś jednostki fizjologiczno-fizycznej, o czym jak na teraz mowy być nie może.

Zważywszy to wszystko, postanowiliśmy w naszych doświadczeniach uwzględnić następujące zasady. Ponieważ czas, w którym przy danych warunkach może nastąpić całkowite rozbrojenie kondensatora, daje się teoretycznie zupełnie dokładnie oznaczyć, zatem ten czynnik nie potrzebuje być oznaczony doświadczalnie. Potrzeba tylko, jak z wzoru wypada, znać pojemność kondensatora i opór przewodnika, a te ilości w każdym danym przypadku dadzą się ściśle oznaczyć, a nawet w każdym danym przypadku mogą być stałe. Przypuśćmy, że rozbrojenie kondensatora, w jakikolwiek sposób go stosujemy, odbywa się przez nerw; oczywiście, że opór, jaki przedstawia kawałek nerwu, zawarty pomiędzy elektrodami, możemy w każdym doświadczeniu oznaczyć. Możemy zatem, wstawiając dodatkowe opory, doprowadzić opór całkowity przewodnika zawsze do jednej wysokości (przypuśćmy do 1000000Ω) lub nawet włączyć tak znaczny opór, że małe zmiany oporu, wprowadzone ewentualnie przy drażnieniu, nie wywierałyby żadnego wpływu. Na tej tedy podstawie przyszlśmy przedewszystkiem do wniosku, że przy zastosowaniu kondensatora do podrażnień czasu nabijania lub rozbrajania bezpośrednio oznaczać nie potrzebujemy, a wprost możemy go uważać za czynnik stały.

Drugi wniosek, który z naszych próbných doświadczeń wysnuiliśmy, był ten, że, aby przy zastosowaniu kondensatora mieć zupełną pewność, iż tylko nabój kondensatora służy jako bodziec, połączenie musi być odmienne aniżeli to, którego dotychczas używali badacze. Albowiem przy wysokim potencyale sam nerw z końcowym narządem może odgrywać rolę jednej okładki kondensatora i przechodzić w stan czynny w skutek tak zwanego jednobiegunowego działania prądu. Stosując więc połączenia podobne, możemy się posługiwać tylko nabojami o niskim potencyale.

Nadto już wyżej nadmieniliśmy o trzecim wniosku, że ze względów praktycznych wypada stosować tylko kondensatory o małej pojemności; w tych bowiem, nawet przy znacznych oporach, rozbrajanie odbywa się szybko, charakter krzywej, według której następuje rozbrojenie, ulega małym zmianom, a ilość elektryczności przepływająca przez nerw, może być stosunkowo bardzo małą. Już z góry można przypuszczać, że ta ostatnia okoliczność nie jest obojętną, gdyż zmiany, jakie prąd stały wywołuje w nerwie, w pewnej mierze zależą także od ilości przepływającej elektryczności. Mając w ten sposób wyjaśnione warunki, potrzebne przy stosowaniu kondensatora, zastanowiliśmy się nad tem, w jaki sposób najkorzystniej użyć go możemy do badań.

Na podstawie szeregu prób dokonanych pod rozmaitemi względami, zatrzymaliśmy się na kilku następujących sposobach, które się różnią

między sobą tylko różnym łączeniem kondensatora z jednej strony ze stosem, z drugiej z nerwem.

Sposób pierwszy. Do kondensatora za pomocą rheochordu o znanym oporze odprowadzamy część prądu, którego natężenie ściśle daje się obliczyć, a właściwie wprost odczytać na sprężynowym galwanometrze Siemens'a; następnie po pewnym ściśle określonym, bardzo małym czasie, rozbrajamy kondensator przez nerw lub mięsień, za pomocą osobnego wałeczka ebonitowego.

Schemat tego sposobu jest przedstawiony na Fig. 3, gdzie *D* oznacza stos; *R* — rheochord; *g* — galwanometr, na którym odczytuje się natężenie prądu, *c* — wałeczek ebonitowy, *k* kondensator, *z* — sygnał Deprèz'a do notowania ilości obrotów wałeczka — *m n* mięsień ułożony na miografie.

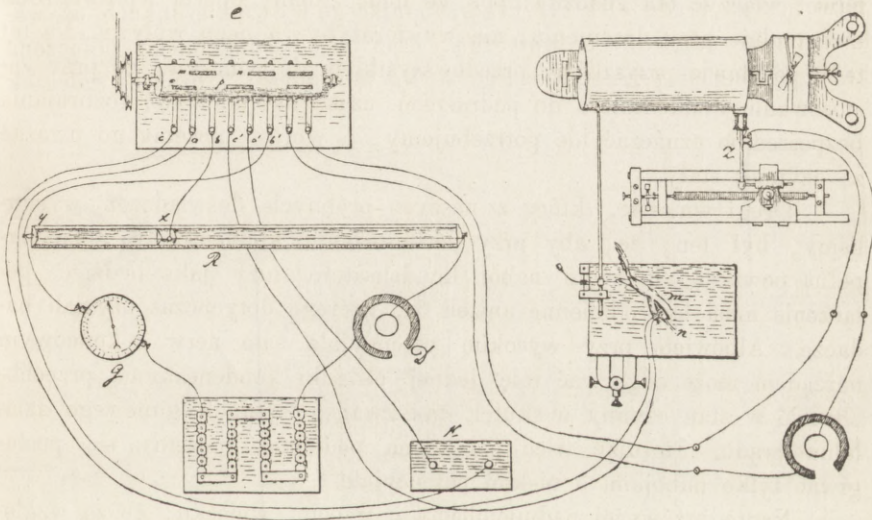


Fig. 3.

Znając opór każdego cm. rheochordu, możemy z łatwością obliczyć dla każdego położenia ruchomego kontaktu (*x*), jaka różnica potencjałów znajduje się na końcach odcinka (*xy*). Jeżeli n. p. natężenie prądu wynosi 34 miliamperów, opór każdego cm. rheochordu jak w naszym przypadku 0.23 ohmy, a opór włączonego w obwód galwanometru 1 ohm, to według wzoru Ohma ($E = JR$) różnica potencjałów będzie równała się dla każdego położenia kontaktu ruchomego iloczynowi z 34 mili Amperów, oraz z oporu galwanometru i włączonej części rheochordu.

Dla 10 cm. drutu będzie zatem

$$E = 0.034 (0.23) 10 = 0.0782$$

$$\text{dla 20 cm. drutu } E = 0.034 (0.23) 20 = 0.1564$$

$$\text{dla 50 cm. drutu } E = 0.034 (0.23) 50 = 0.3910 \text{ i t. d.}$$

Tę, dowolnie dającą się zmieniać i według powyżej podanego sposobu, ściśle dającą się obliczyć, różnicą potencjałów nabijamy kondensator (k) za pomocą komutatora (e), który jest tak urządzony, że w pewnej chwili łączy kondensator ze źródłem elektryczności, t. j. z częścią rheochordu $x-y$, w następnej zamyka obwód, łączący kondensator z nerwem. Połączenie pierwsze istnieje przy zetknięciu sprężystych blaszek a, b, a', b' , z metalicznymi paskami m i n ; połączenie drugie zaś przez zetknięcie a, c, a', c' z paskami o, p . Sam komutator jest walcem szklanym lub ebonitowym, osadzonym na osi metalowej, który za pomocą motorka elektrycznego lub przyrządu zegarowego da się obracać z pewną, dowolnie zmienną szybkością.

Sposób drugi. Nerw (n) lub mięsień (m) w powyższej metodzie były drażnione tylko nabojem rozbrajającego się kondensatora; chcąc zaś używać jako bodźca prądu elektrycznego, działającego w dwu kierunkach, używaliśmy nieco odmiennego wałeczka, oraz nieco odmiennego połączenia którego schemat przedstawia Fig. 4. Na tej figurze: I oznacza wałeczek

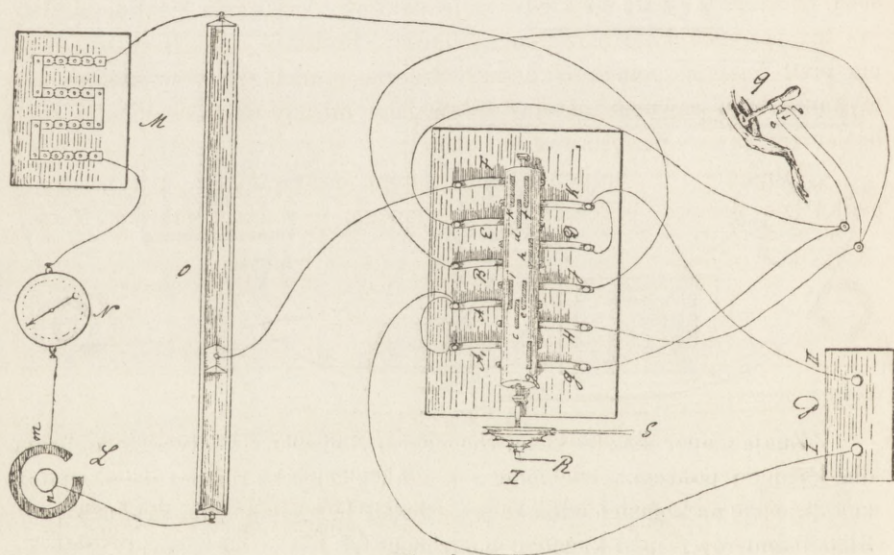


Fig. 4.

szklany lub ebonitowy, dający się obracać za pomocą korby R lub transmisji S , na którym są przymocowane metaliczne paski c, d, e, f, g, h, j, k . $A, B, \dots K$ oznaczają sprężyste blaszki, dotykające naprzemian różnych pasków, nalepionych na walcu, L stos Daniela, M opór służący do regulowania prądu, N galwanometr sprężynowy do odczytywania natężenia prądu, O rheochord, P kondensator, Q nerw i mięsień. I tu również odprowadzamy przez rheochord część prądu do kon-

densatora z tą tylko różnicą, że nabój kondensatora przepływał przez nerw raz w kierunku wstępującym, a następnie w odwrotnym. Przy zetknięciu się blaszek *A* i *I* z jednej strony, a *K* i *F* z drugiej strony za pomocą pasków *j*, *k*, łączyła się okładka I kondensatora z biegunem stosu *m*, przypuśćmy dodatnim, okładka zaś II z biegunem ujemnym *n*. Gdy po chwili zetknęły się blaszki *A* i *H* oraz *E* i *K* za pomocą pasków *c*, *d*, łączyła się okładka dodatnia I z miejscem nerwu *b*, a okładka ujemna II z miejscem *a*, tak, że prąd w nerwie szedł w kierunku od *b* do *a*, t. j. zstępującym. Przy powtórnym zetknięciu się blaszek *A*, *J* i *F*, *K*, za pomocą pasków *e*, *f*, znowu nabijały się okładki kondensatora jak powyżej, ale już przy następnym zetknięciu się blaszek *A*, *G* i *B*, *D* za pomocą pasków *g*, *h* okładka dodatnia I była połączona z miejscem *a*, okładka ujemna II z miejscem *b*, czyli, że prąd szedł w kierunku wstępującym od *a* do *b*. Tylko tą zmiennością kierunku prądu różni się to urządzenie od poprzednio opisanego.

Sposób trzeci. Ażeby uniknąć niektórych niedokładności, jakie za sobą pociągały, jużto niekiedy niejednakowe zamykanie się kontaktów, już też potrzeba kontrolowania szybkości obrotowej, użyliśmy ostatecznie przy ścisłych pomiarach jeszcze trzeciego urządzenia, w którym zamykanie było pewnem, a czas upływający między naładowaniem i rozbrojeniem zawsze pozostawał ten sam.

Nabijanie i rozbrajanie kondensatora odbywało się w tym przyrządzie za pomocą przyrządu ¹⁾ drgającego, w rodzaju młotka Neefa,

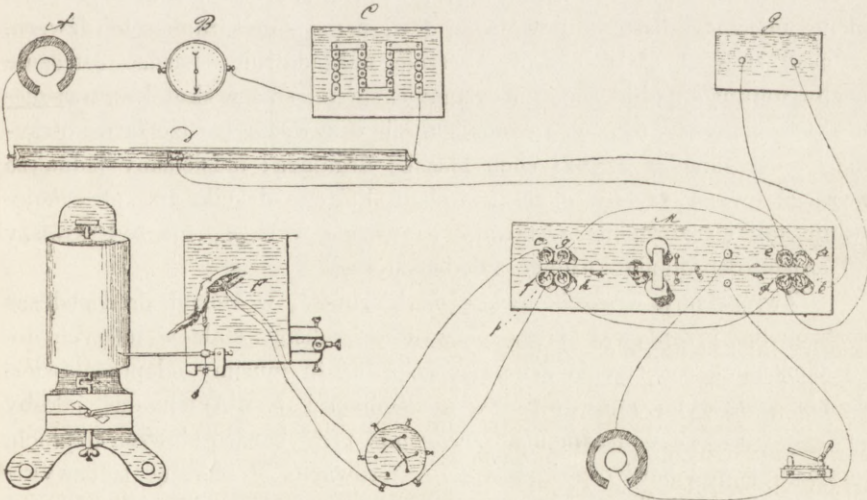


Fig. 5.

¹⁾ Przyrząd ten był wykonany przez mechanika naszego Uniwersytetu K. Freunda.

oznaczonego na figurze 5 literą M , końce tego drgającego pręta opatrzone z każdej strony platynowymi kontaktami p , nurzającymi się w 8 naczynkach z rtęcią $a - h$. Zresztą na figurze oznacza: A — stos; B — galwanometr Siemens'a; C — opór do regulowania natężenia; D — rheochord; F — nerw i mięsień; G — kondensator.

I tu nabijaliśmy kondensator pewną częścią prądu dającą się ściśle określić i odprowadzaliśmy za pomocą rheochordu, a tylko w miejsce wałeczka ebonitowego używaliśmy drgającego przyrządu M . Przy przechyleniu się tegoż ku stronie naczynek $a - d$, łączył się jeden biegun stosu za pomocą naczynka a i kontaktu platynowego z naczynkiem c , za pomocą więc tegoż i z I okładką kondensatora. Tak samo drugi biegun łączył się z drugą okładką za pomocą naczynek b, d , i odpowiednich kontaktów platynowych. Przy przechyleniu się przyrządu M na stronę przeciwną, łączyły się: okładka I kondensatora za pomocą naczynek e, g , okładka II zaś za pomocą naczynek f, h , z elektrodami, leżącymi na nerwie i w ten sposób następowało rozbrojenie.

Proces ten odbywać się mógł, albo powoli za pomocą zamykania kluczem obwodu łączącego bateryję z elektromagnesami drgającego przyrządu, albo też szybko, nakształt młotka Wagnera.

Przy wszystkich wymienionych sposobach używaliśmy do podrażnienia elektrodów, zbudowanych na podobieństwo ostrumowskich, lub dla mięśnia elektrodów szpilkowych; skurcze notowaliśmy na waleu Bregetowskim. Jedyłą zmianą, jaką zaprowadziliśmy w myografie Mareya było chyba to, że ciężar był przytwierdzony w punkcie przyczepienia mięśnia po stronie przeciwnej dźwigni; stosunek ramion tej dźwigni wynosił stale 1 : 10; ciężar wreszcie nakładaliśmy bardzo ostrożnie ażeby uniknąć nadmiernego wyciągania się mięśnia w skutek wstrząśnienia. Co się tyczy tęzców, to mogliśmy je oczywiście bardzo łatwo otrzymać, puszczając w szybki ruch blaszkę drgającą; musieliśmy jednakże zwracać uwagę, ażeby okres, w ciągu którego druciki tak przy ładowaniu jak i rozbrojeniu zostawały zanurzone w rtęci, nie był krótszy od czasu rozbrojenia każdego kondensatora.

Zwróciliśmy wreszcie uwagę na kierunek, w którym prąd podczas rozbrojenia przepływał przez nerw i używaliśmy stale w naszych doświadczeniach rozbrojenia zstępującego. Już tu musimy odeprzeć twierdzenie niektórych autorów, a w szczególności p. d'Arsonvala, jakoby jednokierunkowe podrażnienie, szczególnie przy bardzo słabych prądach, miało wpływać bardzo szkodliwie. Autorowie ci, opierając się zwykle na zjawiskach elektrotonicznych, przypuszczają, że zmiany, które prąd wywołuje podczas przejścia w jednym kierunku, zostają zupełnie zrównoważone podczas przejścia prądu w drugim kierunku. Przypuszczenie

to jest co najmniej dowolne, albowiem nikt nie udowodnił, żeby zmiany w pobudliwości zależały od zmian elektrolitycznych w nerwach. Przeciwnie fakt, że po przerwaniu prądu zachodzą co do pobudliwości nerwów zmiany wręcz odwrotne, przemawia za tem, że tej zależności nie ma.

Z większem prawdopodobieństwem można przypuścić, że zmiany w pobudliwości zależą od zakłócenia molekularnego, lecz innej natury niż elektroliza; zachodzi więc jeszcze pytanie, czy dwukierunkowe zakłócenia mniejszą wywołują zmianę niż jednokierunkowe, a zresztą i stan czynny w warunkach fizjologicznych przenosi się w nerwie tylko w jednym kierunku.

Jakkolwiek sposoby mierzenia pojemności kondensatora oczywiście nie wchodziły w zakres naszych badań, pozwolimy sobie jednakże wspomnieć o tych metodach, któremi posługiwaliśmy się w naszych doświadczeniach, a to ze względu, że dotychczas kondensator nie miał żadnego prawie zastosowania ani do badań fizjologicznych, ani też w ogóle w medycynie.

Pierwsza metoda, której używaliśmy, jest małą modyfikacją „metody absolutnej“ podanej przez Mascarta i Jouberta (*l'Electricité II*), i ztąd też wypada nam ją pierwiej opisać oraz podać wzory przy niej używane. Zestawienia potrzebne do stosowania tej metody przedstawione są na Fig. 6.

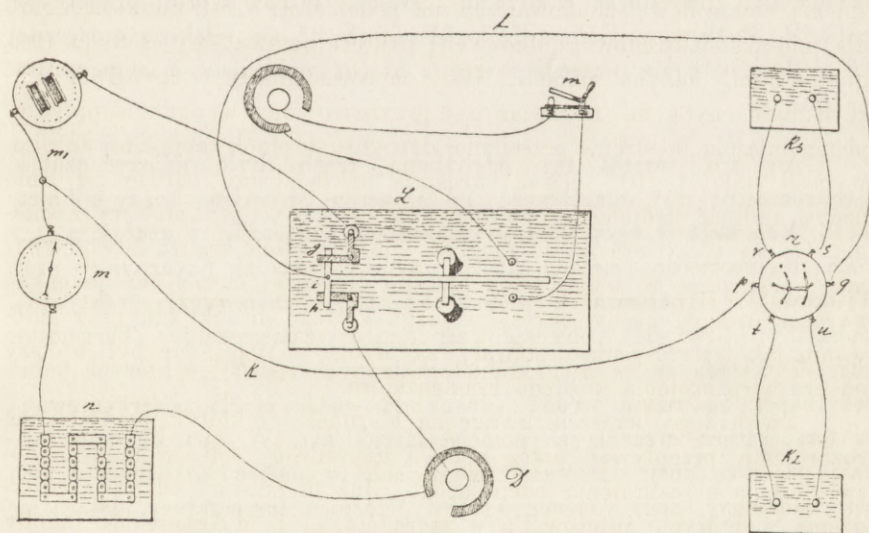


Fig. 6.

A jest czuły galwanometr aperyjodyczny. Literą *D* oznaczono stos normalny Daniela lub każdy inny stos, którego siłę mogliśmy kontrolować opisanym już przez nas galwanometrem sprężynowym (*m*) i pobocznym oporem (*n*); *Ks* — kondensator o pojemności szukanej;

kz — kondensator używany czasem do kontroli o pojemności znanej; *m* galwanometr sprężynowy, *n* opornica; oba te przyrządy służyły tylko do kontrolowania siły stosu; *z* kommutator Poł'a bez środkowych drutów, służący do połączenia kontaktów, *p*, *q* naprzemian z kontaktami *r*, *s* lub *t*, *u*, a zatem do załączenia kondensatora *kz*, lub kondensatora *ks*. Oprócz tego mamy pod *L* przerywacz (Tonunterbrecher) Kroeckera, t. j. blaszkę drgająca, wprawioną w ruch przez osobną baterję; pod *g*, *h* dwa kontakty platynowe (umieszczone w dwu zgiętych miedzianych statywkach izolowanych względem siebie i od otoczenia), przebiegające równoległe do blaszki drgającej; *i* pręcik (*i*) umocowany w ebonicie na końcu drgającej blaszki tak, że podczas wibracji dotykał naprzemian kontaktów *g* i *h*.

Tok doświadczeń przeprowadzonych według tej metody był następujący: przez zamknięcie klucza *m* puszczaono blaszkę *L* w ruch, ustawivszy ją na żadaną ilość drgań. Przy zetknięciu się drucika *i* z kontaktem *h*, prąd płynął ze stosu *D* przez *h* i *l* z jednej strony, a przez drut *k* z drugiej strony do kondensatora *E* i nabijał go. Przy zetknięciu się zaś *i* z *g* nabój udzielony kondensatorowi *E* płynął z jednej strony przez *l*, *g*. z drugiej strony przez druty *k*, *m*, do galwanometru, powodując odchylenie lusterka będące wprost proporcjonalne do iloczynu z pojemności kondensatora (*c*), siły elektromotorycznej (*E*) i ilości naboju *n* według wzoru: Δ (odpowiadające *x* amperom) = CEn .

Aby znać wartość tego odchylenia, trzeba było obliczyć czułość galwanometru, t. j. obrachować, ilu amperom odpowiada każdy milimetr skali. Ponieważ w naszych doświadczeniach oznaczaliśmy czułość za pomocą thermostosów (metoda, której używa w zakładzie fizycznym p. prof. Witkowski), i ponieważ ta metoda okazała się nadzwyczaj praktyczną, opisujemy ją zwięźle, polecając zarazem jej zastosowanie. Thermostos (Fig. 7) składa się z dwu kolbek szklanych (*A*, *B*), z których jedna jest napełniona zimną wodą, druga zaś wodą ciągle podtrzymywaną w temperaturze wrzenia za pomocą lampki (*x*). W obu kolbkach nurzają się dwa druty zlutowane między sobą w miejscu (*a*); jeden z nich jest miedziany, drugi z nowego srebra. Różnica temperatury, dająca się kontrolować termometrem (*b*), staje się przyczyną powstania prądu, którego siła musi być zmierzona przez porównanie z innym znanym dokładnie źródłem elektryczności, zanim użyjemy go do oznaczenia czułości galwanometru. Siła używanego przez nas thermostosu wynosiła prawie $\frac{1}{1000}$ Volt: ($E = 0.0010982 + (20 - t) 0.0000115$). Czułość obra-

chowaliśmy ze znanego wzoru $i = \frac{E}{rx}$, gdzie x oznacza wielkość odchylenia odczytanego na skali, a r opór galwanometru w ohmach z od-

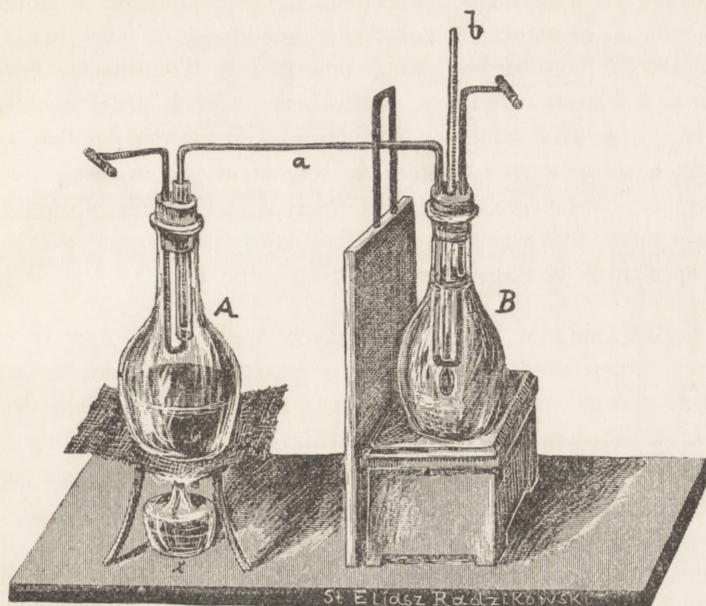


Fig. 7.

powiednią poprawką zależną od temperatury. (W naszym przypadku $r=16142 + 56.5(t-16)$). Liczba, otrzymana z powyższego wzoru, oznacza nam, ilu amperom, względnie ilu częściom ampera odpowiada 1 milimetr skali. Przez tę liczbę trzeba zatem pomnożyć odchylenie, otrzymane powyżej przy zmierzeniu pojemności, aby wiedzieć, jaką ona ma wartość.

Wzór Δ (wychylenie, odpowiadające x amperom) $= cEn$, zkad $c = \frac{\Delta}{nE}$

przejdzie zatem na $c = \frac{\text{wychylenie} \cdot \text{czułość}}{nE}$. Wyrażając siłę elektromotoryczną w milivoltach, odchylenie w milimetrach, czułość w miliamperach, otrzymujemy pojemność kondensatorów w faradach.

Ze względu na pewną trudność, nastęrczającą się przy obliczaniu ilości drgnięć blaszki L , na którą mogły się składać, zwłaszcza przy szybszem tempie drgnięcia samej blaszki i drgnięcia izolowanego sztyfcika, w skutek czego do rachunku zakradała się pewna niedokładność, używaliśmy jeszcze innej metody. Zamiast blaszki drgającej, wprowadziliśmy tedy w celu nabijania i rozbrajania obrotowy kommutator ebonitowy, osadzony na osi syreny, której szybkość obrotowa dawała się

wprost odczytać. Oś syreny wprawiano w ruch za pomocą osobnej transmisji, idącej od motora elektrycznego. Na tym komutatorze oznaczonym na Fig. 8 literą *k*, nalepione są cztery blaszki cynfoliowe, z których

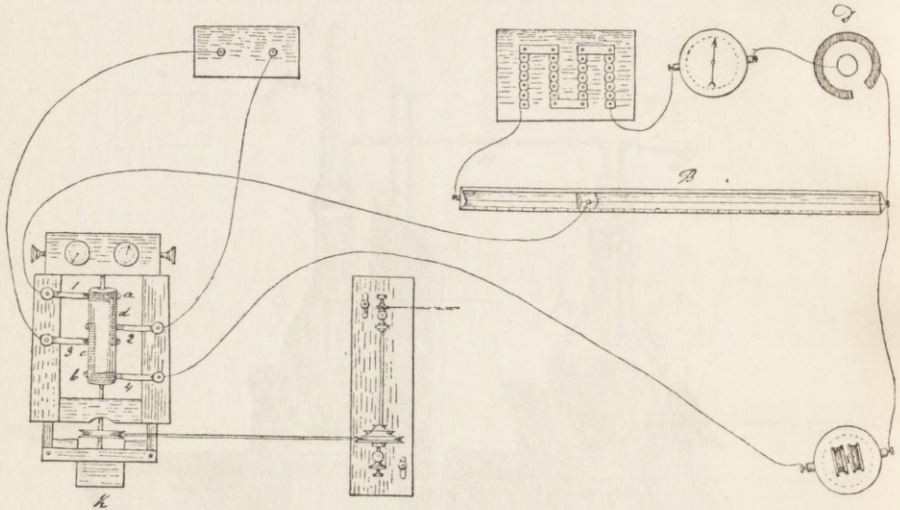


Fig. 8.

paski *a*, *b* otaczają cały obwód wałeczka, *c* i *d* zaś są wąskimi blaszkami. Sprężynowe kontakty 1, 4 ciągle się stykają z paskami *a* i *b*; kontakty 2 i 3 za pomocą pasków *c*, *d* naprzemian z kontaktami 1 i 4.

Tu źródłem elektryczności jest znowu część prądu, odprowadzona od baterji *D* za pomocą rheochordu *B*. Łatwo wyrozumieć z rysunku, że przy każdym obrocie przechodzi przez galwanometr dwa razy podwójny nabój, tak, iż we wzorze, podanym powyżej na pojemność

$$c = \frac{\text{czułość} \cdot \text{wychylenie}}{nE}, \text{ trzeba zamiast } n, \text{ użyć } 4n; \text{ czyli, że } c = \frac{\text{czułość} \cdot \text{wychylenie}}{4nE}.$$

Ostatni sposób, używany przez nas do mierzenia pojemności, ilustruje figura 9; *a*—oznacza kommutator; *D*—stos, którego jeden biegun jest połączony z ziemią; *b*—kondensator o pojemności znanej; *c*—kondensator o pojemności szukanej; *g*—galwanometr; *r*₁ i *r*₂: dwa włączone w obwód opory. Przy przerzuceniu komutatora *a* na stronę prawą, nabijamy oba kondensatory prądem, płynącym ze stosu *D*.

Oczywistą jest rzeczą, że w danem połączeniu tylko wtedy nie będzie odchylenia w galwanometrze, kiedy iloczyn z oporów i pojemności będą sobie równe (według wzoru $c_1 r_1 = c_2 r_2$).

Mając możność regulowania oporów do woli, a znając pojemność jednego z kondensatorów, łatwo mogliśmy rozwiązać równanie :

$$c_1 = \frac{c_2 r_2}{r_1} .$$

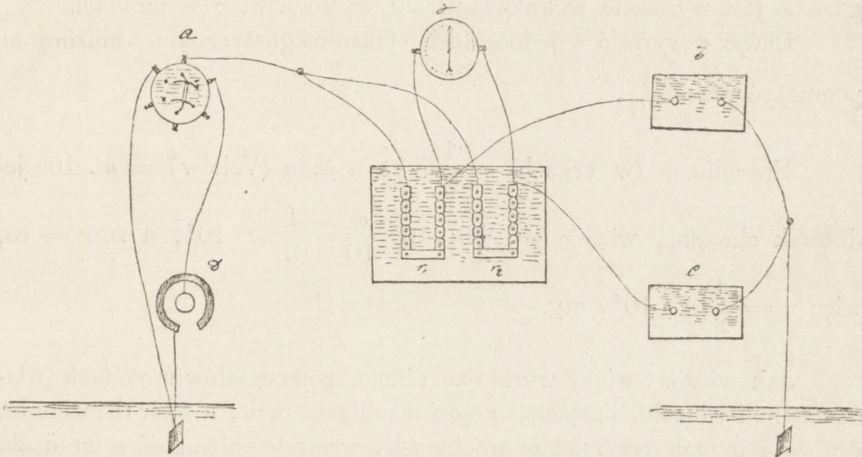


Fig. 9.

Mając zestawienie, które nam pozwala używać dowolnej pojemności (biorąc różne kondensatory), dowolnej różnicy potencjałów (zmieniając natężenie prądu i opór rheochordu) i otrzymywać rozbrojenia kondensatorów w pewnym czasie, dającym się ściśle teoretycznie obliczyć, a eksperymentalnie stwierdzić, musimy rozstrzygnąć następujące kwestyje:

1) Czy skurecz mięśnia wywołany w skutek rozbrojenia kondensatora za pomocą nerwu lub mięśnia zostaje w pewnej zależności od różnicy potencjałów na okładkach kondensatora, czy od pojemności, czy też od obu tych czynników razem, t. j. ilości elektryczności i energii rozbrojenia ?

2) W jakim stosunku zostaje wzrost skureczu i jego energii do wzrostu podniety ?

3) Oznaczyć porównawczo pobudliwość mięśni i nerwów.

Aby odpowiedzieć na pierwsze pytanie, obrachowywaliśmy różnicę potencjałów, mnożąc odczytane na galwanometrze sprężynowym natężenie prądu przez opór włączonej części rheochordu (jako już zresztą wyżej wspomnieliśmy); pojemność kondensatorów również przy pomocy opisanych metod była nam już znana; pozostawało więc obliczyć nabój i energiję podług następujących wzorów, które podaje fizyka. W tym celu potrzeba było oznaczyć dla każdego danego przypadku różnicę po-

tencyjałów u przy której się kondensator nabijał, jego pojemność c , ilość elektryczności e i energiję η . O sposobach oznaczenia dwóch pierwszych wielkości mówiliśmy wyżej.

Ilość elektryczności (nabój) e , równa się jak wiadomo: uc , gdzie e jest wyrażone w kulombach, u w Voltach, c w faradach.

Chcąc e wyrazić w jednostkach elektromagnetycznych, musimy uc pomnożyć przez $\frac{1}{10}$.

Energija η (w ergach) = $\frac{1}{2} u e$; a że u (Voltów) = $u \cdot 10^8$ jednostek elmag., więc $\eta = \frac{1}{2} u \cdot 10^8 \frac{e}{10} = \frac{1}{2} u e 10^7$, a że $e = cu$, więc $\eta = \frac{1}{2} u^2 c 10^7$ erg.

Jak widzimy więc, wyrażając różnicę potencyjałów w voltach (właściwie mili-voltach), natężenie prądu w miliamperach, a opór rheochordu, drutów i innych przyrządów w ohmach, wreszcie pojemność w faradach, dostajemy wartość naboju w kulombach, a wielkość energii w ergach. Zmieniając teraz kolejno różnicę potencyjałów i pojemność, aby wiedzieć, który z tych czynników jest podrażniającym, możemy podczas doświadczenia rozporządzać następującymi warunkami: 1) zmienia się różnica potencyjałów a pojemność pozostaje ta sama; 2) pojemność się zmienia a różnica potencyjałów pozostaje ta sama.

Ponieważ w obu tych przypadkach zmieniają się zarówno nabój jak i energija, aby więc rozstrzygnąć, który z tych czynników jest bodźcem podrażniającym, musimy jeszcze przeprowadzić dwie modyfikacje, t. j. 3) aby się nabój zmieniał a energija pozostawała ta sama, wreszcie 4) aby energija się zmieniała a nabój pozostawał ten sam.

We wszystkich tych przypadkach jednak, jak już powyżej wspomnieliśmy, mogą być użyte tylko takie kondensatory, których czas rozbrojenia jest prawie ten sam. Odpowiedź na wszystkie te pytania mogą dać jedynie doświadczenia, z których przytaczamy tylko następujące.

Doświadczenie 1.

Żaba, *musculus gastrocnemius*; drażnienie pośrednie z nerwu kulzowego. Natężenie prądu = 30 miliamperów. Kondensator o pojemności $1225 \cdot 10^{-11}$ pozostaje ciągle ten sam w toku doświadczenia. Zmieniamy natomiast za pomocą rheochordu różnicę potencyjałów. Obciążenie 10 gr.

Różnica potencjałów w Voltach	Wysokość krzywej zapisanej na walcu podczas skurczu. Stosunek ramion dźwigni 1 : 10.
0·2060	1 mm.
0·2138	3 "
0·2216	7 "
0·2295	15 "
0·2424	40 "
0·3206	45 "
0·4350	45 "
0·4770	45 "
0·5552	45 "
0·6334	45 "
0·7116	45 "
0·8160	45 "

Doświadczenie 2.

Kondensator o pojemności $408 \cdot 10^{-11}$ F. 50 miliamp.

0·2	1 mm.
0·21	2 "
0·23	3 "
0·25	4 "
0·26	11 "
0·27	13 "
0·28	17 "
0·29	21 "
0·30	23 "
0·31	26 "
0·32	27 "
0·33	38 "
0·34	30 "

Doświadczenie 3.

Natężenie prądu (= 50 miliamperów), różnica potenc. = 250 milivoltów; zmienia się natomiast pojemność kondensatorów.

Pojemność kondensatorów	Wysokość skureczu.
$C_1 = 7825.10^{-11}$ Farada.	45 mm.
$C_2 = 1798.10^{-11}$ "	20 "
$C_3 = 1225.10^{-11}$ "	5 "
$C_4 = 408.10^{-11}$ "	3 "
$C_5 = 60.10^{-11}$ "	skureczu nie ma
$C_6 = 30.10^{-11}$ "	skureczu nie ma.

Z przytoczonych doświadczeń widzimy, że wysokość skureczu zmienia się zarówno wtedy, gdy, używając jednego kondensatora, zmieniamy różnicę potencjałów, jako też wtedy, gdy zmieniamy pojemność kondensatora przy stałym natężeniu prądu. Wynik fizjologiczny elektrycznego podrażnienia zależy więc zarówno od różnicy potencjałów, jak i od pojemności kondensatora. Te dwa czynniki wchodzą jednakże zarówno w skład naboju jak i energii, musimy więc jeszcze przeprowadzić szereg doświadczeń, w którym z jednej strony przy tym samym naboju zmieniałyby się energija, a z drugiej strony przy różnych nabojach energija pozostawałaby ta sama. Z wypadków, do których nas doprowadziły liczne doświadczenia przerobione w tym celu, przytoczymy tylko parę następujących przykładów.

Doświadczenie 4.

Pojemność jednego kondensatora wynosi 800.10^{-11} F.; pojemność drugiego 1600.10^{-11} F. Natężenie prądu wynosiło stale 0.03 amperów. Chcąc wywołać skurecz minimalnej wysokości (1 mm.) za pomocą obu tych kondensatorów, musieliśmy nabić większy kondensator różnicą potencjałów 0.09 volt, kondensator zaś mniejszy różnicą potencjałów 0.1341 volt. W obu przypadkach, przy dość znacznej różnicy naboju, ak to uwidocznia następująca tabela, energije pozostawały te same.

	Kondensator 800.10^{-11} F.	Kondensator 1600.10^{-11} F.
Różnica potencjałów	0.1341 V.	0.09 V.
Nabój	107.10^{-11} K.	133.10^{-11} K.
Energija	0,0014 E.	0,0013 E.
Wysokość skureczu .	1 mm.	1 mm.

Doświadczenie 5.

Wszystkie warunki te same co w doświadczeniu poprzedzającym, tylko kondensatory o innej pojemności.

	Kondensator o poj. $7825 \cdot 10^{-11}$ F.	Kondensator $1228 \cdot 10^{-11}$ F.
Różnica potencjałów	0·07 V.	0·2 V.
Nabój	$547 \cdot 10^{-11}$ K.	$245 \cdot 10^{-11}$ K.
Energija	0·0019 E.	0·002 E.
Wysokość skurczu	1 mm.	1 mm.

Doświadczenie 6 a).

Kondensatory o pojemności $800 \cdot 10^{-11}$ F. i $6300 \cdot 10^{-11}$ F. Chcąc za pomocą mniejszego kondensatora wywołać skurcz minimalny (1 mm.), średni (5 mm.) i maksymalny (30 mm.), musimy go nabić różnicą potencjałów wynoszącą:

0,21386 volt, 0,24242 V., 0,43500 V;

chcąc te same trzy skurcze otrzymać za pomocą kondensatora większego, musimy go nabić różnicą potencjałów, wynoszącą:

0·0782 volt, 0·10166 V., 0·15912 V.

We wszystkich tych przypadkach naboje znacznie się od siebie różnią, podczas gdy energija pozostaje ta sama, jak to najlepiej wykazuje następująca tablica:

	Kondensator $6300 \cdot 10^{-11}$ F.	Kondensator $800 \cdot 10^{-11}$ F.
Wysokość skurczu = 1 mm.		
Nabój	$470 \cdot 10^{-11}$ K.	$168 \cdot 10^{-11}$ K.
Energija	0,0018 E.	0,00176 E.

	Kondensator 6300.10 ⁻¹¹ F.	Kondensator 800.10 ⁻¹¹ F.
Wysokość skurezu = 5 mm.		
Nabój . .	630.10 ⁻¹¹ K.	190.10 ⁻¹¹ K.
Energija . .	0,0031 E.	0,0032 E.
Wysokość skurezu = 30 mm.		
Nabój . .	960.10 ⁻¹¹ K.	344.10 ⁻¹¹ K.
Energija . .	0,0075 E.	0,0072 E.

Doświadczenie 6 b).

Żaba. *Musculus gastrocnemius*. Oznaczenie energii i naboju, przy których otrzymujemy skurez minimalny.

Pojemność kondensatora	Długość włączonej części rheochordu	Różnica potencjałów	Nabój	Energija rozbrojenia
672·5.10 ⁻¹¹ F.	9·6 cm.	0·112 V.	78.10 ⁻¹¹ K.	0·00045 E.
1361·5.10 ⁻¹¹ F.	6·7 cm.	0·077 V.	105.10 ⁻¹¹ K.	0·0004 E.

Następnie włączono oprócz nerwu opór grafitowy, wynoszący 160,000 ohmów i otrzymano następujące wypadki:

Pojemność kondensatora	Długość włączonej części rheochordu	Różnica potencjałów	Nabój	Energija rozbrojenia
672·5.10 ⁻¹¹ F.	16·3 cm.	0·194 V.	130·3.10 ⁻¹¹ K.	0·0012 E.
1361·5.10 ⁻¹¹ F.	11·5 cm.	0·132 V.	179·10 ⁻¹¹ K.	0·0011 E.

W powyżej przytoczonych doświadczeniach, pomimo najróżniejszych warunków, przy użyciu najróżniejszych kondensatorów i zmiennej różnicy potencyjałów, otrzymywaliśmy zawsze ten sam skurecz, jeśli tylko energije podniet były sobie równe lub bardzo do siebie zbliżone, podczas gdy znaczne zachodziły różnice w nabożach. Z tych więc doświadczeń wynika, że tylko energija podnietu może być czynnikiem wywołującym stan czynny w nerwie lub mięśniu. Aby się jeszcze więcej utwierdzić w tem przekonaniu, przytoczyć możemy przykłady, gdzie naboje były równe a energije różne, przy użyciu kondensatorów o pojemności 800 i $6300 \cdot 10^{-11}$ F.

Doświadczenie 7.

	Kondensator $800 \cdot 10^{-11}$ F.	Kondensator $6300 \cdot 10^{-11}$ F.
(A)	skurecz = 45 mm.	skureczu nie ma
Nabój .	$378 \cdot 10^{-11}$ K.	$376 \cdot 10^{-11}$ K.
Energija	0,08 ergi	0,0011 ergi
(B)	skurecz = 50 mm.	skurecz = 1 mm.
Nabój .	$470 \cdot 10^{-11}$ K.	$470 \cdot 10^{-11}$ K.
Energija	0,13 ergi	0,0018 ergi

Wszystkie więc wyżej opisane wypadki doświadczeń muszą nas przekonać, że przy użyciu kondensatora do podrażnienia nerwów i mięśni, energija jest czynnikiem, który odgrywa najważniejszą rolę i od którego zależy efekt fizjologiczny. Wniosek ten jest tem ważniejszy, że stwierdziliśmy go także przy drażnieniu bezpośredniem mięśnia, jak to zresztą poniżej wspomnimy, i że on sprzeciwia się zapatrywaniom dotychczasowym, z których wymienimy tu zdanie p. d'Arsonvala i p. Dubois. Pierwszy w przytoczonej już wyżej rozprawie twierdzi: „qu'il n'y a aucun rapport entre l'énergie d'une excitation électrique et la con-

traction, qui en résulte“; drugi¹⁾ uważa za czynnik podrażniający nie energię rozbrojenia, lecz ilość elektryczności; ta ostatnia w jego doświadczeniach przeprowadzonych na *n* medianus człowieka wynosiła najmniej 20000.10⁻¹¹ kulombów; w naszych zaś doświadczeniach, jakto podaliśmy wyżej, wystarczało 150.10⁻¹¹ do 100.10⁻¹¹ kulombów. Tak samo podaje p. Dubois, że pojemność kondensatora nie może być mniejszą od 400.10⁻¹¹ Farada, podczas gdyśmy w naszych doświadczeniach z równie dobrym skutkiem mogli używać kondensatorów nawet o pojemności 30.10⁻¹¹ F.

Odpowiedziawszy na pierwsze pytanie, któreśmy sobie zadali na początku niniejszej pracy: „co jest w bodźcu elektrycznym czynnikiem podrażniającym“, przejdźmy do rozwiązania drugiego pytania, odnoszącego się do stosunku, jaki istnieje między wysokością skurezu a wielkością użytej podniety, gdzie przez wielkość jej rozumiemy energię, skorośmy już udowodnili, że ona jest czynnikiem podrażniającym. I na to pytanie znowu dadzą nam odpowiedź tylko doświadczenia, z których kilka przytoczymy poniżej.

Doświadczenie 8.

Żaba. *Musculus gastrocnemius*. Natężenie prądu = 50 miliamperów. Kond. o pojemności 408.10⁻¹¹ F.

Energija podniety w ergach	Wysokość skurezu w mm.
14/10000	1 mm.
15 „	2 „
15·5 „	3 „
16 „	4 „
16·5 „	11 „
17 „	13 „
18 „	17 „
19 „	21 „
20 „	23 „
21 „	26 „
22 „	27 „
23 „	28 „
24 „	30 „
24·7 „	32 „
25·4 „	32 „

¹⁾ Mittheilungen der naturforschenden Gesellschaft. Bern. 1888, i Edelmann: Elektrotechnik für Aerzte (1890). S. 152.

Doświadczenie 9.

Żaba. *Musculus gastrocnemius*. Natężenie prądu 50 miliamperów.
Kondensator o pojemności $1225 \cdot 10^{-11}$ F.

Energija podniety w ergach	Wysokość skurezu w mm.
6/1000	1 mm.
8 "	2 "
8·5 "	3 "
9 "	5 "
10 "	10 "
11 "	12 "
12 "	16 "
13 "	20 "
14 "	22 "
14·7 "	26 "
15·2 "	27 "
16 "	29 "
17 "	32 "
18·5 "	34 "
19 "	"

Doświadczenie 10.

Królik. Kondens. $1225 \cdot 10^{-11}$ F. Natęż. = 50 ma.

Energija podniety w ergach	Wysokość skurezu w mm.
28/10000	1 mm.
30 "	2 "
35 "	3 "
40 "	9 "
45 "	11 "
50 "	17 "
52 "	19 "
55 "	20 "
60 "	22 "
65 "	24 "
70 "	25 "
75 "	} 27 "
80 "	
85 "	
90 "	

Zupełnie podobny wypadek otrzymaliśmy wielokrotnie w innych doświadczeniach przy zastosowaniu rozmaitych kondensatorów. Przytaczamy teraz kilka krzywych, otrzymanych podczas zapisywania skurczów pojedynczych mięśnia łydkowego a odnoszących się po części do innych doświadczeń, przeprowadzonych na nerwach żaby, królika, psa, szczura, świnki morskiej i kureczęcia.

Doświadczenie 11.

Szczur. *Nervus ischiadicus*. Kondensator o pojemności $1225 \cdot 10^{-11}$ F. Natężenie prądu = 50 milliamperów. Fig. 10.

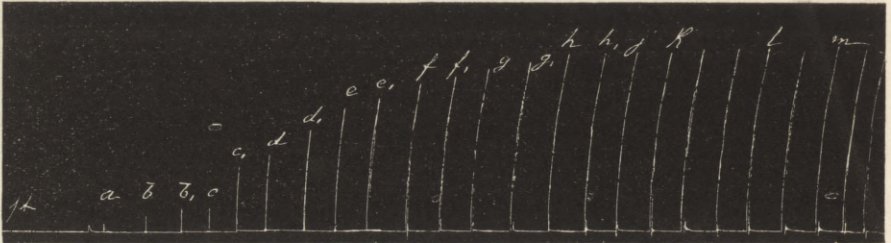


Fig. 10.

1	Liczby zapisane na krzywej (Fig. 10)	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
	Wartość podniety w $\frac{1}{10000}$ cz. ergi	28, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75
2	Liczby zapisane na krzywej	12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19
	Wartość podniety w $\frac{1}{10000}$ cz. ergi	80, 85, 90, 95, 100, 105, 110, 115
3	Liczby zapisane na krzywej	20, 21, 22, 23, 24, 25, 26
	Wartość podniety w $\frac{1}{10000}$ ergi	120, 130, 140, 150, 160, 170, $\frac{180}{10000E}$

Doświadczenie 12.

Świńka morska. *Nervus ischiadicus*. Kondensator o pojemności 408.10⁻¹¹ F. Natężenie prądu = 50 milliamperów. Fig. 11.

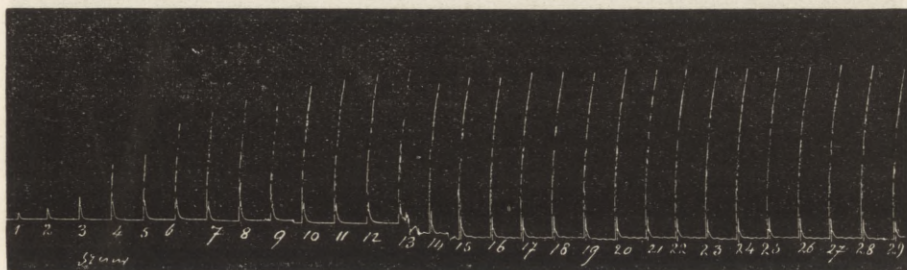


Fig. 11.

Litery zapisane na krzywej	10000 ^{ne} części ergi podniety	Litery zapisane na krzywej	10000 ^{ne} części ergi podniety
<i>a</i>	14 <i>E.</i>	<i>h</i>	25
<i>b</i>	15	<i>h</i> ₁	25.5
<i>b</i> ₁	15.5	<i>j</i>	26
<i>c</i>	16	<i>k</i>	28
<i>c</i> ₁	16.5	<i>l</i>	30
<i>d</i>	17	<i>m</i>	32 <i>E.</i>
<i>d</i> ₁	18		
<i>e</i>	19		
<i>e</i> ₁	20		
<i>f</i>	21		
<i>f</i> ₁	22		
<i>g</i>	23		
<i>g</i> ₁	24		

Doświadczenie 13.

Szezeńię. Kondensator o pojemności $7825 \cdot 10^{-11}$ Farada. 30 miliamperów. Liczby na dole = tysięcznym częściom ergi. Fig. 12.

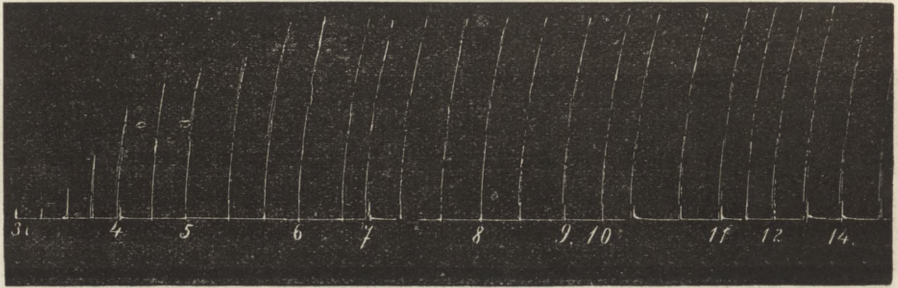


Fig. 12.

Doświadczenie 14.

Pies. Kondensator o pojemności $1798 \cdot 10^{-11}$ F. 30 miliamperów. Znaczenie liczb jak wyżej. Fig. 13.

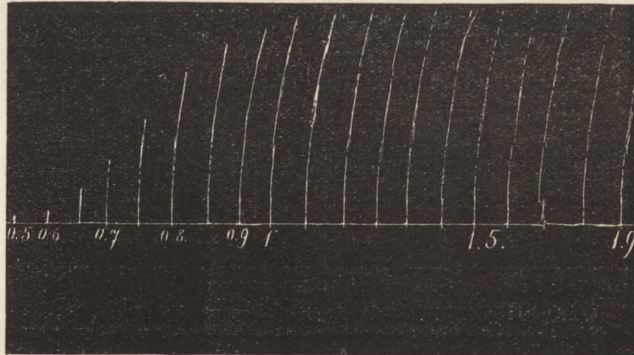


Fig. 13.

Doświadczenie 15.

Szczenie. Kondensator o pojemności $408,10^{-11}$ Farada. 50 miliamperów. Znaczenie liczb jak wyżej. Fig. 14.

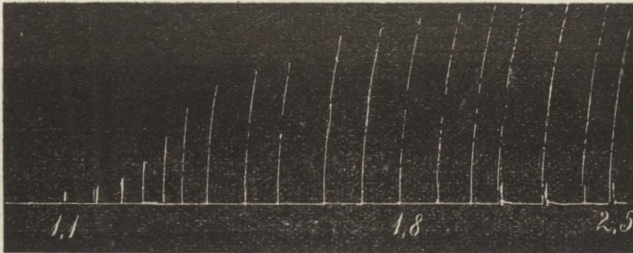


Fig. 14.

Doświadczenie 16.

Kurczę. Kondensator o pojemności $1225,10^{-11}$ Farada. 50 miliamperów. Liczby na dole oznaczają długość włączonej części rheochordu w centymetrach; na górze odpowiednie wartości energii rozbrojenia w tysięcznych częściach ergi. Każde nowe podrażnienie wykonywano po posunięciu kontaktu rheochordu o 1 centymetr. Fig. 15.

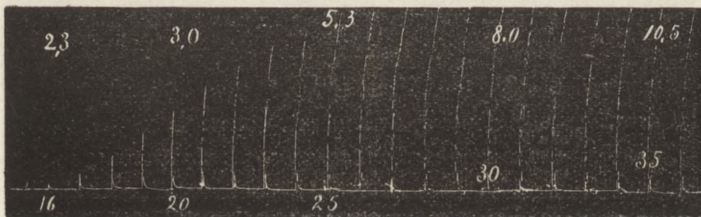


Fig. 15.

Doświadczenie 17.

Żaba. Kondensator $= 1225^{-11}$ Farada. 50 miliamperów. Znaczenie liczb jak wyżej. Fig. 16.

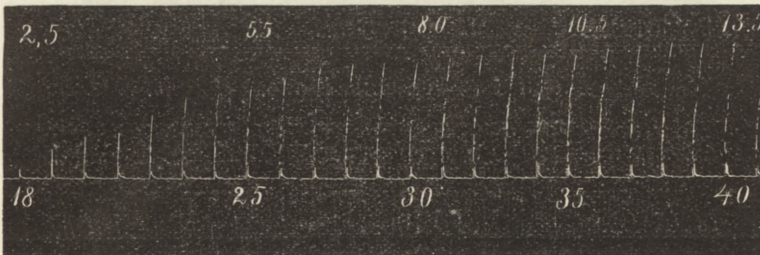


Fig. 16.

Doświadczenie 18.

Żaba. Kondensator = $408 \cdot 10^{-11}$ Farada. Podrażniano po przesunięciu kontaktu rheochordu o $\frac{1}{2}$ cm. Liczby u góry oznaczają tysięczne części ergi; u dołu zaś długość włączanej części rheochordu. Fig. 17.

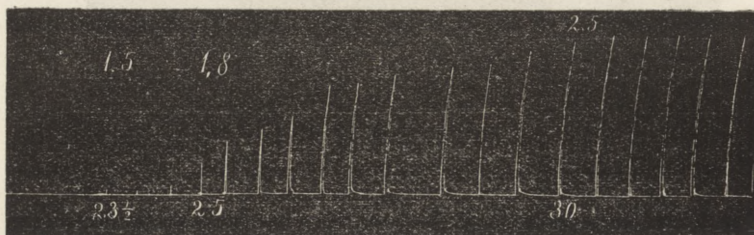


Fig. 17.

Doświadczenie 19.

Żaba. Kondensator = $1798 \cdot 10^{-11}$ Farada. 50 miliamperów. Znaczenie liczb jak wyżej. Fig. 18.

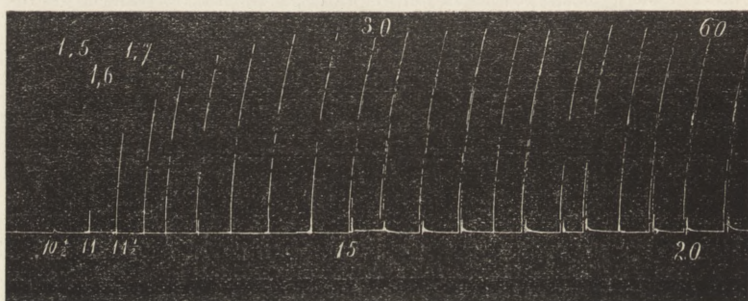


Fig. 18.

Doświadczenie 20.

Żaba. Kondensator = $1225 \cdot 10^{-11}$ Farada. 50 miliamperów. Liczby oznaczają dziesięciotysięczne części ergi. Fig. 19.

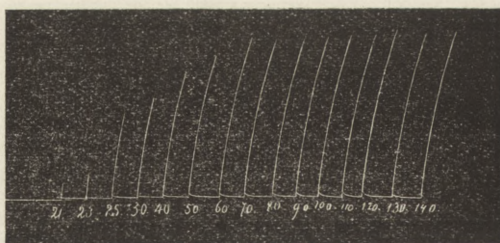


Fig. 19.

Doświadczenie 21.

Żaba znużona. Kondensator = $1225 \cdot 10^{-4}$ Farada. 50 miliamperów. Znaczenie liczb jak wyżej. Fig. 20.

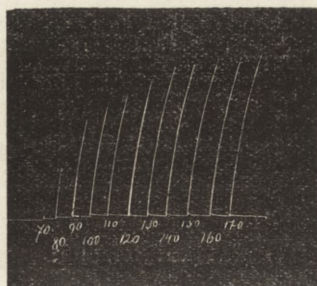


Fig. 20.

Doświadczenie 22.

Szereg skurczów pojedynczych podczas podrażniania rozbrojeniami tej samej energii. Fig. 21.

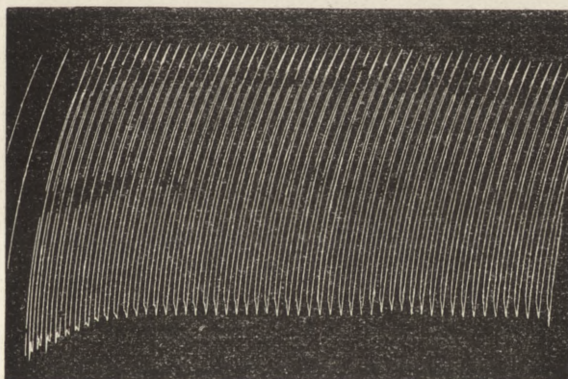


Fig. 21.

Już na pierwszy rzut oka w przytoczonych krzywych skurczu mięśnia można spostrzedz pewne charakterystyczne cechy, wspólne dla wszystkich doświadczeń, a mianowicie możemy zauważyć, że przyrosty wysokości skurczów, pomimo jednostajnych przyrostów podniety nie odbywają się równomiernie. Z początku przyrosty skurczu rosną znacznie szybciej, niż energija podniety. Podczas gdy n. p. energija podniety ro-

śnie o $\frac{1}{10000}$ lub $\frac{2}{10000}$ ergi, wysokość skurczu przyrasta z początku o 0.5 mm., następnie o 2, 3, 5 i t. d.; w końcu dochodzimy do pełnego maximum, przy którym, pomimo dalszego jednostajnego wzrostu podniety, przyrosty te stają się coraz mniejsze i nareszcie zupełnie znikają, t. j. krzywe skurczu, pomimo dalszego wzrostu podniety, zostają ciągle na tej samej wysokości.

Jeżeli połączymy ze sobą najwyższe punkta krzywych skurczu, to otrzymamy krzywą przyrostów skurczu, która najdokładniej tę właściwość uwidocznia. Krzywa taka składa się właściwie z dwóch części; z początku jest obrócona wklęsłością ku górze; następnie zmienia kierunek i zwraca się wklęsłością ku dołowi. Przebieg ten charakterystyczny nadaje jej podobieństwo do litery S.

Przebieg ten jest tak prawidłowy, że pomimo, iż doświadczenia nasze liczymy na setki, nie spotykaliśmy nigdy żadnych wyjątków, żadnych przerw, które niektórzy autorowie spostrzegali przy użyciu podniety submaksymalnych. Przeciwnie, jeżeli tylko wszystkie warunki doświadczenia były dokładnie zachowane, charakter tej krzywej zostawał jeden i ten sam dla różnych gatunków zwierząt, jako też dla różnych pobudliwości tego samego nerwu.

Jeżeli najmniejszą energiję rozbrojenia kondensatora będziemy uważali za *próg pobudliwości* nerwu, to tę energiję, przy której otrzymujemy maximum skurczu przy danem obciążeniu możemy nazwać *kresem pobudliwości*. Dalszy bowiem przyrost energii podniety, chociażbyśmy zwiększali ją bardzo znacznie, nie jest już w stanie wywołać większego skurczu, jeżeli mięsień i nerw zostają w tych samych warunkach.

Przy tej sposobności musimy zauważyć, że stosując podniety wyższe od „kresu pobudliwości“, nigdyśmy nie zauważyli ani znikania skurczu, ani nawet zmniejszania się tegoż, jeżeli tylko nerw i mięsień nie ulegały znużeniu, które mogło naprzykład wystąpić po długich i wielokrotnych próbach z tym samym preparatem. Lecz, jeżeli stosując silniejszą podniety, otrzymywaliśmy skurez mniejszy niż przy słabszych podnietych, to ponowne zastosowanie słabych podniety skurczu nie zwiększało, przeciwnie stawał się on coraz słabszy.

Dotychczas mówiliśmy o stosunku skurczu do podniety przy tem samym obciążeniu. Rozpatrzmy się teraz, jak się zachowuje wysokość skurczu samego mięśnia przy różnych obciążeniach. W tym celu wykonaliśmy szereg doświadczeń, w których staraliśmy się oznaczyć, jakich t. j. o jakiej energii, trzeba użyć podniety, ażeby przy rozmaitych obciążeniach wywołać skurez minimalny, kilka skurczów średniej wysokości

i skurecz maksymalny ¹⁾. Stosunek ten najlepiej przedstawia następujące tabele.

Doświadczenie 23.

Żaba. Kondensator o pojemności 1135.10⁻⁴ F. Natężenie prądu 0.034 amperów.

Energija podniety w ergach	Wysokość krzywej skureczu w milimetrach przy obciążeniu :							
	5 gr.	10	15	20	30	50	90	110 gr.
0.0036326	1 mm.							
0.004086	3							
0.004313	5	1 mm						
0.004541	17	2						
0.00499	30	13	1 mm.					
0.005448	38	16	2					
0.005902	38	21	12					
0.00600415	38	27	14					
0.0064695	38	27	15					
0.007063	38	27	16	1 mm.				
0.007672	38	27	24	2				
0.00805	38	27	26	5	1 mm.			
0.010215	38	27	26	7	2			
0.01305	38	27	26	20	3	1 mm.		
0.0204	38	27	26	25	16	2		
0.02837	38	27	26	25	24	6		
0.03745	38	27	26	25	24	12	1 mm.	
0.04767	38	27	26	25	24	15	2	
0.06025	38	27	26	25	24	16	4	1 mm.
0.07264	38	27	26	25	24	17	5	2

¹⁾ Przytem zauważyć musimy, że aby otrzymać przytoczone poniżej wypadki, należy wykonywać doświadczenia koniecznie w pewnych odstępach czasu tak, aby mięsień nie uległ znużeniu.

Doświadczenie 24.

Energija podniety w ergach	Wysokość krzywej skurezu w milimetrach przy obciążeniu :							
	5 gr.	10	15	20	30	50	90	110 gr.
0·0035	1 mm.	1 mm.						
0·004	2	2	1 mm.	1 mm	1 mm.			
0·0042	4	3	2	2	2			
0·0044	15	14	13	5	3	1 mm.	1 mm.	
0·0048	30	16	15	7	6	2	2	
0·0053	35	21	18	16	14	6	5	
0·0057	39	26	23	20	18	12	7	
0·006	39	26	25	23	22	15	7	
0·0062	39	26	25	23	22	17	7	
0·007	39	26	25	23	22	17	7	
0·0075	39	26	25	23	22	17	7	
0·008	39	26	25	23	22	17	7	
0·01	39	26	25	23	22	17	7	
0·012	39	26	25	23	22	17	7	
0·02	39	26	25	23	22	17	7	
0·029	39	26	25	23	22	17	7	
0·035	39	26	25	23	22	17	7	
0·046	39	26	25	23	22	17	7	
0·061	39	26	25	23	22	17	7	
0·07	39	26	25	23	22	17	7	

Z obu przytoczonych doświadczeń można wyprowadzić następujące wnioski :

1) W miarę wzrostu obciążenia potrzeba coraz większej podniety, aby wywołać minimalny skurecz, n. p. przy obciążeniu 10 gr. skurecz minimalny odpowiada podniecie 0·004 ergi; przy obciążeniu 30 gr. podniecie 0·008 ergi i t. d. (p. dośw. 23). Fakt ten spostrzegaliśmy prawie w każdym doświadczeniu, z tą tylko różnicą, że w niektórych doświadczeniach podniety, potrzebne do wywołania minimalnego skureczu przy różnych obciążeniach, różniły się od siebie bardzo mało, jak to n. p. widzimy w doświadczeniu 24.

2) Obciążenie wpływa nie tylko na granicę, przy której otrzymujemy skurecz minimalny, ale decyduje także o ilości energii, której potrzeba użyć, aby otrzymać skurecz maksymalny.

I tak, na wywołanie skureczu:

maxymalnego przy	10 gr.	potrzebowaliśmy	0·006 ergi
"	" 30 "	"	0·028 "
"	" 50 "	"	0·07 " i t. d.

3) Obciążenie rozstrzyga wreszcie o granicy, do której przy danych warunkach wysokość skureczu dojść może. W ogóle wysokość skureczu jest tem większa, im obciążenie jest mniejsze.

Znając stosunek, który zachodzi między energiją podniety i wysokością skureczu przy rozmaitych obciążeniach, mogliśmy już bardzo łatwo określić stosunek pomiędzy podniętą a wykonaną podczas skureczu pracą, wyrażając obie w jednych i tych samych jednostkach, mianowicie w ergach.

Obliczmy teraz w podobnem jak poprzedzające doświadczeniu, pracę wykonaną przez mięsień. Pracę mięśnia, jak wiadomo, obrachować można łatwo, znając ciężar, który mięsień podnosi i wysokość skureczu. Pierwszy z nich mierzyliśmy w gramach ¹⁾, drugi w milimetrach; iloczyn zaś wyrażony w gramo-milimetrach, przemienialiśmy na ergi według wzoru

$$\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ erga} = \frac{1}{981} \text{ gr. 1 cm.} \\ \text{czyli w przybliżeniu } \frac{1}{1000} \text{ gr. 10 mm.,} \end{array} \right.$$

zatem 1 gramomilimetr = w przybliżeniu 100 erg.

Dla przykładu przytaczamy tabliczkę z doświadczenia 25-go, zawierającą zestawienie pracy mięśnia w stosunku do przyrostu podniety przy użyciu kondensatora o pojemności $1135 \cdot 10^{-11}$ i przy zastosowaniu różnych obciążeń.

¹⁾ Drugi otrzymywaliśmy w milimetrach, dzieląc wysokość krzywej skureczu przez 10.

Doświadczenie 25.

Żaba *m. gastrocnemius*. Drażniono *n. ischiadicus*.

Energija podniety w ergach	Praca wykonana przez mięsień wyrażona w ergach				
	Obciążenie = 10 gr.	20 gr.	40 gr.	90 gr.	110 gr.
2/1000					
3 "	500 erg.				
4 "	2500 "				
5 "	3200 "				
6 "	3350 "				
7 "	3400 "	250 erg.			
8 "	3450 "	1000 "			
9 "	3500 "	2750 "			
10 "	3550 "	3500 "	250 erg.		
11 "	dtto	4100 "	650 "		
12 "	dtto	4600 "	1100 "		
13 "	dtto	4800 "	2500 "	550 erg.	
14 "	dtto	5000 "	4500 "	1200 "	
15 "	dtto	5200 "	5700 "	2200 "	
16 "	dtto	5400 "	7500 "	3500 "	
17 "	dtto	5600 "	9500 "	4500 "	
18 "	dtto	6000 "	11700 "	5000 "	
19 "	dtto				500 erg.
20 "					1000 "

Na podstawie danych, załączonych w tablicy, możemy wykreślić dla łatwiejszego zrozumienia rzeczy krzywą, wyobrażającą nam graficznie stosunek pracy mięśnia do użytej podniety. I tak, jeżeli na osi odciętych oznaczymy ergi podniety, a na osi rzędnych ergi pracy, wykonanej przez mięsień, to, połączywszy wierzchołki tych rzędnych, otrzymamy linię, wyobrażającą nam graficznie przyrost energii mięśniowej w stosunku do użytej podniety (Fig. 22). Takich krzywych możemy na tej samej tablicy otrzymać kilka dla różnych obciążeń. Podając kilka takich linii graficznych, dodać musimy, że na załączonej poniżej figurze, która przedstawia 5 razy zmniejszoną linearnie tablicę, podziałka milimetrowa inna ma wartość na osi rzędnych, a inna na osi odciętych.

Na pierwszej z nich 1 cm. odpowiada — 200 ergom pracy, wykonanej przez mięsień; na drugiej zaś 1 cm. odpowiada — 1/2000, czyli 5/10000 erg. podniety.

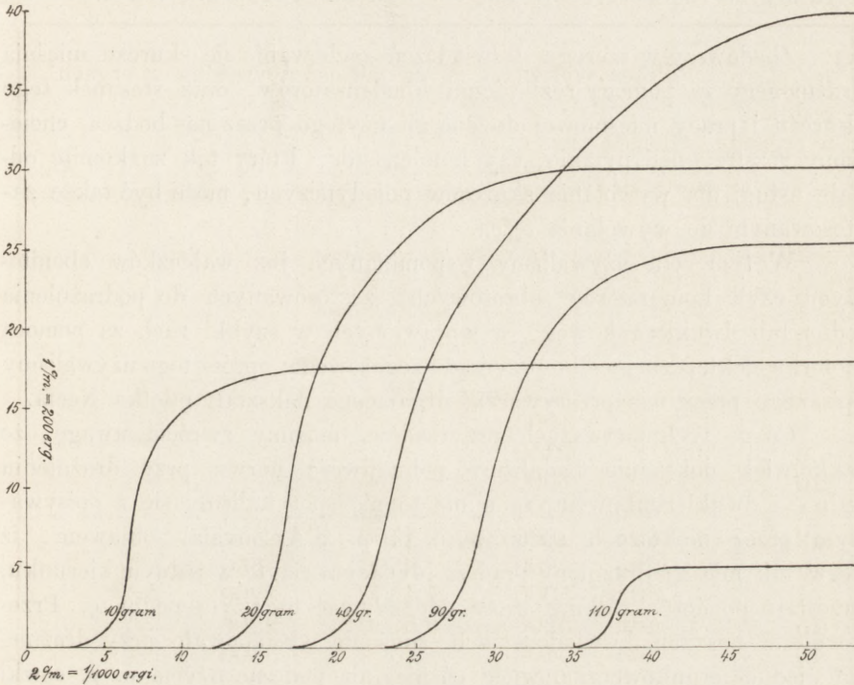


Fig. 22.

Rozważając te krzywe widzimy, że:

1) Energija podniety jest nieskończenie mniejszą od tej energii, którą może reprezentować praca wykonana przez mięsień, z czego oczywiście wynika, że energija bodźca jest tylko *czynnikiem wyzwalającym*.

2) Linija wyobrażająca przyrost energii mięśnia w stosunku do wzrostu podniety, przebiega podobnie jak linija wyobrażająca przyrost wysokości skurczu, t. j. w kształcie litery S.

3) Stosunek ten zależy od obciążenia, a mianowicie w ten sposób, że przy pewnej danej podniecie w pewnych granicach obciążenia (1—40 gr.) praca wykonana przez mięsień jest tem większą, im większe jest obciążenie.

4) Poza tą granicą energija mięśnia opada w miarę wzrostu obciążenia.

5) Obciążenie i tu, podobnie jak przy wysokości skurczu, decyduje o ilości energii podniety, jakiej musimy użyć, aby wywołać maksymalną

pracę mięśnia, i tak n. p. przy obciążeniu 10 gr. użyliśmy 1/100 ergi, aby mięsień wykonał 3600 erg. Przy obciążeniu 20 gr. użyliśmy 2/100 ergi, aby mięsień wykonał 6000 erg; przy obciążeniu 40 gr. użyliśmy 25/1000 ergi, aby mięsień wykonał 11700 erg i t. d.

Zbadawszy w szeregu doświadczeń zachowanie się skurczu mięśnia drażnionego za pomocą rozbrojenia kondensatorów, oraz stosunek tego skurczu i pracy mięśniowej do energii użytego przez nas bodźca, chcieliśmy rozstrzygnąć pytanie, czy kondensator, który tak znakomite oddaje usługi dla wywołania skurczów pojedynczych, może być także zastosowanym do wywołania tężca.

W tym celu używaliśmy wspomnianych już wałeczków ebonitowych czyli komutatorów obrotowych, zastosowanych do podrażnienia jedno- lub dwukierunkowego, a wprawionych w szybki ruch za pomocą motorka elektrycznego albo przyrządu zegarowego; oprócz tego używaliśmy opisanego przez nas przerywacza, drgającego nakształt młotka Neefa.

Co do tych pierwszych przyrządów, musimy zwrócić uwagę, że jakkolwiek dokładnie badaliśmy pobudliwość nerwu przy drażnieniu jedno- i dwukierunkowym, to mimo to nie spotykaliśmy się z opisywanym przez niektórych autorów (n. p. p. d'Arsonvala) objawem, iż nerw lub mięsień drażniony prądem płynącym ciągle w jednym kierunku, przestaje po dość krótkim czasie oddziaływać na użytą podniętę. Przeciwnie w naszych doświadczeniach znużenie występowało przy drażnieniu jednokierunkowym, o wiele później niż podczas użycia n. p. cewki indukcyjnej, co skłoniło nas ostatecznie do posługiwania się rozbrojeniami kondensatora, działającymi stale w jednym kierunku, i to w kierunku zstępującym.

Co się zaś dotyczy drugiego przyrządu, t. j. przyrządu drgającego nakształt młotka Neefa lub przerywacza Kroneckera, to dodać musimy, iż dał się również doskonale zastosować do wywołania tężców. Szybkość drgań jego nie powinna jednak przekraczać pewnej granicy (w naszych doświadczeniach 18—24 drgnięć na sekundę), jeżeli chcemy użyć całego naboju kondensatora jako podniety.

Jakkolwiek badań naszych nad tężcem nie możemy jeszcze uważać za skończone, to mimo to, załączając poniżej kilka otrzymanych krzywych, powiedzieć musimy, iż z szeregu dotychczas przerobionych doświadczeń nad tym przedmiotem, doszliśmy do następujących wniosków:

1) Jak do wywołania skurczu pojedynczego minimalnej wysokości, potrzeba pewnej, ściśle oznaczyć się dającej energii bodźca, tak też istnieje i dla tężców pewien próg, który przekroczyć musimy, chcąc otrzymać minimalny, długotrwały tężec.

2) Poniżej tej granicy otrzymujemy tęże krótkotrwałe, których krzywa szybko opada do poziomu.

3) Powyżej tej granicy otrzymujemy tęże długotrwałe i regularne; zdaje się jednak, że im większą stosunkowo jest podnieta, tem krócej trwa tęże, tak, iż najmniej nuży się mięsień przy pierwszym długotrwałym tężu.

4) W końcu musimy podnieść fakt, że stosując coraz silniejsze podniety do wywołania tęże, nie otrzymywaliśmy nigdy zmniejszenia wysokości skurczu (*pessimum* Wedeńskiego), ani też innych nieprawidłowości. Przeciwnie, jak tylko energija podniety przekraczała pewne minimum, przy którym otrzymywano pierwszy długotrwały tężec, charakter krzywych niczem się od siebie nie różnił.

Poniżej (Fig. 23) załączamy krzywą tęże mięśnia żaby, którą otrzymaliśmy przy użyciu 0.7 volt i kondensatora o pojemności $1225 \cdot 10^{-4}$ farada.



Fig 23.

Rozbrojeniami kondensatora drażniliśmy nie tylko mięsień za pośrednictwem nerwu, lecz także bezpośrednio¹⁾. Szereg wykonanych w ten sposób doświadczeń doprowadził nas do podobnych wniosków, jak te, któreśmy podali wyżej. I tu spotykamy się z progiem i kresem pobudliwości, dającym się ściśle oznaczyć, z charakterystycznym przyrostem wysokości skurczu, ze ściłą zależnością tej wysokości od energii podniety. Co do tego ostatniego punktu zauważyć musimy, iż nie mogliśmy stwierdzić faktu, podanego przez p. d'Arsonvala, jakoby przy drażnieniu bezpośredniem mięśnia wysokość skurczu zależała od wysokości i spadku potencjału.

¹⁾ Przyczem odległość elektrodów była w obu razach ta sama.

Przeciwnie, stwierdziliśmy w naszych doświadczeniach ścisłą zależność skurczu mięśnia bezpośrednio drażnionego od energii podniety, tak samo jak to obserwowaliśmy przy drażnieniu nerwu. Cała różnica polegała na tem, że dla wywołania pewnego skurczu przy drażnieniu bezpośredniem potrzebowaliśmy użyć o wiele większej energii bodźca, niż przy drażnieniu za pomocą nerwu. Widzieć to możemy na przytoczonych poniżej krzywych, gdzie potrzebowaliśmy użyć (podczas wiosny) do wywołania skurczu minimalnego (około 1 mm.) kondensatora o pojemności $1225 \cdot 10^{-11}$ faradów, 6 stosów wodnych (cynk i miedź zanurzone w wodzie), różnicy potencjałów 4·8 volt, a zatem energii wynoszącej około 2 erg. Do wywołania zaś skurczu maksymalnego potrzebowaliśmy użyć średnio od 15 do 40 stosów wodnych, t. j. energii od 10 do 60 erg.

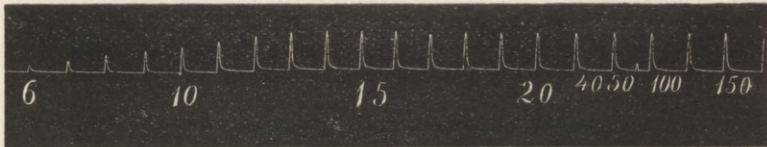


Fig. 24.

Krzywa skurczu mięśnia żaby; drażnienie bezpośrednie. Liczby na dole pod krzywą skurczu oznaczają ilość stosów.

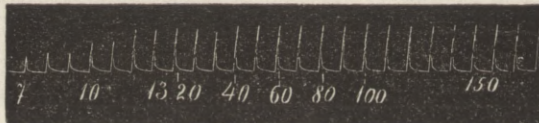


Fig. 25.

Krzywa skurczu mięśnia łydkowego królika (warunki te same co wyżej).

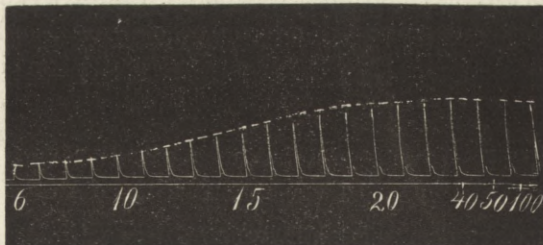


Fig. 26.

Krzywa skurczu m. łydkowego szczenięcia (warunki te same co wyżej).

Na początku jesieni zaś potrzebowano do wywołania skurczu minimalnego przy drażnieniu bezpośredniem około 0.1 ergi, jak to widać z poniżej załączonej tabeli.

Drażnienie mięśnia łydkowego żaby za pomocą <i>nervus ischiadicus</i>		Drażnienie bez- pośrednie mięśnia łydkowego żaby
Różnica potencjałów	0.308 V.	1.644 V.
Pojemność konden- satora	672.5.10 ⁻¹¹ F,	672.5.19 ⁻¹¹ F.
Energija rozbroyenia	0.0031 E.	0.087 E.
Nabój	207.13.10 ⁻¹¹ K.	1165.19 ⁻¹¹ K.

Jeżeli wierzchołki tych linii skurczu połączymy ze sobą, to dostaniemy, (patrz Fig. 26), krzywą, wyobrażającą graficznie przyrost skurczu, w stosunku do przyrostu podniety. Charakter tej linii jak to widać na pierwszy rzut oka, jest nieco odmienny, aniżeli charakter krzywej, którąśmy w ten sam sposób otrzymali, łącząc wierzchołki krzywych skurczu mięśnia, drażnionego pośrednio za pomocą nerwu. Kierunek tej linii jest bowiem mniej pochyły; kształt ogólny przypomina i tu jednak literę S, której pierwsza mniejsza wklęsłość jest zwrócona ku górze a druga większa ku dołowi. Charakter ten jeszcze bardziej znika w mięśniach kuraryzowanych i znużonych (Fig. 27).

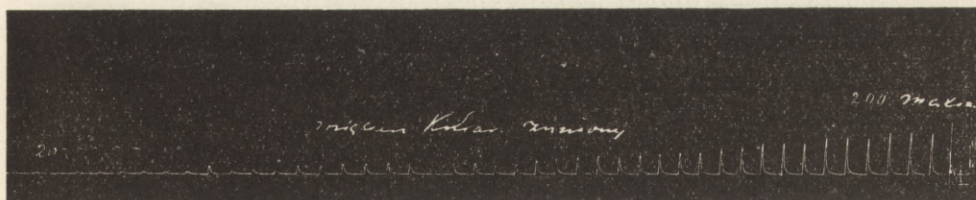


Fig. 27.

Przedstawiliśmy, o ile mogliśmy dokładnie, powyższą metodę, którą staraliśmy się zastosować do drażnienia nerwów i mięśni, a którą wy-

padaloby nazwać metodą absolutną, sądzimy, że pozostaje nam tylko polecić ją jak najgoręcej szerszemu kołu fizjologów i lekarzy.

Zbytecznym byłoby na tem miejscu raz jeszcze wyliczać jej zalety i przewagę nad innymi sposobami drażnienia, używanymi dotąd w fizjologii; zdaje się bowiem, iż uczyniliśmy zadość piękącej kwestyi w fizjologii, zapelniając brak ściśle określonej podniety elektrycznej przez to, że wprost podajemy sposób zastosowania elektryczności do podrażnienia tkanek w takiej formie, przy której wszystkie cechy bodźca jesteśmy w stanie dokładnie określić. Dążąc do tego celu, nie potrzebowaliśmy tworzyć nowych jednostek, lecz opierając się na znanych zasadach fizyki, doszliśmy do metody, która wprawdzie badacza, przyzwyczajonego do prostej cewki indukcyjnej lub pojedynczego stosu, na pierwszy rzut oka, może przestraszyć zawiloscią połączeń, lecz niewątpliwie w bardzo krótkim czasie i w jego oczach zyska przewagę nad wszystkimi innymi metodami z powodu swojej dokładności i ściśłości.

Główną jednak zaletę tej metody upatrujemy w tem, że zastosowana w różnych działach i kwestyjach fizjologicznych, w których elektryczne podrażnienie bywa używane, metoda ta pozwala osiągnąć tak pożądaną jednostajność postępowania i jednostajność warunków drażnienia u wszystkich badaczy, którzy nią będą się posługiwali, a przez to daje możność porównywania wyników jednego badacza z wynikami drugiego. W tym celu wypadaloby tylko stale używać kondensatora, przypuścimy, o pojemności 1/100 m. farada, natężenia prądu 50 miliamparów i wyrażać energię bodźca w dziesięciotysięcznych częściach ergi.

W końcu uważamy za przyjemny obowiązek złożyć serdeczne podziękowanie p. profesorowi Augustowi Witkowtkiemu, którego radom i wskazówkom, a także przyrzadom, zawdzięczamy, że pracę tę doprowadziliśmy do końca.

Dziękujemy również p. Drowi Zakrzewskiemu, który z prawdziwie koleżeńską gotowością poświęcał czas na żmudne doświadczenia z pomiarami kondensatorów.

