

## Dalsze doświadczenia z kondensatorami.

### Zależność pobudzenia nerwów od energii rozbrojenia.

Podali

Cybulski i Zanietowski.

(Rzecz przedstawiona na posiedzeniu Wydziału mat.-przyr. z d. 4. Kwietnia 1893 r.)



W uzupełnieniu swoich doświadczeń (p. Tom XXII. Rozpr. Wydz. mat. przyr. Akad. Umiej. w Krak. i Sprawozd. z posiedz. roku 1892 Wydz. III. Akad. Umiej. w Krak.) nad działaniem rozbrojenia kondensatorów na mięśnie i nerwy, przedkładamy niniejszem nowe dowody, że głównym czynnikiem pobudzającym nerw lub mięsień podczas przebiegu rozbrojenia kondensatora przez te tkanki jest energia rozbrojenia.

1-o) Jeżeli się stosuje szereg kondensatorów, to z wyjątkiem bardzo małych (poniżej 5-tysięcznych mikrofarada) i bardzo dużych (powyżej  $\frac{1}{10}$  mikrofarada) w miarę wzrostu pojemności kondensatora, gdy się wywołuje ten sam minimalny skurcz mięśnia przez nerw, najmniejszym zmianom ulega energia; podczas gdy ilości elektryczności wzrastają, a Volty spadają, energia w kondensatorach, których krzywe rozbrojenia są blizkie siebie, może pozostać zupełnie ta sama, jak to wykazuje następujący przykład.

Ż a b a. Drażniono n e r w k u l s z o w y. Elektrody niepolaryzujące gliniane. — Wywoływano skurcz ledwo dostrzegalny mięśni w całej łapce.

Pojemność kondensatora w Faradach	Volty	Energia w ergach $10^{-4}$	Ilość elektr. w kul. $10^{-11}$
55.10 <sup>-11</sup>	10.1	2805	545
500.10 <sup>-11</sup>	0.468	54	234
1000.10 <sup>-11</sup>	0.274	37	274
2000.10 <sup>-11</sup>	0.195	37	372
9400.10 <sup>-11</sup>	0.125	68	1175
50000.10 <sup>-11</sup>	0.095	225	4750

2-o) Ponieważ okres rozbrojenia kondensatorów przez nerw, reprezentujący jeden i ten sam opór zależy od ich pojemności, w małych kondensatorach jest on bardzo mały i wzrasta, jak to wypada z wzoru dla rozbrojeń kondensatora

$$E_1 = E_0 e^{-\frac{t}{rc}}$$

w miarę wzrostu pojemności kondensatora, przeto z powyższych doświadczeń z koniecznością wypadało przypuścić, że pobudzające działanie rozbrojenia zależy jednakże nie tylko od energii, lecz i od tego, w jakim się czasie rozbrojenie odbywa, czyli że rozbrojenia małych i dużych kondensatorów dlatego wymagają większej energii naboju, do wywołania tego samego skurczu, niż średnie, że pierwsze odbywają się za szybko, drugie za powoli. Słowem wypadało przyjąć, że różnice w energii naboju rozmaitych kondensatorów, potrzebne do wywołania danego skurczu, zależą w rzeczywistości tylko od różnicy okresu rozbrojenia.

Że to ostatnie przypuszczenie jest słuszne, stwierdzają doświadczenia, w których okres rozbrojenia dwu kondensatorów zrównoważaliśmy przez wprowadzanie do mniejszego kondensatora takiego oporu, aby  $rc = Rc$ , t. j. aby iloczyny z pojemności przez opór były sobie równe. W tym szeregu doświadczeń oczywiście wypadało w każdym przypadku obliczyć tę część energii, która przypadała na sam nerw i tę, która się zużywała na opór włączonych przewodników. Dla przykładu podajemy następujące doświadczenia.

Kondensator	Opór nerwu		Opór elektrod	Energia w ergach $10^{-4}$	Opór nerwu	Opór elektrod	Opór dodany do zrównoważenia	Energia w ergach $10^{-4}$		RC.
	Opór nerwu	Opór elektrod						nieredukowana	reduk. na nerw	
$500 \cdot 10^{-11}$ F	16700	8500	63	razem 1066600 Ohmów	16700	8500	81460	311	46	$5333 \cdot 10^{-7}$
	razem 25200 Ohmów									
$2000 \cdot 10^{-11}$ F	16700	8500	43	razem 266600 Ohmów	16709	8500	1460	78	47	$5332 \cdot 10^{-7}$
	razem 25200 Ohmów									

3-o) Doświadczenia, w których wprowadzono dodatkowe opory w łańcuch, przez który się rozbrajają bardzo małe kondensatory i wywołują wskutek podrażnienia nerwu, włączonego w ten sam łańcuch zawsze najmniejszy skurecz mięśnia, dowodzą więc w sposób niewątpliwy, że stosunkowo wielka energia, którą naboje muszą posiadać, ażeby podrażnić nerw podczas rozbrojenia przez sam nerw, zależy tylko od krótkości czasu działania. Jeżeli bowiem ten czas, wskutek włączonych oporów, staje się dłuższy, to energia, zużywana na podniecenie nerwu stopniowo maleje, dochodzi do pewnego minimum, i następnie znowu, jeżeli wskutek włączenia coraz większych oporów, czas ten znacznie przedłużymy, ponownie zaczyna wzrastać. Ten okres rozbrojenia, podczas którego pobudzenie osiąga się zapomocą najmniejszej energii, odpowiada okresowi rozbrojenia innych kondensatorów, które pobudzają nerw o wiele mniejszą energią rozbrojenia.

Z a b a. *N. ischiadicus*. Elektrody niepolaryzujące. Opór nerwu i elektrod = 33400 Ohmów. Kond. =  $55 \cdot 10^{-11}$  F.

(Patrz strona następna.)

Opór włączony	Volty	Energia nie- redukowana w ergach $10^{-8}$	Energia redukowana w ergach $10^{-8}$	Ilość elektryczno- ści w kul. $10^{-11}$	Okres <sup>1)</sup> rozbroj. w sek. $1.10^{-6}$
0	11·2	3448	2517	616	2
120000	16·8	7750	1240	924	28
355000	25·0	17180	452	1375	726
471000	26·1	18700	<b>348</b>	1430	<b>943</b>
853000	31·6	27400	767	1738	1657
1108000	39·2	42200	840	2156	2134
1726000	51·2	72080	1009	2816	3290
2766930	69·6	138000	12420	3828	5236

Ten sam nerw był pobudzony przez kondensator  $1.10^{-8}$  nabojem, którego energia równała się 0,0037 ergi, a która podczas rozbrojenia przez nerw spadała do  $\frac{1}{1000}$  pierwotnej wartości po upływie  $856.10^{-6}$  sekundy. Czas ten odpowiada więc okresowi rozbrojenia naboju o najmniejszej energii (przypadającej na nerw) w przytoczonej tablicy.

Że okres rozbrojenia kondensatorów  $1.10^{-8}$  lub  $2.10^{-8}$  jest najbardziej przyjazny do pobudzenia nerwu, przy zwykłym oporze, który nerw włączony w obwód kondensatora przedstawia (około 40000 Ohmów), można widzieć z tego, że wszelkie przedłużenie tego okresu rozbrojenia przez włączenie nowych oporów wymaga już większej energii, jak to udcowadnia następujące doświadczenie, które przedstawia ilości energii użytej do wywołania najmniejszego skurczu po włączeniu oporów dodatkowych zapomocą kondensatora  $1.10^{-8}$  przytoczonego wyżej i kondensatora  $55.10^{-11}$  F. (opór nerwu 50000).

<sup>1)</sup> Okres rozbrojenia obliczano, oznaczając czas w ciągu którego energia naboju spada do  $\frac{1}{1000}$  pierwotnej wartości.

Opór włączony	Volty	Energia zredukowana w ergach $10^{-4}$	Volty	Energia zredukowana w ergach $10^{-4}$
	pojem. = $1.10^{-8}$ F		pojem. = $55.10^{-11}$ F	
0	0,163	12	4,93	580
375.300	0,800	28	7,71	128
948.000	1,860	64	11,15	135
1.800000	3,315	113	17,56	147

Przytoczone wyżej doświadczenia, które są tylko przykładami wyjątkowymi z całego szeregu podobnych, przekonywają nas, że, pobudzenie nerwów, a także i mięśni, zapomocą kondensatorów nie zależy ani od gęstości prądu i jej zmiany, jak przypuszczał Du-Bois-Reymond<sup>1)</sup> ani od ilości elektryczności, jak przypuszcza Dubois<sup>2)</sup> ani od samej energii jak sądzi Salomonson<sup>3)</sup>, ani też prawa pobudzenia nerwów nie wyraża formuła p. Hoorwega<sup>4)</sup>

$$P = aR + \frac{b}{C}$$

$$\left. \begin{array}{l} p = \text{potencjał} \\ R = \text{opór} \\ C = \text{pojemność} \\ a \text{ i } b \text{ stałe} \end{array} \right\}$$

która nie przedstawia zależności pobudzenia nerwów od pewnego określonego czasu. Zdaniem naszym czynnikiem pobudzającym jest energia, warunkiem zaś koniecznym działanie tej energii na nerw w ciągu pewnego, dającego się określić czasu.

<sup>1)</sup> Unters. über thier. Electricität. I. s. 264.

<sup>2)</sup> Dr. Dubois. Unters. über die phys. Wirkung der Condensatorentlad. Ben. 1888.

<sup>3)</sup> Pflügers Archiv. B. 52. 95. S. podług S. L. Hoorweg.

<sup>4)</sup> ibid. S. 97.

