

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN—POLONIA

VOL. XXIII, 30

SECTIO AA

1968

Z Katedry Fizyki Ogólnej Wydziału Mat. Fiz. Chem. UMCS
Kierownik: doc. dr Danuta Stachórska

Władysław BULANDA, Jadwiga SKIERCZYŃSKA,
Ryszard ŻOŁNIERCZUK

Analiza zależności R i C błon komórek *Characeae* od częstości prądu

Анализ зависимости R и C мембран клеток *Characeae* от частоты тока

Analysis of the Effect of the Current Frequency on R and C of the Cell Membrane
of *Characeae*

Pomiary oporu elektrycznego błon komórek *Characeae*, przeprowadzane metodą mikroelektrod, sugerują, że cytoplazma tych komórek otoczona jest dwiema wysokooporowymi warstwami [9]. Wyniki tych badań pokrywają się w pewnym stopniu z zaobserwowanym przez Nagai i Kishimoto [8] oraz Worobiowa i Kurellę [12, 13] skokiem potencjału w obszarze ścianki, wskazującym na występowanie w tym obszarze jakiejś odrębnej bardzo cienkiej fazy.

Wydaje się, że przedstawione pomiary R i C błon komórkowych [4, 7] potwierdzają koncepcję istnienia w komórce dwu wysokooporowych warstw. W oparciu o analizę danych eksperymentalnych został podany prosty model elektryczny komórki [4].

Celem niniejszej pracy było wyliczenie przy zastosowaniu wspomnianego wyżej modelu wartości oporu i pojemności poszczególnych warstw komórek *Chara brauni* (Gm.), *Nitella mucronata* (Braun) i *Nitellopsis obtusa* (Desv. in Lois) J. Gr. Podstawę tych wyliczeń stanowiła eksperymentalna zależność R i C od częstości prądu. Dokonano pomiarów zależności R i C od f dla komórek *Chara brauni*, natomiast dla komórek *Nitella mucronata* i *Nitellopsis obtusa* wykorzystano dane z poprzedniej pracy.

MATERIAŁ I METODA POMIARU

Pomiary wykonywano na komórkach *Chara brauni* pobranych z jezior Roztocza. Do badań używano komórek międzywęzłowych o długości od 2 do 4 cm. Średnica badanych komórek była równa ok. 0,5 mm. Podczas pomiarów komórki znajdowały się w roztworze o składzie: K — 0,1 mN; Na — 1,0 mN; Ca — 0,2 mN; Cl — 1,3 mN.

Pomiary wartości R i C w zależności od częstości prądu wykonano przy pomocy typowej aparatury [4]. Przeprowadzono ponadto pomiary R dla prądu stałego przy użyciu mikroelektrod, posługując się odpowiednim zestawem [7]. Natężenie prądu stosowanego przy pomiarach nie przekraczało 10^{-6} A.

WYNIKI POMIARÓW

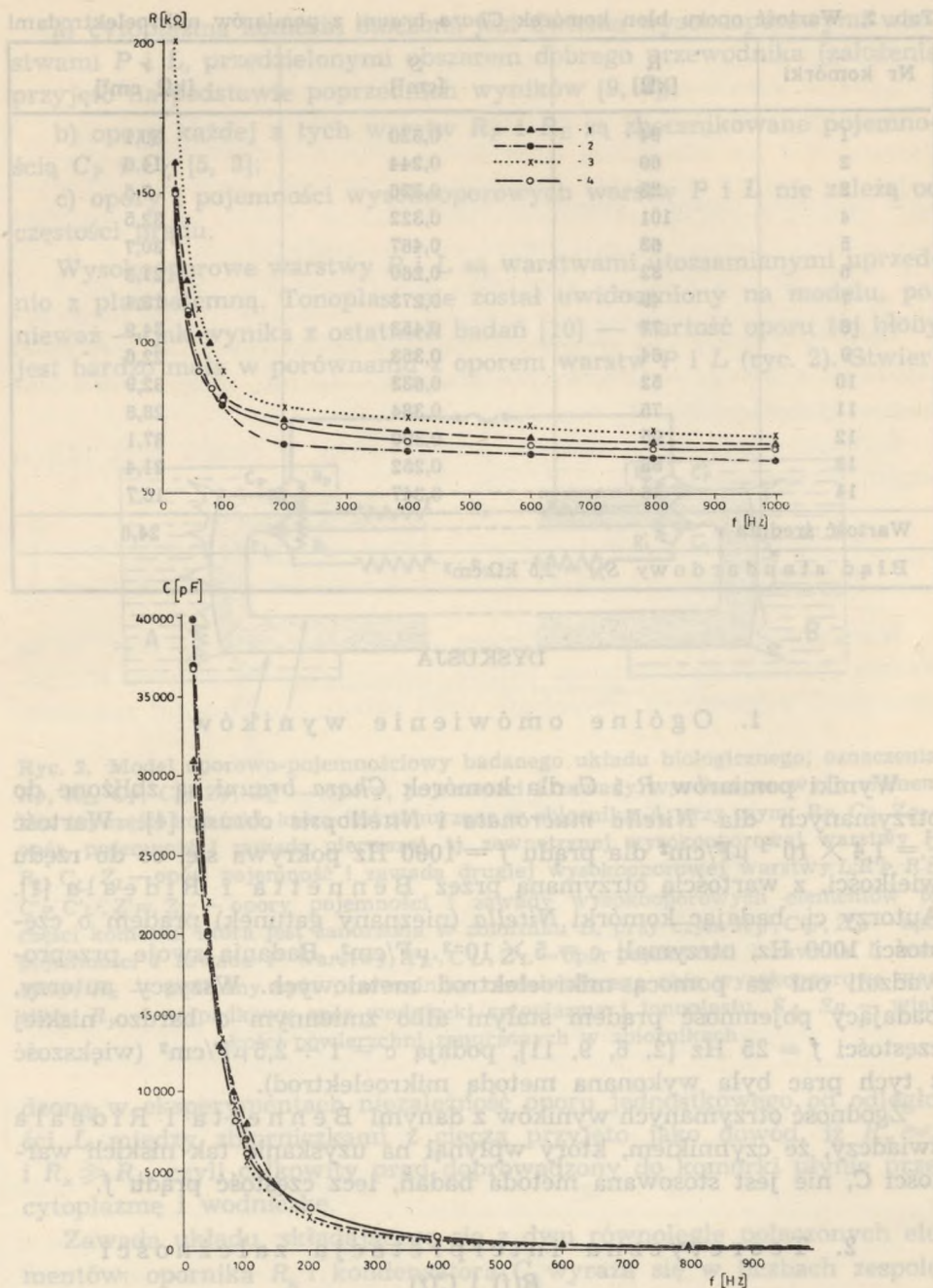
Pomiary R i C w zależności od częstości prądu f wykonano dla 30 komórek *Chara brauni*. Na ryc. 1 podano wykresy krzywych $R(f)$ i $C(f)$ sporządzone dla kilku komórek. Celem porównania otrzymanych wyników z danymi Bennetta i Rideala [1], którzy wykonywali pomiary R i C dla prądu o częstości 1000 Hz, wyliczono wartości oporu jednostkowego i pojemności jednostkowej dla $f = 1000$ Hz (tab. 1).

Tab. 1. Dane z opracowania pomiarów oporu jednostkowego i pojemności jednostkowej błon komórek *Chara brauni* dla prądu o częstości 1000 Hz

Pomiary oporu				Pomiary pojemności			
Wartość średnia r [k Ω ·cm ²]	Błąd standar- dowy S_M [k Ω ·cm ²]	Granice rozrzutu [k Ω ·cm ²]	Liczba bada- nych komó- rek	Wartość średnia C [pF/cm ²]	Błąd S_M [pF/cm ²]	Granice rozrzutu [pF/cm ²]	Liczba bada- nych komó- rek
7,0	0,3	4,1 — 11,5	30	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-3}$	$0,6 - 2,6 \cdot 10^{-3}$	30

Pomiary oporu i pojemności wykonane dla różnych odległości L między zbiorniczkami A i B nie wykazały zależności oporu jednostkowego i pojemności jednostkowej od wartości L (rozbieżność wartości r i c nie przekraczała 10%).

Wyniki pomiarów wykonanych metodą mikroelektrod przedstawione są w tab. 2.



Ryc. 1. Zależności $R(f)$ i $C(f)$, otrzymane eksperymentalnie, dla przykładowo wybranych czterech komórek *Chara brauni*; 1 — komórka nr B2, 2 — komórka nr B3, 3 — komórka nr B4, 4 — komórka nr B5

Tab. 2. Wartość oporu błon komórek *Chara brauni* z pomiarów mikroelektrodami

Nr komórki	R [k Ω]	S [cm ²]	r [k Ω cm ²]
1	94	0,320	30,1
2	60	0,244	14,6
3	23	0,326	7,5
4	101	0,322	32,5
5	63	0,487	30,7
6	82	0,260	21,3
7	49	0,273	13,4
8	77	0,453	34,9
9	64	0,353	22,6
10	52	0,633	32,9
11	75	0,384	28,8
12	95	0,390	37,1
13	85	0,252	21,4
14	48	0,347	16,7
Wartość średnia r			24,6
Błąd standardowy $S_M = 2,5$ k Ω cm ²			

DYSKUSJA

1. Ogólne omówienie wyników

Wyniki pomiarów R i C dla komórek *Chara brauni* są zbliżone do otrzymanych dla *Nitella mucronata* i *Nitellopsis obtusa* [4]. Wartość $c = 1,4 \times 10^{-3}$ $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ dla prądu $f = 1000$ Hz pokrywa się, co do rzędu wielkości, z wartością otrzymaną przez Bennetta i Rideala [1]. Autorzy ci, badając komórki *Nitella* (nieznany gatunek) prądem o częstotliwości 1000 Hz, otrzymali $c = 5 \times 10^{-3}$ $\mu\text{F}/\text{cm}^2$. Badania swoje przeprowadzali oni za pomocą mikroelektrod metalowych. Wszyscy autorzy, badający pojemność prądem stałym albo zmiennym o bardzo niskiej częstotliwości $f = 25$ Hz [2, 6, 9, 11], podają $c = 1 \div 2,5$ $\mu\text{F}/\text{cm}^2$ (większość z tych prac była wykonana metodą mikroelektrod).

Zgodność otrzymanych wyników z danymi Bennetta i Rideala świadczy, że czynnikiem, który wpłynął na uzyskanie tak niskich wartości C , nie jest stosowana metoda badań, lecz częstotliwość prądu f .

2. Teoretyczna interpretacja zależności
 $R(f)$ i $C(f)$

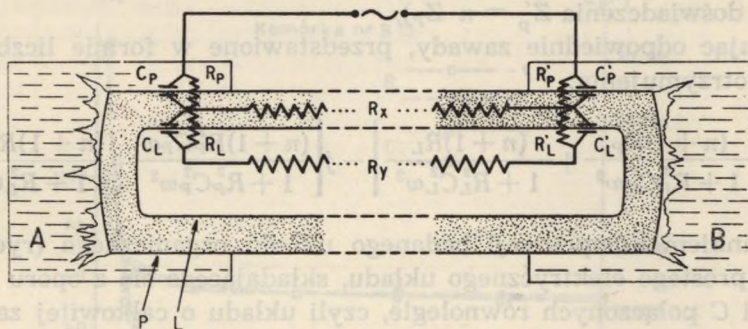
Teoretyczne wyprowadzenie zależności R i C od częstotliwości prądu oparto na następujących założeniach:

a) cytoplazma komórki otoczona jest dwiema wysokooporowymi warstwami P i L , przedzielonymi obszarem dobrego przewodnika (założenia przyjęto na podstawie poprzednich wyników [9, 4]);

b) opory każdej z tych warstw R_P i R_L są zbocznikowane pojemnością C_P i C_L [5, 3];

c) opory i pojemności wysokooporowych warstw P i L nie zależą od częstości prądu.

Wysokooporowe warstwy P i L są warstwami utożsamianymi uprzednio z plazmalemną. Tonoplast nie został uwidoczniiony na modelu, ponieważ — jak wynika z ostatnich badań [10] — wartość oporu tej błony jest bardzo mała w porównaniu z oporem warstw P i L (ryc. 2). Stwier-



Ryc. 2. Model oporowo-pojemnościowy badanego układu biologicznego; oznaczenia: $R_P, R_L, C_P, C_L, Z_P, Z_L$ — opory, pojemności i zawady wysokooporowych elementów tej części komórki, która jest zanurzona w zbiorniku A, przy czym: R_P, C_P, Z_P — opór, pojemność i zawada pierwszej, tj. zewnętrznej wysokooporowej warstwy P ; R_L, C_L, Z_L — opór, pojemność i zawada drugiej wysokooporowej warstwy L ; $R'_P, R'_L, C'_P, C'_L, Z'_P, Z'_L$ — opory pojemności i zawady wysokooporowych elementów tej części komórki, która jest zanurzona w zbiorniku B, przy czym: R'_P, C'_P, Z'_P — opór pojemności i zawada P warstwy, R'_L, C'_L, Z'_L — opór pojemności i zawada L warstwy; R_x — podłużny opór przewodnika rozdzielającego obie wysokooporowe warstwy; R_y — wypadkowy opór wodniczki cytoplazmy i tonoplastu, S_A, S_B — wielkości powierzchni zanurzonych w zbiornikach

dzoną w eksperymentach niezależność oporu jednostkowego od odległości L między zbiorniczkami z cieczą przyjęto jako dowód, iż $R_y \approx 0$ i $R_x \gg R_L$, czyli całkowity prąd doprowadzony do komórki płynie przez cytoplazmę i wodniczkę.

Zawada układu, składającego się z dwu równolegle połączonych elementów: opornika R_k i kondensatora C_k wyraża się w liczbach zespolonych wzorem:

$$\bar{Z}_k = \frac{R_k}{1 + R_k^2 C_k^2 \omega^2} - j \frac{R_k^2 C_k \omega}{1 + R_k^2 C_k^2 \omega^2}$$

stąd szeregowo połączenie zawad $\bar{Z}_P$ i $\bar{Z}_L$ oraz oporu $R_y \approx 0$ (ryc. 2) — biorąc pod uwagę, że w warunkach eksperymentalnych

$$R'_P = nR_P, \quad R'_L = nR_L, \quad C'_P = \frac{C_P}{n} \quad \text{ i } \quad C'_L = \frac{C_L}{n} \quad \left(\text{gdzie } n = \frac{S_A}{S_B} \right)$$

daje całkowitą zawadę, określoną wzorem:

$$\bar{Z}_W = \frac{(n+1)R_L}{1 + R_L^2 C_L^2 \omega^2} - j \frac{(n+1)R_L^2 C_L \omega}{1 + R_L^2 C_L^2 \omega^2}$$

Całkowita zawada $\bar{Z}_c$ układu przedstawionego na ryc. 2, przy $R_x \gg R_L$, składa się z szeregowo połączonych zawad $\bar{Z}_P$, $\bar{Z}_W$ i $\bar{Z}'_p$ (przy czym z warunków doświadczenia $\bar{Z}'_p = n \bar{Z}_P$).

Sumując odpowiednie zawady, przedstawione w formie liczb zespolonych, otrzymujemy:

$$\bar{Z}_c = \left[\frac{(n+1)R_P}{1 + R_P^2 C_P^2 \omega^2} + \frac{(n+1)R_L}{1 + R_L^2 C_L^2 \omega^2} \right] - j \left[\frac{(n+1)R_P^2 C_P \omega}{1 + R_P^2 C_P^2 \omega^2} + \frac{(n+1)R_L^2 C_L \omega}{1 + R_L^2 C_L^2 \omega^2} \right]$$

Warunkiem kompensacji badanego układu organicznego (ryc. 2) za pomocą prostego elektrycznego układu, składającego się z oporu R i pojemności C połączonych równolegle, czyli układu o całkowitej zawadzie:

$$\bar{Z} = \frac{R}{1 + R^2 C^2 \omega^2} - j \frac{R^2 C \omega}{1 + R^2 C^2 \omega^2}$$

są następujące dwa równania:

$$\frac{R}{1 + R^2 C^2 \omega^2} = \frac{(n+1)R_P}{1 + R_P^2 C_P^2 \omega^2} + \frac{(n+1)R_L}{1 + R_L^2 C_L^2 \omega^2}$$

$$\frac{R^2 C \omega}{1 + R^2 C^2 \omega^2} = \frac{(n+1)R_P^2 C_P \omega}{1 + R_P^2 C_P^2 \omega^2} + \frac{(n+1)R_L^2 C_L \omega}{1 + R_L^2 C_L^2 \omega^2}$$

Rozwiązując te równania względem R i C otrzymujemy:

$$R = M + \frac{N^2}{M} \quad C = \frac{N}{\omega(M^2 + N^2)}$$

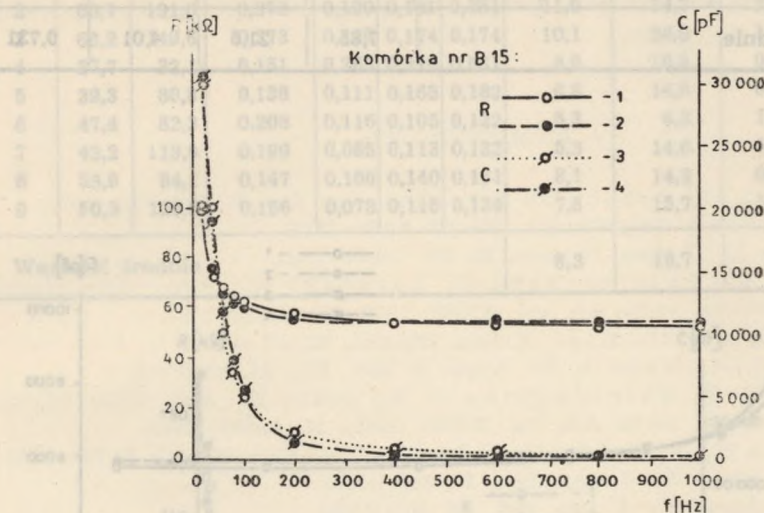
gdzie:

$$M = \frac{(n+1)R_P}{1 + R_P^2 C_P^2 \omega^2} + \frac{(n+1)R_L}{1 + R_L^2 C_L^2 \omega^2}$$

$$N = \frac{2R_P^2 C_P \omega}{1 + R_P^2 C_P^2 \omega^2} + \frac{(n+1)R_L^2 C_L \omega}{1 + R_L^2 C_L^2 \omega^2}$$

3. Określenie oporu i pojemności warstw P i L

Dla 19 komórek (4 komórek *Nitella mucronata*, 6 komórek *Nitellopsis obtusa* i 9 komórek *Chara brauni*) dobrano metodę prób wartości R_P , R_L i C_P , C_L , przy których krzywe teoretyczne pokrywały się z krzywymi eksperymentalnymi (wyliczenia wykonane zostały na maszynie matematycznej typu „Odra” w Zakładzie Metod Numerycznych UMCS). Na ryc. 3, 4 i 5 przedstawiono na przykładzie trzech komórek otrzymane tą drogą krzywe teoretyczne. Na podstawie wartości R_P , R_L , C_P i C_L wyliczono opory i pojemności jednostkowe poszczególnych warstw. Dane z maszyny matematycznej i wyliczeń podano w tab. 3, 4, 5.



Ryc. 3. Zależności $R(f)$ i $C(f)$ dla *Chara brauni*; 1 i 3 — krzywe eksperymentalne, 2 i 4 — krzywe teoretyczne otrzymane dla $r_P = 8,9 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$, $r_L = 10,5 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$,

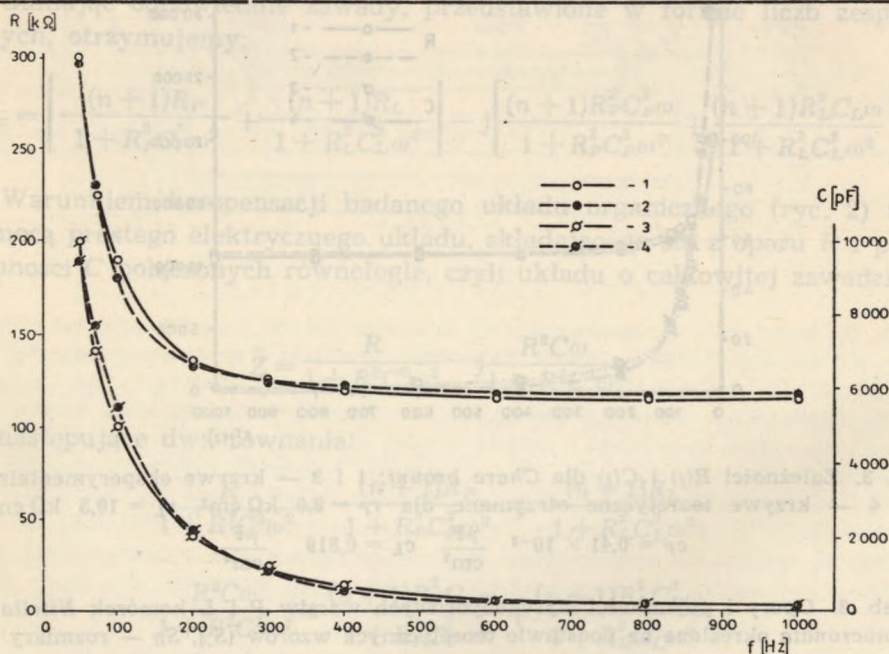
$$c_P = 0,41 \times 10^{-3} \frac{\mu\text{F}}{\text{cm}^2} \quad c_L = 0,819 \frac{\mu\text{F}}{\text{cm}^2}$$

Tab. 3. Opory i pojemności wysokooporowych warstw P i L komórek *Nitella mucronata* określone na podstawie teoretycznych wzorów (S_A , S_B — rozmiary powierzchni zanurzonych w zbiornikach A i B)

Nr komórki	R_P [kΩ]	R_L [kΩ]	C_P [μF · 10 ³]	C_L [μF]	S_A [cm ²]	S_B [cm ²]	r_P [kΩ · cm ²]	r_L [kΩ · cm ²]	c_P [μF/cm ² · 10 ³]	c_L [μF/cm ²]
N 10	58,11	239,1	0,053	0,0386	0,0375	0,0375	2,18	8,95	1,412	1,03
N 11	61,95	274,2	0,129	0,036	0,0375	0,0375	2,32	10,25	3,45	0,96
N 12	80,24	212,9	0,124	0,0536	0,083	0,072	6,20	16,45	1,60	0,70
N 3	72,11	300,7	0,120	0,0485	0,054	0,027	2,60	10,37	3,34	0,90
Wartości średnie							3,32	11,62	2,45	0,90

Tab. 4. Opory i pojemności wysokooporowych warstw *P* i *L* komórek *Nitellopsis obtusa*, określone na podstawie teoretycznych wzorów

Nr komórki	R_P [kΩ]	R_L [kΩ]	C_L [μF · 10 ³]	C_L [μF]	S_A [cm ²]	S_B [cm ²]	r_P [kΩ · cm ²]	r_L [kΩ · cm ²]	c_P [μF/cm ² · 10 ³]	c_L [μF/cm ²]
O 2	29,98	123,2	1,301	0,175	0,217	0,217	6,50	26,8	6,00	0,807
O 5	36,78	81,70	1,082	0,200	0,211	0,211	7,95	17,2	5,14	0,948
D 10a	27,3	83,73	1,005	0,212	0,35	0,35	9,55	29,4	2,86	0,605
D 9a	33,55	71,56	0,788	0,141	0,266	0,266	8,90	19,0	2,92	0,532
D 2	29,48	89,70	0,828	0,150	0,214	0,214	6,30	19,2	3,87	0,700
D 8a	32,32	70,90	0,802	0,196	0,245	0,245	7,90	17,2	3,27	0,798
Wartości średnie							7,85	21,5	4,01	0,731

Ryc. 4. Zależności $R(f)$ i $C(f)$ dla *Nitella mucronata*; 1 — 3 krzywe eksperymentalne, 2 — 4 krzywe teoretyczne otrzymane dla $r_P = 2,18 \text{ kΩ} \cdot \text{cm}$, $r_L = 68,95 \text{ kΩ} \cdot \text{cm}$,

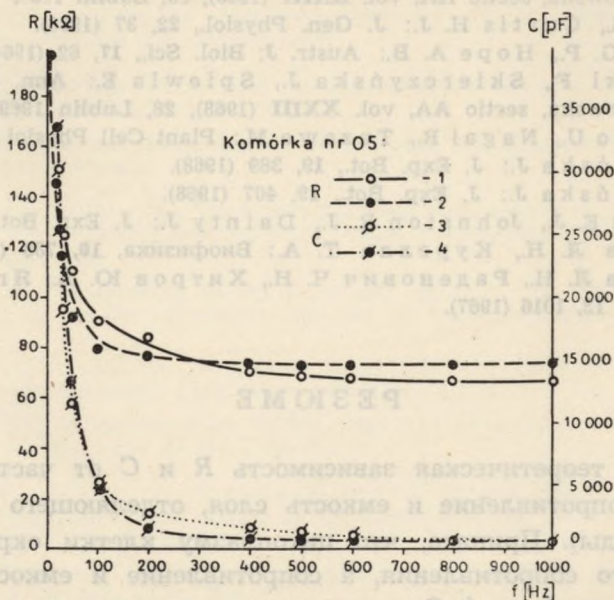
$$c_P = 1,4 \times 10^{-3} \frac{\mu\text{F}}{\text{cm}^2} \quad c_L = 1,03 \frac{\mu\text{F}}{\text{cm}^2}$$

Jak wynika z tab. 3—5 $c_P = 2 \times 10^{-3} \mu\text{F}/\text{cm}^2$, a więc ma wartość eksperymentalnie określonej pojemności całej warstwy, która rozdziela wodniczkę od zewnętrznego ośrodka, dla prądu o częstotliwości 1000 Hz ($c = 1,4 \times 10^{-3} \frac{\mu\text{F}}{\text{cm}^2}$ tab. 1 i [1, 4]). $C_L = 1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$, a zatem jest równa

pojemności całej tej warstwy dla prądu stałego (Blinks [2] podaje $c = 1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$, Curtis i Cole [5] $c = 0,9 \mu\text{F}/\text{cm}^2$, Findlay i Hoppe [6] $c = 1-2 \mu\text{F}/\text{cm}^2$, Williams, Johnston, Dainty [11] $c = 1 \mu\text{F}/\text{cm}^2$, Skierczyńska [9] $c = 2,5 \mu\text{F}/\text{cm}^2$). Figurująca w tab.

Tab. 5. Opory i pojemności wysokooporowych warstw P i L komórek *Chara brauni* określone na podstawie teoretycznych wzorów

Nr ko-mórki	R_P [k Ω]	R_L [k Ω]	C_P [$\mu\text{F} \cdot 10^3$]	C_L [μF]	S_A [cm^2]	S_B [cm^2]	r_P [k $\Omega \cdot \text{cm}^2$]	r_L [k $\Omega \cdot \text{cm}^2$]	c_P [$\mu\text{F}/\text{cm}^2 \cdot 10^3$]	c_L [$\mu\text{F}/\text{cm}^2$]
1	57,5	143,1	0,406	0,136	0,207	0,207	11,9	29,6	1,961	0,657
2	60,7	191,6	0,370	0,130	0,181	0,181	11,0	34,7	2,044	0,718
3	68,2	149,6	0,273	0,126	0,174	0,174	10,1	26,0	1,569	0,730
4	27,7	32,1	0,151	0,263	0,310	0,531	8,9	10,5	0,410	0,819
5	39,3	80,8	0,136	0,111	0,165	0,182	6,8	14,0	0,788	0,642
6	47,4	82,3	0,203	0,116	0,105	0,122	5,3	0,3	1,838	1,029
7	43,2	119,9	0,199	0,085	0,113	0,132	5,3	14,6	1,637	0,700
8	53,9	94,1	0,147	0,106	0,140	0,161	8,1	14,2	0,979	0,707
9	50,9	126,6	0,156	0,078	0,115	0,134	7,5	15,7	1,126	0,678
Wartości średnie							8,3	18,7	1,6	0,75



Ryc. 5. Zależności $R(f)$ i $C(f)$ dla *Nitellopsis obtusa*; 1 — 3 krzywe eksperymentalne, 2 — 4 krzywe teoretyczne otrzymane dla $r_P = 7,95 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$, $r_L = 17,2 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$,

$$c_P = 5,14 \times 10^{-3} \frac{\mu\text{F}}{\text{cm}^2} \quad c_L = 0,948 \frac{\mu\text{F}}{\text{cm}^2}$$

3, 4, 5 wartość oporu warstwy zewnętrznej $r_p = 2-8 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$ jest w zasadzie równa wartości r_p otrzymanej z bezpośrednich pomiarów mikroelektrodami [9] ($r_p = 8 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$). Opór warstwy wewnętrznej $r_L = 18,7 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$ nie wykazuje co prawda zgodności z danymi z pracy [9], jednak w przypadku *Chara brauni* zupełnie dobrze zgadza się z wartością $r_L = 16,3$, którą można otrzymać, korzystając z wielkości podanych w tab. 2.

Wartość tę otrzymujemy, odejmując od całkowitego oporu $r = 24,6 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$ (tab. 2), wartość $r_p = 8,3 \text{ k}\Omega \text{ cm}^2$ (tab. 5).

Ta zgodność oporów i pojemności, określonych z krzywych teoretycznych, z wartościami bezpośrednio otrzymanymi z eksperymentów przemawia za słusznością założeń przyjętych przy teoretycznej interpretacji R i C od częstoty prądu.

PIŚMIENNICTWO

1. Bennett M. C., Rideal Sir Eric: Proc. Roy Soc. B., **142**, 483 (1954).
2. Blinks L. R.: J. Gen. Physiol., **20**, 229 (1936—1937).
3. Blinks L. R.: J. Gen. Physiol., **24**, 247 (1940—1941).
4. Bulanda W., Skierczyńska J., Zarębski W.: Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio AA, vol. **XXIII** (1968), 29, Lublin 1967.
5. Cole K. S., Curtis H. J.: J. Gen. Physiol., **22**, 37 (1938).
6. Findlay G. P., Hope A. B.: Austr. J. Biol. Sci., **17**, 62 (1964).
7. Jaśkowski F., Skierczyńska J., Spiewła E.: Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, sectio AA, vol. **XXIII** (1968), 28, Lublin 1969.
8. Kishimoto U., Nagai R., Tazawa M.: Plant Cell Physiol., **6**, 519 (1965).
9. Skierczyńska J.: J. Exp. Bot., **19**, 389 (1968).
10. Skierczyńska J.: J. Exp. Bot., **19**, 407 (1968).
11. Williams E. J., Johnston R. J., Dainty J.: J. Exp. Bot., **15**, 1 (1963).
12. Воробьев Л. Н., Курелла Т. А.: Биофизика, **10**, 788 (1965).
13. Воробьев Л. Н., Раденович Ч. Н., Хитров Ю. А., Яглова Л. Т.: Биофизика, **12**, 1016 (1967).

РЕЗЮМЕ

Выведена теоретическая зависимость R и C от частоты тока f (R и C — сопротивление и емкость слоя, отделяющего вакуоль от внешней среды). Принято, что цитоплазму клетки окружают два слоя высокого сопротивления, а сопротивление и емкость каждого из них не зависят от f . Сопротивление и емкость этих слоев определены методом подбора теоретических кривых к экспериментальным. Полученные величины очень близки к данным, известным из непосредственных экспериментальных исследований.

SUMMARY

A theoretical relation of R and C to the frequency f of the electric current was presented (R and C are resistance and capacity of the layer between the vacuole and the environment). The author's theoretical considerations are based on the assumption that the cell cytoplasm is surrounded by two high-resistance layers, and that the resistance and capacity of each layer are independent of f . The values of the resistance and capacity for each layer were obtained by the adjustment of the theoretical curves to the experimental ones. These values are close to those obtained from direct experimental measurements.

SUMMARY

A theoretical relation of R and C to the frequency f of the electric current was presented (R and C are resistance and capacity of the layer between the vacuole and the environment). The author's theoretical considerations are based on the assumption that the cell cytoplasm is surrounded by two high resistance layers and that the resistance and capacity of each layer are independent of f . The values of the resistance and capacity for each layer were obtained by the adjustment of the theoretical curves to the experimental ones. These values are close to those obtained from direct experimental measurements.

Received October 10, 1967.

BIBLIOGRAPHY

1. Huxley N. C., Huxley H. R. Proc. Roy. Soc. B, 145, 453 (1954).
2. Huxley N. C., J. Gen. Physiol., 24, 225-247 (1957).
3. Huxley N. C., J. Gen. Physiol., 24, 247-260 (1957).
4. Huxley N. C., Skierczyńska J., Zastawny W. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska AA, vol. XXIII (1959), 25, Lublin 1959.
5. Cole K. S., Curtis H. J., J. Gen. Physiol., 12, 57 (1938).
6. Findlay G. P., Hays A. B. Austr. J. Biol. Sci., 11, 52 (1958).
7. Jastkowski F., Skierczyńska J., Spiewak E. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska AA, vol. XXIII (1959), 25, Lublin 1959.
8. Kishimoto U., Watanabe T., Tanabe M. Plant Cell Physiol., 9, 318 (1968).
9. Skierczyńska J. J. Exp. Bot., 14, 305 (1969).
10. Skierczyńska J. J. Exp. Bot., 19, 407 (1974).
11. Williams E. J., Johnston J. J., Dainton J. J. J. Exp. Bot., 14, 317 (1969).
12. Huxley N. C., Skierczyńska J., Zastawny W. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska AA, vol. XXIII (1959), 25, Lublin 1959.
13. Huxley N. C., Skierczyńska J., Zastawny W. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska AA, vol. XXIII (1959), 25, Lublin 1959.

RESUME

On a présenté une relation théorique de R et C en fonction de la fréquence f du courant électrique (R et C sont la résistance et la capacité de la couche entre la vacuole et l'environnement). Les considérations théoriques de l'auteur sont basées sur l'hypothèse que le cytoplasme de la cellule est entouré de deux couches à haute résistance et que la résistance et la capacité de chaque couche sont indépendantes de f . Les valeurs de la résistance et de la capacité pour chaque couche ont été obtenues par l'ajustement des courbes théoriques aux courbes expérimentales. Ces valeurs sont proches de celles obtenues par des mesures expérimentales directes.

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKA
LUBLIN — POLONIA

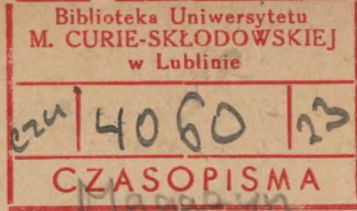
VOL. XXI

SECTIO AA

1966

1. A. Waksmundzki, J. Gross: Wpływ składu fazy mieszanej na współczynniki R_M w układzie typu rozpuszczalnik trójskładnikowy/roztwór czysty.
The Effect of the Composition of Mixed Phase on R_M Values in the System: Ternary Solvent/Pure Solvent.
2. E. Soczewiński, S. Przeszlakowski, A. Flieger: Chromatografia kationów niektórych metali na bibule impregnowanej kwasami karboksylowymi.
Chromatography of some Metals on Paper Impregnated with Fatty Acids.
3. E. Soczewiński, M. Rojowska, S. Przeszlakowski: Chromatografia jonów niektórych metali na bibule impregnowanej fosforanem trójizoktylowym i kwasem bis (2-etyloheksylo) fosforowym.
Chromatography of some Metal Ions on Paper Impregnated with Triisooctyl Phosphate and Di-(2-ethylhexyl) orthophosphoric Acid.
4. J. Matysik: Oscylopolarograficzne badania własności kompleksów metali z wielofenolami.
Oszillographische Untersuchungen der Eigenschaften von Komplexen der Metalle mit Polyphenolen.
5. M. Dąbkowska: Przyczynek do ilościowego oznaczania magnezu w postaci pirofosforanu magnezowego.
Beitrag zur quantitativen Bestimmung von Magnesium als Magnesiumpyrophosphat.
6. M. Janczewski, A. Rusek: Z badań nad syntezą i własnościami kwasów arylosulfonowych. VIII. Kwas 4-bifenylsulfonowy i niektóre jego pochodne.
Sur la synthèse et les propriétés optiques des acides arylsulfoniques. VIII. Acide 4-biphénylsulfonique et quelques-uns de ses dérivés.
7. M. Janczewski, M. Wojtaś: O syntezie kwasów orto- i para-bifenylilotioglikolowych i ich niektórych pochodnych.
Sur la synthèse des acides ortho- et para-biphénylthioglycoliques et quelques-uns de leurs dérivés.
8. S. Szpikowski, A. Mazur-Goebel: Matrix Elements of the Pairing Hamiltonian for the $D(\lambda, O)$ Representation of the R_5 Group in the (n, T, To) Basis.
Elementy macierzowe hamiltonianu *pairing* dla reprezentacji grupy R_5 w bazie (n, T, To) .
9. J. Szczypa, A. Waksmundzki, W. Wójcik: Wpływ stężenia siarczków na uaktywnianie się kalcytu w procesie flotacji siarki.
Influence of the Sulphide Concentration on the Activation of the Floation of Calcite in the Sulphur Enrichment Process.

ANNALES
UNIVERSITATIS MARIAE CURIE-SKŁODOWSKIEJ
LUBLIN—POLONIA
VOL. XXII SECTIO AA



1. M. Wełna-Adrianek: L'activité de Józef Skłodowski à Lublin.
2. S. Ziemecki: Sur l'oeuvre et la vie de Marie Skłodowska Curie.
3. A. Teske: Les premières idées de Marie Skłodowska Curie sur le phénomène de la radioactivité.
4. M. Dąbkowska: Le Polonium et le Radium dans le Tableau de Mendeléeu.
5. W. Hubicki: Marie Skłodowska Curie et le Congrès des Médecins et Naturalistes Polonais de 1900.
6. Marya ze Skłodowskich Curie: O nowych ciałach promieniotwórczych (Photostat).

Prix, médailles, doctorats honoris causa et titres honorifiques décernés à Marie Skłodowska Curie.

Adresse:

UNIWERSYTET MARII CURIE-SKŁODOWSKIEJ
BIURO WYDAWNICTW
LUBLIN Plac Litewski 5 POLOGNE