

WARUNKI WYSTĘPOWANIA PLAZMY FIZYCZNEJ W BŁONACH CHLOROPLASTÓW

Koncepcja bioplazmy jako nowego stanu materii (2), będąc niezwykle śmiałą ekstrapolacją, nie znalazła jak dotąd echa w badaniach eksperymentalnych fotosyntezy. Złożone bowiem problemy bioenergetyki procesów fotochemicznych i fotofizycznych nie uprościły się z chwilą pojawienia się definicji bioplazmy „jako plazmy ciała stałego tworzonej metabolicznie w ośrodku białkowego półprzewodnika” (3). Również określenie „Jest to stan materii charakterystyczny dla układów biologicznych, stan ogólnego wzbudzenia energetycznego, przy składowych elektrycznych pochodzenia metabolicznego i elektronowych struktur molekularnych, w półprzewodzącym środowisku piezoelektrycznych związków organicznych, głównie białkowych; ponadto stan ten jest przekazywalny na drodze genetycznej” (3) jest zbyt ogólne i nie pozwala, jak się wydaje, wnikać w relacje ilościowe występujące w biostrukturach a w szczególności w strukturach fotosyntetyzujących. Trzeba więc tworzyć uproszczone modele tego nowego i osobliwego stanu materii zwanego bioplazmą, wykorzystując wspomnianą powyżej koncepcję w charakterze heurystycznym i poszukiwać tzw. implikacji testowych. Zadanie to jest trudne z paru powodów. Po pierwsze, odpowiednik bioplazmy, tj. plazma ciała stałego, różni się od niej istotnie brakiem sprzężenia z metabolizmem. Po drugie, plazma ciała stałego, a zwłaszcza plazma półprzewodników, nie wspominając już o plazmie półprzewodników organicznych czy biologicznych, jest jeszcze słabo zbadana (5). Przepaść pomiędzy dziedzinami poznania dotyczącymi tych różnych rodzajów plazmy jest ogromna i będzie wypełniana również przez bioelektronikę.

Jednym z podstawowych zadań przy wypełnianiu wspomnianej luki powinno być znalezienie warunków ilościowych istnienia stanu plazmowego w strukturach żywych. Pierwszą taką próbą były przeprowadzone przez J. Zonę (7, 8) obliczenia dla mitochondriów i elektrolitu cytoplazmatycznego. Podobne obliczenia dla chloroplastów wykonane zostały przez autora (6).

Artykuł niniejszy ma na celu kontynuowanie wspomnianych obliczeń dla chloroplastów. W szczególności przedstawiona tu zostanie analiza zmian wartości statycznej stałej dielektrycznej pod wpływem zmian parametrów takich jak temperatura i gęstość swobodnych nośników ładunku (elektronów).

Do obliczeń wykorzystano relacje ilościowe, których użyto w poprzedniej publikacji (6). W punkcie wyjścia tych obliczeń warunek istnienia stanu plazmowego w danym układzie wyrażony był następująco (4):

$$L_c \ll N^{-1/3} \ll \lambda_D \ll \lambda_c, L$$

gdzie: L_c – odległość krytyczna (jest miarą zbliżenia dwóch jednakowo naładowanych cząstek, przy którym ich energia kinetyczna i potencjalna są w równowadze); $N^{-1/3}$ – średnia odległość pomiędzy naładowanymi cząstkami; λ_D – długość Debye'a (jest miarą odległości od cząstki próbnej do punktu, gdzie pola elektrostatyczne otaczających cząstek neutralizują pole nośnika ładunku); λ_c – średnia droga swobodna odpowiadająca kątowi 90° ugięcia Rutherforda; L – rozmiar zbioru naładowanych cząstek (w tym przypadku długość chloroplastu). Parametry te są określone następującymi wzorami:

L_c – odległość krytyczna

$$L_c = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r kT} \quad [m]$$

gdzie: q – ładunek cząstki, tutaj elektronu $e = 1,6021 \cdot 10^{-19}$ C, ϵ_0 – przenikalność dielektryczna próżni równa $8,8541 \cdot 10^{-12}$ F/m, ϵ_r – względna przenikalność dielektryczna materiału (w polach statycznych), k – stała Boltzmanna równa $1,3805 \cdot 10^{-23}$ J/K, T – temperatura bezwzględna.

λ_D – długość Debye'a

$$\lambda_D = \left(\frac{\epsilon_0 \epsilon_r kT}{Ne^2} \right)^{1/2} \quad [m]$$

gdzie: N – gęstość nośników ładunku, m^{-3} .

λ_c – długość drogi swobodnej

$$\lambda_c = \frac{1}{4\pi L_c^2 N} \quad [m]$$

Gęstość swobodnych elektronów w lamellach chloroplastów została uprzednio oszacowana za pomocą kilku różnych sposobów (6). Otrzymane wartości N zawierały się w zakresie od $8 \cdot 10^{23}$ do $1,45 \cdot 10^{25}$ elektronów/ m^3 . Okazało się, że warunek istnienia stanu plazmowego w chloroplastach jest spełniony wtedy, gdy statyczna stała dielektryczna ϵ_r środowiska, przez które przepływają elektrony, jest dużo wyższa od wartości 133 (którą obliczono dla minimalnych temperatur fotosyntezy, tj. ok. 270 K, dla pewnych roślin arktycznych) i dla $N = 5 \cdot 10^{24}$ el./ m^3 .

Biorąc do obliczeń ze wspomnianego powyżej warunku istnienia stanu plazmowego najbardziej istotną nierówność, tj. $N^{-1/3} \ll \lambda_D$, oraz $\lambda_D \ll L$, (gdzie za L przyjęto maksymalną długość chloroplastu, tj. ok. 10^{-5} m), uzyskano skrajne wartości statycznej stałej dielektrycznej, pomiędzy którymi realizowany powinien być stan plazmowy w błonach tylakoidalnych chloroplastu. Wartości te zestawiono w tabelach 1 i 2 oraz na rysunku 1.

Tab. 1. Skrajne niedopuszczalne wartości statycznej stałej dielektrycznej ϵ_r w zależności od przyjętych wartości gęstości swobodnych elektronów w błonach chloroplastów N (dla temperatury fotosyntezy $T = 300$ K).

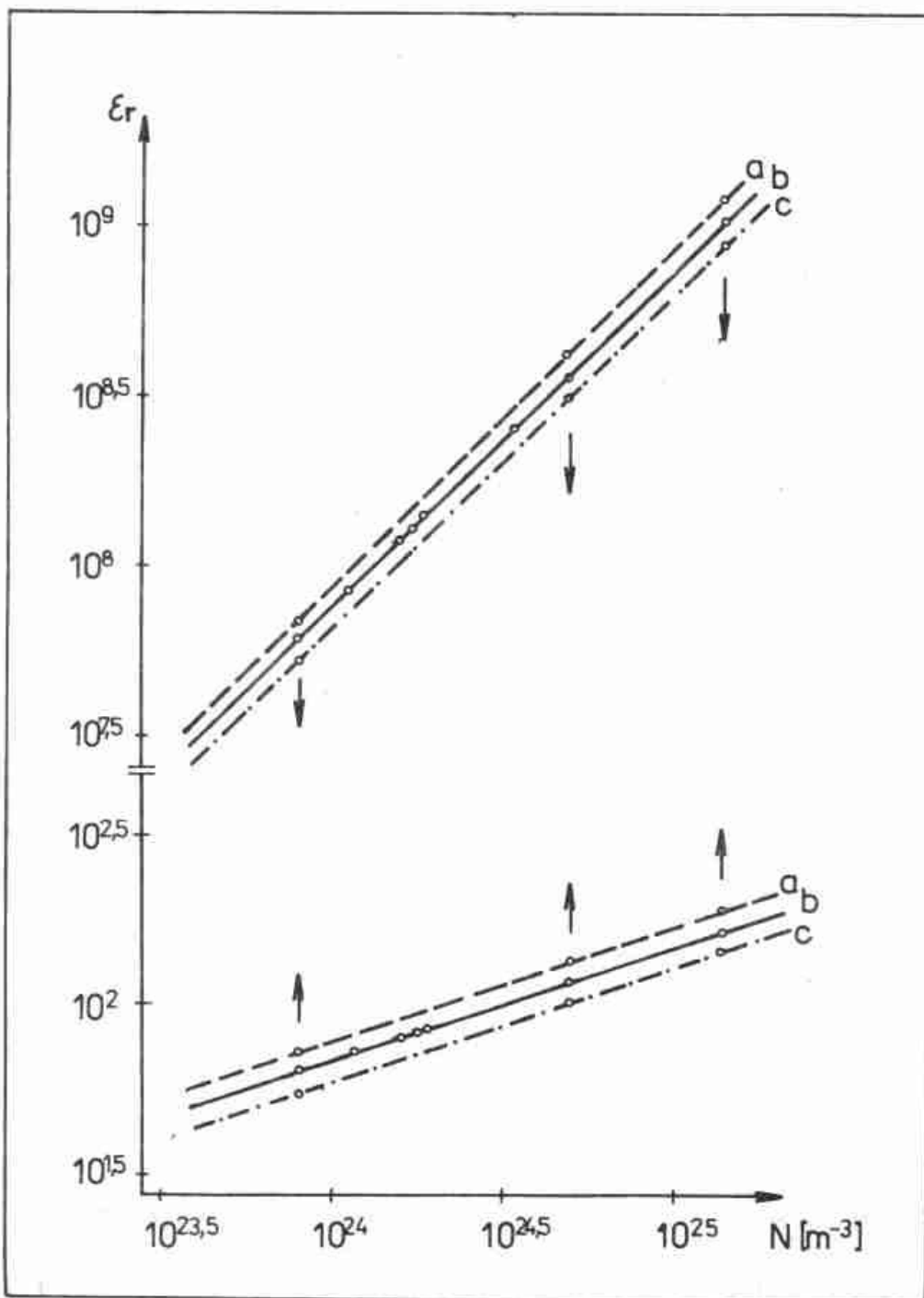
N	$\epsilon_{r,\text{min.}}$	$\epsilon_{r,\text{max.}}$
$8 \cdot 10^{23}$	65	$5,6 \cdot 10^7$
$1,17 \cdot 10^{24}$	73,8	$8,19 \cdot 10^7$
$1,6 \cdot 10^{24}$	81,9	$1,12 \cdot 10^8$
$1,74 \cdot 10^{24}$	84,2	$1,22 \cdot 10^8$
$1,87 \cdot 10^{24}$	86,2	$1,31 \cdot 10^8$
$3,54 \cdot 10^{24}$	107	$2,48 \cdot 10^8$
$5 \cdot 10^{24}$	119	$3,5 \cdot 10^8$
$1,45 \cdot 10^{25}$	171	$1,02 \cdot 10^9$

Tab. 2. Skrajne niedopuszczalne wartości statycznej stałej dielektrycznej ϵ_r w zależności od przyjętych wartości temperatury fotosyntezy T i gęstości swobodnych elektronów N w błonach chloroplastów.

T(K) \ N		$8 \cdot 10^{23}$	$5 \cdot 10^{24}$	$1,45 \cdot 10^{25}$
		270	$\epsilon_{r,\text{min.}}$	72,2
	$\epsilon_{r,\text{max.}}$	$6,22 \cdot 10^7$	$3,89 \cdot 10^8$	$1,13 \cdot 10^9$
300	$\epsilon_{r,\text{min.}}$	65	119	171
	$\epsilon_{r,\text{max.}}$	$5,6 \cdot 10^7$	$3,5 \cdot 10^8$	$1,02 \cdot 10^9$
340	$\epsilon_{r,\text{min.}}$	57,4	106	151
	$\epsilon_{r,\text{max.}}$	$4,94 \cdot 10^7$	$3,09 \cdot 10^8$	$8,86 \cdot 10^8$

Uzyskany zakres jest bardzo szeroki, toteż problemem do rozstrzygnięcia jest wybór faktycznej wartości, gdyż wysokie wartości ϵ_r sięgające górnych wartości wyznaczonego zakresu posiadają jedynie materiały ferroelektryczne. Problem ferroelektrycznych właściwości błon biologicznych jest słabo zbadany. Jak się wydaje, błony fotosyntetyczne nie były badane pod tym względem i dlatego wysokie wartości ϵ_r tych błon powinny być zweryfikowane *in vivo*.

Problem wartości statycznej stałej dielektrycznej środowiska, przez które przenoszone są elektrony w układzie biologicznym ma istotne znaczenie dla koncepcji bioplazmy. Wynika to z wprowadzenia do obliczeń temperatur fotosyntezy w granicach od ok. 270 K do ok. 340 K. Jeśli jednak założyć, że błony fotosyntetyzujące nie są w stanie równowagi termodynamicznej, wówczas średnia energia elektronów przewodnictwa przewyższałaby równowagową energię cieplną, odpo-



Rys. 1. Skrajnie niedopuszczalne wartości ϵ_r dla plazmy fizycznej w chloroplastach; a – dla $T = 270$ K, b – dla $T = 300$ K, c – dla $T = 340$ K

wiadającą temperaturze sieci. Takie elektrony nazywane są elektronami gorącymi (1). Pojęcie temperatury gorących elektronów można rozumieć jako miarę ich średniej energii. Wspomniany stan nierównowagowy może powstawać w wyniku działania zewnętrznych i wewnętrznych pól elektrycznych, światła, itd. (1). Otóż wydaje się, że analogiczna sytuacja istnieje w fotofizycznych procesach fotosyntezy. W błonach chloroplastów, przy pochłanianiu światła czerwonego (np. o długości fali $\lambda = 700$ nm) w cząsteczce chlorofilu jest generowany elektron

o energii swobodnej ok. 1,77 eV. Skoro 1 eV równoważny jest ok. 11600 K, więc taki gorący elektron miałby w stanie nierównowagowym energię odpowiadającą ok. 20500 K. Taka wielkość temperatury wstawiona do nierówności $N^{-1/3} \ll \lambda_D$ radykalnie zmniejszyłaby wartość ϵ_r . Po przekształceniu tej nierówności otrzymamy

$$\epsilon_r T \gg \frac{1}{4761} N^{1/3}$$

więc przy $N = 5 \cdot 10^{24}$ el./m³ mamy $\epsilon_r T \gg 3,59 \cdot 10^4$. Zatem przy $T = 20500$ K, wartość ϵ_r powinna być dużo wyższa od ok. 1,75, aby zachowany pozostał warunek istnienia stanu plazmowego w błonach chloroplastów.

W konkluzji stwierdzić należy, że wartość statycznej stałej dielektrycznej środowiska, przez które przenoszone są elektrony w błonach chloroplastów zależy od średniej energii tych elektronów, tj. od temperatury gorących elektronów. Aby więc zachowany był warunek istnienia stanu plazmowego w tych błonach, iloczyn rozpatrywanych tu wielkości (tj. ϵ_r i T) powinien znacznie przekraczać pewną wartość (zależną od gęstości tych swobodnych elektronów), tzn. $\epsilon_r T \gg 2,1 \cdot 10^{-4} N^{1/3}$.

LITERATURA

1. Pożęła J. K., Plazma i tokowye nieustojczivosti w poluprowodnikach, Moskwa 1977, s. 196.
2. Sedlak W., Bioplazma – nowy stan materii, „Bioplazma”. Materiały z I Konferencji poświęconej bioplazmie, 9 maja 1973, Sedlak W. (red.), Lublin 1976, s. 13-30.
3. Sedlak W., Bioelektronika, Warszawa 1979, s. 256.
4. Sheffield J., Plasma Scattering of Electromagnetic Radiation, New York, San Francisco, London 1975 (tł. ros.: Szeffild Dż., Rassiejaniye elektromagnitnogo izluczenija w plazmie, Moskwa 1978, s. 9).
5. Władimirow W. W., Woikow A. F., Mijlichow J. Z., Plazma poluprowodnikow, Moskwa 1979.
6. Wnuk M., Plazma fizyczna w chloroplastach, Roczniki Filozoficzne t. 29, z. 3, s. 139-148, (1981).
7. Zon J., Plazma fizyczna w mitochondriach i cytoplazmie, Zeszyty Naukowe Stowarzyszenia PAX, Dodatek do Nr 3 (1980), s. 28-37.
8. Zon J., The Living Cell as a Plasma Physical System, „Physiological Chemistry and Physics, Vol. 12 (4), s. 357-364 (1980).

CONDITIONS FOR THE OCCURENCE OF PHYSICAL PLASMA IN CHLOROPLAST MEMBRANES

The conditions for the occurrence of physical plasma in living systems are discussed using as an example the electrons in photosynthetic membranes. A brief, but detailed description of quantitative results is presented. The extreme limits of the static dielectric constant ϵ_r have been evaluated. The problem of the high static dielectric constant of the medium the electrons move through is very important to the bioplasma concept. The product of ϵ_r and T (where T is temperature of hot electrons) should be much higher than the value of $N^{1/3}/4761$ (where N is the electron density), i. e. $\epsilon_r T \gg 2,1 \cdot 10^{-4} N^{1/3}$.