

6 BIOFIZYCZNE RACJE ZA MOŻLIWOŚCIĄ ISTNIENIA PLAZMY FIZYCZNEJ W ORGANIZMACH ORAZ NAJPILNIEJSZE CELE BADAŃ EMPIRYCZNYCH W TYM ZAKRESIE

Przedstawione poniżej dane mają na celu wskazanie, że istnieją wystarczające powody, by można było podejmować empiryczne próby wykazania istnienia plazmy fizycznej w bioukładach. Można je podejmować niezależnie od tego czy uznaje się za przekonujące czy też nie koncepcje bioplazmy Sedlaka i Iniuszyna. Jak widać z poprzednich rozważań prowadzonych na ich temat, nie można ich traktować jako niezależne od siebie: w pewnych zakresach pokrywają się one, w pewnych dopełniają. Nie ulega wątpliwości, że ich częścią wspólną jest uznawanie przewodnictwa elektronowego w biostrukturach za empirycznie wykazane.

Niestety, nie można zgodzić się z tak zdecydowanym postawieniem tej tezy. Jest ona w dalszym ciągu dyskusyjna, choć najnowsze badania zwiększają stopień jej uprawdopodobnienia. Być może ze względu na „przepaść” jaka istnieje pomiędzy warunkami panującymi *in vivo* a warunkami, w jakich można prowadzić efektywne badania *in vitro*, będzie nadzwyczaj trudno (albo też w ogóle to się nie uda) bezdyskusyjnie wykazać elektrycznego przewodnictwa typu elektronowego w żyjących biostrukturach. W takiej sytuacji, własność tę – dotychczas traktowaną przez obydwu wspomnianych badaczy jako warunek wystarczający¹ dla istnienia bioplazmy – być może da się wykazać pośrednio. Polegało by to na wykryciu zjawisk charakterystycznych dla plazmowego zachowania się nośników ładunku. Byłoby to jednocześnie świadectwem spełniania przez nie warunków istnienia stanu plazmowego, wśród których znajduje się wymaganie istnienia nośników zdolnych do przemieszczania się na dostatecznie duże odległości, mających przy tym odpowiednią koncentrację.

Pierwszy podrozdział poświęcono krótkiemu naszkicowaniu stanu badań nad przewodnictwem elektronowym biomateriałów. W pierwszej kolejności uwagę zwrócono na próby wykrycia tej własności w układach możliwie najbardziej zbliżonych do nieuszkodzonych biostruktur. W drugiej i trzeciej jego

¹ W tym znaczeniu wystarczający, iż uzna się (tę opinię wyraża otwarcie zwłaszcza Sedlak), że każdy półprzewodnik, skoro zawiera swobodne nośniki ładunku, zawiera także plazmę. Pogląd taki jest zbytnim uproszczeniem sprawy. By nośniki te stanowiły plazmę, one same oraz ich otoczenie powinny spełniać jednocześnie kilka warunków (p. 1.2.1.).

części naszkicowano² dwie zasadnicze grupy tych strategii badawczych. Do pierwszej zaliczałyby się wszelkie próby podejmowane zgodnie z metodyką stosowaną w dziale fizyki plazmy noszącej miano diagnostyki plazmy. Do drugiej natomiast należałyby badania o charakterze biologicznym. Ich oczekiwane wyniki byłyby skutkiem takiego oddziaływania na biostruktury, które doprowadzałyby do zmian w hipotetycznej plazmie fizycznej zawartej w biostrukturach i co powinno manifestować się jako zmiany stanu bioukładów. Szczególnie ważną ich kategorią byłyby oddziaływania nakierowane na znoszenie w układzie stanu plazmowego, czego wynikiem mogą być poważne zaburzenia albo nawet śmierć bioukładu.

Eksperymenty należące do obydwu grup mają mocne i słabe strony. Do mocnej strony eksperymentów fizycznych zaliczyć należy ich bezpośredniość – wykrycie zjawisk charakterystycznych dla plazmy, które będą dowodzić jej występowania w bioukładach. Za ich słabą stronę należy natomiast uznać znajdowanie tylko połowicznej odpowiedzi na zasadnicze pytanie. W dalszym ciągu bowiem będzie można pytać czy plazma odgrywa jakąkolwiek rolę w procesach życiowych. Trzeba ponadto mieć świadomość, że fizyczne badania nad biostrukturami obarczone będą znacznymi trudnościami technicznymi wynikającymi z takich uwarunkowań jak: skrajna heterogenność i anizotropowość ośrodka biologicznego, znikomość rozmiarów struktur subkomórkowych, wielka ich zmienność w czasie, wreszcie zmienianie się charakterystyk układu wskutek oddziaływania na niego promieniowania elektromagnetycznego używanego do badania np. wartości współczynnika ich odbicia. Z kolei słabą stroną eksperymentów biologicznych będzie trudność wybiórczego zmieniania tylko jednej wybranej charakterystyki fizycznej, której zmiany powinny powodować określone skutki. Druga ważna trudność polegać będzie na konieczności wykazania, że określone zmiany zaszły poprzez zmiany stanu plazmowego w biostrukturach,³ a nie za pośrednictwem innych mechanizmów.

W drugim podrozdziale podjęte zostały ważne problemy, które należy podjąć, jeśli chce się rzetelnie przebadać hipotezę o plazmie fizycznej w organizmach. Pomimo, że większość tych problemów została w jakiś sposób poruszona już przez Sedlaka i Iniuszyna, nie można uznać, że poświęcili im dostatecznie wiele uwagi. Każdy z nich bowiem ma podstawowe znaczenie. Ich rozstrzygnięcie (nawet w postaci świadomie przyjętego założenia) może rzutować nawet na tak podstawowe kwestie, jak wykrywanie plazmy w bioukładach.

² Kwestie te omówiono obszerniej w dwu wcześniejszych pracach autora [Zon 1986 s. 333n; Zon 1988].

³ Tak więc badania te będą w istocie biofizycznymi, a nie ściśle biologicznymi. Obserwowane skutki będą bowiem miały naturę biologiczną i mogą być identyfikowane metodami biologicznymi (np. śmierć bioukładów). Podstawowy mechanizm tych zmian będzie jednak rozpatrywany w kategoriach fizyki.

6.1 Badania empiryczne już przeprowadzone i możliwe sposoby wykrywania plazmy w biostrukturach

Hipotezy o plazmie fizycznej w układach żywych i o bioplazmie nie pojawiły się na zasadzie skojarzenia nie mającego żadnej podstawy w wynikach przeprowadzonych wcześniej badań. Te z nich, które odnosiły się do fizyki plazmy i pierwszych prób ich „przeszczepienia” do obszaru biologii były już omówione w pierwszym rozdziale. Jednak dla umożliwienia dyskusji czy warunki wystarczające do istnienia plazmy w biostrukturach są spełniane trzeba odpowiedzieć na wiele pytań, z których najważniejsze sprowadzają się do ustalenia czy w biostrukturach mogą istnieć niezwiązane nośniki ładunku i – jeśli one tam rzeczywiście występują – czy mogą one stanowić skupiska plazmy fizycznej.

6.1.1 Przewodnictwo elektronowe w bioukładach

Badania nad możliwością zachodzenia przewodzenia elektronowego w biostrukturach datują się od przełomu lat trzydziestych i czterdziestych XX wieku.⁴ Wyniki badań empirycznych przeprowadzonych na dystansie następnych ok. 20 lat pozwoliły zgromadzić wystarczającą liczbę przekonujących dowodów za słusznością tezy o półprzewodnictwie biomateriałów *in vitro*.⁵ Dla zasadności tezy o plazmie fizycznej w biostrukturach potrzebne jest jednak pozytywne rozstrzygnięcie znacznie trudniejszego problemu: czy w strukturach żyjących zachodzą translokacje elektronów jako tzw. swobodnych nośników ładunku.

Dane świadczące o możliwości półprzewodnictwa *in vivo* są daleko trudniejsze do uzyskania. Interpretacja wyników jest tu znacznie trudniejsza, a przez to i bardziej ryzykowna. Jest ich bowiem znacznie mniej i wnioski o półprzewodnictwie biologicznym nie są tak przekonujące, jak wnioski dotyczące półprzewodnictwa *in vitro*. Większy w nich udział mają też koncepcyjne lub rachunkowe prace teoretyczne.

Trzeba więc najpierw wspomnieć o pracach, których celem było stwierdzenie możliwości zaangażowania elektronicznego przewodnictwa w procesy życiowe. Należą do nich m. in. publikacje: W. Arnolda [1975; 1965; 1976], M.

⁴ Möglich, Schön 1938; Szent-Györgyi 1941a, b.

⁵ Dane te omawiano w licznych opracowaniach przeglądowych, m. in. Burnel i wsp. 1969; Cope 1975; Eley 1968; Gutman, Lyons 1967; Kryszewski 1968; 1980; Lewis 1982; Zon 1983; 1988.

Calvina [1958], E. Ernsta [m. in. 1955/56; 1966; 1968], I. Zs-Nagy'ia [1995] oraz Ł. A. Piruzjana i W. M. Aristarchowa [1969].

Ważną grupę stanowią te, które prowadzono z myślą o testowaniu hipotezy o charakterystycznym dla półprzewodników elektronowych sposobie reagowania biostruktur na różne czynniki. Inspirowani ideami wyrażonymi przez E. Ernsta badacze węgierscy wykazywali, że komórki nerwowe i mięśniowe przejawiają reakcje charakterystyczne dla fotoprzewodników [Lakatos 1969; Lakatos, Kollar-Morocz 1966; 1967; Nagy 1970], Wskutek zmian temperatury preparatów mięśniowych zachodzą charakterystyczne dla półprzewodników zmiany ich przewodnictwa elektrycznego [Nagy 1970].

Fotogenerację nośników ładunku w neuronach i innych biostrukturach stwierdzili też inni badacze [Chalazonitis 1964; Cope 1968; Kirzon i wsp. 1962; Ludwikowska, Panglełowa 1965; Truchan i wsp. 1970]. Badacz amerykański, R.O. Becker, stwierdził z kolei, że przyłożenie do neuronów pola magnetycznego indukuje w nich (spowodowane przesunięciem nie jonów, lecz elektronów) napięcia Halla⁶ [Becker 1961; 1962].

Innymi biostrukturami, niezwykle ważnymi ze względu na spełnianie podstawowych funkcji bioenergetycznych oraz na rozpowszechnienie, są mitochondria i chloroplasty. W okresie ukazywania się pierwszych publikacji na temat bioplazmy nie ogłoszono jeszcze publikacji odnoszących się do półprzewodnictwa w całych tych strukturach czy też w ich składnikach. Jedyne dotyczące tej własności wyniki badań odnosiły się do ekstraktów białek mitochondrialnych, ekstraktów chlorofilu [Arnold, Maclay 1958; Rosenberg, Camiscoli 1961], warstewek utworzonych z wysuszonych chloroplastów [Arnold, Maclay 1958; Arnold, Sherwood 1957; Litvin, Zvalinsky 1971] oraz karotenoidów wyekstrahowanych z receptorów światła [Arnold, Maclay 1958; Rosenberg 1961a, b].

Ponieważ teza o zaangażowaniu półprzewodnictwa elektronowego w spełnianie ważnych funkcji życiowych nie została przekonująco potwierdzona, ani też sfalsyfikowana, trzeba ją uznać za w dalszym ciągu dyskusyjną.⁷ Mimo to jednak Sedlak i Iniuszyn traktują ją jako wystarczająco dobrze uzasadnioną.⁸

⁶ Wyniki tych doświadczeń dały Beckerowi i współpracownikom podstawę do zaproponowania hipotezy o istnieniu w organizmach nadrzędnego układu sterującego, który by spełniał swą rolę za pośrednictwem pól indukowanych przez prądy elektronowe. Istnienie takiego układu mogłoby – ich zdaniem – tłumaczyć dlaczego organizmy wykazują uwrażliwienie na zmiany pola geomagnetycznego i tzw. jonów powietrznych [Becker i wsp. 1962].

⁷ Ówczesny stan badań nad półprzewodnictwem związków organicznych i struktur biologicznych wyczerpująco został przedstawiony w starszych pracach przeglądowych spośród wspomnianych w przypisie nr 5.

⁸ Iniuszyn posuwa się nawet do stwierdzenia, że organizm można uważać za olbrzymi biokryształ, wewnątrz którego znajduje się nadzwyczaj złożona sieć ścieżek przewodnictwa elektronowego [Iniuszyn 1970 s. 33; 1972 s. 6].

Trzeba jednak zauważyć, że brak rozstrzygnięcia co do zachodzenia półprzewodnictwa elektronowego *in vivo*,⁹ dokonującego się poprzez przemieszczanie się elektronów w energetycznych strukturach pasmowych na duże odległości (oczywiście w skali molekularnej), nie musi przekreślać sensu podejmowania jakiejkolwiek dyskusji nad stanem plazmowym tych cząstek w bioukładach. Okazuje się bowiem, że ani pasmowy mechanizm przewodnictwa nie jest jedynym możliwym sposobem translokacji cząstek w bioukładach, ani odległość na jaką muszą przemieszczać się naładowane składniki plazmy nie zawsze muszą być znaczne. Warunkiem bowiem istnienia plazmy jest zdolność do przemieszczania się naładowanych cząstek przynajmniej na odległość równą promieniowi ekranowania (por. R. 1.). W przypadku plazmy bardzo gęstej i przy niewielkiej wartości ($\epsilon_r T$) odległość ta może być bardzo niewielka.

Drugim obszarem badań mającym istotne znaczenie dla uprawodobnienia tezy o plazmie w bioukładach są prowadzone metodami chemii kwantowej obliczenia struktury elektronowej ważnych dla organizmów molekuł.¹⁰ Pozwalają one na przewidywanie wielu własności, w tym skłonności do przyjmowania lub oddawania elektronów do innych cząsteczek i atomów oraz na określanie struktury energetycznej układów złożonych z różnych jednostek.¹¹ Znajomość stopnia tych zdolności przysługujących poszczególnym biomolekułom pozwala więc na przewidywanie w jakim kierunku i jak wydajnie prze-

⁹ W literaturze można też znaleźć, równie zdecydowanie wyrażone przekonanie (jak to Sedlaka o przewodnictwie elektronowym urzeczywistniającym się *in vivo*) o niemożliwości realizowania się zjawisk elektronicznych w bioukładach: „Głęboko zakorzenione, na niczym zresztą nie oparte przeświadczenie, że natura zawsze znajduje najlepsze rozwiązanie, skłania do szukania w naturze pierwowzorów takich rozwiązań technologicznych. A jednak układy biologiczne nie wynalazły elektroniki. [...] Natura nie wynalazła elektroniki, tak jak nie wynalazła koła, bowiem ograniczenia nakładane na życie przez strukturę i właściwości wielkocząstek biologicznych oraz budowanych z nich układów ponadmolekularnych, uniemożliwiłyby zastosowanie takich rozwiązań. Pomysły wykorzystania makromolekuł jako jednostek układów elektronicznych należą z tych przyczyn wciąż do sfery science-fiction, a jeśli miałyby się kiedyś urzeczywistnić, musiałyby sięgnąć do jakichś nowych rozwiązań, nie mających pierwowzoru w naturze. Podobnie, zakorzenione u ludzi nawyki skłaniają niekiedy do doszukiwania się w naturze roli zjawisk falowych, jakich w istocie znaleźć tam nie można. To prawda, że jeden z najwybitniejszych współczesnych fizjologów, Albert Szent-Györgyi, wysunął około czterdziestu lat temu koncepcję biologii submolekularnej. Ale od tego czasu sam w zasadzie zrezygnował z tych hipotez. Odradzają się one jednak wciąż, czasem w samej nauce, niekiedy w obszarze paranoi.” [Kunicki-Goldfinger 1986 s. 16/7].

¹⁰ Szczególne znaczenie mają tu prace prowadzone przez A. i B. Pullmanów [m. in.: 1962, 1963] oraz J. Ladika [m. in. 1972, 1976, 1993, 1995].

¹¹ Te ostatnie badania, jakkolwiek są potencjalnym źródłem cennych informacji o szerokości pasma energii wzbronionych i pasma przewodnictwa w biomolekułach, jak dotąd przynoszą jedynie informacje o tych własnościach obliczonych dla mających raczej niewielkie rozmiary (jeśli się weźmie pod uwagę liczbę i różnorodność jednostek składowych) modeli białek czy też kwasów nukleinowych.

mieszczą się będą elektrony, jeśli tylko znajdą się blisko siebie molekuly bądź atomy o różnych powinowactwach do elektronów.

Jeśli się weźmie pod uwagę fakt, że w bioukładach obok siebie występują cząstki o różnych powinowactwach do elektronów, oraz że występują w nich liniowe i pierścieniowe cząsteczki zawierające sprzężone układy wiązań, atomy i cząsteczki (jony metali, tzw. woda związana) mogące zmniejszać szerokość pasm energii wzbronionych,¹² są wszelkie podstawy do twierdzenia, że w komórkach i organizmach może występować niezwykle rozbudowana i dynamiczna sieć ścieżek przewodnictwa elektronowego [Burnel i wsp. 1969; Fink, Schönenberger 1999; Jortner i wsp. 1998; Ladik 1976, 1993; Larsson 1982; 1983; Lewis 1978, 1982; Lopez-Castillo i wsp. 1997; Pethig 1979 s. 244-329; Petrov 1979; Pietrow 1984; Rosenberg, Postow 1969; Sneddon, Brooks 1988; Takeda 1995; Ye, Ladik 1993; 1996]. Inną istotną okolicznością, którą trzeba także uwzględnić są silne, zmieniające się w czasie, pola elektryczne oraz zmiany konformacji biomolekuł, które mogą wpływać na procesy przenoszenia elektronów między różnymi miejscami wewnątrz biostruktur.

Jak już wspomniano, zarówno Sedlak, jak Iniuszyn powołują się na stwierdzone teoretycznie i empirycznie występowanie plazmy w metalach i półprzewodnikach. Badacze z Alma-Aty znacznie więcej niż Sedlak poświęcają uwagi zreferowaniu tego stanu rzeczy powołując się na artykuł przetłumaczony z angielskiego na rosyjski A. G. Chynowietha i S. J. Buchsbauma [1965] o plazmie zwyrodniałej w ciałach stałych [Czajnowiet, Buchsbaum 1966].

6.1.2 Eksperymenty polegające na uzyskiwaniu fizycznych odpowiedzi bioukładu świadczących o istnieniu w nich plazmy fizycznej

Przedstawione poniżej uwagi odnoszą się do badań empirycznych, których wyniki można uznać za przemawiające na korzyść hipotezy o istnieniu plazmy fizycznej w bioukładach. Będzie to jednocześnie służyło wykazaniu, po pierwsze, że hipotezy Sedlaka i Iniuszyna nie tylko nie były bezpodstawne z punktu widzenia istniejącego już zasobu danych empirycznych, po drugie – że na rzecz słuszności tych danych przemawiają także wyniki ostatnio prowadzonych badań. W tej sytuacji można nawet zaryzykować twierdzenie, że obydwaj ci badacze mniej się mylili w swych przewidywaniach, co do interesujących ich wycinków badań nad biomateriałami i bioukładami, niż ich oponenti.

Spośród dużego bogactwa metod diagnostyki plazmy szczególnie przydatnymi są te, w których wykorzystuje się fakt, że nienamagnetyzowana plazma

¹² Czy też zwiększanie zakresu nakładania się funkcji falowych elektronów, gdyby mechanizmem translokacji tych cząstek było ich tunelowanie.

posiada zdolność do wchodzenia w rezonans z polem elektromagnetycznym o częstotliwości odpowiadającej jej częstotliwości drgań własnych. W sposób charakterystyczny zmieniają się jej zdolności do odbijania (i pochłaniania) padającego na nią promieniowania elektromagnetycznego, którego częstotliwość zbliża się do częstotliwości rezonansowej (Rys. 3).

[rysunek]

Rys. 3. Zmiany współczynnika odbicia od plazmy (R) promieniowania monochromatycznego o zmieniającej się wartości kwantu energii ($\sim \omega$). Plazmę stanowią elektrony o koncentracji $4 \times 10^{18} \text{ m}^{-3}$ w InSb. Linia ciągła wyznacza zmiany teoretyczne (nie uwzględniające rozproszenia) wyznaczone na podstawie zależności teoretycznej, zaś kółka – wartości uzyskane dzięki pomiarom [Hodgson 1970].

Jak widać z powyższego rysunku R ulega największym zmianom przy przekraczaniu tzw. krawędzi plazmowej, a więc przy przejściu od obszaru pełnego (teoretycznie) odbijania do wartości, przy której następuje całkowite (również teoretycznie) pochłanianie lub na odwrót.¹³ Stwierdzenie zachodzenia rezonansu plazmowego i przekraczania krawędzi plazmowej pozwala, w najprostszym wypadku – a taki jest stanowi plazma gazowa – bezpośrednio wyznaczyć jej koncentrację. Sytuacja inaczej przedstawia się w przypadku półprzewodników, gdzie stwierdzenie rezonansu plazmowego pozwala wyznaczyć wartość ilorazu ($n/\epsilon_r m_e$), co z kolei pozwala na wyznaczenie wartości poszczególnych parametrów (lub ich kombinacji) jeśli znane są jeden lub dwa pozostałe.

Inną metodą diagnostyczną są badania za pośrednictwem układu, w którym istotną rolę odgrywa interferencja fali oddziałującej z plazmą z falą traktowaną jako fala odniesienia. Choć wymagania aparaturowe są znacznie większe niż w poprzednim wypadku, to jednak pozwalają one na ciągłą rejestrację zmian współczynnika przepuszczania promieniowania przez plazmę. Jego wartość

¹³ Gwałtowny skok wartości R następuje przy wartości wyznaczonej przez równanie (16).

zależy od ω_p , a ta z kolei od stosunku koncentracji plazmy do iloczynu masy efektywnej cząstek i przenikalności elektrycznej ośrodka. Ponieważ należy spodziewać się, że wartość tych parametrów w bioukładach będzie się zmieniać w pewnym zakresie, należałoby raczej stosować metodę interferencyjną, gdyż pozwala ona na płynne wyznaczanie charakterystyk plazmy w pewnym „oddaleniu” od ω_p .¹⁴

6.2 Eksperymenty polegające na wywoływaniu innych odpowiedzi bioukładu świadczących o istnieniu w nich plazmy fizycznej

Mogą one polegać na testowaniu różnych konsekwencji wyprowadzanych z następującej ogólnej tezy: „Skoro w bioukładach występuje plazma fizyczna i odgrywa w nich jakąś rolę życiową, to zmiany jej charakterystyk, a zwłaszcza doprowadzanie do zaniku oddziaływań kolektywnych między cząstkami, powinno prowadzić do obserwowalnych skutków biologicznych”. W przypadku zamierzonych oddziaływań na charakterystyki plazmy, zmiany te mogą polegać na przyspieszaniu lub spowalnianiu tempa niektórych procesów (np. oddychania komórkowego lub fotosyntezy) czy też zmian podatności układu na określone czynniki (fizyczne czy chemiczne).

Wydaje się, że najbardziej przekonujące efekty świadczące o słuszności powyższej ogólnej tezy polegałyby na takich oddziaływaniach na charakterystyki bioukładu, że następowałyby zmiany stopnia kolektywizowania oddziaływań międzycząstkowych. Szczególnie widoczne zmiany powinny zachodzić wtedy, kiedy wspomniane oddziaływania skutkowałyby rozprężeniem plazmy (a więc przemianą fazową zbiorowiska dużej liczby cząstek powiązanych oddziaływaniami elektrostatycznymi w zbiorowisko cząstek oddziałujących indywidualnie) lub jej generowaniem w zespole cząstek dotąd nie oddziałujących kolektywnie.

Można tego dokonywać na wiele sposobów. Jednym z nich byłoby zmniejszenie stopnia kolektywizowania cząstek, a w skrajnym wypadku nawet „rozprężania” plazmy. Można to uzyskać na przykład poprzez wywoływanie wzrostów koncentracji swobodnych elektronów,¹⁵ bez kompensującego tę zmianę przyrostu iloczynu $\epsilon_r T$. Ten sam skutek można osiągać poprzez wymuszanie spadku przenikalności elektrycznej lub temperatury bez odpowiadającego mu spadku n (albo nawet przy wzrastającej wartości n). Z kolei przyrost stopnia kolektywizowania cząstek w plazmie można powodować doprowadza-

¹⁴ Badanie charakterystyk plazmy przez promieniowanie, którego częstotliwość nie pokrywa się z wartością ω_p byłoby także właściwsze dlatego, że kierowane z zewnątrz promieniowanie o częstotliwości rezonansowej z plazmą w bioukładzie mogłoby bardzo silnie oddziaływać i zmieniać układ [Zon 1979a].

¹⁵ Uwagi te odnoszą się do zmian w tzw. idealnej plazmie klasycznej.

jąc do zmian zachodzących w kierunku odwrotnym od podanego wyżej.¹⁶ Wszystkie możliwe sytuacje prowadzące do zmian stopnia skolektywizowania oddziaływań przedstawia Rys. 4.

[rysunek]

Rys. 4. Uzależnienie stopnia sprzężenia kolektywnego pomiędzy elektronami od zmian parametrów konstytuujących plazmę klasyczną lub kwantową. W lewym dolnym rogu tabeli znajduje się nierówność opisująca warunki istnienia plazmy w zbiorowisku kwantowym elektronów; w prawym górnym – w zbiorowisku klasycznym. W skrajnych wierszach i skrajnych kolumnach tabeli rozmieszczono natomiast wszystkie możliwe typy zachodzących w czasie zmian relacji pomiędzy wielkościami konstytuującymi plazmę. Oznaczenia zmian stopnia skolektywizowania cząstek: β – stan stabilny, \vee – przyrost, \neg – spadek, \vee, \neg – bardzo duży, odpowiednio: przyrost lub spadek. Dodatkowe okoliczności: a) $\partial(\varepsilon_r T)/\partial t = \partial n^{1/3}/\partial t$ lub $\partial(\varepsilon_r n^{1/3})/\partial t = \partial m_e/\partial t$; b) $\partial(\varepsilon_r T)/\partial t > \partial n^{1/3}/\partial t$ lub $\partial(\varepsilon_r n^{1/3})/\partial t > \partial m_e/\partial t$ c) $\partial(\varepsilon_r T)/\partial t < \partial n^{1/3}/\partial t$ lub $\partial(\varepsilon_r n^{1/3})/\partial t < \partial m_e/\partial t$ [za: Zon 1986 s. 358].

Warto tu podkreślić szczególną rolę jaką odgrywają zmiany przenikalności elektrycznej ośrodka. Niezależnie bowiem od tego, czy w układzie występowałaby plazma klasyczna czy kwantowa, spadek ε_r prowadzi do zmniejszania stopnia skolektywizowania oddziaływań, zaś wzrost – do przyrostu stopnia skolektywizowania cząstek [Zon 1986 s. 358].

Na zakończenie trzeba podkreślić, że hipoteza o występowaniu plazmy fizycznej w bioukładach, jakkolwiek trudna do testowania empirycznego, może i powinna być poddana takim procedurom. Powodzenie na tym polu będzie potwierdzeniem dla ściśle fizycznego (“ortodoksyjnego biofizycznie”) podejścia do tezy o bioplazmie. Powinno to też wpłynąć na zwiększenie stopnia wiary-

¹⁶ Jednym z możliwych wariantów takich testów byłoby badanie wpływu wyżej wspomnianych zmian na bioukłady wcześniej doprowadzone do stanu krytycznego przez stworzenie określonych warunków. Taką właśnie metodą posłużono się przy wykrywaniu korzystnego oddziaływania pól o częstotliwości 60 Hz na stan mięśnia sercowego [DiCarlo i wsp. 1999].

godności postawionej przez Sedlaka hipotezy o istnieniu bioplazmy – stanu materii żywej, który chociaż dzieli wiele własności z plazmą fizyczną, nie jest z nią całkowicie identyczny.

6.3 Inne ważne kwestie odnoszące się do bioplazmy i plazmy fizycznej w biostrukturach mieszczące się w zakresie przyrodoznawstwa

Pomimo bardzo znacznej liczby przedstawionych opinii na temat bioplazmy, można wyróżnić pewną liczbę kwestii podstawowych, które należy podjąć lub ponownie, w sposób systematyczny, rozważyć. Poniżej przedstawiono te, które mieszczą się w domenie przyrodoznawstwa. Od wyników dyskusji nad nimi w znacznej mierze zależeć będą rozstrzygnięcia w dziedzinie filozoficznej dyskusji nad bioplazmą.

Pierwszym naturalnym pytaniem, jakie trzeba rozstrzygnąć w odniesieniu do bioplazmy jest to, czy funkcjonuje ona jako jedna całość w obrębie jednego bioukładu, czy też jest ona „federacją” podjednostek plazmowych. Kolejne pytanie odnosi się do czasowej ciągłości bioplazmy. Zasadne jest bowiem zastanawianie się, czy stan plazmy, obejmujący cały bioukład lub obejmujący poszczególne jego jednostki jest trwały w wymiarze czasu. Dyskusji nad tymi kwestiami poświęcony został pierwszy fragment niniejszego rozdziału.

Kolejnym fundamentalnym pytaniem, dyskutowanym w drugiej jego części, jest pojawienie się powiązania funkcji życiowych z procesami plazmowymi (pytanie takie oczywiście ma sens przy założeniu, że takie powiązanie istnieje lub kiedykolwiek istniało). Rozpada się ono na dwa pytania. Pierwsze z nich odnosi się do pojawienia się po raz pierwszy powiązania procesów plazmy i życia. Drugie natomiast dotyczy pojawienia się powiązania pomiędzy plazmą a procesami życiowymi w konkretnym organizmie.

Innym problemem, ściśle powiązany ze wszystkimi wcześniej wspomnianymi, jest zmienność (i zakres) charakterystyk bioplazmy na dystansie filo- i ontogenezy. Rozważaniu tej kwestii poświęcono przedostatnią część tego rozdziału. Kończą go natomiast rozważania odnoszące się do roli, jaką mogłaby pełnić plazma w organizmie dzięki swoim specyficznym własnościom.

6.3.1 Relacje przestrzenne: lokalizacja bioplazmy w układzie żywym

Jeśli bioplazma byłaby czynnikiem niematerialnym, pytanie o jej lokalizację trzeba by uznać za źle postawione. Podobnie bowiem jak arystotelesowska (i drieschowska) entelechia byłaby ona zasadą pozaprzestrzenną i pozaczasową. Można by więc powiedzieć, że jest ona wszędzie i zarazem nigdzie w układzie

żywym.¹⁷ Jeśli zaś bioplazmą byłyby plazma fizyczna w strukturach żywych, to powinno być możliwe jej badanie metodami nauk przyrodniczych.¹⁸ Nie oznacza to oczywiście, że jej wykrycie i śledzenie zmian jej charakterystyk może być tak proste, jak ma to miejsce w przypadku najpospolitszych typów plazmy w układach nieożywionych (plazma gazowa i w metalach). Pierwsze, najbardziej podstawowe pytanie, jakie należy postawić w badaniach nad bioukładami, dotyczy miejsca występowania plazmy.

Z czysto teoretycznego punktu widzenia można stwierdzić, że w grę wchodzi realizowanie się plazmy na dowolnym poziomie organizacyjnym układu żywego, począwszy od skupisk złożonych nawet z makromolekuł¹⁹ włącznie z poziomem organizmu wielokomórkowego jako całością. Można też rozpatrywać sytuacje bardziej złożone, jak np. niejednorodność typów plazmy występującej w układzie czy też rozmiary i wymiarowość tworzonych skupisk plazmowych.

Jeśli chodzi o podstawowe sytuacje, które trzeba brać pod uwagę w odniesieniu do lokalizacji bioplazmy (rozumianej jako plazma fizyczna w bioukładach), to można wyróżnić trzy kategorie rozmieszczenia (topologii) jednostek plazmowych. Do pierwszej należałyby jednostki (3-, 2- a nawet 1-wymiarowe) tworzące sieciowy układ prostoliniowych i powyginanych ścieżek przewodnictwa, tworzących złożoną strukturę wewnątrz organizmu. Drugą grupę stanowi-

¹⁷ Tak zresztą o lokalizacji bioplazmy wypowiadał się Sedlak: porównując rozumienia prany, *vis vitalis* oraz plazmy fizycznej wskazywał, iż pranie przypisywano występowanie we wszystkich bytach, podczas gdy lokalizacja *vis vitalis* – ograniczała się tylko do układów żywych. Pod względem powszechności występowania do prany podobna byłaby plazma fizyczna [S72a s. 46,47]. Posługując się metaforą serca *Homo electronicusa*, [S80b s. 221, 222, 225] autor ten stwierdza, że plazma występuje w całym organizmie. Podobnie też ma być w odniesieniu do świadomości powiązanej z życiem [S81 s. 53], bioplazmą [S77a s. 22] oraz życiem (utożsamianym z bioplazmą) [S77a s. 25; S89-90 s. 214].

¹⁸ Zachodzi rozbieżność pomiędzy Sedlakiem i autorem niniejszej pracy. Odnosi się ona do kolejności proponowanych etapów na drodze do wykazania istnienia bioplazmy. Sedlak sądzi, iż najważniejszym byłoby założenie istnienia bioplazmy, natomiast wykazywanie istnienia plazmy fizycznej w bioukładach należałoby traktować jako jedną z implikacji testowych. Gdyby te próby zostały uwieńczone powodzeniem, świadczyłyby to o istnieniu bioplazmy [S88a s. 15]. Autor również sądzi, że należy podejmować próby teoretycznego i empirycznego wykazania istnienia plazmy fizycznej. Gdyby się one powiodły, teza o plazmie fizycznej w bioukładach byłaby dowiedziona, a teza o istnieniu bioplazmy (mającej pewną liczbę cech wspólnych z bioplazmą) zyskałaby wzmocnienie [Zon 1986 s. 421]. Zasadnicza różnica pomiędzy tymi stanowiskami polega na znacznym zawężeniu możliwości stawiania hipotez typu *ad hoc*, umożliwiających obronę hipotezy. Liczebność klasy własności modyfikujących zachowanie się plazmy fizycznej w bioukładach w stosunku do liczby własności plazmy fizycznej w ciałach stałych, jest dużo mniejsza od różnicy liczebności cech pomiędzy opisywaną przez Sedlaka bioplazmą a plamą ciał stałych. Tak więc program „ortodoksyjnie biofizyczny” daje zdecydowanie większą szansę na dokonanie istotnego postępu poznania.

¹⁹ Chodzi tu o minimalny rozmiar jednostek czy struktur, w ramach których spełniają się wszystkie warunki konieczne dla istnienia stanu plazmowego.

łyby skupiska plazmy nie połączone ze sobą ścieżkami przewodnictwa, tworzące układ ziarnisty. Można wziąć także pod uwagę trzeci rodzaj rozkładu przestrzennego – mieszany, charakteryzujący się dowolnym zestawieniem większych objętości złożonych z sieci i oddzielnych skupisk plazmy.

Trzeba również uwzględnić możliwość, że układ żywy może być wypełniony jednostkami plazmowymi całkowicie lub w pewnej tylko części.²⁰ Najniższym poziomem organizacji bioukładu, na którym można by jeszcze mówić o jednostce zawierającej plamę byłyby skupiska małych cząsteczek lub wyróżnione fragmenty makromolekuł (np. pierścienie porfiryne [Wnuk 1981; 1983 s. 249; 1987 s. 195n]). Nie można też przeoczyć możliwości, że plazma fizyczna mogłaby urzeczywistniać się dopiero na odpowiednio wysokich piętrach organizacji bioukładów: organelli komórkowych, czy narządów, a nawet – co jest tu możliwością skrajną – w całym organizmie. Wtedy w takiej jednostce jako całości zachodziłoby spełnianie wszystkich warunków koniecznych dla istnienia plazmy.

Nie widać także powodu do pomijania możliwości, że objętości plazmowe mogłyby urzeczywistniać się we fragmentach biostruktur, których kształt i wielkość nie pokrywają się ze strukturami znanymi z morfologii lub anatomii narządowej czy komórkowej. Tego rodzaju sytuację miał zapewne na myśli Iniuszyn pisząc o istniejących w organizmie konstelacjach plazmowych [Iniuszyn i wsp. 1968 s. 27, 32; 1970 s. 33].

Urzeczywistnianie się każdego z typów przestrzennej organizacji jednostek plazmowych powodowałoby, że organizm należałoby rozpatrywać jako ich zespół.²¹ struktur subkomórkowych, komórkowych czy narządowych oraz pozanarządowych.

6.3.2 Relacje czasowe: trwałość bioplazmy

W układach żywych dokonuje się jednocześnie bardzo wiele różnorodnych procesów. Ich jakość, tempo i liczba bezustannie zmieniają się w czasie. Omówione wyżej relacje przestrzenne odnoszące się do występowania plazmy w tym samym układzie mogą także urzeczywistniać się w różnych domenach czasowych. Należy więc liczyć się z możliwością, że w pewnych okresach (pokrywających się z pojawianiem się określonych stanów czynnościowych układu) plazma układu żywego mogłaby stanowić jedną całość, posprzęganą

²⁰ Oddzielną kwestią jest proporcja zachodząca pomiędzy objętościami „plazmonośnymi” a nie zawierającymi plazmy. Może ona inaczej wyglądać w różnych stanach czynnościowych organizmu czy też różnych jego częściach.

²¹ Wyłączywszy oczywiście możliwość, że w organizmie istniałaby tylko jedna jednostka plazmowa: w jakiejś jego części (np. w centralnym układzie nerwowym) albo, że cały organizm zawierałby tylko jedną taką jednostkę.

wzajemnymi oddziaływaniami, w innych natomiast – być zbiorowiskiem względnie wyodrębnionych podjednostek. W przypadku gdyby plazma podukładów stanowiła podjednostki nieautonomiczne, wszystkie one oddziałując jak jeden zespół²² mogłyby generować plazmowy system całego układu (podukładu) o właściwościach specyficznych dla całości.

Najprościej sytuacja przedstawiałaby się wtedy, gdyby w bioukładzie istniał tylko jeden układ plazmowy obejmujący wszystkie jego składniki. Wtedy z istnieniem charakterystycznego dla plazmy skolektywizowania oddziaływań (i zmianami jego stopnia) można by wiązać zachodzenie określonych procesów biologicznych, a nawet gradację witalności bioukładu.²³ Także gdyby w bioukładzie istniał tylko jeden wyróżniony fragment (np. mózg ludzki), w którym by znajdowała się plazma fizyczna istotnie powiązana z procesami dokonywanymi w tej strukturze, wtedy zmiany jej charakterystyk, a szczególnie zanik plazmy powodowałyby zmiany podobne do wyżej wspomnianych.

Inaczej jednak sytuacja by się przedstawiała, gdyby w bioukładzie występowała pojedyncza jednostka plazmowa, która nie byłaby stale powiązana z określonym podukładem i miała rozmiary mniejsze od rozmiarów całego bioukładu. Wtedy – prócz brania pod uwagę dokonujących się w czasie zmian jej charakterystyk – należałoby także uwzględnić jej przemieszczanie się w obrębie układu. Stan plazmowy utrzymywałby się w nim, ale w rozmaitych okresach czasu obejmowałby coraz to inne jego obszary.

Jeszcze bardziej skomplikowany byłby obraz sytuacji (co zresztą wydaje się bardziej prawdopodobne niż możliwość wspomniana przed chwilą), gdyby w układzie występowało wiele jednostek plazmowych. Wtedy charakterystyki ich plazmy (i powiązane z nimi zmiany procesów życiowych) mogłyby zmieniać się jednocześnie w wielu miejscach. Skrajną postacią takich zmian byłoby zanikanie plazmy lub jej generowanie w określonych częściach bioukładu. Zmiany te mogłyby dokonywać się w bardzo skomplikowanych sekwencjach czasoprzestrzennych. Wskutek tego rozmaite części mogłyby w różnym zakresie być „nasycone” stanem plazmowym. Najprostszą miarą tego nasycenia mogłyby być stosunek objętości biostruktury w której istnieje stan plazmowy do całkowitej jej objętości.

6.3.3 Geneza powiązania plazmy z procesami życiowymi

Przyjmując, że obecnie zachodzi istotne powiązanie pomiędzy plazmą a procesami życiowymi można stawiać pytanie o moment (okres czasu) i okoliczności jego zajścia. Odpowiedzi można poszukiwać w płaszczyźnie ontoge-

²² Można przypuszczać, że koordynacja zachodziłaby głównie za pośrednictwem pól fizycznych.

²³ Taką właśnie możliwość rozpatrywano w pracy [Zon 1984].

netycznej, jak też ponadfilogenetycznej,²⁴ a więc rozpatrując związek pomiędzy stanem plazmowym a powstaniem życia jako procesu, który od momentu zaistnienia trwa w postaci niezwykle zróżnicowanego zbioru osobników aż do dzisiaj.

Pierwszym podstawowym pytaniem jest sposób i okoliczności, w jakich życie mogło powstać przy udziale plazmy, jeśli w ogóle tego typu związek w ogóle zaistniał. Trzeba się tu liczyć z dwiema istotnymi okolicznościami. Po pierwsze, plazma fizyczna mogła odegrać rolę czynnika niezbędnego do zaistnienia procesów życiowych, następnie zaniknąć lub nie odgrywać znaczącej roli w organizmach pierwszego pokolenia i pokoleń późniejszych. Gdyby tak było, rola plazmy fizycznej ograniczałaby się do unikalnego w przyrodzie zdarzenia, które dało początek procesowi, który w ogóle nie miał związku z plazmą lub miał z nią związek tylko na pewnych późniejszych etapach. Ciągłość życia jako procesu nie byłaby skorelowana z ciągłością towarzyszącego mu stanu plazmowego. Można jednak brać pod uwagę drugą, bardziej naturalną możliwość, polegającą na stale utrzymującym się istotnym powiązaniu tych dwu stanów: skoro już raz życie powstało przy istotnym udziale plazmy, związek ten zachodził przez cały ciąg filogenezy aż do dzisiaj w istniejących formach świata żywego.

Kolejną kwestią jest sposób, w jaki dokonało się powiązanie plazmy z życiem. Najbardziej trywialnym wariantem odpowiedzi byłoby uznanie każdej plazmy za stan ożywiony. Choć rozwiązanie takie może być atrakcyjnym z filozoficznego i światopoglądowego²⁵ punktu widzenia, na gruncie współczesnego przyrodoznawstwa trzeba je uznać za pozbawione podstaw.

Podstawową rolę w jej odrzuceniu odgrywa rozumienie życia biologicznego. Do jego podstawowych atrybutów należy substrat związków węglowych, istnienie w postaci indywidualów klasyfikowanych do grup taksonomicznych różnej rangi. Za istotną podstawę tej indywidualizacji uznaje się posiadanie względnie utrwalonego²⁶ wzorca wyznaczającego podstawowe własności osobnika. Materiałowym nośnikiem tego wzorca są kwasy nukleinowe. Ponieważ w plazmie gazowej nie jest możliwe istnienie takiego nośnika względnie stabilnych cech urzeczywistniających się w układach o rozmiarach molekular-

²⁴ Rolę plazmy w filogenezie, jako problem mniej zasadniczy i obciążony jeszcze większą liczbą koniecznych założeń, zostanie tu pominięty.

²⁵ Chodzi tu o doktrynę Nowego Wieku, gdzie rolę czynnika spajającego Wszechświat w jedną żyjącą i świadomą całość odgrywałaby plazma fizyczna. Taka interpretacja byłaby bliska starożytnym doktrynom pneumy, prany oraz Czi, nie mówiąc już o koncepcji Preyera, gdzie każde „indywiduum” ognia było uznane za twór żywy.

²⁶ Oczywiście trwałość ta nie jest absolutna. Gdyby było inaczej, nie mogłyby zachodzić procesy doboru działające na stale modyfikowanym poprzez mutacje, rekombinacje (i inne procesy generujące zmienność) materiale dziedzicznym bioukładów.

nych i nadmolekularnych – znane nam życie nie może istnieć w plazmie gazowej²⁷.

Tak więc należałoby odrzucić możliwość istnienia życia w wyładowaniach elektrycznych w gazach, w gwiazdach i przestrzeniach kosmicznych, choć jest ona brana pod uwagę w żyjącej w symbiozie z nauką literaturze *science-fiction* [Lem 1996].

Daleko trudniejszą sprawą jest wyeliminowanie możliwości „preegzystencji życia” w środowisku zawierającym plazmę ciała stałego. Jeśli się weźmie pod uwagę nadzwyczaj wielką heterogenność i anizotropowość realizującą się nawet na poziomie molekularnym współczesnych bioukładów, należałoby wykluczyć wszelkie przewodzące elektronowo minerały, w których te własności nie urzeczywistniałyby się w tak znacznym zakresie. Jako możliwość, której teraz nie można jednak odrzucić pozostaje urzeczywistnienie się życia w znajdujących się w fazie stałej lub ciekłokrystalicznej skupiskach związków organicznych. Warunkami koniecznymi tego aktu (lub ich serii) byłoby wygenerowanie stanu plazmowego, dzięki któremu oraz dzięki udostępnionej energii powstałyby odpowiednio trwałe struktury dyssypatywne. Zanim taki układ (populacja układów) przestałby istnieć, powinno nastąpić wytworzenie odpowiednich materiałowych nośników informacji o poprzedniej strukturze, które w sprzyjających warunkach znów wytworzą plazmę ciała stałego, struktury dyssypatywne i nośniki informacji. Jak już wcześniej zauważono, szczególnie istotnym pozostaje pytanie o plazmę jako warunek konieczny zaistnienia (i przekazywania się) życia. Twierdzącą odpowiedź na nie można uzyskać tylko wtedy, jeśli uda się w sposób sztuczny, przy pełnej kontroli układu doświadczalnego²⁸ wygenerować układ żyjący.

Drugie podstawowe pytanie dotyczy związku przyczynowego pomiędzy stanem plazmowym a powstaniem indywidualnego bioukładu. W przypadku organizmów rozmnażających się płciowo chodziłoby więc o związek pomiędzy stanem plazmowym a zygotą, w przypadku rozmnażania bezpłciowego – o udział plazmy fizycznej w zainicjowaniu przekształceń komórek generatywnych doprowadzającym do wykształcenia nowego osobnika.

Ponieważ komórki rozrodcze pochodzą od osobników poprzedniego pokolenia, naturalne wydaje się wzięcie pod uwagę następujących możliwości:

- a) przekazywanie stanu plazmowego. Następowaloby jego przeniesienie od jednej tylko komórki albo byłby on przenoszony przez obydwie komórki

²⁷ Oczywiście nie wchodzi tu w grę wytwarzane w plazmie gazowej pola elektryczne, magnetyczne i elektromagnetyczne. Decydują one wprawdzie o „morfologii i anatomii” skupisk plazmy, ale – wyłączwszy sytuację, gdy w plazmie przepływają bardzo silne prądy powodujące zjawisko pinzu – nie są one zdolne do utrzymania stabilnego w czasie i przestrzeni układu cząstek.

²⁸ O spełnieniu tego wymagania świadczyć może uzyskanie dużej powtarzalności procesu.

rozdrodcze.²⁹ Plazma (obecna już przynajmniej w jednej z gamet) byłaby stanem spełniającym rolę międzypokoleniowego łącznika: komórka rozrodcza o tyle byłaby zdolna do spełnienia swej roli, o ile zachowałaby się w niej stan plazmy.

b) w komórkach rozrodczych przekazywany byłby materiał, który dopiero po zetknięciu się komórek (wniknięciu plemnika do jaja) w odpowiednich okolicznościach fizycznych doprowadzałby do zaistnienia stanu plazmowego w zygocie. Tak więc gameta (a w przypadku rozmnażania płciowego obydwie gamety) spełniałyby rolę czynnika koniecznego, jednak jeszcze nie wystarczającego dla zaistnienia plazmy istotnie zaangażowanej w najwcześniejszy etap życia nowego osobnika. Mogłoby wreszcie być tak, że:

c) w zależności od grupy organizmów, któraś ze wspomnianych wyżej możliwych dróg prowadziłyby do rozpoczęcia procesów przekształceń rozwojowych komórek generatywnych.³⁰ Ostatnią możliwością, o której warto tu wspomnieć, jest:

d) pojawienie się stanu plazmowego dopiero na którymś z kolejnych etapów rozwojowych zarodka.

6.3.4 Zmiany bioplazmy w trakcie filogenezy i ontogenezy

Jakkolwiek stan plazmy można by uważać za nieodłączny od procesów życiowych, to jednak te ostatnie ulegają zmianom. Należy więc sądzić, że zmianom powinny ulegać także charakterystyki samej plazmy. Mogą się one dokonywać w krótkiej skali czasowej w trakcie dokonywania się różnych czynności życiowych organizmu, mogą jednak też zachodzić regularnie na długich dystansach czasu. W przypadku pojedynczego organizmu obejmują one cały jego okres życia. W przypadku zaś gatunku i wyższych jednostek taksonomicznych – okres trwania określonych jednostek oraz życia jako ich łącznego zbioru.

Problem ewolucji bioplazmy został wyraźnie podjęty przez Sedlaka (por. 2.3.2.). Wskazał on, że ewolucja ta wyraża się poprzez:

- a) poszerzanie zakresu widma promieniowania generowanego przez bioplazmę,
- b) wydłużanie się fali przez nią generowanej,
- c) zwiększanie się promienia ekranowania oraz poprzez

²⁹ Jeśli rozmnażanie odbywa się na drodze płciowej.

³⁰ Np. połączenie się gamet organizmów rozmnażających się płciowo lub uzyskanie odpowiednich warunków wilgotności, naświetlenia lub temperatury – w przypadku nasion roślin.

d) wzrost koncentracji plazmy.

Niezależnie od tego, jak przekonujące³¹ mogą być te sugestie, można zastanawiać się, czy każdemu typowi organizacyjnemu życia, a nawet gatunkowi, nie można by przypisać jakichś charakterystycznych dla niego zestawów właściwości plazmy. Jedną z takich możliwości mogłaby być częstość oscylacji plazmowych w centralnym układzie nerwowym (jeśli by chodziło o grupę organizmów posiadających scentralizowany układ nerwowy). Dyskusja jednak na ten temat mogłaby być podjęta dopiero po wykryciu plazmy w obecnie żyjących organizmach należących do rozmaitych grup taksonomicznych. Nie można jednak problemu zmian charakterystyk plazmy w organach (zmian dokonujących się na długich dystansach czasu), ujmować w sedlakowskich kategoriach jednokierunkowych zmian określonych charakterystyk plazmy. Byłaby to bowiem jakaś postać „bioplazmowej” ontogenezy – jednokierunkowych zmian charakterystyk układu przebiegających niezależnie od warunków środowiska. Ewolucja życia sprowadzałaby się wówczas do wymuszonej wewnętrznymi czynnikami ewolucji bioplazmy.

Właściwym ujęciem byłoby potraktowanie charakterystyk plazmy jako jednego z wielu czynników mających udział w procesach doboru naturalnego bioukładów. Przy takim podejściu nie dałoby się ustalić stałego kierunku zmian charakterystyk plazmy w następujących po sobie pokoleniach. Konkretnie warunki środowiska, w jakich znajdują się określone populacje organizmów, wymuszałyby zmiany charakterystyk plazmy, będące elementem adaptacyjnej „odpowiedzi” na te warunki.

Można jednak przyjąć, że dzięki szczególnym własnościom plazmy jako ośrodka, w którym dokonuje się „scalanie” oddziaływań różnego typu, zachodzą zmiany plazmy polegające nie tyle na stałym przyrastaniu lub zmniejszaniu się określonej charakterystyki, lecz na optymalizowaniu w bioukładach warunków dla istnienia bioplazmy [Wnuk 1987 s. 216]. Optymalizacja taka mogłaby dokonywać się jednak przy decydującym wpływie warunków zewnętrznych.

Dwoma najbardziej krytycznymi punktami ontogenezy są zainicjowanie życia osobnika i jego śmierć. Łączą je fazy charakteryzujące się zmieniającymi się tempami przyrostu lub spadku „sił witalnych”: tzn. okresu rozwoju, kiedy sprawność organizmu wzrasta; dojrzałości, która cechuje się sprawnością ukła-

³¹Na pozór nie wydaje się możliwe, by jednocześnie zachodziły zmiany b) i d) lub c) i d). W plazmie gazowej wzrost koncentracji plazmy prowadzi do wzrostu częstości oscylacji, a przez to do skrócenia długości fali, którą tym oscylacjom można by przypisać. Podobny charakter mają zmiany długości ekranowania – mogłaby ona wzrastać wtedy, gdyby zmniejszała się koncentracja plazmy. Jeśli weźmie się pod uwagę, że przedstawione sugestie odnoszą się do plazmy ciała stałego w biostrukturach, wtedy sprzeczność pomiędzy pierwszą wspomnianą parą zmian znikalaby wówczas, gdy dokonywałyby się odpowiednio wielkie przyrosty mas efektywnych cząstek stanowiących plazmę, i – jeśli chodzi o drugą parę – wystarczy tutaj odpowiednio szybki przyrost temperatury plazmy.

du utrzymującą się na względnie stałym i wysokim poziomie; wreszcie fazy schyłkowej, kiedy sprawność organizmu stale się zmniejsza, by dojść do takiego poziomu, że zaburzenie stanu organizmu (choroba), które wcześniej dawałoby układowi możliwość powrotu do stanu poprzedniego, kończy się jednak nieodwracalnym jego upośledzeniem a czasami nawet całkowitą dezintegracją. Każdej z tych faz rozwojowych powinny towarzyszyć odpowiadające jej zmiany charakterystyk plazmy.

Jak już wcześniej wspomniano, stan plazmy w określonym organizmie może być przeniesiony w komórkach rozrodczych od organów rodzicielskich, albo może zostać wygenerowany dzięki temu, co zostało przekazane w tych komórkach i warunkom, w jakich się one znalazły. Plazma fizyczna w zygocie i powstałym z niej zarodku musi mieć takie charakterystyki, by nie została ona unicestwiona w trakcie szybko dokonujących się podziałów komórkowych, dyferencjacji komórek i przyrostu ich rozmiarów.

Faza dojrzałości organizmu cechować się będzie względną stałością i stabilnością charakterystyk plazmy w komórkach tworzących określone zespoły funkcjonalne (tkankach). Będzie więc zróżnicowana przestrzennie, lecz względnie stabilna w przekroju czasowym.

Faza schyłkowa ontogenezy może charakteryzować się osłabieniem stopnia skolektywizowania oddziaływań w obrębie skupisk plazmowych w biukładzie, spadkiem stopnia sprzężenia między nimi, czy też dezintegracją plazmy w coraz to większej liczbie skupisk plazmowych. Zmiany należące do pierwszej grupy powodować będą, że słabo sprzężone wzajemnymi oddziaływaniami skupiska cząstek, wskutek nawet przypadkowych wahań którejś z wielkości konstytutywnych dla plazmy, spowoduje że stanie się ona zbiorowiskiem indywidualnych cząstek. Osłabienie oddziaływań pomiędzy oddzielnymi od siebie jednostkami plazmowymi mogą zachodzić wskutek zmian przenikalności elektrycznej ośrodka pośredniczącego w oddziaływaniach. Wreszcie dezintegracja plazmy w coraz to większej liczbie jednostek wchodzących w skład jakiegoś krytycznego narządu doprowadzać będzie do dyskoordynacji funkcji całego układu i ostatecznie do jego śmierci.

Osobnym problemem, i wydaje się, że daleko łatwiejszym do podjęcia w ramach badań empirycznych, jest przebieg „ontogenezy” pojedynczej komórki. W zależności od typu, kres jej istnienia stanowi jej podział na komórki potomne lub obumarcie. Jednak i w tym przypadku w grę wchodzi wszystkie wymienione wyżej okoliczności, gdyż komórka jest złożona ze znacznej liczby podukładów, zawierających plazmę.³² Zamieranie komórki mogłoby więc być

³² Gdyby przyjąć, że stosunkowo niewielka kulista komórka o promieniu 2,5 μm jest ściśle wypełniona przez kuliste skupiska plazmowe o promieniu 5 nm, to tych ostatnich mieściłoby się w komórce ok. 10 milionów. Takimi pojedynczymi podukładami plazmowymi mogą być poszczególne organelle. Tych również może być bardzo wiele w komórce.

związane z zanikiem kolektywnych oddziaływań czy osłabieniem wzajemnych oddziaływań i osłabieniem koordynacji funkcji.

6.3.5 Integracyjna i regulacyjna rola plazmy jako przykład jej możliwego zaangażowania w procesy życiowe

Spośród wielu ról, w jakich spełnianie może być zaangażowana plazma, najbardziej istotny byłby jej udział w scalaniu organizmu na submolekularnym poziomie rzeczywistości biologicznej. Jest wiele możliwych dróg zaangażowania stanu plazmowego w funkcje regulujące i scalające. Pierwszą ich grupę stanowią takie, kiedy regulacja i scalanie dokonuje się w obrębie ciągłego zbiorowiska ruchliwych nośników ładunku (choć o różnej topologii) stanowiących plazmę. Jeśli objętość podlegająca regulacji stanowi pojedynczy układ plazmowy,³³ wtedy wszystkie swobodne nośniki ładunku stanowią jeden zespolowo zachowujący się układ. Wszystko co dzieje się w jednej jego części znajduje natychmiast odbicie w zmianach położenia i prędkości ruchu naładowanych ruchliwych cząstek we wszystkich innych częściach tego układu. Układem tak właśnie spojonym przez plazmę fizyczną mogą być jakieś organellum komórkowe (np. rybosom, jądro komórkowe), komórka czy struktura³⁴ o jeszcze większych rozmiarach.

Regulacja i scalanie może polegać na kompensowaniu przez plazmę fizyczną zmian jednych charakterystyk fizycznych zmianami innych charakterystyk, przy zachowywaniu dynamicznej równowagi określonej charakterystyki plazmy. Dobrą ilustracją takiej właśnie możliwości może być mająca charakter kompensacyjny zmiana ilorazu $\epsilon_r m_e$ w odpowiedzi na zmiany gęstości plazmy,³⁵ przy założeniu, że dla poprawnego spełniania funkcji przez biostrukturę musi być zachowana określona wartość ω_p . Tak więc, gdyby na pewien czas wzrosła gęstość plazmy, to trwający przez krótki czas stan zwiększonej wartości ω_p mógłby doprowadzać do takiej przebudowy składu i struktury sieci atomowej biostruktury, że odpowiednio zwiększyła by się jej przenikalność elektryczna lub masa efektywna poruszających się w niej nośników ładunku. Skutkiem tego byłby powrót częstości oscylacji plazmy do wartości wyjściowej. I

³³ Co może dziać się wtedy, jeśli rozmiary liniowe tej struktury nieznacznie przewyższają promień ekranowania.

³⁴ Warto tu przypomnieć wcześniej poczynioną uwagę, że położenie obszaru zawierającego pojedynczy układ plazmowy może, ale nie musi, pokrywać się z położeniem struktur wyróżnianych według kryteriów morfologii komórkowej czy narządowej.

³⁵ Mogą one być powodowane zwiększeniem tempa metabolizmu (wysiłek), wzrostem temperatury, działaniem środków farmakologicznych czy przez napromieniowanie jonizujące.

na odwrót: zmiany sieci atomowej, spowodowane różnymi czynnikami, doprowadzałyby do kompensacyjnej zmiany koncentracji cząstek.³⁶

W rozległym, charakteryzującym się złożoną topologią układzie plazmonowym zmiany kompensacyjne mogą się też dokonywać poprzez odpowiednie przemieszczanie się ruchliwych nośników ładunku. Na taki mechanizm spełniania przez plazmę roli regulacyjnej i scalającej za pośrednictwem przemieszczających się wzdłuż sieci kanałów przewodnictwa zwracał już wcześniej uwagę Iniuszyn i współpracownicy. Cząstki te przemieszczając się pomiędzy poszczególnymi podjednostkami bioplazmowymi wpływałyby na lokalne zmiany koncentracji i częstotliwości oscylacji własnych poszczególnych subjednostek plazmowych [Iniuszyn i wsp. 1968 s. 32].

Istnienie plazmowego mechanizmu autoregulacji działającego na submolekularnym poziomie bioukładów, jest bardzo interesującą możliwością, gdyż – po pierwsze – stała czasowa jego reakcji byłaby prawdopodobnie niewielką wielokrotnością czasu pojedynczej oscylacji plazmowej (10^{-14} - 10^{-11}), po drugie zaś – dokonywałaby się ona w skali całego zbiorowiska cząstek stanowiących jednostkę plazmową. Warto zauważyć, że zmiany charakterystyk plazmy poprzez dostarczenie lub odprowadzenie z danej struktury określonych cząsteczek chemicznych, mogłyby doprowadzać nie tylko do przestrajania charakterystyk plazmy, ale — w sytuacjach skrajnych — nawet do jej zaniku. [Zon 1986 s. 366].³⁷

Drugą grupę plazmowych mechanizmów regulujących i scalających stanowiąc będą oddziaływania zachodzące pomiędzy subjednostkami plazmowymi nie połączonymi kanałami przewodnictwa. Jedną z takich możliwości byłoby sterowanie podukładami plazmowymi charakteryzującymi się niższymi częstotliwościami drgań własnych przez podkład(y) plazmowy(e) o częstotliwości drgań własnych wyższej od pozostałych [Zon 1977 s. 168-179]. Te zachodzące na dystans oddziaływania charakteryzowałyby się również bardzo dużą szybkością: równą czasowi przejścia sygnału elektromagnetycznego od miejsca emisji do miejsca jego pochłonięcia.³⁸

Układy żywe oraz ich składniki są układami względnie izolowanymi od otoczenia, gdyż wymieniają one z nim energię i materiały, zmniejszając przez to własną entropię na koszt wzrostu entropii w otoczeniu. W związku z tym

³⁶ Do tego mogłoby dochodzić wskutek przyspieszania tempa metabolizmu (np. wskutek odpowiedniej zmiany behawioru czy też wywiązania się stanu gorączkowego).

³⁷ Oddziaływania te byłyby stosunkowo wolne, ale też bardziej długotrwałe w porównaniu z tym, jakim byłoby wywoływane przepływem elektronów. W ten sam sposób na jednostki plazmonośne mogłyby oddziaływać także subobjętości w układzie nie zawierającym plazmy.

³⁸ Zakłada się tutaj dostateczną transmisyjność ośrodka w stosunku do emitowanego promieniowania elektromagnetycznego oraz że promieniowanie to spełnia rolę sygnału, a więc że po pochłonięciu tego promieniowania przez określony podukład, powoduje „fizjologicznie sensowne” zmiany charakterystyk tego układu.

można wziąć pod uwagę jeszcze jedną ważną okoliczność: tę mianowicie, że koniecznym warunkiem normalnego stanu plazmy wewnątrzukładowej byłoby stałe lub okresowe zachodzenie interakcji pomiędzy nią a plazmą otoczenia ziemskiego i Kosmosu, czy też tylko niektórych czynników otoczenia subtelnie oddziałujących energetycznie i informacyjnie. To uzależnienie mogłoby polegać np. na uzależnieniu bioplazmy od egzogennych czynników informacyjno energetycznych. Na potrzebę brania pod uwagę także i takich możliwości wskazywałyby między innymi prace nad synchronizacją rytmów okołodobowych przez zewnętrzne oddziaływanie polowe.³⁹

*
* *

Twórcy i propagatorzy koncepcji bioplazmy, w pierwszym okresie publikowania na jej temat, trafnie wskazywali, że poszukiwanie plazmy fizycznej w bioukładach wynika z zastanego stanu badań w fizyce ciała stałego i w biofizyce. Nie podjąwszy jednak prób doprowadzenia swoich propozycji do takiego stanu, by można było prowadzić dyskusję nad ich propozycją przejmując możliwie w najszerszym zakresie zastaną metodykę badań fizycznych i biologicznych, pozostawili istotną lukę. W powyższym rozdziale pokazano, że z punktu widzenia „ortodoksyjnej” biofizyki stawianie problemu istnienia plazmy fizycznej w bioukładach ma dostateczne podstawy w do dziś jeszcze publikowanych wynikach badań nad przewodnictwem elektronowym różnych składników biosystemów. Prace na ten temat, publikowane zresztą od późnych lat 30-tych XX w., są bardzo poważnie liczącą się przesłanką dla tezy o bioplazmie. Nie są jednak wystarczające. Trzeba także wykazać – czego nie uczynili ani Sedlak, ani Iniuszyn – że charakterystyki fizyczne, jakie posiadają zdolne do przemieszczania się w biostrukturach nośniki ładunku, spełniają kryteria istnienia stanu plazmowego. Szczególnie ważne znaczenie mogą tu mieć prace empiryczne.⁴⁰

Ich specyfika polega na tym, iż z tezy „w układach żywych występuje plazma fizyczna” wyprowadza się zdania, które można poddać testom empirycznym. Do pierwszej ich grupy należą zdania o następującej strukturze: jeśli w bioukładach występuje plazma fizyczna, to powinno się obserwować zjawiska charakterystyczne dla zachowania się skupisk plazmy. Jedno z nich polegałoby na tym, że przy pewnych częstotliwościach monochromatycznego promieniowania padającego na biostruktury powinno się obserwować charakterystyczne maksima absorpcji tego promieniowania, różniące się od innych lokalnych

³⁹ Na możliwość ujmowania tych oddziaływań w kategoriach oddziaływania słabych pól magnetycznych na plazmę zwróciła uwagę Gerarda Jodkowska [1982].

⁴⁰ Wspierający powyższe sugestie szlak badań stanowią prace w których –poprzez dokonywanie oszacowań – wykazywano możliwości istnienia plazmy w biostrukturach [m. in. Zon 1986].

maksimów, powstających wskutek innych niż plazmowe mechanizmów absorpcji. Różnica ta polega na tym, że jeśli dochodzi do osiągnięcia częstotliwości maksymalnej absorpcji promieniowania zewnętrznego o częstotliwości ω od strony częstotliwości mniejszych niż ω_p , następuje gwałtowny wzrost współczynnika odbicia: od wartości minimalnej do maksymalnej; jeśli zaś częstotliwość pola zewnętrznego zbliża się do częstotliwości rezonansu od strony krótkofalowej – przyrost ten nie jest skokowy, lecz zachodzi, w przybliżeniu zgodnie z zależnością $(1 - \omega_p^2/\omega^2)$, gdy ω zmierza do ω_p od strony wartości mniejszych niż ω_p . Gdyby nawet testy tej kategorii zostały uwiecznione powodzeniem, w dalszym ciągu nie można by ich uznać za pozytywne rozstrzygnięcie pytania o bioplazmę w znaczeniu plazmy fizycznej zaangażowanej w spełnianie istotnych funkcji życiowych, ani tym bardziej bioplazmy w znaczeniach i rolach przedstawionych zwłaszcza przez Sedlaka.

Spełnieniu tej funkcji poznawczej mogą służyć testy, które nazwano tu biologicznymi. Za podstawę wyprowadzania implikacji testowych należy przyjąć powyższą tezę, jednak w mocniejszym sformułowaniu. Brzmi ona: istnienie stanu plazmy fizycznej w organizmach jest warunkiem koniecznym zachodzenia podstawowych procesów życiowych. Przyjmując takie założenie za słuszne, należy z niego wnioskować, że wszelkie zmiany charakterystyk fizycznych ośrodka, które są istotne dla wyznaczania stanu plazmy, będą znajdować odzwierciedlenie w natężeniu i jakości funkcji życiowych. Szczególne znaczenie mieć będzie wywoływanie sytuacji skrajnych z punktu widzenia stanu plazmowego. Stanowiąc je będą takie sploty warunków, w których wskutek odpowiednich „manipulacji” temperaturą, masą efektywną lub koncentracją cząstek albo też przenikalnością elektryczną ośrodka można powodować zmiany stopnia skolektywizowania oddziaływań między cząstkami, a w skrajnym wypadku jej „rozprzężenie”. Powinno to prowadzić do zmian określonych procesów życiowych, w tym także do śmierci bioukładu.

Choć testy drugiej kategorii wydają się łatwiejsze do przeprowadzenia, to jednak nastrożać mogą daleko więcej trudności interpretacyjnych, niż wspomniane wyżej testy fizyczne. Po pierwsze, trzeba wykazać, że powodowane skutki nie są równie dobrze tłumaczone przez inne znane mechanizmy; po drugie – w wielu wypadkach trudno będzie oddziaływać na jedną z charakterystyk konstytutywnych dla plazmy,⁴¹ np. wzrost temperatury ośrodka może powodować przyrost koncentracji cząstek swobodnych czy też zmiany jego przenikalności elektrycznej – zmiany te mogą się kompensować, wskutek czego oczekiwane skutki się nie pojawiają. W tym kontekście ważne jest poświęcenie uwagi także pytaniom natury bardziej ogólnej, spośród których najważniejsze omówiono w ostatniej części niniejszego rozdziału. Tego typu procedury badawcze i uzyskane przy ich pomocy pozytywne wyniki, stanowiłyby mocną pod-

⁴¹ Na ten problem zwrócono już wcześniej uwagę [Zon 1984].

UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (jozon@kul.lublin.pl). W tekście nie występuje oryginalna numeracja stron.

stawę rzeczową dla tezy o istnieniu nie tylko plazmy fizycznej w biostrukturach, ale również dawałyby argument do ewentualnych poszukiwań cech specyficznych tej plazmy w stosunku do znanych już typów plazmy fizycznej.

UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (jozon@kul.lublin.pl). W tekście nie występuje oryginalna numeracja stron.

[pusta]