

Marian Wnuk

**Istota procesów życiowych
w świetle koncepcji
elektromagnetycznej natury
życia**

**Bioelektromagnetyczny model katalizy
enzymatycznej wobec problematyki
biosystemogenezy**

[The essence of life processes in the light of the concept of electromagnetic nature of life: Bioelectromagnetic model of enzymatic catalysis in view of the problems connected with biosystemogenesis]

Lublin, Redakcja Wydawnictw KUL, 1996, ss. 280

Tekst książki został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (mjwnuk@kul.lublin.pl).

W tekście w wersji elektronicznej nie występuje oryginalna numeracja stron.

W Spisie treści podana jest numeracja stron zgodna z oryginałem książkowym.

SPIS TREŚCI

Wstęp	11
1. ŻYCIE JAKO FORMA ISTNIENIA INFORMACJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ?	17
1.1. O relacji "życie = światło"	18
1.1.1. Aspekt historyczno-kulturowy	18
1.1.2. Aspekt historyczno-filozoficzny	20
1.2. Podstawy koncepcji elektromagnetycznej natury życia	23
1.2.1. Włodzimierza Sedlaka elektromagnetyczna teoria życia	24
1.2.2. Dwight'a H. Bulkley'ego elektromagnetyczna teoria życia	29
1.3. Informacja jako istota wszechświata i życia	31
1.4. Procesy życiowe jako specyficzna forma istnienia informacji elektromagnetycznej	36
2. BIOELEKTRONICZNY ASPEKT KATALIZY ENZYMATYCZNEJ	49
2.1. Kataliza enzymatyczna jako istotna klasa procesów życiowych	50
2.1.1. Rola enzymów z punktu widzenia klasycznego paradygmatu w naukach o życiu	51
2.1.2. Rola enzymów z punktu widzenia bioelektronicznego paradygmatu w naukach o życiu	53
2.2. Możliwość stworzenia bioelektromagnetycznego modelu katalizy enzymatycznej	55
2.2.1. Analogie substratowo-strukturalno-funkcjonalne pomiędzy układami enzymatycznymi a urządzeniami elektronicznymi	55
2.2.2. Wykorzystanie enzymów w elektronice biomolekularnej	61
2.3. Dotychczas proponowane elektroniczne mechanizmy biokatalizy	67
2.3.1. Półprzewodnikowy mechanizm działania enzymów	68
2.3.2. Piezoelektryczna teoria katalizy enzymatycznej	73
2.3.3. Nadprzewodnikowe hipotezy katalizy enzymatycznej	78
2.4. Enzymy jako nanoprocесory: procesorowa funkcja enzymów w bioelektronice technicznej i w układach żywych	81
2.5. Enzymy jako generatory kwantowe	85
2.6. Bioelektroniczny aspekt pochodzenia i ewolucji enzymów	87
3. BIOPLAZMOWY ASPEKT KATALIZY ENZYMATYCZNEJ	91
3.1. Możliwość występowania plazmy fizycznej w układach enzymatycznych	92

3.1.1. Makromolekuły enzymów i struktury supramolekularne	94
3.1.2. Faza ciekła otaczająca enzymy	98
3.2. Prawdopodobne warunki ilościowe występowania stanu plazmowego w układach enzymatycznych	100
3.2.1. Kryterium występowania stanu plazmowego w układach fizycznych	100
3.2.2. Kryteria określania rodzaju plazmy obecnej w fazie skondensowanej	104
3.3. Biosystemy plazmowe układów enzymatycznych	105
3.3.1. Rodzaje domen plazmowych i ich parametry	106
3.3.1.1. Plazma elektronowa	106
3.3.1.2. Plazma dipolowa i jonowa	121
3.3.2. Pochodzenie domen plazmowych i wywołwane przez nie skutki.....	130
3.3.3. Funkcje domen plazmowych - możliwość powiązania parametrów plazmowych z parametrami termodynamicznymi i kinetycznymi opisującymi reakcje enzymatyczne	132
4. FILOZOFICZNY ASPEKT KATALIZY ENZYMATYCZNEJ	147
4.1. Ujęcie klasyczne	148
4.1.1. Enzymy a epigenetyka i integracja na molekularnym poziomie organizacji życia	149
4.1.2. Problematyka enzymów w kontekście dyskusji filozoficznej nad problemem istoty i powstania życia	152
4.2. Ujęcie systemowo-informacyjne	155
4.2.1. Biosystemy jako "komputery"	155
4.2.2. Enzymy jako procesory masy, energii i informacji	160
4.2.3. Możliwość informacyjnego wpływu pól elektromagnetycznych środowiska na bioproceny	167
4.2.4. Biogeneza jako proces informacyjny a katalityczne własności kwasów rybonukleinowych	172
5. BIOSYSTEMOGENEZA W ŚWIETLE KONCEPCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ NATURY ŻYCIA	179
5.1. Biosystemy jako układy fermionowo-bozonowo-infonowe	181
5.2. Powstawanie biosystemów fermionowych	186
5.3. Powstawanie biosystemów energetycznych (biobozony)	190
5.4. Powstawanie biosystemów informacyjnych (bioinfony)	192
5.5. Biosystemy elektroniczne a pierwotne środowisko życia	197
5.5.1. Systemy bioelektroniczne - interakcje energetyczno- informacyjne	198
5.5.2. Bioelektroniczny model abiogenezy a środowisko elektroniczne układów protożywych	202
5.6. Bioinfonika jako teoretyczna podstawa biosystemogenezy elektromagnetycznej	204
Zakończenie	207

Bibliografia	215
Summary	277

CONTENTS

Introduction	11
1. LIFE AS A FORM OF THE EXISTENCE OF ELECTROMAGNETIC INFORMATION?	17
1.1. On the relation "life=light"	18
1.1.1. The historic-cultural aspect	18
1.1.2. The historic-philosophical aspect	20
1.2. Basic concepts of the electromagnetic nature of life	23
1.2.1. Włodzimierz Sedlak's electromagnetic theory of life	24
1.2.2. Dwight H. Bulkley's electromagnetic theory of life	29

1.3. Information as the essence of the Universe and life	31
1.4. Life processes as a specific form of the existence of electromagnetic information	36
2. BIOELECTRONIC ASPECT OF ENZYMATIC CATALYSIS	49
2.1. Enzymatic catalysis as an essential group of biological processes	50
2.1.1. The role of enzymes seen from the point of view of the classical paradigm of life sciences	51
2.1.2. The role of enzymes seen from the point of view of the bioelectronic paradigm in the life sciences	53
2.2. The possibility of formation of the bioelectromagnetic model of enzymatic catalysis	55
2.2.1. The substrate-structure-function analogies between enzymatic systems and electronic devices	55
2.2.2. The use of enzymes in biomolecular electronics	61
2.3. Previous proposals relating to the electronic mechanisms of biocatalysis	67
2.3.1. Semiconducting mechanism of enzyme activity	68
2.3.2. Piezoelectric theory of enzymatic catalysis	73
2.3.3. Hypotheses on the involvement of superconductivity in the processes of enzymatic catalysis	78
2.4. Enzymes as nanoprocessors: processing functions of enzymes in bioelectronic technology and in living systems	81
2.5. Enzymes as quantum generators	85
2.6. Bioelectronic dimension of the origin and evolution of enzymes	87
3. INVOLVEMENT OF BIOPLASMA IN ENZYMATIC CATALYSIS	91
3.1. The possibility of the occurrence of physical plasma in enzymatic systems	92
3.1.1. Macromolecules of enzymes and supramolecular structures	94
3.1.2. Liquid phase surrounding enzymes	98
3.2. Probable quantitative conditions for the existence of plasma state in enzymatic systems	100
3.2.1. Criteria for the existence of plasma state in physical systems	100
3.2.2. Qualifying criteria for the type of plasma in condensed phase	104
3.3. Plasma biosystems of enzyme systems	105
3.3.1. Plasma domains and their characteristics	106
3.3.1.1. Electronic plasma	106
3.3.1.2. Dipole plasma and ionic plasma	121
3.3.2. The origin and effects of plasma domains	130
3.3.3. The functions of plasma domains - possibility of coupling between plasma parameters with thermodynamic and kinetic characteristics of enzymatic reactions	132
4. PHILOSOPHICAL DIMENSION OF ENZYMATIC CATALYSIS	147
4.1. The classical approach	148
4.1.1. Enzymes and epigenesis and integration on the molecular level of life	149

4.1.2. The question of enzymes in the context of a philosophical discussion on the problem of essence and origin of life	152
4.2. The system-information approach	155
4.2.1. Biosystems as "computers"	155
4.2.2. Enzymes as processors of mass, energy and information	160
4.2.3. The possibility of information influence of the environmental electromagnetic fields on bioprocessors	167
4.2.4. Biogenesis as information process vs. catalytic properties of ribonucleic acids	172
5. BIOSYSTEMOGENESIS FROM IN THE LIGHT OF THE CONCEPT OF ELECTROMAGNETIC NATURE OF LIFE	179
5.1. Biosystems as the systems of fermions-bosons-infons	181
5.2. The origin of fermion biosystems	186
5.3. The origin of energetic biosystems (biobosons)	190
5.4. The origin of information biosystems (bioinfons)	192
5.5. Electronic biosystems vs. the primordial environment of life	197
5.5.1. Bioelectronic systems: energetic-information interactions	198
5.5.2. Bioelectronic model of abiogenesis and the role of electronically significant environmental conditions of protoliving systems	202
5.6. Bioinfonics as a theoretical foundation of electromagnetic biosystemogenesis	204
Conclusion	207
Bibliography	215
Summary	277

WSTĘP

Rekonstrukcja procesów powstania życia na Ziemi lub w kosmosie jest, w znacznej mierze, uwarunkowana udzieleniem odpowiedzi na pytania: co to jest życie? jaka jest istota procesów życiowych? jakie są różnice pomiędzy czymś żywym a nieożywionym? itp. Próby rozwiązywania tych tak bardzo złożonych problemów, będących zresztą przez bardzo długi czas domeną jedynie filozofii, są obecnie podejmowane w oparciu o szerokie badania inter- i transdyscyplinarne. Refleksja filozoficzna nad przyrodą i jej zjawiskami nie może bowiem ignorować osiągnięć współczesnych nauk przyrodniczych, o ile oczywiście nie chce popaść w powierzchowność rozważań.¹

Pomimo jednakże licznych dociekań i analiz prowadzonych w ramach rozmaitych systemów filozoficznych oraz interdyscyplinarnych badań przyrodniczych wyjaśnienie tzw. istoty życia pozostaje nadal otwarte,² o czym świadczy istnienie wielu określeń i definicji życia.³ Wskazuje się obecnie nie

¹ Zob. np. Klószak 1980, Heller i in. 1987, Hajduk 1985 s. 165, Hajduk 1994 s. 115, Lenartowicz 1986, Heller i in. 1992, Heller 1992b s. 173.

² Zob. np. Frank i in. 1967, Ślaga 1992 s. 283/318-352, Jugaj 1976, Jugaj 1985, Gawrisz 1983, Frołow 1976, Engelhardt 1984, Zięba 1986, Kucia 1981, De Loof i in. 1995 s. 5. W kontekście egzobiologii i poszukiwania pozaziemskich istot żywych rozpatruje się nawet możliwość istnienia niechemicznych form życia, np. życia opartego na siłach grawitacyjnych lub oddziaływaniach silnych (jądrowych); "terenem zasiedlenia" takich form życia mogłyby być powierzchnie gwiazd neutronowych, obłoki międzygwiazdne lub nawet całe galaktyki (np. Goldsmith i in. 1983 s. 245-252.).

³ W charakterze przykładu zostaną poniżej przytoczone, jako typowe dla ujęć filozoficznych lub naukowych (biologicznych), dwa takie określenia:

a) w/g tomistycznej koncepcji istoty życia, określa się je *"jako szczególny, doskonalszy niż w bytach nieożywionych rodzaj istnienia, przysługujący takiej substancji, która dzięki złożeniu z materii pierwszej i odpowiednio doskonałej i dostosowanej do niej formy substancjalnej jest uzdolniona do wykonywania wsobnych czynności życiowych."* (Ślaga 1992k s. 283/351);

b) w/g biologicznej koncepcji, *"życie jest to proces organizowania się (porządkowania w*

tylko na możliwość, ale wręcz konieczność podwójnego, tj. przyrodniczo-filozoficznego ujęcia istoty życia.⁴ Z jednej strony bowiem, można je badać poprzez analizę, klasyfikację, ocenę adekwatności i użyteczności naukowej wybranych definicji życia. Z drugiej zaś strony, poprzez charakterystykę określonego systemu lub kierunku filozoficznego mającą na celu wykrycie w nim przesłanek i założeń warunkujących sposób rozwiązywania problematyki istoty życia.⁵

Filozoficzne analizy problemu istoty życia dokonywane są przeważnie w kontekście sporów pomiędzy określonymi stanowiskami, np. monizm - pluralizm, mechanycyzm - witalizm, redukcjonizm - organizmalizm etc.⁶ Historia badań w tym względzie, i nie tylko w tym, zdaje się świadczyć o naprzemiennym występowaniu bądź fazy myślenia atomistycznego bądź holistycznego, czemu odpowiadała swoista oscylacja poznania albo typu empirystycznego albo spekulatywnego w zależności od epoki i możliwości badawczych. Obecnie zaś mamy do czynienia z nową odmianą stylu myślenia, polegającą na zwrocie ku teoriom ścisłym, a jednocześnie o tak wysokim stopniu uogólnienia, że mogą one zasługiwać na miano holistycznych. Chodzi tu o tzw. myślenie systemowe⁷ ujmujące przedmiot badań w kategoriach układów zintegrowanych relacji.⁸ Filozofia systemowa ujmuje rzeczywistość jako jeden wielki system z licznymi, hierarchicznie uszeregowanymi

przestrzeni i w czasie) układów wielocząsteczkowych, jeden, ciągły, kierunkowy, postępowy, ekspansywny, negentropijny, celowy, zachodzący w dynamicznych układach (komórka, organizm, społeczność, biocenoza, biosfera) otwartych, ograniczonych w przestrzeni i w czasie, całościowych, hierarchicznie uporządkowanych, samotrzymujących się w stanie równowagi dynamicznej i odnawiających się nieustannie, zdolnych do wzrostu, do rozwoju osobniczego i rodowego, do rozmnażania, różnicowania się i przystosowywania się do otoczenia - wszystko to na koszt materii i energii pobieranych z zewnątrz (głównie na koszt energii promienistej słońca) i przekształcanych według stałej informacji gatunkowej, zawartej w substancji dziedzicznej - w genach, oraz w przystosowaniu do aktualnie odbieranej informacji zewnętrznej" (Rylska 1973 s. 651, Ścibor-Rylska 1974 s. 184). Jak widać, podstawą różnicowania przy formułowaniu tego rodzaju określeń lub definicji jest każdorazowo sposób rozumienia kluczowych pojęć występujących w tych określeniach lub definicjach. Chodzi tu zwłaszcza o takie terminy, jak: "substancja", "forma substancjalna", "doskonałość" etc. typowe dla filozoficznych ujęć "istoty życia". Natomiast dla podejścia przyrodniczego standardy pojęciowe stanowią między innymi takie terminy, jak: "proces", "organizacja czaso-przestrzenna", "układ", "informacja", "rozwój", "gatunek", "środowisko" itd. W tego rodzaju określeniach lub definicjach występują więc zarówno terminy empiryczne, a nawet wręcz obserwacyjne, jak również terminy teoretyczne, których związek z empirią jest tylko pośredni. Ich rola w ocenie lub charakteryzowaniu "filozoficzności" lub "naukowości" określeń czy definicji jest bardzo istotna i podstawowa.

⁴ Ślaga 1974 s. 67.

⁵ Ślaga 1992 s. 283/319.

⁶ Zob. np. Ślaga 1992 s. 283/318, Zięba 1976 s. 77.

⁷ np. Weinberg 1979.

⁸ Laszlo 1978 s. 40.

podsystemami dynamicznymi i ukierunkowana jest na uchwycenie czynnika zmienności, ewolucji w świecie, a zarazem czynnika pewnego ładu, porządku, harmonii.⁹ "System", "informacja" - to tylko niektóre spośród nowych kategorii filozoficznych,¹⁰ zaś filozofia systemowa spełnia warunek weryfikacji empirycznej w odniesieniu do wysuwanych przez nią tez.¹¹ Uważa się, że zastosowanie analizy i ujęcia systemowego, jako nowej podstawy w badaniu problemów złożonych, jest najodpowiedniejszym i najbardziej adekwatnym sposobem całościowej interpretacji życia i jego genezy.¹² Niniejsza rozprawa przyjmuje właśnie systemowo-informacyjny punkt widzenia.

W dotychczasowych badaniach nad istotą procesów życiowych i w analizach istoty życia brak jest jednakże uwzględnienia osiągnięć nauk biologicznych z submolekularnego poziomu badań, a w szczególności z zakresu bioelektroniki; a więc tego poziomu, którego dotyczy biologiczna informacja kwantowa.¹³ Niniejsza praca zmierza właśnie w kierunku wypełnienia tego rodzaju luki poznawczej.

Biosystemy są nadzwyczaj licznymi systemami naturalnymi o wielkiej różnorodności. Nie można jednak w ich organizacji wykryć istotnych i bardzo głębokich cech wspólnych tylko poprzez zwykłe (proste) badanie wszystkich istniejących obiektów (traktowanych jako domniemane systemy naturalne) badając jedynie ich cechy jednostkowe. Bardziej adekwatna wydaje się tu metoda badawcza zwana metodą "hipotetyczno-dedukcyjną"¹⁴ z uwagi na jej swoiste podobieństwo strukturalne do "oryginału" o analogicznej nazwie w naukach formalnych. Metoda ta, którą właśnie wykorzystano w niniejszej rozprawie, polega na rozwiązywaniu (lub proponowaniu rozwiązania) jakiegoś problemu poprzez: wysunięcie hipotezy na drodze intuicji, ale empirycznie usprawiedliwionej, następnie wydedukowanie z niej określonego stanu rzeczy i skonfrontowanie wniosków (przynajmniej niektórych) z zaobserwowanym stanem rzeczy.¹⁵

Sformułowane w tytule pracy zagadnienie jest nie tylko ważne i aktualne, ale również wydaje się być zdaniem autora oryginalne. Główna teza rozprawy sprowadza się do stwierdzenia, iż istotą procesów życiowych jest specyficzna forma istnienia informacji elektromagnetycznej. Takie właśnie ujęcie, któremu poświęcono przede wszystkim I-szy rozdział, jest w świetle współczesnej wiedzy daleko bardziej adekwatne od na przykład pewnej,

⁹ Lubański 1992 s. 13/63, zob. także np. Bertalanffy 1984, Laszlo 1978, Weinberg 1979.

¹⁰ Zob. np. Lubański 1975.

¹¹ Lubański 1992 s. 13/67.

¹² Ślaga 1987 s. 174, Locker 1973 s. 1.

¹³ Dołęga 1991 s. 83 i 87.

¹⁴ Laszlo 1978 s. 47-48.

¹⁵ np. Heller 1992a s. 31-33, Sattler 1986 s. 15-18.

analogicznie brzmiącej definicji: >>życie jako forma istnienia ciał białkowych<<. Wartość tej drugiej definicji była jeszcze do niedawna uznawana zarówno w aspekcie przyrodniczym jak i filozoficznym, zwłaszcza przez autorów przyjmujących koncepcję nauki (i światopoglądu) materializmu dialektycznego.¹⁶

Kolejne rozdziały rozprawy (II-gi i III-ci) poświęcone są próbie rozwinięcia tezy o życiu jako formie istnienia informacji elektromagnetycznej. Wykorzystuje się tu w charakterze przykładu jedną z istotnych klas procesów życiowych jaką jest kataliza enzymatyczna, wysuwając szereg hipotez określonych wspólnym mianem bioelektromagnetycznego modelu katalizy enzymatycznej. Zaprezentowano tu próbę skonstruowania tego modelu.

Rozdział czwarty poświęcony jest konfrontacji dwóch ujęć filozoficznych katalizy enzymatycznej, jednego inspirowanego filozofią klasyczną i drugiego inspirowanego filozofią systemowo-informacyjną. Wreszcie piąty rozdział rozprawy przedstawia wizję genezy biosystemów, którą można uznać za oryginalną i bardziej adekwatną od tradycyjnych ujęć.

Ścisła realizacja zarysowanych powyżej zamierzeń badawczych wymagała spenetrowania olbrzymiej, jak się okazało, literatury z zakresu nauk przyrodniczych, nie pomijając oczywiście tejsze z zakresu filozofii.¹⁷ Poszukiwanie faktów i hipotez nie mieszczących się w głównym nurcie badań biochemiczno-biofizycznych, a uchodzących niekiedy za tzw. śmiecie naukowe, byłoby bardzo trudne bez jakiegoś kryterium doboru i reinterpretacji¹⁸ tychże "danych". Kryterium tym, chociaż w zasadzie o charakterze intuicyjnym, stały się niektóre koncepcje Włodzimierza Sedlaka uprawiane w ramach bioelektronicznego kierunku biologii teoretycznej, a w szczególności koncepcje: bioplazmy i elektromagnetycznej natury życia. Reinterpretacja danych zaczerpniętych z wielu tzw. dyscyplin szczegółowych, z których te dane wybierano i układano w nadrzędną całość problemową ze względu na temat rozprawy (tj. w sposób pozwalający na w zamierzeniu najlepsze przedstawienie możliwych aspektów tematu), umożliwiła: dostrzeżenie nowych relacji, wskazanie luk w danych doświadczalnych i teoretycznych oraz ujęcie interdyscyplinarne i transdyscyplinarne podjętego tematu. Rozprawa ma

¹⁶ Zob. analizę na ten temat np. Zięba 1974 s. 121.

¹⁷ Wykaz bibliografii dołączony do tej rozprawy zawiera jedynie te publikacje, które były wykorzystywane przy opracowywaniu poszczególnych zagadnień. W przekonaniu autora literatura ta jest reprezentatywna mimo pominięcia wielu publikacji z dalszego tła poruszanej tu problematyki. Równocześnie, dotarcie do wszystkich cytowanych źródeł, potencjalnie interesujących ze względu na temat, okazało się niemożliwe, co zostało zaznaczone powołaniem się na Chemical Abstracts (CA), Physics Abstracts (PA) etc. czy też na innego autora.

¹⁸ Warto w tym miejscu odnotować interesującą uwagę jednego z prekursorów bioelektroniki, laureata nagrody Nobla (1937), Alberta Szent-Györgyi'ego o tym czym jest istota pracy naukowej: "research is to see what everybody has seen and to think what nobody has thought" (za Pullman i in. 1962 s. 1137).

jednocześnie charakter przyrodniczy i filozoficzny bowiem, jak to już zaznaczono wcześniej, istnieje wręcz konieczność podwójnego, tj. przyrodniczo-filozoficznego podejścia do zagadnienia istoty życia oraz poszukiwania bardziej (od dotychczasowych) adekwatnych ujęć i rozwiązań tej problematyki.

Chciałbym w tym miejscu podziękować licznym dyskutantom, którzy zabierali głos po wysłuchaniu referatów lub komunikatów wygłaszanych przeze mnie na seminariach biologii teoretycznej i sympozjach bioelektroniki, a w szczególności kolegom Waławowi Muzyczce i Józefowi Zonowi, którzy przestudiowali "rękopis" niniejszej rozprawy i wysunęli wiele cennych sugestii (zarówno formalnych, jak i merytorycznych) oraz ze mną je przedyskutowali.

1. ŻYCIE JAKO FORMA ISTNIENIA INFORMACJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ?

Rozwój wiedzy o organizmach żywych ewoluował od ujmowania ich jako makroskopowe odrębności morfologiczno-funkcjonalne (zdolne do: jedzenia, wydalania, oddychania, wzrostu, rozmnażania i reagowania na bodźce zewnętrzne) do ujęć systemowych, tzn. jako istoty zawierające zakodowaną w molekułach DNA informację dziedziczną, które metabolizują dzięki regulacji szybkości reakcji chemicznych za pomocą katalizatorów białkowych (enzymów) i, w których występuje ciągły wzrost uporządkowania. Współczesne nauki biologiczne sięgnęły już do submolekularnego poziomu organizacji procesów życiowych,¹ a nowsze techniki badawcze, wykorzystujące spektroskopię piko- i femtosekundową oraz mikroskopię tunelową, umożliwiają głębsze poznanie tego poziomu. Jak się wydaje, stosownie do tego rozwoju wiedzy oraz metod i technik badawczych kształtowało się również pojęcie życia.

W niniejszym rozdziale podejmuje się nową próbę ujęcia życia. Twierdzi się tu mianowicie, że życie jest formą istnienia informacji elektromagnetycznej. Podjęcie próby takiego spojrzenia wydaje się być obecnie usprawiedliwione ze względu na możliwość skonfrontowania i analizy kilku zasadniczo różnych grup faktów oraz poglądów dotyczących życia i jego przejawów, a w szczególności:

- jednej z nowszych idei dotyczących tzw. natury życia jaką jest np. Włodzimierza Sedlaka elektromagnetyczna teoria życia,
- Toma Stoniera koncepcji infonu i możliwości zbudowania nowej fizyki, obejmującej nie tylko masę i energię, ale i informację jako istotny element wszechświata,²
- teorio-systemowego podejścia do zjawisk elektromagnetycznych w procesach

¹ Zob. np. Szent-Györgyi 1968b, Sedlak 1988, Pethig 1982 s. 201, Szent-Györgyi & McLaughlin 1978 s. 137.

² Stonier 1990.

życiowych,³

- obecności w niektórych ideach lub systemach filozoficznych, np. w Grosse-teste'go metafizyce światła,⁴ przesłanek i idei zbieżnych z proponowanym tutaj ujęciem istoty życia, bowiem światło jest przecież rodzajem promieniowania elektromagnetycznego, wreszcie

- licznych odniesień kulturowych w poglądach na Boga, Jego obraz, czy Istotę Najwyższą (niezależnie od nazwy), będącego źródłem życia, a kojarzonego ze światłem⁵ itd.

Należy jednak zaznaczyć, że informacje z tej ostatniej z wyliczonych kategorii źródeł, choć bardzo interesujące, nie wydają się tu istotne z naukowego punktu widzenia, w związku z czym można je potraktować jako trochę większe *motto*. Dlatego też, owo "motto" poprzedzi teraz przedstawienie zasadniczych aspektów problematyki niniejszej rozprawy.

1.1. O relacji "życie = światło"

Niemal od zarania dziejów człowiekowi towarzyszyło zainteresowanie światłem jako elementem pierwotnym i konstytutywnym dla wszechświata, znajdując swój wyraz w mitologiach i kosmogoniach.⁶ Czy można więc postawić znak "równości" lub przynajmniej dostrzec jakąś analogię pomiędzy "życiem" a "światłem"? Wydaje się, że tak, niektóre bowiem ważne i ciekawe idee z historii myśli ludzkiej są wyraźnie zbieżne z taką właśnie relacją.

1.1.1. Aspekt historyczno-kulturowy

Liczne odniesienia kulturowe kojarzą światło z życiem (i bóstwem lub Bogiem) a ciemność ze śmiercią. Ślady bowiem zniekształconego pojęcia Istoty Najwyższej jako Światłości Przedwiecznej znajdują się w niemal wszystkich religiach ludów starożytnych i narodów współczesnych. Tak na przykład w poglądach starożytnych Hindusów - mających za podstawę panteistyczną emanację odwiecznej światłości, z której dzięki ewolucji rozwija się cały wszechbył - Brahma (praświatłość, bóstwo najwyższe, istota nieskończona) stwarza świat. Poprzez liczne przemiany świat ten przechodzi od nieskończonego i nieokreślonego do skończonego i określonego, od eteru do światła, od światła do powietrza, następnie do płynu i materii stałej, by wreszcie przez przemiany w

³ Bojarski 1984 s. 129-131.

⁴ Zob. np. Böhner & Gilson 1962 s. 408-413.

⁵ Zob. np. S. Olszewski, *Bóg jest światłością*, Skład Główny: Księgarnia św. Wojciecha, Poznań - ul. 27 grudnia 8, Łódź 1946.

⁶ np. Bova 1988, Zajonc 1993.

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

odwrotnej kolejności powrócić do Brahmy. Nieśmiertelna dusza ludzka, którą z ciałem łączy materia eteryczna, jest cząstką światłości Brahmy.⁷

Tematyka światła i jego symboliki przewija się przez całą Biblię.⁸ Zarówno w Biblii jak i w mowie potocznej "ujrzeć światło świata" znaczy tyle, co "urodzić się". Logos⁹ jest przedstawiony jako światło.¹⁰ Jest On zarówno światłem jak i przyczyną świata. Dlatego więc, światło właśnie traktowano jako przyczynę świata. "Światłu widzialnemu" bowiem przypisywano szczególną rolę przy tłumaczeniu świata stworzonego przez Logos, gdyż stanowi ono najlepszą analogię materialną światła-logosu.

Dodać należy, że relacja światło=życie nie jest obca również dla Kabały - żydowskiej wiedzy tajemnej osnutej na pojęciach o Bogu, a zaczerpniętych z Pisma św. i zmieszanych z panteistyczną teorią emanacji praświatła. Także współczesna gnoza wyraża pogląd, że życie pochodzi ze światła.¹¹

1.1.2. Aspekt historyczno-filozoficzny

Wspomniana powyżej doktryna emanacji znalazła później swoje pełniej-

⁷ Na temat współczesnych poglądów dotyczących pochodzenia życia, wywodzących się z hinduskiego kręgu kulturowego i polemizujących z tzw. nauką zachodnią, zob. np. książkę Śri Śrimad A. C. Bhaktivedanta Swami Prabhupada pt. "*Źródłem życia jest życie*", The Bhaktivedanta Book Trust, 1991 (tł. z j. ang.), (b.m.w.).

⁸ Zob. np. *Słownik Teologii Biblijnej*, (red.) X. Leon-Dufour, Pallotinum, Poznań-Warszawa 1973, s. 958 (tł. z j. fr.). Oto parę przykładów (pochodzących z 2-go wyd. Biblii Tysiąclecia, Wyd. Pallotinum, Poznań-Warszawa 1971):

- "*Bóg jest światłością, a nie ma w Nim żadnej ciemności*" (J11,5b),

- "*Jest odblaskiem wieczystej światłości*" (Mdr7,26a),

- "*Wspaniałość Jego podobna do światła, promienie z rąk Mu tryskają, w nich to ukryta moc Jego*." (Hab3,4),

- "*Ja jestem światłością świata. Kto idzie za Mną, nie będzie chodził w ciemności, lecz będzie miał światło życia*" (J8,12b),

- "*...a życie było światłością ludzi*" (J1,4b),

- "*Była światłość prawdziwa, która oświeca każdego człowieka, gdy na świat przychodzi*" (J1,9),

- "*Ja przyszedłem na świat jako światło...*" (J12,46a),

- "*...zamieszkuje światłość niedostępną...*" (1Tym6,16a) etc.

Światło i życie określają więc tam istotę Boga i dlatego starożytni chrześcijanie żyjący w Syrii umieszczali greckie słowa - światło i życie - w postaci krzyża nad drzwiami (Forstner 1990 s. 92):

Φ
Ζ Ω Η
C.

⁹ w Prologu do Ewangelii św. Jana;

¹⁰ tj. światło duchowe będące źródłem wszelkiego poznania.

¹¹ Patrz np. J. van Rijckenborgh, *Gnoza w aktualnym objawieniu*, Verbum G&G, Katowice 1990 (tł. z j. niem.)

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

sze rozwinięcie w filozofii neoplatońskiej, według której cały wszechświat jest jednym żywym jestestwem, z ogniem jako wspólnym prapierwiastkiem. Na przykład dla Plotyna byt ma naturę światła, którego istotę stanowi promienianie oraz naturę wylaniania z siebie nowych postaci, będących jakby promieniami bytu (emanacjami). Dusza po zjednoczeniu z tym praogniem przestaje być odrębnym życiem, rozplywa się w nim i zamienia w światłość, a w jego blasku ogląda siebie jako bóstwo zażywając najwyższego szczęścia.

Wielu filozofów chrześcijańskich, którzy światło materialne uważali za praszubstancję świata, było pod wpływem arabskiej metafizyki światła.¹² Ta ostatnia miała swój odpowiednik chrześcijański, również neoplatońskiego pochodzenia. Głównym przedstawicielem był tu Robert Grosseteste,¹³ którego teoria pozwalała na pogodzenie chrześcijańskiej nauki o stworzeniu z neoplatońską nauką o emanacji. Poglądy jego są niezwykle interesujące z punktu widzenia współczesnej nauki i dlatego warte szerszej uwagi, zwłaszcza w kontekście, wspomnianej we wstępie i przedstawianej poniżej, koncepcji elektromagnetycznej natury życia. Świat bowiem według niego, w swojej strukturze i w swoich przejawach, daje się zasadniczo sprowadzić do światła i jego praw.¹⁴

Kluczem otwierającym wszystkie tajniki przyrody jest według Grosseteste'go nauka o różnych przejawach działań światła, gdyż wszystkie ciała promieniują i natura ich jest świetlna.¹⁵ Światło jako substancja jest czymś pośrednim między duchem a materią, zaś aktywność jego leży w nim samym, tj. w sile pozaczasowego i nieskończonego rozprzestrzeniania się. To substancjalne światło jest aktywną siłą i praformą ciał. Innymi słowy w ciałach tych istnieje ono jako jedyna aktywna siła, powodująca zresztą różnorodność samych ciał, bowiem ciała powstały wskutek rozwijającego się procesu rozszerzania się i refleksji światła. Ciała, które najpierw powstały są "silniejsze światłem", tj. światło jest w nich bardziej duchowe i proste, podczas gdy w później zaistniałych ciałach jest ono bardziej złożone i cielesne, bowiem znajduje się w nich w różnym stopniu czystości i prostoty.¹⁶ W konsekwencji światło ciał niebieskich różnie jest od światła ciał ziemskich.¹⁷ Według Grosseteste'go wszystkie naturalne skutki doznawane przez ciała muszą być sprowadzone do aktywności światła.¹⁸ Siły fizyczne bowiem widzi on w naturalnej sile oddziaływania światła. Świat to *universum* substancji aktywnych oddziaływujących na siebie. Jed-

¹² np. Böhner & Gilson 1962 s. 19-20, Al-Gazālī 1990.

¹³ zob. np. Boczar 1980 s. 135, Boczar 1981 s. 23, Boczar 1981 s. 7, Boczar 1986 s. 145, Swieżawski 1960 s. 251, Callus 1969, Southern 1988, McEvoy 1982, Zajonc 1993 s. 52; zob. także S. Wielgus, GROSETESTE, Encyklopedia Katolicka, tom VI, Lublin 1993, s. 190-191.

¹⁴ Zob. np. Böhner & Gilson 1962 s. 413, Boczar 1981 s. 7.

¹⁵ Swieżawski 1960 s. 251/276.

¹⁶ Można byłoby doszukiwać się tutaj problemu korpuskularyzacji energii i informacji.

¹⁷ Böhner & Gilson 1962 s. 409.

¹⁸ Światło stanowiłoby tu synonim oddziaływania unifikacyjnego.

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

no ciało musi osiągnąć drugie ażeby na nie oddziaływać: bez kontaktu bowiem nie ma oddziaływania; a więc każda substancja cielesna musi rozprzestrzeniać dokoła siebie pewien rodzaj promieniowania (emanacji), które przebijając dzielącą przestrzeń w końcu pada na to inne ciało, np. w zmysłach wywołuje duchową i szlachetniejszą czynność, zaś w materii materialną.¹⁹ Co więcej, Grosseteste wysuwa postulat matematycznego traktowania działania światła. Kosmogonia Grosseteste'go wykazuje wiele punktów stycznych z nowożytną, korpuskularną teorią światła i E. P. Hubble'a kosmologiczną teorią dynamicznego obrazu Wszechświata,²⁰ u którego podstaw leży tzw. *Big Bang*.

Najciekawsze są tu jednak poglądy dotyczące przejawów życia, choć niestety bardzo szczupło reprezentowane w całości jego koncepcji.²¹ Światło (naturalne) jest więc czynnikiem pośredniczącym pomiędzy duszą a ciałem,²² jest wehikułem duszy. Obecność światła w ciele, na przykład ludzkim,²³ umożliwia transmisję działania duszy do materii ciała, tj. poleceń do nerwów i mięśni, a szczególnym wypadkiem aktywności duszy są wrażenia zmysłowe. Grosseteste więc uważa, że światło jest aktywnym elementem we wszystkich zewnętrznych zmysłach (a nie tylko w wypadku zmysłu wzroku), pomnaża się ono wewnątrz sfery otaczającej dany organ. Aktywność ta jest zróżnicowana w zależności od tzw. rodzajów lub władz duszy (wegetatywna, zmysłowa, rozumna).²⁴ Krótko mówiąc, światło konstytuuje każdy byt ożywiony i nieożywiony oraz jest źródłem życia.

W średniowiecznej Polsce (XIII w.) metafizykę światła rozwijał Witeło.²⁵ Uważał on, że cechą bytu jest promieniowanie, byt ma naturę światła, a świat jest matematyczno-dynamiczny. Rozróżniał on świat zmysłowy od świata duchowego, z którym ten pierwszy jest związany przyczynowo poprzez "wpływy intelektualne" ("*influentiae intelligibiles*"). Początkiem, środkiem i końcem tych wpływów jest "światło boskie" ("*divinum lumen*"), natomiast pośrednikiem dla "wpływów materialnych" ("*influentiae corporales*") jest "światło dostępne zmysłom" ("*lumen sensibile*"). To drugie światło łączy ciała niższe i zmienne z ciałami wyższymi. Światło to nadaje kształt niższym ciałom, pełni

¹⁹ Można byłoby dopatrzeć się tu roli informatycznej światła.

²⁰ zob. np. Turek 1995.

²¹ Zob. np. Southern 1988 s. 160.

²² McEvoy 1982 s. 278.

²³ O tym jak była to głęboka intuicja może świadczyć fakt, iż współcześnie przypisuje się ważną rolę w procesach psychicznych biogennym polom elektromagnetycznym. Mianowicie istotną rolę w tych procesach ma odgrywać sprzężenie pomiędzy aktywnością kanałów jonowych w neuronach mózgu a autogennym polem elektromagnetycznym związanym ze stanami umysłu lub świadomości (Lindahl & Århem 1994 s. 111, por. Triffet & Green 1988 s. 199).

²⁴ McEvoy 1982 s. 290.

²⁵ np. Wąsik 1958 s. 26-30, Trzynadlowski 1979.

więc funkcję tzw. pierwszej formy zmysłowej.²⁶

Witelo należał do trzech wielkich przyrodników tego wieku (obok Roberta Grosseteste i Rogera Bacona), którzy głosili podobne poglądy filozoficzne w zakresie "metafizyki światła", a także przyjmowali i uznawali eksperyment za podstawę poznania naukowego.²⁷ Stąd też w dziejach fizyki Witelo uważany jest za twórcę optyki.²⁸

Warto nadmienić, że ta średniowieczna metafizyka światła ma swój XX-wieczny odpowiednik, mianowicie Rudolfa Steinera metafizykę światła - spirytualną filozofię człowieka i wszechświata.²⁹ Poglądy Steinera, zgodnie z którymi światło rozumie on w terminach ducha, mają związek z poglądami wspomnianego wyżej Grosseteste, jak również Mani'ego i Zoroastera (twórców starożytnych religii), a nawet J. W. Goethe'go.³⁰

Najbardziej interesujące jest jednak to, że metafizyka światła ma konsekwencje z koncepcją elektromagnetycznej natury życia - jedną z propozycji teoretycznych bioelektroniki, nowej interdyscyplinarnej nauki przyrodniczej. Na konsekwencję bioelektroniki z metafizyką światła zwrócił niedawno uwagę Mieczysław Lubański.³¹ Wspomniany związek należałoby bliżej przebadać.³² Tutaj jednak tym niewątpliwie interesującym problemem z zakresu historii nie będę się zajmował, pozostając na płaszczyźnie problematyki filozoficzno-przyrodniczej.

1.2. Podstawy koncepcji elektromagnetycznej natury życia

W poszukiwaniu czynnika koordynującego procesy rozwoju biologicznego i wytwarzającego strukturalną całość sięgano niejednokrotnie do jednego z najważniejszych pojęć fizykalnych, tj. pojęcia "pola".³³ W tym właśnie nurcie

²⁶ Wąsik 1958 s. 30.

²⁷ Palacz 1979 s. 51/63.

²⁸ zob. np. Ingarden 1979 s. 7, Wojciechowski 1979 s. 19. Witelo wniósł również istotny wkład do ówczesnej psychologii i teorii widzenia (Palach 1979 s. 51), analizował bowiem proces postrzegania wzrokowego, w szczególności złudzenia wzrokowe i źródła psychologiczne zjaw.

²⁹ Znaną szerzej jako antropozofia.

³⁰ za Zajonc 1993 s. 216.

³¹ Lubański 1991 s. 55.

³² Warto zauważyć, że na przykład scholastyczny termin *Lumen naturale* (światło naturalne, światło rozumu, przyrodzone światło rozumu) używali w czasach nowożytnych Kartezjusz i Leibniz w kontekście wyjaśniania tzw. oczywistości pojęć i pewników matematycznych. Zdaniem Leibniza siła konsekwencji rozumowania stanowi część naturalnej światłości (która to jest człowiekowi wrodzona, a nie pochodzi bezpośrednio od Boga jak sądził Augustyn) (Leibniz 1969 s. 258, 261 i 502; zob. także Heller 1995 s. 74-80).

³³ Zob. np. Rosiński 1967 s. 89, Sheldrake 1981.

poznawczym należałoby usytuować koncepcję elektromagnetycznej natury życia. Koncepcja ta nie jest jeszcze szerzej znana i uznana w nauce. Wymienić tu można zaledwie dwu autorów, tj. Włodzimierza Sedlaka i Dwighta Bulkley'e o,³⁴ którzy wystąpili z hipotezami o elektromagnetycznej naturze życia, nazywając je zresztą nieco na wyrost teoriami.³⁵ Wspomnieć także należy o prekursorach elektromagnetycznej koncepcji życia (H. S. Burr, F. S. Northrop, G. Lakhovsky etc.).³⁶ Lakhovsky prawdopodobnie pierwszy zwrócił uwagę na rolę elektromagnetycznych sprzężeń rezonansowych w biologicznym przenoszeniu informacji. Twierdził on, że życie powstaje w wyniku promieniowania i jest przez nie sterowane, zaś zakłócenie równowagi drgań prowadzi do zniszczenia życia.³⁷

Pomijając kwestie terminologiczne posłużę się tu raczej terminem koncepcja, obejmującym wspomniane przed chwilą hipotezy czy tzw. teorie. Koncepcję tę usiłuję tutaj istotnie poszerzyć.

1.2.1. Włodzimierza Sedlaka elektromagnetyczna teoria życia

U źródeł sformułowania przez W. Sedlaka elektromagnetycznej teorii życia leży skonfrontowanie przez niego danych z wielu dyscyplin naukowych (w tym nawet technicznych), a zwłaszcza z jednej strony danych z zakresu elektrofizjologii i badań własności elektrycznych materiału biologicznego *in vitro* (np. półprzewodnictwo białek i tkanek), z drugiej strony zaś danych z zakresu: elektroniki, fizyki półprzewodników i cybernetyki. Integracji danych doświadczalnych dokonał on koncentrując się na dwóch zagadnieniach nie będących bezpośrednio przedmiotem biologii, tj. jak to ujął: "półprzewodników" i "pola" (tzn. pól fizycznych).³⁸ Celem zaś było zreinterpretowanie tych danych w taki sposób by przestawić naszą wyobraźnię "chemiczną" na "elektroniczną", obcą w dotychczasowej biologii.

Mając powyższe na względzie W. Sedlak wyszedł od opisu tzw. polowe-

³⁴ Sedlak 1967 s. 39, Sedlak 1969 s. 165, Sedlak 1970 s. 101, Sedlak 1975 s. 77, Sedlak 1976 s. 73, Sedlak 1978 s. 91, Sedlak 1978 s. 16, Sedlak 1986, Bulkley 1989 s. 281, Bulkley 1992 s. 305; zob. także Kajta 1991 s. 11, Dyc 1989.

³⁵ Jedną z możliwych przyczyn małego jak dotąd zakresu oddziaływania tych hipotez na innych badaczy było ich opublikowanie w czasopismach uchodzących raczej za peryferyjne w standartowych ujęciach nauki (tj. *Kosmos A* i *Medical Hypotheses*) i w czasopiśmie filozoficznym (tj. *Roczniki Filozoficzne - z. 3: Filozofia Przyrody*). Nie musi to z góry przesądzać o braku wagi tych idei, niemniej jednak znacznie ograniczyło liczbę potencjalnych czytelników i dyskutantów.

³⁶ np. Burr & Northrop 1935 s. 322, Burr & Northrop 1939 s. 285, Burr 1947 s. 217; Lakhovsky 1929 (cyt. za Moskwa 1988 s. 139).

³⁷ cyt. za Popp 1992a s. 138.

³⁸ Sedlak 1969 s. 165.

go środowiska życia, następnie przyjął założenie, że życie "wybrało" półprzewodnik jako substrat i doszedł do wniosku, że pole elektromagnetyczne jest funkcją życia,³⁹ tzn. pole emitowane przez organizmy (np. bioluminescencja). Życie byłoby prawdopodobnie funkcją lub "pochodną" pola elektromagnetycznego środowiska.

Jeżeli chodzi o polowe środowisko życia, zwrócił on uwagę na takie czynniki jak:

- elektromagnetyczny, uwzględniany w biologii zwykle w związku z fotosyntezą i procesami widzenia,
- pole geomagnetyczne, którego natężenie i kierunek linii zmieniały się przy ciągłej wędrówce biegunów geomagnetycznych,
- pole elektryczne gleby i atmosfery,
- pole grawitacyjne,
- pole temperaturowe, wpływające na szybkość reakcji chemicznych i stan elektryczny półprzewodników.

Natura środowiska polowego poza zmianami proporcji ilościowych nie zmieniła się. Natomiast środowisko chemiczne życia "zredukował" on do aspektu elektrochemicznego, mianowicie potencjału oksydoredukcyjnego (tj. jako podaż lub odbioru elektronów). Następnie przyjął, że zasadniczą determinantą życia jest środowisko jako "*planetarny kompleks informacji polowej*", zaś powstające życie musiało oprzeć się na układzie dającym możliwość subtelnego odbioru minimalnych bodźców polowych i optymalnego odbioru informacyjnego, tj. na układzie półprzewodnikowym.⁴⁰ Modelem fizykalnego podłoża życia jest w tym wypadku koloid amfoteryczny, w którym układ "*cząstka koloidalna / woda*" traktowany jest jako znane z elektroniki złącze *p-n*. Złącze to jego zdaniem jest redokсовym oscylatorem elektromagnetycznym, gdzie długość emitowanej fali jest tym mniejsza, im częstotliwość zmian w układzie jest większa. Ten modelowy układ, który przejawia funkcje elektromagnetyczne, jest przez Sedlaka uważany za "*minimum*" życia.⁴¹ Analogiczne funkcje przejawiane są przecież na wyższych poziomach organizacji biosystemów, włącznie z aktywnością elektromagnetyczną mózgu. Zmienność elektrycznego stanu takiej amfoterycznej cząstki koloidalnej w wodzie jest duża ze względu na wytwarzanie się wskutek radiolizy wody: rodników, uwodnionych protonów i elektronów etc. Amfoteryczność umożliwia łatwą polaryzowalność tego półprzewodnika w obecności heterogennego pola, a równocześnie warunkuje anizotropię: elektryczną, magnetyczną, mechaniczną i termiczną. Pociąga to za sobą możliwość istnienia układu bardziej złożonego funkcjonalnie aniżeli materialnie, bogatszego w tzw. akcję niż w "treść". Z uwagi na to, że skomplikowana funkcja nie wymaga złożoności podłoża chemicznego, W. Sedlak przyj-

³⁹ Sedlak 1969 s. 165.

⁴⁰ Sedlak 1969 s. 165.

⁴¹ Sedlak 1970 s. 101.

muje, że *"funkcja życia mogła się rozwijać na prostym podłożu materialnym"*, zaś tzw. treść chemiczna *"doganiała"* podczas ewolucji funkcję, odpowiednio ją modulując i usprawniając.⁴²

Nawet najbardziej skomplikowaną funkcję życia można według Sedlaka rozłożyć na proste działanie układów półprzewodnikowych. Dlatego też należy szukać reliktywów nieorganicznych w obecnych biostrukturach i wykryć półprzewodnikowe prototypy układów żywych. W tym też aspekcie poznawczym usiłuje on rekonstruować kierunki ewolucji układu protożywego jako układu elektronicznego, przy czym analogie czerpie przede wszystkim z fizyki laserów. Według tego autora układ żywy jest laserem półprzewodnikowym małej mocy pracującym przy użyciu wszelkiego rodzaju pompowania możliwego w warunkach naturalnych: elektrycznego, magnetycznego, optycznego, chemicznego etc.⁴³ Krótko mówiąc *"życie jest wymuszonym procesem kwantowym"*.⁴⁴

Jeżeli założy się, że układ żywy jest laserem, to postulować można, iż zasadniczą linią rozwojową w zorganizowaniu życia jako systemu elektronicznego było minimalizowanie energii skutecznego pompowania, które mogło dokonać się przede wszystkim poprzez zarówno ewolucję tzw. substratu jak i sposobu pompowania.⁴⁵

Ewolucja substratu obejmowała: a) wytworzenie półprzewodników różnych typów (również z własnościami piezoelektrycznymi i czynnością optyczną), często heterocyklicznych z rezerwą zdelokalizowanych elektronów, umożliwiających maksymalne możliwości tworzenia złącz typu *p-n*; b) wytworzenie związków donorowo-akceptorowych o niższej energii aktywacji cząsteczki produktu niż poszczególnych substratów.

Ewolucja pompowania obejmowała natomiast zaangażowanie różnych rodzajów energii. Spowodowało to wzrost selektywności i czułości pobierania energii egzogennej i autogennej, a także wytworzenie dodatkowo takich cech współczesnych biopółprzewodników, jak: wysoka efektywność wykorzystania dostępnych źródeł energii, wysoka pojemność energetyczna, minimalne szумы własne itp. Tak więc w wyniku ewolucji, w procesy życiowe zaangażowały się związki organiczne z coraz większą liczbą zdelokalizowanych elektronów, wiązań wielokrotnych i sprzężonych, co umożliwiało odbiór i przetwarzanie różnych rodzajów energii ze środowiska: elektromagnetycznej, mechanicznej, termicznej, grawitacyjnej etc.

Niezwykle ważny w koncepcji elektromagnetycznej natury życia jest nie tyle aspekt materiałowo-energetyczny ile aspekt informacyjny, chociaż zbyt słabo zarysowany. W tym względzie W. Sedlak również sięga do analogii z laserem. Zgodnie z nią laser biologiczny jest tego typu, że promieniowanie wy-

⁴² Sedlak 1970 s. 101.

⁴³ Sedlak 1970 s. 101, Sedlak 1970 s. 143.

⁴⁴ Sedlak 1972 s. 533.

⁴⁵ Sedlak 1969 s. 165, por. Wnuk 1978 s. 47, Ślaga 1984 s. 13.

muszone zależy co prawda od własności chemicznych i strukturalnych biopółprzewodnikowego substratu, ale również może działać moderująco i modelująco na materialne podłoże lasera.⁴⁶ W biolaserze sprzężenia zwrotne (mogąc działać w kierunku wzmocnienia, selekcji odbioru lub poszerzenia pasma) są podstawą sterowania wewnętrznego, które reguluje wahania donorowoakceptorowe makromolekuł oraz tempo i charakter metabolizmu. Wspomniane poszerzenie pasma może być rezultatem integracji i koordynacji coraz wyższych rzędów złożonych układów biologicznych. Mianowicie, dwa główne kierunki rozwojowe życia, tj. zróżnicowanie i integracja, posiadają swoje radiacyjne odpowiedniki w formie poszerzenia pasma ku ultrafioletowi i odpowiednio ku podczerwieni.⁴⁷ W związku z tym W. Sedlak postulował przebieg ewolucji informacji w kierunku wytworzenia sygnalizacji magnetohydrodynamicznej, zakładając także, że szerokość pasma pola biologicznego wyraża złożoność układu drgającego i jego integrację w zróżnicowaną całość. Układ biologiczny bowiem działa jako elektromagnetyczna całość dzięki tzw. elektrostazie (homeostazie elektromagnetycznej).⁴⁸ Elektrostaza zaś jest granicą elektryczną układu w odbiorze informacji. Wobec tego integracja dokonywałaby się elektromagnetycznie.

Zdolność biosystemów elektronicznych do odbioru i przetwarzania wszelkich bodźców energetycznych została przez W. Sedlaka ekstrapolowana na pojęcie świadomości, której naturę i ewolucję usiłował on również zarysować,⁴⁹ nie unikając dalekich ekstrapolacji w stronę antropologii,⁵⁰ włącznie z antropogenezą.⁵¹

Podsumowując, główne tezy W. Sedlaka koncepcji elektromagnetycznej natury życia są następujące:⁵²

1) funkcja życia jest skopiowana z półprzewodnikowych układów nieorganicznych (krzemionka, glinokrzemiany, wodorotlenki glinu i żelaza);

2) substancja nieorganiczna została wypełniona i w końcu zastąpiona organiczną, co miało na celu usprawnienie działania układu;

3) antagonistyczne zjawiska życiowe uwarunkowane są bilateralnością amfoteru i "rozgrywaniem funkcji" po obu stronach punktu izoelektrycznego;

4) koordynacja wewnętrzna oparta jest na systemie sygnalizacyjnym natury elektromagnetycznej i jest sprawniejsza niż wszystkie pozostałe;

⁴⁶ Sedlak 1970 s. 101.

⁴⁷ Sedlak 1972 s. 125, Sedlak 1975 s. 95.

⁴⁸ Sedlak 1967 s. 31, Sedlak 1967 s. 151.

⁴⁹ Sedlak 1968 s. 161, Sedlak 1969 s. 125, Sedlak 1983 s. 83.

⁵⁰ Sedlak 1978 s. 91, Sedlak 1976 s. 3, Wojciechowski 1995; zob. również zbiór esejów pt. *Homo electronicus* (Sedlak 1980).

⁵¹ Kalisz 1981 s. 17, Kalisz 1982 s. 67.

⁵² Sedlak 1970, s. 101, por. Wnuk & Zon 1986 s. 88.

5) samopowielanie funkcji właściwe półprzewodnikom jest ważną i nie mniej konieczną cechą życia niż samoreprodukcja biologiczna;

6) układ żywy to elektromagnetyczna "pompa" pracująca na półprzewodnikowym substracie, głównie organicznym; układ biologiczny jest to cybernetyczny zespół magazynujący informację elektromagnetyczną w strukturach związków organicznych i procesach fizykochemicznych, rozwijający się w sposobie odbioru i składowania tej informacji;

7) zasadnicze linie rozwojowe życia to:

- a) powiększenie sprawności układu,
- b) zwiększanie się autonomii względem środowiska,
- c) przestawienie na własną, w dużym stopniu niezależną od otoczenia energetykę,
- d) uczynienie układu niewygasającym.

Zgodnie z zaproponowaną przez Sedlaka koncepcją, życie jest nie tylko masą związków organicznych. Jego dynamicznymi i fundamentalnymi "stałymi" są bowiem przede wszystkim procesy elektromagnetyczne mające miejsce w środowisku półprzewodników białkowych.⁵³ Do istoty życia należy tzw. kwantowe łącze życia,⁵⁴ czyli sprzężenie pomiędzy reakcjami chemicznymi a procesami elektronicznymi.⁵⁵ Według zaś jednego z charakterystycznych w tym względzie określeń: "życie jest to drgająca siatka dyfrakcyjna elektronowo-fotonowo-fononowa w ośrodku piezoelektrycznego półprzewodnika białkowego zasilana energią chemiczną procesów metabolicznych".⁵⁶ Organizm natomiast "jest to układ białkowy piezoelektrycznych półprzewodników o sprzężonych funkcjach chemicznych i elektronicznych z falową koordynacją wewnętrzną, otoczony falą elektromagnetyczną emitowaną na zewnątrz".⁵⁷ Biosfera tym samym jest zbiorem organizmów jako oscylatorów o wzajemnych oddziaływaniach falowych.⁵⁸

Przedstawione powyżej ważniejsze idee W. Sedlaka odnoszące się do natury życia stanowią jedynie próbkę przedstawienia myśli tego autora, jak się wydaje reprezentatywną i w wielu miejscach precyzyjniejszą od ich "rozczochrane" oryginału.⁵⁹ Idee te stanowią nie tylko ważną "cegielkę" do kon-

⁵³ Sedlak 1976 s. 73.

⁵⁴ np. Sedlak 1988a s. 49.

⁵⁵ por. Wnuk 1991-1992 s. 103.

⁵⁶ Sedlak 1979a s. 480.

⁵⁷ Sedlak 1979a s. 485.

⁵⁸ Wiele cennych w tym względzie sformułowań znajduje się również w zbiorze esejów popularnonaukowych (Sedlak 1986) i książce autobiograficznej (Sedlak 1985b).

⁵⁹ Szerokie opracowanie w tym względzie dokonał w swojej pracy doktorskiej S. Kajta (Kajta 1991 s. 11). Warto być może tu także zaznaczyć, iż niektórzy czytelnicy (np. Szewczyk 1983 s. 267, Szewczyk 1986 s. 141) prac W. Sedlaka, nie zwracając uwagi na zawarte w nich interesujące intuicje twórcze, lecz koncentrując się na "rozczochranej" formie i domniemyanych

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

strukcji budowanej w niniejszej rozprawie, ale również spełniły w niej rolę heurystyczną. Umożliwiły bowiem dostrzeżenie w ogromnym gąszczu danych empirycznych z zakresu nauk o życiu tych faktów i hipotez, które są na tzw. marginesie nauki, a następnie ich reinterpretację i powiązanie w nową całościową rekonstrukcję.

1.2.2. Dwight'a H. Bulkley'ego elektromagnetyczna teoria życia

W 20 lat po teorii W. Sedlaka zasygnalizowana została pod prawie identycznym tytułem inna elektromagnetyczna teoria życia, której autorem jest Dwight H. Bulkley.⁶⁰ Zgodnie z terminologią tej teorii panującemu obecnie paradygmatowi "*Życie-jako-Chemia*" przeciwstawiana jest hipoteza "*Życie-jako-Fizyka*".

Przeważający obecnie pogląd na "*Życie-jako-Chemię*" polega na tym, że sądzi się, iż przemiana pierwiastków, tworzących duże struktury molekularne życia, ma miejsce dzięki rozległemu szeregowi stopniowych reakcji chemicznych, z których każda katalizowana jest przez inny enzym. Reakcje te występują w wielu "ścieżkach linii montażowych"; każda reakcja pociąga za sobą 4 stopnie: zejście się enzymu i substratu, połączenie, transfer elektronów (utlenianie-redukcja) pomiędzy molekułami donora i akceptora, i separację produktów w wyniku nowej równowagi. Setki, tysiące czy miliony reakcji (w wypadku DNA) musi mieć miejsce w perfekcyjnej kolejności, zasadniczo bez błędu, w porządku takim by dojść do makromolekularnych mikrostruktur życia. Takiemu obrazowi D. H. Bulkley przeciwstawia alternatywny obraz procesów życiowych, który wspiera licznymi przykładami zjawisk wskazujących mikromechanizmy elektromagnetyczne.⁶¹ Zjawiska te, znane zresztą i w Sedlaka elek-

lub faktycznych uchybieniach merytorycznych, zaliczają jego dzieła do pseudonauki. Wydaje się, że tak właśnie czynią niektórzy spośród uprawiających wąską specjalność w ramach ustabilizowanej i wspieranej materialnie przez Państwo nauki, znający ją w postaci już ukształtowanej i - jak można się domyślać - sądzący, iż czasy powstawania nowych gałęzi nauki i związanych z tym jej niedostatków należą już do zamierchłej przeszłości, z którą można się tylko zapoznać z lektury biografii wybitnych twórców nauki (Wnuk & Zon 1986 s. 88). Wkład W. Sedlaka do bioelektroniki (zbyt młodej jeszcze dziedziny wiedzy na wydawanie o niej "metanaukowych wyroków") jest z pewnością znacznie większy niż tylko pseudonaukowy w ocenie niektórych "rzemieślników nauki". Dodać jednak należy, że W. Sedlak nie gardził możliwością publikowania w materiałach kategorii z zakresu psychotroniki, a więc dziedziny nie uchodzącej jeszcze za czysto naukową (Sedlak 1975a s. 77, Sedlak 1977a s. 439). Ponadto autor ten używał niekiedy metafor, co uważa się za bardzo naganne; niemniej tego rodzaju tropy myślenia naukowego (choć formalnie uchodzące za nie dość ścisłe) należy również doceniać (zob. np. Paton 1992 s. 279, Paton i in. 1994 s. 505, Paton 1996 s. 155).

⁶⁰ Bulkley 1989 s. 281, Bulkley 1992c s. 305, zob. także: Bulkley 1991, Bulkley 1992a, Bulkley 1992b.

⁶¹ jak twierdzi zebrał ponad 250 takich przykładów.

tromagnetycznej teorii życia, to np.: prądy elektryczne urzeczywistniające się na poziomie komórkowym, nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe w pewnych biostrukturach, oddziaływania dalekozasięgowe w reakcjach antygen-antyciało występujące poprzez bariery błonowe i oddzielone odległościami ponad 10 nm, istnienie enzymów z przeciwstawnymi funkcjami w obrębie tego samego systemu etc. Według Bulkley'ego zjawiska elektromagnetyczne nie są, jak się powszechnie sądzi, pochodnymi od bardziej podstawowych procesów chemicznych, ale odwrotnie; to kinetyka biochemiczna, którą uznaje się za podstawę metabolizmu, byłaby tylko chemiczną manifestacją (obrazem) procesów elektromagnetycznych. Ważne w tym wypadku (to jest w tzw. niepunktowych układach kinetycznych z efektami oscylacji i przełączania) są molekularne mikroobwody nadprzewodzące i toroidy (pierścienie) magnetyczne.

Wykryta przez mikroskopię elektronową wyrafinowana ultrastruktura komórki powinna być zdaniem Bulkley'ego rozpatrywana jako "krzykliwie elektromagnetyczna". Zamiast bowiem tak zwanej protoplazmy stwierdzamy gęstą matrix subtelných filamentów i mikrotubul połączonych z błonami. Są one ukształtowane jak zwojnice, zwarte obwody misternych włókienek spiralnych etc. Występują w nich efekty przestrzenne, takie jak: wzajemne orientacje płaszczyzn pierścieniowych, odpowiednie symetrie i kąty pomiędzy centriolami, a także szereg rozmaitych struktur tworzących odbicia lustrzane, co nie jest typowe dla chemii ze zmiennymi losowymi.

Zgodnie z Bulkley'm elektromagnetyczna teoria życia może być wyrażona w jednym zdaniu z następującymi pięcioma tezami:⁶²

- 1) ultrastruktury życia są elektromagnetyczne,
- 2) makromolekuły są elektrycznie przewodzące,
- 3) długie łańcuchy są zamknięte w obwody połączone szeregowo (z monomerami o wysokim momencie dipolowym), przez co osiągnięta jest katalityczna aktywacja typu "enzymowego",
- 4) "prądy" w (prawdopodobnie bezoporowych) obwodach tworzą toroidalne i solenoidalne pola magnetyczne, oraz
- 5) pola generują siły odpychania i przyciągania, czego efektem są odpowiedzi w postaci ruchów.

Można zatem przyjąć, iż dwa pierwsze z wymienionych czynników mają charakter substancjalno-strukturalny, dają się bowiem wyróżnić jako konkretna całość; pozostałe natomiast odnoszą się do funkcji, gdyż są "przestrzennie rozmyte" i pochodne tamtych.

Stwierdzenie istnienia wspomnianych powyżej mikroobwodów nadprzewodnictwa i toroid magnetycznych w biosystemach jest już obecnie możliwe dzięki nanoelektrodom i najnowszym technikom badawczym.⁶³ Problem istnienia tych mikroobwodów nadprzewodnictwa elektronowego ma zasadni-

⁶² Bulkley 1989 s. 281.

⁶³ Bulkley 1992 s. 305.

cze znaczenie dla rozstrzygnięcia alternatywy podejść pomiędzy wspomnianymi powyżej tzw. paradygmatami: "Życie-jako-Chemia" i "Życie-jako-Fizyka". Bulkley jest przekonany, że ta nowa teoria wyjaśni szczegółowo takie procesy zachodzące w organizmach jak: duplikacja molekularna, skurcz mięśni, homeostaza metaboliczna, rozdzielanie ładunków, transdukcja energii itd.

Zarówno Sedlak jak i Bulkley uważają, że sygnały elektromagnetyczne są impulsami wyzwalającymi i przełączającymi (trigger) procesy chemiczne w komórce żywej. Istota więc fundamentalnych procesów życiowych jest ich zdaniem natury elektromagnetycznej. Konsekwentnie zatem w nośniku elektromagnetycznym należałoby upatrywać medium przenoszenia i przechowywania bioinformacji. Konkluzja ta będzie poniżej rozpatrzona, szerzej uzasadniona i rozwinięta.

1.3. Informacja jako istota wszechświata i życia

Informacyjny model wszechświata zasadza się na przekonaniu o stałym zachodzeniu przemian dynamicznych, dokonujących się na różnych poziomach organizacji świata (poczynając od mikroskali), a polegających na nieustannym realizowaniu się pewnych stanów drogą ograniczania różnorodności układów, co właśnie świadczy o bezustannym "generowaniu i przekazywaniu" informacji.⁶⁴ Istnieje wiele zarówno form informacji jak i sposobów, poprzez które informacja może być przekazywana lub przetwarzana, tj. przekształcana z jednej formy w inną.⁶⁵ Rozprzestrzenianie się informacji odbywa się zazwyczaj za pośrednictwem drgań ośrodka fizycznego (światło, dźwięk, fale radiowe, drgania elektronów lub drgania oddziaływującej materii czy jej struktur itd.). Informacja jest wielkością mierzalną, która jest niezależna od ośrodka fizycznego, poprzez który się przenosi.⁶⁶ Dzięki temu, że informacja jest fizycznie zakodowana w postaci różnych wzorców organizacji, to na przykład cząsteczki DNA zawierają i mogą transmitować duże ilości informacji. Nie tylko biosystemy, ale także układy proto-biologiczne i mineralne zarówno zawierają informację, jak i wykazują zdolności do jej przetwarzania.

W celu zbliżenia się do odpowiedzi na pytanie czym jest *życie* samo i czym jest *świadomość* postulowana jest konieczność dokonania przełomu w

⁶⁴ Lubański 1993b s. 72.

⁶⁵ Początkowo, informacja była jedynie drugorzędym, wyspecjalizowanym terminem scholastycznym (łacińskim) - "*informatio*" - oznaczającym działanie nadające lub zmieniające kształt określonego kawałka materii. Obecnie, w dobie istnienia: cybernetyki, teorii systemów, tzw. teorii informacji, teorii gier, teorii sterowania, nowej lingwistyki, telekomunikacji, komputerów, sztucznej inteligencji etc., stała się terminem "śliskim"; mimo to usiłuje się budować jakąś naukę "wertikalną" ("*vertical*" science), która zespałaby rozmaite skale "procesów informacyjnych" przypominającą samą fizykę (Marijuán 1996 s. 87).

⁶⁶ Stonier 1990 s. 12.

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

dwóch dziedzinach wiedzy.⁶⁷ Należy mianowicie od podstaw zbudować teorię układów złożonych oraz w oparciu o (nieliniową) mechanikę kwantową stworzyć nową teorię unifikującą procesy energetyczne i informacyjne. Analogicznie do dualizmu materia-geometria w ogólnej teorii względności, sugeruje się dualizm energia-informacja, również o charakterze pierwotnym. I podobnie jak pole grawitacyjne zakrzywia czasoprzestrzeń, tak *pole informacji* mogłoby zakrzywiać przestrzeń stanów kwantowych, co umożliwiłoby przepływ energii i informacji nowymi kanałami.⁶⁸ Geometria pola informacji powinna być nieliniowa i kwantowa, gdyż nieliniowość tłumaczyłaby stabilność biostruktur. Fenomen życia mógłby wówczas być związany z niezmiennikiem topologicznym w tej geometrii, zaś fizyczne i chemiczne procesy życiowe byłyby *sterowane* kwantowym *sprzężeniem* pomiędzy informacją a materią.⁶⁹ Niezależnie od tych interesujących idei podejmowana jest próba zbudowania fizyki informacji,⁷⁰ w której wykorzystuje się związek pomiędzy negentropią a informacją.

Ścisłe powiązanie ze sobą informacji i organizacji jest aksjomatem fizyki informacji, z którego wynikają następujące twierdzenia:⁷¹

1) wszystkie uorganizowane struktury zawierają informację, innymi słowy: żadna zorganizowana struktura nie może istnieć bez znajdującej się w niej jakiejś formy informacji;

2) dodanie informacji do jakiegoś systemu przejawia się w tym, że system ten staje się bardziej zorganizowany lub zreorganizowany;

3) układ zorganizowany ma zdolność do uwalniania lub udzielania informacji.⁷²

Należy tu zatem podkreślić, że termin informacja jest analogiczny do terminu energia. Informacja bowiem jest określana⁷³ również jako zdolność do organizowania systemu lub utrzymywania go w stanie zorganizowanym.⁷⁴ Z kolei z ilością pracy wymaganej do stworzenia systemu związana jest informacyjna

⁶⁷ Jadczyk 1990 s. 45.

⁶⁸ Pole grawitacyjne jest lokalne w czasoprzestrzeni i analogicznie pole informacyjne byłoby lokalne w przestrzeni Hilberta (gdzie "blisko" oznacza "podobnie", a "lokalność" - iż zaburzenia rozchodzą się poprzez bezpośredni wpływ na siebie pola w "sąsiednich" punktach) (Jadczyk 1990 s. 45).

⁶⁹ Jadczyk 1990 s. 45.

⁷⁰ Stonier 1990.

⁷¹ Stonier 1990 s. 25-26.

⁷² Dodać można jeszcze zdolność do generowania informacji, gdyż samo jej "uwalnianie" lub "udzielanie" przez układ nie musi być równoważne wytwarzaniu informacji.

⁷³ O rozmaitych definicjach informacji patrz np. (Kowalczyk 1981, Latawiec 1995 s. 33, Mazur 1970), a o różnych rodzajach informacji biologicznej (Latawiec 1982 s. 213, Latawiec 1983 s. 151).

⁷⁴ podczas gdy energia to zdolność wykonania pracy (zob. np. E. M. Rogers, "Fizyka dla dociekliwych", Cz. III, tł. z ang., Warszawa 1972, s. 79). Dokładniej mówiąc to raczej praca jest procesem przekazywania energii.

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

zawartość tego systemu. "Użyteczna" praca zmniejsza bowiem lokalnie entropię tego fragmentu wszechświata. Oszacowano, że jednostce entropii równej 1 J/K odpowiadałoby około 10^{23} bitów.⁷⁵

Fundamentalna relacja pomiędzy informacją I i entropią S definiowana jest przez następujące równanie:⁷⁶

$$I = I_0 e^{-S/k}$$

(gdzie k - stała Boltzmanna, I_0 - informacja zawarta w systemie przy $S = 0$). Przebieg tej funkcji wskazuje, że wartości ilości informacji rosną gwałtownie w zakresie bardzo małych ujemnych zmian entropii. Stąd teoretycznie nie ma górnej granicy dla ilości informacji.⁷⁷ Relacjami pomiędzy informacją a entropią zajmuje się obszerna już dziedzina zwana termodynamiką procesów informacyjnych.⁷⁸

Twierdzi się, że struktura wszechświata zawiera co najmniej trzy komponenty: materię, energię i informację (przy czym ta ostatnia jest równie istotną częścią wszechświata jak materia i energia). Wyrażając to w języku fizyki składowymi wszechświata są: fermiony, bozony oraz infony.⁷⁹ Informacja fizyczna związana jest w tym ujęciu z przynajmniej trzema czynnikami:

- 1) jest odzwierciedlana przez organizację,
- 2) jest funkcją termodynamicznego nieprawdopodobieństwa,
- 3) zawartość informacji w systemie jest funkcją ilości "użytecznej" pracy wymaganej do jego stworzenia.⁸⁰

Szacuje się, że w chwili obecnej, tj. w ok. 10^{17} sekund od Wielkiego Wybuchu (według niektórych modeli), we Wszechświecie zawarte jest 10^{120} bitów informacji.⁸¹ Wszechświat jest zorganizowany w hierarchię poziomów informacyjnych. Informacja może nie tylko organizować materię i energię, ale również samą informację - proces, który występuje na przykład w naszych mózgach i komputerach.⁸² Chodzi tu nie tylko o proces powstawania metainformacji (tj. informacji o informacji), ale również o meta-poziomy informacyjne (jak gdyby hierarchię światów informacyjnych⁸³).

⁷⁵ Stonier 1990 s. 51.

⁷⁶ Stonier 1990 s. 40.

⁷⁷ Zdaniem T. Stoniera cała materia i energia może w pewnym stanie zostać przekształcona w czystą informację (Stonier 1990 s. 53). Szkoda, że autor ten bliżej nie określa owego "pewnego stanu", chociaż można się domyślać, że chodzi mu o jakieś ekstremalne warunki i modele kosmologiczne. Można więc obawiać się, że stanie się to pretekstem do spekulacji na temat *perpetuum mobile* drugiego rodzaju.

⁷⁸ Zob. np. Popławski 1981, Ebeling & Feistel 1992 s. 303, Elitzur 1994 s. 429.

⁷⁹ Stonier 1990 s. 116, Stonier 1996 s. 135.

⁸⁰ Stonier 1990 s. 107.

⁸¹ Treumann 1993 s. 135, Lyre 1995 s. 1541.

⁸² Stonier 1990 s. 114.

⁸³ nie tylko w znaczeniu Popperowskiego III-go świata.

Uważa się, iż systemy biologiczne są zasadniczo różne od systemów wyłącznie fizycznych ponieważ organizmy żywe "karmią się" ujemną entropią. Entropia, zawarta na przykład w materii, może być zredukowana na jeden z dwóch sposobów:

- poprzez usunięcie ciepła, lub
- poprzez dodanie informacji.

Teoretycznie, w systemie, który ma temperaturę 0 K dalsze usuwanie ciepła staje się niemożliwe, a tym samym dalsze redukowanie entropii do wartości ujemnych może dokonywać się poprzez dodawanie informacji.⁸⁴

Układy żywe są więc systemami cybernetycznymi⁸⁵ zdolnymi do samoodtworzenia się (choć z określonym "błędem") oraz wykorzystującymi przepływające przez nie strumienie materii (masy), energii i informacji.⁸⁶ Są to systemy szczególnego rodzaju. Organizm bowiem jest to system:

- 1) otwarty, tj. wymienia z otoczeniem: energię, masę i informację;
- 2) całościowy, tj. jego zespolone wewnętrznie elementy tworzą jedność ustrukturyzowaną hierarchicznie a także funkcjonalną;
- 3) informacyjny, gdyż gromadzi, przetwarza i zużytkowuje informację;
- 4) negentropijny, ponieważ dzięki procesom informacyjno-sterowniczym przeciwstawia się wzrostowi entropii (w stosunku do otoczenia);
- 5) stacjonarny - utrzymuje się bowiem jako całość w równowadze dynamicznej (homeostaza);
- 6) ekwifinalny - osiąga stan końcowy (homeostazę) różnymi drogami przy różnych warunkach początkowych (adaptacja);
- 7) dynamiczny, ponieważ dzięki mechanizmom regulacji wewnętrznej może działać i rozwijać się.⁸⁷

Życie składa się z trzech podstawowych elementów: materii, energii i informacji.⁸⁸ Wszystkie biosystemy są nadzwyczaj złożone, tj. wysoce zorganizowane, polifazowe i magazynujące ogromne ilości informacji. Zaawansowane systemy informacyjne, takie właśnie jak komórki żywe, dostarczają informacji potrzebnych do transformacji wchodzącej w nie energii w użyteczną pracę - transformacji w pewnych okolicznościach niemożliwych w wypadku układów czysto fizycznych, którym brak porównywalnych poziomów organizacji.⁸⁹

⁸⁴ Stonier 1990 s. 60.

⁸⁵ Zob. np. jedną z klasycznych monografii dotyczących tego aspektu: Mazur 1966.

⁸⁶ Kunicki-Goldfinger 1995 s. 49.

⁸⁷ Ślaga 1995 s. 59.

⁸⁸ Fong 1973 s. 93.

⁸⁹ Na przykład aparat fotosyntetyczny komórki roślinnej może zdysocjować wodę i pozbawić atomy wodoru elektronów przy ok. 300 K (a nawet w przypadku niektórych roślin arktycznych w temperaturach nieco poniżej 273 K); gdy tymczasem w niezorganizowanym systemie woda musi być ogrzana do ponad 1300 K zanim jej molekuly ulegną jonizacji tworząc plazmę jonowo-elektronową (Stonier 1990 s. 99).

Tak więc struktura życia, w porównaniu ze strukturą materii nieorganicznej, jest strukturą dużo bardziej złożoną i bogatszą w organizację.⁹⁰ Co więcej funkcja materii żywej polega na zwiększaniu organizacji wszechświata - komórka bowiem wchłania martwą materię, aby stworzyć inną komórkę żywą. Maszyneria komórki nie tylko zawiera informacje, ale wykonywana przez nią część pracy pociąga za sobą stwarzanie nowej informacji.

Istnienie materii ożywionej, rozpatrywanej jako nadzwyczaj wydajny sposób wytwarzania i magazynowania informacji, jest bezpośrednią konsekwencją ewolucji wszechświata.⁹¹ Podstawową właściwością świata ożywionego jest więc uorganizowanie struktur wypełnionych masą i energią, które są nośnikami informacji. Nie chodzi tu tylko o kwasy nukleinowe lub białka, ale nawet nośnikiem informacji może być woda,⁹² stanowiąca większość masy organizmu. Biostruktury są zorganizowane w hierarchię poziomów informacyjnych, w których zachodzi ciągła przemiana informacji, jej degradacja lub organizacja. Złożone, samo-organizujące się pole transformacji informacji obejmuje procesy życiowe od poziomu molekularno-genetycznego do poziomu dynamiki umysłu i zachowania się włącznie.⁹³ Sugeruje się,⁹⁴ że biosystemy można lepiej zdefiniować w terminach oddziaływań wzajemnych opartych na wymianie informacji, a nie na wymianie pierwiastków. Informacja, przetwarzana w molekularnych komputerach komórki, uważana jest nawet za podstawę praw przyrody.⁹⁵ Wydaje się, że podjęta ostatnio próba restytucji teorii informacji za pomocą filozofii systemów ewolucyjnych⁹⁶ może być również obiecująca.

1.4. Procesy życiowe jako specyficzna forma istnienia informacji elektromagnetycznej

Pojęcie informacji nabiera coraz większego znaczenia w nauce od czasu powstania cybernetyki. Podkreślić bowiem należy, że informacja, obok masy i energii, jest uważana obecnie za trzeci podstawowy element strukturalny rzeczywistości. Te trzy, jakby niesprowadzalne do siebie elementy oddziałują wzajemnie ze sobą.⁹⁷ Oddziaływanie takie przejawia się szczególnie w organi-

⁹⁰ Zob. w odniesieniu do enzymów np. Chauvet & Costalat 1995 s. 529, Kellersohn & Ricard 1994 s. 955.

⁹¹ Cole 1986 s. 259, Treumann 1993 s. 135.

⁹² Trincher 1980 s. 1.

⁹³ Rossi 1996 s. 199.

⁹⁴ Carvalho-Rodrigues & Dockery 1996 s. 229.

⁹⁵ Liberman & Minina 1996 s. 173.

⁹⁶ Fleissner & Hofkirchner 1996 s. 243.

⁹⁷ Zob. np. Dołęga 1994 s. 65, Kowalczyk 1981, Lubański 1992 s. 13, Stonier 1990.

zmach żywych, których każda uorganizowana struktura zawiera informacje. Innymi słowy żadna uorganizowana struktura nie może istnieć bez jakiejś informacji.⁹⁸ Trzeba wyraźnie podkreślić, że informacja może organizować nie tylko inną informację, co jest oczywiste w wypadku mózgu, ale przede wszystkim masę i energię zawarte w organizmach żywych. O ile przemiany tych dwu ostatnich elementów rzeczywistości biotycznej, tj. metabolizm, są dość dobrze poznane, o tyle ten pierwszy - to jeszcze w dużej mierze *terra ignota*.

Systemy żywe są więc przetwornikami energii, które wykorzystują informację do:

- 1) wykonywania pracy bardziej wydajnie,
- 2) zamiany jednej formy energii w drugą, i
- 3) do zamiany energii w informację.⁹⁹

Problem istoty informacji, jej przetwarzania i magazynowania w układach żywych jest niezmiernie złożony i wieloaspektowy.¹⁰⁰ Pojęcie informacji biologicznej jest nadzwyczaj bogate. Wyróżnia się wiele jej rodzajów, np. informacja: atomowa, genetyczna, dziedziczna, strukturalna, immunologiczna, typu komunikacji (chemiczna, optyczna, akustyczna), ekologiczna, a nawet intelektualna. Informacja zawarta jest w biosystemach chociażby już z klasycznego punktu widzenia. W termodynamicznie przecież otwartych układach biologicznych uporządkowanie strukturalne i funkcjonalne jest podtrzymywane przez strumienie masy i energii, dzięki prawidłowościom kinetyki procesów fizyko-chemicznych zachodzących w warunkach dalekich od równowagi termodynamicznej. Znajduje to wyraz w negentropijnej zasadzie informacji:

$$\Delta E = \Delta ST \geq \Delta IT,$$

gdzie: E - energia, S - entropia, T - temperatura bezwzględna, I - informacja w bitach. W układzie żywym mamy do czynienia z koherencją informacyjno-energetyczną.¹⁰¹ Koherencja bowiem wspomnianych wyżej procesów fizyko-chemicznych na poziomie zjawisk mikrofizycznych znajduje swoje odzwierciedlenie w fizjologicznej charakterystyce bodźca. Tzn. potrzebna jest minimalna wartość energii bodźca w wypadku bodźców adekwatnych i maksymalna dla bodźców nieadekwatnych. W konsekwencji struktura informacyjna biosystemu jest bardziej koherentna względem bodźców adekwatnych aniżeli nieadekwatnych. Jeżeli występuje dostrojenie parametrów sygnału do parametrów energetycznych bioreceptora, to może wystąpić rezonansowe przekazywanie energii. A zatem, z problemem recepcji adekwatnych (dostrojonych) sygnałów małej mocy związane jest zagadnienie energetycznego równoważnika informa-

⁹⁸ Stonier 1990 s. 26, Lubański 1993a s. 17.

⁹⁹ Stonier 1990 s. 100.

¹⁰⁰ Zob. np. Vincent 1993 s. 139, Vincent 1994 s. 167, Kampis & Csanyi 1991 s. 17, Küppers 1991, Latawiec 1982 s. 213, Latawiec 1983 s. 151, Trinczer 1964, Mintz & Perlmutter 1985, Wang 1980 s. 1469, Wang i in. 1979 s. 77.

¹⁰¹ Przybylski 1979 s. 177.

cji.¹⁰² Uwarunkowane dochodzącą do układu energią efekty biologiczne zależą bowiem od przekazywanej informacji a nie od ilości tej energii. Z kolei sygnał niosący informację jest przyczyną redystrybucji energii w biosystemie i steruje zachodzącymi w nim procesami.¹⁰³ Podczas ewolucji życia następowała minimalizacja procesów energetycznych i maksymalizacja procesów informacyjnych.¹⁰⁴ Zasadnicza różnica pomiędzy systemem nieożywionym a ożywionym polega na istnieniu ekstremalnej relacji informacyjno-energetycznej w tym drugim.¹⁰⁵ Innymi słowy układ żywy definiowany jest jako samoreplikujący się, funkcjonalny i hierarchiczny układ adaptacyjny, oparty na zasadzie ekstremalnej regulacji energetyczno-informacyjnej.¹⁰⁶

Z punktu widzenia zaś bioelektroniki należy zwrócić uwagę na fakt, iż u podstaw procesów życiowych leży informacja elektromagnetyczna, tzn. fotony pochodzenia autogennego mogą spełniać rolę czynnika integrującego procesy chemiczne i elektroniczne w biostrukturach.¹⁰⁷ Przy rezonansowym przekazywaniu energii, co się wiąże z bardzo wąskim pasmem absorpcji i emisji, moc przekazywanego sygnału może osiągać bardzo małe wartości $P = kT\Delta\nu$, np. rzędu 10^{-20} W (dla $\nu = 10$ Hz i $T = 300$ K).¹⁰⁸

Najbardziej efektywnym nośnikiem informacji, wykorzystywanym we współczesnej technice ze względu na ogromną pojemność informacyjną sygnału i szybkość przekazu informacji, jest szybkozmienne pole elektromagnetyczne. Przy rozważaniu więc istoty życia w kategoriach współczesnego przyrodoznawstwa postulowane jest rozwijanie trzech aspektów skojarzenia światło-życie:¹⁰⁹

1) Skoro życie biologiczne powstało i ewoluuje w środowisku różnego rodzaju promieniowań, to czy w ogóle byłoby możliwe powstanie obecnych form życia bez jakiegokolwiek promieniowania? Analiza odpowiedzi na to pytanie powinna uwzględniać fakt, iż siły wiążące atomy i cząsteczki tzw. nieożywionej materii w biostruktury są natury elektromagnetycznej lub są przejawem oddziaływania pola elektromagnetycznego.

2) Skoro pole elektromagnetyczne wysokiej częstości uważa się obecnie za najdoskonalsze medium informacyjne z uwagi na szybkość i pojemność przekazu informacji, to pole elektromagnetyczne o wewnętrznym czasoprze-

¹⁰² Przybylski 1979 s. 177.

¹⁰³ Podbielski & Grabiec 1978 s. 98, Janowski 1978 s. 92, Janowski 1990 s. 97; por. Sławiński 1984 s. 27.

¹⁰⁴ Przybylski 1974 s. 159.

¹⁰⁵ Przybylski 1976 s. 37.

¹⁰⁶ Przybylski 1976 s. 37.

¹⁰⁷ por. Sławiński 1984 s. 27.

¹⁰⁸ Sławiński 1984 s. 27.

¹⁰⁹ Sławiński 1990 s. 189.

strzennym porządku (przyjmując, że harmonia i ład odpowiadają spójności i koherentności tego pola) mogłyby stanowić czynnik kreujący powstawanie i rozwój supramolekularnych układów samoodtwarzających się i samosterujących.

3) Skoro podziałowi i śmierci komórki towarzyszy wzmożona emisja promieniowania elektromagnetycznego (promieniowanie mitogenetyczne i degradacyjne), to adekwatny opis biogenezy, rozwoju i zamierania (a w granicy śmierci) organizmu powinien uwzględniać oddziaływanie egzogenne i endogenne pola elektromagnetycznego ze strukturami biosubstratów, tzn. obieg fotonów w biosystemach (którego analizy należałoby dokonać). Ważne w tym kontekście okazują się badania nad ultrasłabą bioluminescencją.

Współczesna biofizyka poświęca już sporo uwagi elektromagnetycznym oddziaływaniom międzykomórkowym, nazywanym również bioinformacją elektromagnetyczną.¹¹⁰ Stwierdza się, że w biosystemach zachodzi magazynowanie fotonów.¹¹¹ W szczególności DNA działa jako zbiornik światła (wymrażarka fotonów), w którym czas przebywania fotonu może być rzędu tysięcy lat.¹¹² DNA jest przykładem biologicznego lasera małej mocy, którego spójne światło byłoby nośnikiem bioinformacji. Środowisko komórek jest przezroczyste dla sygnałów wysyłanych przez DNA, który jest szerokopasmowym emitorem, nie tylko w zakresie widzialnym widma. Wiązania wodorowe w kwasach nukleinowych oscylując z częstotliwościami 10^{11} - 10^{12} Hz przesyłają informacje wewnątrzkomórkowe podobnie jak struny harfy, mogące służyć do wygrywania melodii.¹¹³ Oszacowano, że na przykład informacja elektromagnetyczna potrzebna do sterowania aktywnością enzymatyczną jest rzędu 10^{20} bitów.¹¹⁴ Ultrasłaba emisja biofotonowa z biomakromolekuł może przenosić bioinformację.¹¹⁵

W kategoriach ultrasłabego promieniowania komórkowego próbuje się wytłumaczyć niektóre zjawiska biologiczne, jak np.:

- rozpoznawanie struktury (dot. reakcji odpornościowych, naprawy) da się wyjaśnić rezonansową wymianą biofotonów,

¹¹⁰ Np. Popp i in. 1979, Popp 1983b s. 60, Popp 1983a s. 43, Popp i in. 1988 s. 576, Kaznaczejew & Michajłowa 1985, Gu & Popp 1994 s. 1099, Ho i in. 1994, Sławiński 1982 s. 59, Sławiński 1984 s. 27. Zob. także popularno-naukową książkę: F. A. Poppa *Biologia światła*. Autor jej stara się przedstawić model, w którym główne źródło energii - światło jest biofizyczną podstawą procesów życiowych, wspólną dla różnorodnych form życia. W tym fotonowym modelu życia kwanty światła stanowią siłę napędową ewolucji, rozwoju, różnicowania się, powstawania nowotworów itd. Podstawą empiryczną tego modelu jest fakt "ultrasłabego" promieniowania komórek żywych.

¹¹¹ Popp 1979 s. 123.

¹¹² Popp 1992a s. 101.

¹¹³ Bistolfi 1990b s. 4, Bistolfi 1991 s. 86.

¹¹⁴ Popp 1992a s. 143.

¹¹⁵ np. Pang 1996 s. 70, Pang 1995 s. 411.

- regulację wzrostu można wytłumaczyć ujemnym sprzężeniem zwrotnym pomiędzy impulsami spójnymi (hamującymi wzrost) a niespójnymi (przyspieszającymi wzrost),
- adhezję komórek wyjaśnia się przy pomocy międzykomórkowego sprzężenia ekscymerowego w DNA,
- różnicowanie - polepszeniem dostrojenia rezonansowego pomiędzy komórkami,
- rytmy biologiczne - dzięki sprzężeniu między odcinkami DNA a polem biofotonowym itd.¹¹⁶

Uważa się,¹¹⁷ że materia żywa dysponuje "logiką kwantową", umożliwiającą optymalne wykorzystywanie impulsów "informacyjnych" ze środowiska w celu własnej stabilizacji i wydobywania się z bezładu kąpieli cieplnej. Dzięki informacji dopływającej nieprzerwanie z Wszechświata i Ziemi materia biologiczna wrasta dynamicznie w pole elektromagnetyczne. Innymi słowy materia żywa jest swoistą odbitką (odciskiem) informacji z otoczenia; systemem, który pochłania impulsy elektromagnetyczne, magazynuje je i wykorzystuje do tworzenia trwałych struktur.

Niezmiernie interesujące problemy przetwarzania informacji w biosystemach są nadal otwarte. Sięga się do analogii z komputerami, np. neurony traktuje się jak mikroprocesory¹¹⁸ i molekularne komputery kwantowe,¹¹⁹ enzymy zaś jako nanoprocesory.¹²⁰ Rozpatruje się przetwarzanie informacji w mikrotubulach (elementy cytoszkieletu) uznając je za automaty biomolekularne i nanokomputery.¹²¹ Wnętrze mikrotubul może funkcjonować jako falowód elektromagnetyczny, a przebiegające tam lasero-podobne, daleko-zasięgowe kwantowe zjawiska koherentne pozwalają na nowe spojrzenie na zagadnienia funkcjonowania mózgu i świadomości.¹²² Mózg może być więc traktowany jako biologiczny komputer fotonowy, który zawiera subneuronowe, kwantowe sieci optyczne.¹²³ Między warstwami kory mózgowej może dokonywać się transfer informacji za pomocą fal elektromagnetycznych.¹²⁴ Co więcej, wysunięto niedawno hipotezę, że skomplikowane pola elektromagnetyczne, towarzyszące procesom elektrofizjologicznym mózgu, reprezentują "nieświadome

¹¹⁶ Popp 1992 s. 145.

¹¹⁷ Popp 1992 s. 147.

¹¹⁸ Matsumoto & Iijima 1989 s. 213.

¹¹⁹ Liberman 1989 s. 913.

¹²⁰ Wnuk 1995a s. 127.

¹²¹ Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243.

¹²² Jibu i in. 1994 s. 195, Jibu & Yasue 1993a s. 123, Jibu & Yasue 1993b s. 1, Jibu & Yasue 1993c, Jibu & Yasue 1992 s. 797.

¹²³ Jibu & Yasue 1994 s. 59.

¹²⁴ Triffet & Green 1988 s. 199.

części naszych umysłów" i, że "umysł świadomy" jest zdolny do wzajemnego oddziaływania z tymi "nieświadomymi polami sił fizycznych".¹²⁵ Jak wiadomo, mózg ludzki ma istotny udział nie tylko w percepcji rzeczywistości, ale i w stwarzaniu nowej rzeczywistości, stąd traktowany jest jako urządzenie hermeneutyczne.¹²⁶ Problematyka powyżej zarysowana jest ważna zarówno z punktu widzenia czysto poznawczego, jak i praktycznego, bowiem proponowane jest już medyczne wykorzystanie elektromagnetycznego kanału bioinformacyjnego.¹²⁷

W postulowanej przez A. Jadczyka nieliniowej geometrii kwantowej pola informacji (wspomnianej powyżej w podrozdz. 1.3.) wyrażana jest sugestia, iż "świat ciała (materii)" i "świat słowa (informacji)" mogą być objęte właśnie przez tą teorię. Niemniej jednak różnice pomiędzy tymi dwoma aspektami rzeczywistości są tak duże, że połączenie ich bez pośrednictwa "katalizatora" nie wydaje się możliwe. "Katalizatorem" tym jest prawdopodobnie światło.¹²⁸ W elektrodynamice kwantowej rozważa się bowiem problem "katastrofy podczerwonej", związanej z tym, że każdemu rzeczywistemu procesowi fizycznemu przebiegającemu z udziałem elektrycznie naładowanej materii towarzyszyć musi "chmura fotonowa" złożona z bardzo wielkiej liczby fotonów o nadzwyczaj niskiej energii.¹²⁹ Otóż w "kształcie chmury fotonowej" zakodowana jest klasyczna informacja.¹³⁰ Przypomnieć w tym kontekście należy, że fundamentalne procesy życiowe przebiegają właśnie z udziałem swobodnych nośników ładunku.

Wydaje się, że zbieżna z tymi ideami jest rozważana w fizyce możliwość skwantowania informacji, tj. możliwość istnienia hipotetycznego kwantu informacji - infonu. Twierdzi się więc, że:¹³¹

- infon jest to foton o nieskończonej długości fali,¹³²

- foton jest to infon poruszający się z prędkością światła;

a zatem - jeżeli występują prędkości różne od prędkości światła, to kwant ener-

¹²⁵ Popper i in. 1993 s. 167, Lindahl & Århem 1994 s. 111; zob. dyskusję w tym względzie: Libet 1996 s. 223, Lindahl & Århem 1996 s. 225. Warto w tym kontekście przypomnieć, że pośrednictwo fal elektromagnetycznych w procesach świadomości było znacznie wcześniej proponowane przez W. Sedlaka (p. podrozdz. 1.2.1).

¹²⁶ Érdi 1996 s. 179.

¹²⁷ Roffey & Oschman 1994.

¹²⁸ Jadczyk 1990 s. 45.

¹²⁹ Termin "katastrofa" pochodzi stąd, że łączna energia tej chmury jest nieskończona (Jadczyk 1990 s. 45).

¹³⁰ Jadczyk 1990 s. 45.

¹³¹ Stonier 1990 s. 126-130.

¹³² A więc nie posiadający pędu i masy spoczynkowej; infon nie jest więc energią. Por. wspomnianą wyżej kwestię "chmury fotonowej", składającej się z fotonów o bardzo niskiej energii, a zatem o bardzo dużej (bo kosmicznej) długości fali.

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

gii przekształca się w kwant informacji, czyli infon.

Warto tu zwrócić uwagę na nadzwyczaj interesującą hipotezę T. Stoniera, iż prawdopodobnie fotony nie są fundamentalnymi cząstkami, lecz składają się z dwu komponentów: energii i informacji.¹³³ Ponadto fala elektromagnetyczna składałaby się nie z jednego, ale z dwóch zbiorów oscylacji: (1) oscylującego pola elektrycznego występującego na przemian z oscylującym polem magnetycznym, oraz (2) regularnej zmienności informacji i energii. Gdyby rzeczywiście było tak, że maksymalna informacja koreluje z maksymalną energią potencjalną i dlatego odpowiada polu elektrycznemu oraz, że maksymalna energia kinetyczna koreluje z maksymalnym przepływem prądu, a więc odpowiada polu magnetycznemu, to **energon** i **infon** mogą ciągle zamieniać się wzajemnie podczas propagacji fotonu. Światło stanowiłoby kwanty "uwolnionego rezonansu".¹³⁴ Tak więc wszechświat fizyczny wypełniony jest infonami, a informacja jest wszędzie.

Analogicznie do fotonów, również infony obejmują szerokie spektrum informacji. Rozpatrywana jest niezwykle interesująca możliwość istnienia infonów poruszających się z prędkością przewyższającą prędkość światła, kierując się analogią w odniesieniu do hipotezy tachionów.¹³⁵ Czy istnieje możliwość wykorzystywania przez organizmy infonów przenoszonych przez tachiony?

Tachiony są to hipotetyczne cząstki o masie "urojonej", poruszające się z prędkością większą niż prędkość światła.¹³⁶ W literaturze znane są doniesienia wiążące niektóre zjawiska biologiczne i psychiczne z tachionami.¹³⁷ Istnieją bowiem zjawiska zwane biokosmicznymi, których efektem jest oddziaływanie na człowieka i inne biosystemy, np. wpływ jakiegoś typu promieniowania ze Słońca (ale nie elektromagnetycznego) na cykle dobowe reakcji układu antygen-antyciało przy elektrodach magnetycznych. Nie daje się ono zmierzyć współczesnymi instrumentami elektromagnetycznymi, ani wyjaśnić przy pomocy ugruntowanej, współczesnej wiedzy z zakresu fizyki, chemii lub biologii czy psychologii.¹³⁸ Dlatego w różnych eksperymentach biokosmicznych proponuje się organizm ludzki jako detektor różnego rodzaju hipotetycznych pól (tachiony, monopole magnetyczne, dipole magnetyczne, dipole magnetoelektryczne etc.),¹³⁹ zakładając, że jesteśmy otoczeni przez gaz dipoli magnetoelek-

¹³³ Stonier 1990 s. 123.

¹³⁴ >>light as "escaped resonance" quanta<< (Stonier 1990 s. 124).

¹³⁵ Lubański 1993a s. 17, Lubański 1994 s. 177.

¹³⁶ O związku pomiędzy tachionami a fotonami zob. np. Molski 1993 s. 1765, Molski, 1993 s. 207. Interesujące, że fotony można rozpatrywać jako "uwięzione" tachiony.

¹³⁷ Cope 1978b s. 535, Cope 1978c s. 541, Cope 1978d s. 547, Cope 1979a s. 87, Cope 1979b s. 175, Cope 1980a s. 255, Callahan 1986 s. 51.

¹³⁸ Cope 1978 s. 535.

¹³⁹ Cope 1978c s. 541.

trycznych, które akumulują się w pobliżu i we wnętrzu organizmu człowieka (a także ciał stałych) zgodnie z klasycznymi prawami elektromagnetyzmu. Niektóre z tych dipoli są tachionami. Oczekuje się, że w organizmach żywych dipole magnetoelektryczne mogą być wychwytywane przez biostruktury wykazujące nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe.¹⁴⁰

Gdyby tak było, to promieniowanie elektromagnetyczne padające na człowieka z zewnątrz mogłoby zaburzać chwytywanie dipoli magnetoelektrycznych, co pociągałoby za sobą zaburzenie struktury molekularnej, w której są one chwytywane i poprzez to dawać jakieś efekty fizjologiczne. Należy zatem zreinterpretować wyniki doświadczeń fizjologicznych i psychologicznych z ekranowaniem człowieka od naturalnych i sztucznych pól elektromagnetycznych w aspekcie zmian koncentracji dipoli magnetoelektrycznych w jego organizmie.¹⁴¹ Należy także wziąć pod uwagę możliwość, iż w ziemskim polu magnetycznym dipole magnetoelektryczne rozrywane są na dwie połowy składające się z przeciwnie naładowanych monopoli magnetoelektrycznych, które są tachionami, o funkcjach falowych mających strukturę periodyczną w pobliżu powierzchni ziemi.¹⁴² Donosi się o możliwym wykryciu zjawiska detekcji monopoli magnetycznych i tachionów monopolowych przez żywe układy.¹⁴³

W świetle powyższego, nie można więc wykluczać możliwości wykorzystywania w procesach życiowych infonów przenoszonych przez tachiony. Jaka byłaby, w kontekście problematyki istoty życia, relacja pomiędzy tymi "symetrycznymi" światami infonów - to problem przyszłości.

Niezwykle interesująca dla rozpatrywanego w tym rozdziale problemu istoty życia jest kwantowa teoria tzw. ur-objektów jako teoria informacji.¹⁴⁴ Ur-objekty ("ur-y") są uważane za najprostsze objekty w teorii kwantów. Obiekt taki jest reprezentowany przez dwuwymiarową przestrzeń Hilberta z uniwersalną grupą symetrii SU(2) i może być scharakteryzowany tylko jako jeden bit potencjalnej informacji, jako swoistego rodzaju "atom informacji". Co więcej, informacja jest uważana za fundamentalną substancję we wszechświecie bowiem teoria ta traktuje: przestrzeń jako reprezentację lub realizację informacji, zaś energię i materię (tj. masę) jako kondensaty informacji. Oszacowano, że informacja jest tam nadzwyczaj skoncentrowana gdyż: proton zawiera aż 10^{40}

¹⁴⁰ Wartość momentu magnetycznego takiego dipola oszacowano na ok. $1,4 \times 10^{-9}$ magnetonów Bohra, czyli dużo mniej niż w przypadku protonu lub elektronu (dla porównania jądro wodoru ma 0,003 a niesparowany elektron 2,0) (Cope 1978d s. 547).

¹⁴¹ Cope 1978d s. 547.

¹⁴² Byłby to fenomen zbieżny z wiarygodnymi obserwacjami doświadczalnymi różdżkarzy, tj. osób uwrażliwionych, mogących lokalizować podziemną wodę za pomocą rozwidlonego pręta. Zdaniem F. W. Cope'a niektórzy różdżkarze wystarczająco uwrażliwieni mogliby brać udział w doświadczeniach związanych z recepcją tachionowych monopoli magnetoelektrycznych dzięki procesom kwantowo-mechanicznym zachodzącym w komórkach (Cope 1979b s. 175).

¹⁴³ Callahan 1986 s. 51.

¹⁴⁴ Lyre 1995 s. 1541, Görnitz 1988 s. 527, Görnitz i in. 1992 s. 1929.

ur-ów (czyli bitów), elektron - 10^{38} , zaś foton około 10^{30} . Z kolei przestrzeń nie jest "pusta" lecz wypełniona ur-ami, wydaje się więc być czystą informacją zawartą we wszechświecie.

Z punktu widzenia kwantowej teorii ur-objektów ewolucja kosmiczna jest w gruncie rzeczy ewolucją informacji. Ewolucja może być rozpatrywana jako wytwarzanie się coraz bardziej złożonych struktur, a więc formowanie się najpierw cząstek elementarnych, potem atomów, molekuł, planet, komórek biologicznych itd. A zatem struktury o różnej złożoności należałoby poznawczo traktować jako różne poziomy semantyczne. Elementarne ur-objekty odpowiadają tu najniższemu poziomowi semantycznemu, tj. prostym bitom. Zmiana na następnym poziomie jest równoważna wprowadzeniu nowej strukturalnej cechy, co tworzy jakieś klasy ur-ów, a więc nowy poziom semantyczny,¹⁴⁵ tj. metastrukturalny i metainformacyjny.

Przedstawiana teoria, chociaż dotycząca cząstek elementarnych i kwestii kosmologicznych, posiada interesujące implikacje filozoficzne, a mianowicie przyjmuje między innymi, że informacja jest podstawowym tworzywem wszechświata, z którego uformowana są pola i tzw. materia. Idąc tym tropem można nie bezzasadnie przyjąć, iż to, co tradycyjnie uważano za fundamentalną informację biologiczną (np. sekwencje nukleotydów w DNA) nie jest takową i, że bardziej podstawowy jest jej nośnik polowy, w szczególności elektromagnetyczny; wreszcie być może informację można byłoby traktować substancjalnie.¹⁴⁶ Nie tak dawno przecież A. Einstein wykazał, że tzw. byty uważane za "niematerialne" (tj. pole grawitacyjne, elektromagnetyczne) są fundamentalnym tworzywem Wszechświata. Współczesne tendencje w nauce, mało jeszcze upowszechnione, akcentujące tzw. niematerialne składowe obiektów fizycznych, można wyrazić w interesującym stwierdzeniu nawiązującym do słownika teorii komputerów: *"hardware jest to software"*.¹⁴⁷ Ów "software" (w postaci: projektu, nakładu pracy, organizacji itd.) stanowi niewątpliwie coraz bardziej znaczącą część każdego wytworu. Z tego punktu widzenia nie wydaje się przesadą stwierdzenie, iż w *>>dowolnym przedmiocie nie ma nic innego poza projektem, wpływem otoczenia (albo współprzynależnością ekologiczną) i innymi tego rodzaju częściami składowymi o charakterze "software"<<*, a także przekonanie, że *>>"software" stanowi nie tylko to, co kiedykolwiek odkrywamy, ale, w pewnym sensie, nawet to wszystko, co rzeczywiście leży u podłoża materialnego świata codziennego doświadczenia<<*.¹⁴⁸ Nie wykluczone, że znaczyłoby

¹⁴⁵ W ur-teorii dokonuje się tego przy pomocy procedury para-kwantyzacji Bose'go.

¹⁴⁶ Nie ma chwilowo znaczenia jak nazwany zostanie kwant informacji: infonem, ur-em lub jeszcze inaczej, np. bioinfonem. Również intrygująca kwestia samodzielnego istnienia informacji, infonów etc. nie może być tu rozstrzygnięta. Istnienie jednakże informacji na nośniku elektromagnetycznym w organizmach jest akceptowalne, aczkolwiek hipotetyczne i trudne do badania.

¹⁴⁷ Misner 1987 s. 164.

¹⁴⁸ Misner 1987 s. 164.

to, iż "software" stanowi nie tylko fundament ontyczny i formalny dla tego, co już istnieje, ale również dla tego wszystkiego, co jest możliwe w istnieniu, a co w przyszłości zaistnieje i będzie dostępne naszemu poznaniu. Znakomitego przykładu, że "hardware jest to software" dostarcza biochemia DNA. Molekuła DNA jest hierarchicznym systemem, którego poziomy organizacji wykazują rozmaite stopnie software (np. hierarchiczna struktura genu).

Szeroko dyskutowany w teoriach chemicznych problem: w jaki sposób podstawowe jednostki "materii" (atomy, molekuly, rodniki, elektrony itd.) oddziaływują ze sobą łącząc się lub rozdzielając i wytwarzają rozmaite substancje? można ująć zupełnie inaczej. A mianowicie, że >>>chemiczna jednostka nie jest na ogół eddingtonowskim "punkcikiem materii", ale jest ona raczej jednostką myślową - czyli przynależną do software - odpowiadającą logicznym i geometrycznym relacjom pomiędzy innymi mniejszymi jednostkami, jakie zawierają w sobie ten "punkcik materii", który tylko fizykowi specjaliście w dziedzinie cząstek elementarnych udaje się rozłożyć na software<<<.¹⁴⁹

* * *

Celem niniejszego rozdziału było wskazanie możliwości rozumienia istoty życia jako formy istnienia informacji elektromagnetycznej.¹⁵⁰ Dokonany tu został w zarysie transdyscyplinarny przegląd niektórych (wybranych mniej lub bardziej arbitralnie) danych empirycznych oraz idei zbieżnych z taką tezą lub mogących ją konfirmować. Życie więc może być rozumiane jako specyficzna informacja na nośniku elektromagnetycznym organizująca wtórnie nośnik korpuskularny (w metastabilnym stanie wzbudzonym), który jest zdolny do zainicjowania akcji laserowej, czego rezultatem jest przenoszenie informacji na inne nośniki (niekoniecznie elektromagnetyczne). Wydaje się, że w kontekście współczesnej wiedzy przyrodniczo-filozoficznej o zjawiskach życiowych takie ujęcie jest daleko bardziej adekwatne od ujęcia, na przykład "życia jako formy istnienia ciał białkowych". Życie więc może, ale nie musi przyjmować formy uorganizowanych systemów korpuskularnych. Implikacja ta, w przekonaniu

¹⁴⁹ Misner 1987 s. 164.

¹⁵⁰ Teza tego rozdziału, że życie jest formą istnienia informacji elektromagnetycznej, wydawać się może tezą sformułowaną zbyt śmiało i skrajnie oraz, w stosunku do tego, za mało udokumentowaną lub wręcz nieprzekonująco udowodnioną. Zależy to zapewne od preferencji poznawczych P.T. czytelnika i Jego oczekiwania mocnych i krytycznych dowodów w stosunku do tzw. nowości. Autor podziela poniekąd takie oczekiwania. W przekonaniu autora jednakże, nie wydaje się celowe "czekać" aż nagromadzą się takie dane i fakty, które umożliwią dopiero to, iż stopień konfirmacji jakiejś tezy osiągnie maksymalny poziom. Warto w tym kontekście odnotować pewien pogląd Williama Jamesa: "*When a thing was new people said: 'It is not true'. Later, when its truth became obvious, people said: 'Anyway, it is not important'. And when its importance could not be denied, people said: 'Anyway, it is not new'.*" (za Bistolfi 1991 s. 151).

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

autora, nie jest tylko czystą spekulacją. Uważa się bowiem,¹⁵¹ że dualizm korpuskularny pole-foton może być użyteczny do rozpatrywania kategorii filozoficznych dusza-ciało lub kategorii biologicznych "uporządkowana energia"-substrat, a więc również informacyjnie.

Nie jest też wykluczone, że można przeprowadzić interesującą paralełę w odniesieniu do "ruchu". Otóż w neoscholastyce podkreśla się fakt, że istotnym kryterium odróżniania bytów nieożywionych od żywych jest uzdolnienie tych ostatnich do wykonywania czynności wsobnych, tzn. ruchu powstającego i pozostającego w podmiocie działającym.¹⁵² Skoro tak, to być może oscylacje elektromagnetyczne w złączu chemiczno-elektronicznym ("kwancie życia") należałoby uważać za taki właśnie ruch.¹⁵³

Konieczna wydaje się zatem, z jednej strony, analiza i reinterpretacja znacznie szerszej bazy dostępnej wiedzy o fenomenie życia, w celu wydobywania faktów empirycznych uznawanych obecnie za mało znaczące, a nawet pomijane. Z drugiej strony zaś, zawarte w przekazie kulturowym¹⁵⁴ i filozoficznym intuicje dotyczące relacji "światło = życie" powinny być także wyeksponowane i skonfrontowane ze współczesną wiedzą naukową. Intuicje te bowiem mogą być bardzo inspirujące dla nauk o życiu.

W świetle przedstawionych powyżej idei wydaje się teoretycznie możliwe uznanie tezy, że "informacyjne" ujęcie enzymów i katalizy enzymatycznej (istotnej przecież klasy procesów życiowych) powinno być poznawczo bardziej inspirujące i adekwatne. Problem ten będzie właśnie rozpatrywany w następnych rozdziałach niniejszej rozprawy. Jednakże warto przedtem odnotować (dość dawną i zapomnianą już) sugestię dotyczącą możliwości występowania elektromagnetycznej komunikacji w obrębie żywej komórki. W biosystemie tym molekuly DNA rozpatrywane były jako generatory sygnałów o częstotliwościach radiowych, molekuly RNA jako wzmacniacze, błona komórkowa jako filtr zakłóceń, zaś aminokwasy i **enzymy** jako nośniki sygnałów kodowanych w różnych częściach widma.¹⁵⁵

¹⁵¹ Sławiński 1990 s. 189.

¹⁵² Ślaga 1974 s. 67, Ślaga 1992 s. 283/315. Pojęcie czynności wsobnych umożliwia odróżnić w wyraźny sposób byty żywe od nieożywionych, przynajmniej w odniesieniu do makroświata.

¹⁵³ Analogicznie do pojęcia tzw. czynności wsobnych podejście to pozwalałoby uchwycić swoiste i fundamentalne symptomy życia już na poziomie "mikroświata".

¹⁵⁴ tj. przede wszystkim religijnym. Nie powinno się bowiem pomijać również nadzwyczajnych zjawisk psychofizycznych obecnych w życiu niektórych jogów, mistyków i świętych (a w szczególności: promieniowania świetlnego, bilokacji, lewitacji, wstrzymywania się od pokarmu lub snu etc.). Przeciwnie należałoby te zjawiska dokładniej zbadać również w oparciu o najnowszą wiedzę naukową.

¹⁵⁵ "New biological effects of R-F. Electronics, 1959, 32, 38." (za Presman 1971 s. 279).

2. BIOELEKTRONICZNY ASPEKT KATALIZY ENZYMATYCZNEJ

Duże niewątpliwie znaczenie dla wyjaśniania istoty procesów życiowych ma poznawanie mechanizmów katalizy enzymatycznej. Badanie enzymów jest jednym z najważniejszych zadań poznawczych nauki, gdyż dotyczy styku biologii, chemii i fizyki. Przyjmuje się dziś zgodnie, że tego typu molekuly odgrywają kluczową rolę w procesach życiowych. Są one w bioenergetyce swego rodzaju maszynami molekularnymi. Powstawanie zaś enzymów w komórce leży u podstaw trwania wszystkich tych procesów. Nic więc dziwnego, że problematyka pochodzenia katalizy enzymatycznej i ewolucji enzymów jest kluczowa również w ramach badań mających na celu rekonstrukcję procesów abiogenezy. Problematyka ta ma długą tradycję i bogate piśmiennictwo. Ostatnie kilkanaście lat przyniosło nawet, obalenie poglądu o niemożliwości istnienia enzymatycznych funkcji cząsteczek RNA. Fakt ten rzutuje bardzo na poglądy dotyczące powstania życia, gdyż zakładano powszechnie, że wiąże się ono koniecznie z samorzutną syntezą białek, a dotychczas jedynie białka wykazywały aktywność enzymatyczną. Uczyniło to problemy pochodzenia i ewolucji enzymów jeszcze bardziej złożone.

Pomimo faktu, że postępy techniki badawczej, związanej z zastosowaniem metod spektralnych i frakcjonowania oraz modelowania komputerowego, umożliwiły wyjaśnienie wielu rozmaitych aspektów struktury i funkcji enzymów, to jednak nadal szczegóły ich własności katalitycznych pozostają nieznane. Co więcej, brak jest gruntownego wyjaśnienia i jednolitego opisu mechanizmów katalizy enzymatycznej, choć przecież całe niemal dzieje biochemii są w gruncie rzeczy związane z badaniem enzymów. Zresztą w samej chemii niewiele jest zagadnień, które badano tak wszechstronnie i przez taki długi okres bez osiągnięcia zrozumienia ich podstaw, jak właśnie zjawiska katalityczne.¹ Nie

¹ Pierwsze moje zainteresowania tą problematyką dotyczyły katalizatorów wanadowych (Wnuk 1972) i katalizatorów szkieletowych (Zagórski & Wnuk 1975 s. 59). Znaczenie poznawcze i praktyczne katalizy jest nadzwyczaj duże, np. w roku 1994 wartość sprzedanych na świecie katalizatorów wynosiła 7 mld dolarów, zaś wartość produktów uzyskanych przy pomocy katalizatorów aż 4,3 trylionu dolarów (Jerzy Haber, "Nowy paradygmat nauki o katalizie na

istnieje jak dotąd ogólna teoria zjawisk katalitycznych, a nawet nie są zapewne znane wszystkie zasadnicze i istotne cechy procesu katalitycznego.

Dotychczas rozwój poglądów dotyczących katalizy zachodził przede wszystkim poprzez formułowanie nowych problemów, a nie drogą rozwiązywania wszystkich złożonych zadań w zakresie wybranej koncepcji. Uważa się, że brak idei przewodniej jest jedną z podstawowych przyczyn braku ogólnej teorii katalizy. Dlatego też teoria taka nie mogła powstać w wyniku tylko podsumowywania i uogólniania istniejących koncepcji. Nie wykluczone, że przezwyciężenie powyższego stanu rzeczy dokona się w oparciu o nowe ujęcie istoty procesów życiowych, zgodnie z którym stanowią one formę istnienia informacji elektromagnetycznej.

Kataliza enzymatyczna nie jest czymś wyjątkowym i należy do procesów występujących powszechnie w organizmach żywych. Niemniej jednak stanowi nadal niezmiernie złożony problem interdyscyplinarny i transdyscyplinarny. Tutaj kataliza enzymatyczna zostanie przedstawiona z punktu widzenia bioelektroniki, tj. tej dziedziny nauk przyrodniczych, której integralną częścią jest koncepcja elektromagnetycznej natury życia. Celem tego rozdziału jest postawienie i uprawdopodobnienie tezy, iż enzymy są biosystemami elektronicznymi.

2.1. Kataliza enzymatyczna jako istotna klasa procesów życiowych

Zjawisko zmiany szybkości reakcji chemicznych pod wpływem pewnych substancji zwanych katalizatorami, które regenerują się po zakończeniu tychże reakcji nazywane jest powszechnie katalizą. Pod względem termodynamicznym wszystkie reakcje katalityczne są procesami samorzutnymi, tzn. towarzyszy im zmniejszenie energii swobodnej, tj. gdy potencjał termodynamiczny produktów jest niższy od potencjału termodynamicznego substratów. Katalizatory, nie zmieniając zresztą stanu równowagi chemicznej, lecz tylko przyspieszając jego ustalenie, działają selektywnie, tzn. przyspieszają (na ogół) nie każdą reakcję, a jedną z możliwych termodynamicznie (energetycznie). Ten wpływ na szybkość reakcji osiągnąć jest dzięki zmianie jej mechanizmu, gdyż produkty pośrednie, w skład których wchodzi katalizator, powstają i następnie przechodzą w produkty końcowe z większą szybkością niż to się dzieje bez niego. Otóż podstawowym celem teorii katalizy jest wyjaśnienie natury tego zjawiska. Zrozumienie mechanizmu tych reakcji polega tu na znajomości istoty aktów elementarnych (i ich szybkości względnych), poprzez które zachodzi przemiana substratów w produkty, a także na wiedzy o tym jak funkcjonuje dany katalizator (enzym).

Dla wyjaśnienia mechanizmu działania enzymu konieczne jest zdobycie informacji rozmaitego typu, przede wszystkim danych o:
- pierwszorzędowej i trzeciorzędowej strukturze enzymu (zwłaszcza tzw. centrum aktywnego),

przełomie wieków", Referat wygłoszony 28.09.1995 na zjeździe PTChem., Lublin), w samym tylko USA wartości te wynosiły odpowiednio ok. 2 mld i 900 mld \$ (za Sachtler 1995 s. 1295).

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

- budowie oraz właściwościach fizycznych i chemicznych grupy prostetycznej (jeśli enzym ją posiada),
- strukturze i właściwościach substratów, produktów, aktywatorów itd. oraz ich oddziaływaniu z enzymem,
- zmianie konfiguracji enzymu (a zwłaszcza jego centrum aktywnego) przy wiązaniu wyżej wymienionych elementów i zmianach chemicznych jakim one podlegają w procesie reakcji itd.²

Oprócz tego typu informacji, koniecznych do określenia funkcjonowania enzymu, potrzebna jest również znajomość fizycznego mechanizmu koordynacji działania różnych enzymów w organizmie żywym. Rozwiązanie tych fundamentalnych zagadnień nie jest jeszcze urzeczywistnione w sposób zadowalający, mimo zastosowania bardzo szerokiego zestawu zarówno klasycznych - chemicznych, jak i nowoczesnych - fizycznych metod badawczych, które pozwalają na śledzenie elementarnych procesów w skali biomolekularnej.

Nie wykluczone, że istotnym postępem w kierunku rozwiązania tych właśnie fundamentalnych zagadnień może być, w przekonaniu autora, zaproponowany w niniejszej rozprawie bioelektromagnetyczny model katalizy z jego hipotetycznym mechanizmem bioplazmowym.

2.1.1. Rola enzymów z punktu widzenia klasycznego paradygmatu w naukach o życiu

Zgodnie z klasycznym paradygmatem przemiany biochemiczne są "dnem" zjawisk życiowych, a koncepcje przemian biochemicznych leżą u podstaw współczesnych teorii ewolucji i poglądów na istotę życia. Struktury biochemiczne stanowią wspólny mianownik wszystkich struktur biologicznych. Można powiedzieć, że na poziomie rzeczywistości biologicznej, którym zajmuje się biochemia, w odniesieniu do enzymów i katalizy enzymatycznej, istnieją w zasadzie odpowiedniki: epigenetyki, integracji, konkretyzacji, hierarchizacji, fenotypu i genomu, układów funkcjonalnych i procesów rozwojowych.³

Warto przypomnieć, że enzymy są katalizatorami umożliwiającymi przebieg reakcji zazwyczaj od 10^8 do 10^{14} razy szybciej niż odpowiednich reakcji niekatalizowanych.⁴ Niektóre zaś kanały jonowe jako oligomerowe enzymy allosteryczne przyspieszają transport jonów nawet 10^{39} razy.⁵ Dzięki również kompartmentalizacji enzymy działają stereoselektywnie i stereospecyficznie. Większość enzymów katalizuje reakcje pomiędzy dwoma lub więcej substratami, a specyficzność enzymów jest ważniejszą ich cechą od wydajności katalizy.⁶ Enzymy różnią się swoją masą; zazwyczaj masa cząsteczkowa podjednostek

² Dikson & Uebb 1982 t. II s. 404-406.

³ Lenartowicz 1986 s. 285-361.

⁴ Lipscomb 1981 s. 17, Lipscomb 1982 s. 232.

⁵ Gieletiuik i in. 1990 s. 201.

⁶ Cornish-Bowden 1984 s. 451.

enzymu waha się od około 10 kDa do 250 kDa.⁷ Określone grupy enzymów są połączone ze sobą i oddzielone od innych, co jest konsekwencją strukturalnej organizacji w metabolizmie komórkowym.⁸ W swoim mikrośrodkowisku komórkowym⁹ enzymy funkcjonują w określonej hierarchii czasowej¹⁰ jako wydajne przetworniki energii swobodnej.¹¹ Są niekiedy uważane za maszyny molekularne,¹² urządzenia elektrochemiczne jak biochemiczne elektrody i protody,¹³ czy też rozpatruje się je jako urządzenia mechaniczne.¹⁴

W większości głównych koncepcji teoretycznych, usiłujących wyjaśnić katalityczne funkcjonowanie enzymów, przyjmuje się istnienie (niekiedy specyficznego) dopasowania enzymu i substratu (synheksja i symmorfia)¹⁵ oraz działanie enzymu prowadzące do syntopii i synchronii. Mechanizmy działania enzymów są przedmiotem wielu badań i licznych publikacji.¹⁶

2.1.2. Rola enzymów z punktu widzenia bioelektronicznego paradygmatu w naukach o życiu

Postulowany przez Włodzimierza Sedlaka bioelektroniczny paradygmat w naukach biologicznych wyraża przekonanie, że przyroda w organizacji procesów życiowych uwzględniła odpowiednie reakcje chemiczne, którym nieodłącznie towarzyszą sprzężone z nimi kwantowo-mechaniczne procesy elektroniczne w półprzewodnikach białkowych. Kładzie się w nim nacisk poznawczy na procesy zachodzące na tzw. submolekularnym poziomie uorganizowania układów żywych. Na tym bowiem poziomie rozmaite, znamienne dla tych układów kategorie zjawisk - chemiczne, elektroniczne, polowe (tj. związane z polami fizycznymi) - wpływają na siebie wzajemnie i prawdopodobnie sprzęgają się w jeden wspólny proces życiowy. Wydaje się, że właśnie enzymy i kataliza enzymatyczna mogą stanowić odpowiedni teren badań w powyższym zarysowanym aspekcie.

Jeśli wziąć pod uwagę całą enzymologię, to elektroniczne aspekty

⁷ np. Traut 1986 s. 508.

⁸ np. Welch 1977 s. 103, Ricard 1985 s. 177, Ricard 1989 s. 275, Welch 1985, Borgers & Verheyen 1985 s. 163, Srivastava & Bernhard 1986 s. 1, Albe i in. 1990 s. 163, Vallenton & Sanfeld 1987 s. 137.

⁹ Somogyi 1986 s. 341, Welch 1993 s. 1907.

¹⁰ np. Schuster & Heinrich 1987 s. 189, Heinrich i in. 1991 s. 1.

¹¹ zob. np. Somogyi i in. 1984 s. 81, Somogyi & Damjanovich 1986 s. 341, Lumry & Gregory 1986 s. 1, Higazi 1985 s. 609, Westerhoff i in. 1986 s. 4734.

¹² Welch & Kell 1986 s. 451, Kurzyński 1994 prep.

¹³ Welch & Berry 1983 s. 95, Welch & Berry 1985 s. 419.

¹⁴ Williams 1993 s. 115.

¹⁵ Lenartowicz 1986k s. 292.

¹⁶ Zob. np. książki: Cooper i in. 1989, De Luca i in. 1984, Frey 1986, Lee 1987, Liebman & Greenberg 1988, Page & Williams 1987, Sigman & Bouer 1990, Welch 1985.

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

procesów enzymatycznych są przedmiotem stosunkowo nielicznych badań. Wykorzystuje się w nich głównie kwantowo-mechaniczne obliczenia struktury elektronowej pewnych biomolekuł i podkreśla znaczenie oddziaływań kulombowskich w reakcjach z udziałem enzymów. Tutaj wskazane zostaną aspekty elektroniczne, ale w poszerzonym przez bioelektronikę znaczeniu.

Z elektronicznego modelu układu biologicznego i koncepcji bioplazmy¹⁷ nie wynika wprost jakiś konkretny bioelektroniczny (bioelektromagnetyczny) model katalizy z plazmowym mechanizmem funkcjonowania enzymów. Niemniej można tam znaleźć kilka interesujących sugestii. Oto one:

*"Bioplazma spełnia różnorakie zadania. Umożliwia reakcje chemiczne i pracę enzymów, utrzymuje ustawiczny stan wzbudzenia. Metabolizm znajduje więc optymalne warunki przebiegu",*¹⁸

*"...zarysowały się możliwości plazmowego ujęcia >>kwantowego szwu życia<<. Polega on na sprzężeniu reakcji chemicznych z elektronicznymi procesami w półprzewodzącym ośrodku tworzonym właśnie przez te reakcje. Biorąc "pionowy" przekrój przez kwantowy szew życia, można w nim zobaczyć podwójny układ plazmy metabolicznej i strukturalnej. Metaboliczna byłaby zbiorczym określeniem wszystkich ładunków uruchomionych w reakcjach biochemicznych, strukturalną zaś stanowiłyby uwspólnione (zdelokalizowane) elektrony struktur molekularnych",*¹⁹

*"Kwantowy szew życia stanowi rozrusznik nie tylko w sytuacji odwracającej stan anabiozy, ale również w trakcie normalnego trwania życia. Jest mechanizmem włączającym nieustannie reakcje chemiczne w rytm procesów elektronicznych, steruje ponadto rytmiką anaboliczno-kataboliczną. W tym rozumieniu można go określić jako kwantowy rozrusznik życia. Używając języka chemicznego, stanowiłby on uniwersalny katalizator procesu życiowego. Nie jest to przesadą wobec przyznawania katalizatorom półprzewodnikowego tła funkcjonalnego z chemicznymi skutkami".*²⁰

Koncepcja bioplazmy zakłada więc istnienie nowego, znamiennego tylko dla organizmów żywych, stanu materii, którego istotną cechą jest sprzężenie plazmy fizycznej z metabolizmem. Zgodnie z tą koncepcją opis plazmowy byłby najbardziej adekwatnym opisem procesów życiowych, zwłaszcza bioenergetycznych. Z koncepcji bioplazmy można więc poniekąd wyprowadzić wniosek, iż elementarnym "złączem" chemiczno-elektronicznym, lub rodzajem tzw. kwantowego szwu życia, może być właśnie jakiś układ enzymatyczny, a może nawet i wszystkie jako pewna funkcjonalna całość.

Zagadnienie możliwego udziału plazmy fizycznej w procesach enzymatycznych powstało przy okazji obliczeń warunków ilościowych istnienia stanu plazmowego w układzie porfiryńowym i biomakromolekułach, w związku

¹⁷ Sedlak: 1967a s. 31; 1971 s. 191; 1970b s. 143; 1972 s. 125; 1975c s. 261; 1975b s. 95; 1976b; 1976c s. 13; 1979b s. 23; 1979a s. 252; 1984 s. 92.

¹⁸ Sedlak 1984 s. 102.

¹⁹ Sedlak 1984 s. 95.

²⁰ Sedlak 1984 s. 85.

z czym postulowany był plazmowy mechanizm działania enzymów hemowych.²¹ W rozdziale 3-cim zagadnienie to będzie rozpatrzone szerzej.

Poniżej natomiast przedstawione zostaną główne idee dotyczące możliwego sposobu stworzenia nowego modelu katalizy, następnie zreferowane będą proponowane dotychczas takie modele czy mechanizmy działania enzymów i katalizy enzymatycznej, o których można - w świetle omawianego aspektu tematu rozprawy - powiedzieć, że są z gruntu "elektroniczne".

2.2. Możliwość stworzenia bioelektromagnetycznego modelu katalizy enzymatycznej

Wydaje się, że możliwość stworzenia bioelektromagnetycznego modelu katalizy można usprawiedliwić, wskazując na różnego rodzaju analogie pomiędzy układami enzymatycznymi a przede wszystkim urządzeniami mikroelektronicznymi oraz na fakt wykorzystywania już nawet enzymów w tzw. elektronice molekularnej. Właśnie te dwa istotne aspekty zostaną poniżej ukazane.

2.2.1. Analogie substratowo-strukturalno-funkcjonalne pomiędzy układami enzymatycznymi a urządzeniami mikroelektronicznymi

Z elektronicznego modelu układu biologicznego (który powstał w oparciu o dane z zakresu badań nad elektronicznymi własnościami materiału biologicznego i na podstawie analogii substratowo-strukturalno-funkcjonalnych wziętych z fizyki ciała stałego i techniki elektronicznej)²² można zaczerpnąć kryterium doboru danych, które mogłyby stanowić podstawę do sformułowania nowego modelu katalizy. W niniejszym więc wypadku należałoby stwierdzić, czy istnieją odpowiednie analogie pomiędzy układami enzymatycznymi a urządzeniami mikroelektronicznymi, chemotronicznymi itp. Te analogie heurystyczne mogą mieć istotne znaczenie poznawcze ze względu na możliwość wykorzystania w badaniach katalizy szeregu prac poświęconych również zjawiskom plazmowym w ultracienkich warstewkach oraz mikrosferach metalowych i półprzewodnikowych. Zjawiska te są obecnie szeroko badane dla potrzeb mikroelektroniki. Poniżej przedstawiony zostanie krótki przegląd danych świadczących o istnieniu wyżej wspomnianych analogii.

Jeżeli chodzi o analogię substratu, to wymienić należy przede wszystkim:
a) półprzewodnictwo elektronowe biopolimerów²³ i daleko-zasięgowe

²¹ Wnuk: 1983b s. 271; 1983a; 1987 s. 206.

²² Zob. np. Sedlak 1979a s. 169.

²³ Zob. np. Litwin & Zwalinski 1971 s. 420, Tien 1974 s. 847, Cope 1975 s. 1, Bulanda 1977 s. 15, Simionescu i in. 1978 s. 151, Kołotilow i in. 1978 s. 51, Pethig 1979 s. 290, Pethig & Szent-Györgyi 1980 s. 227, Kryszewski 1980 s. 374, Pethig 1982 s. 1, Gutmann i in. 1983 s. 319, Gutmann 1986 s. 177, Allen i in. 1989 s. 115, Koruga & Simic-Krstic 1990 s. 167, Bakshi 1994 s. 187, Zs.-Nagy 1995 s. 327.

przenoszenie elektronów w strukturach białkowych;²⁴ istotny w tym względzie jest na przykład fakt, że oksydaza cytochromowa ma bardzo niską energię aktywacji półprzewodnictwa (0,26 eV); dla tego enzymu proponowano nawet półprzewodnikowy mechanizm działania;²⁵

b) piezoelektryczność wielu struktur biologicznych, w tym i białkowych;²⁶ interesujące w tym względzie są propozycje teoretyczne dotyczące również katalizy: piezoelektryczny model fotofosforylacji,²⁷ teoria opisująca katalizę enzymatyczną na podstawie piezoelektryczności w półprzewodnikach²⁸ i piezoelektryczny mechanizm transportu aktywnego ładunków w niektórych błonach biologicznych;²⁹

c) nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe niektórych biostruktur;³⁰ sugerowano, że właśnie ta właściwość może być odpowiedzialna za działanie enzymów³¹ i chociaż próby doświadczalne jego wykrycia w lizozymie napotkały na trudności,³² to jednak badania katalitycznych właściwości nadprzewodników nieorganicznych są już dość obszerną dziedziną,³³ należy więc oczekiwać, że obejmą również katalizatory organiczne;

d) stan elektretowy wielu materiałów biologicznych, w tym również niektórych enzymów;³⁴ bioelektretowe zachowanie wykazano dla trypsyny, ureazy i rybonukleazy,³⁵ zaproponowano też model, w którym działanie enzymu wyjaśnia

²⁴ np. Aizawa i in. 1994 s. 601, Bernhardt i in. 1994 s. 387, Brunori & Wilson 1995 s. 668, Canters & Dennison 1995 s. 506, Cavelier 1995 s. 261, Czjzek i in. 1994 s. 546, Dreyer 1984 s. 653, Dutton & Mosser 1994 s. 10247, Einarsdóttir i in. 1995 s. 496, Friesner 1994 s. 339, Gray & Ellis 1993 s. 315, Guengerich & Macdonald 1993 s. 191, Ichinosa & Minato 1993 s. 9145, Isied 1984 s. 443, Larsson 1988 s. 15, Larsson i in. 1988 s. 1, Marcus & Sutin 1985 s. 265, Mathews & White 1993 s. 902, Moser i in. 1995 s. 263, Pietrow 1984, Rubin & Szyrkariw 1984, Zon 1983 s. 165, Zon & Tien 1988 s. 181.

²⁵ Cope 1963 s. 352, Cope 1965 s. 237, Cope 1971 s. 579, Cope 1979d s. 261, Cope 1980b s. 297; Cope i in. 1969 s. 761.

²⁶ np. Lang 1988 s. 243, Fukada 1982 s. 125, Fukada 1983 s. 59, Fukada 1984 s. 285, Fukada 1992 s. 813, Bulanda 1979-1980 s. 1, Bulanda 1986 s. 27, Becker 1982 s. 239, Galletti i in. 1984, Guzelsu & Walsh 1993 s. 51, Mountain 1994 s. 350.

²⁷ Caserta & Cervigni 1973 s. 127.

²⁸ Caserta & Cervigni 1974 s. 4421.

²⁹ Kietis 1984 s. 1307.

³⁰ zob. np. Goldfein 1980 s. 127, Cope 1971 s. 403, Cope 1973 s. 173, Cope 1974 s. 405, Cope 1976c s. 267, Cope 1978a s. 233, Cope 1979c s. 65, Cope 1980a s. 255, Cope 1982 s. 99, Grolig 1980 s. 575, Milani i in. 1991 s. 51, Miller 1992 s. 361, Paine & Persinger 1979 s. 333, Sugahara i in. 1986 s. 423, Tributsch & Pohlmann 1993 s. 225, Zrubec 1994 s. 273.

³¹ Achimowicz 1982 s. 23-S, Achimowicz i in. 1977a s. 383, Achimowicz i in. 1977b, Ahmed i in. 1975 s. 129.

³² Clark & Dunne 1979 s. 535, por. Ahmed & Smith 1978 s. 25.

³³ np. Klissurski & Rives 1994 s. 1.

³⁴ np. Fukada 1992 s. 813, Kulin 1980, Mascarenhas 1980 s. 321, Mascarenhas 1987 s. 321.

³⁵ Mascarenhas 1980 s. 321.

się w oparciu o jego właściwości polaryzacji elektrycznej³⁶ (użyto nawet pojęcia "elektrycznej denaturacji" enzymów³⁷).

Jeżeli chodzi o analogię struktur pomiędzy bioukładem a "molekularnym" urządzeniem elektronicznym,³⁸ to ujawnia się ona przede wszystkim w budowie sandwichowej, wielowarstwowej. Warstwy te charakteryzują się różnymi koncentracjami elektronów swobodnych i tworzą złącza typu *p-n*. Białka na powierzchni błon biologicznych lub przewodzące warstwy powierzchniowe zespołów grup polarnych, należących do amfoterycznych cząsteczek formujących błonę, tworzyłyby jakąś warstwę sandwichową typu >>przewodnik / bariera izolująca / przewodnik<<, podobną do technicznych struktur typu >>metal / półprzewodnik<<, jak na przykład MOS i MIM.³⁹ Nie bez znaczenia jest fakt, że jedno z pierwszych "molekularnych" urządzeń elektronicznych, jakie zrealizowano w mikroelektronice, wykorzystywało fragmenty enzymowe w hybrydowym detektorze półprzewodnikowym opartym na tzw. tranzystorze polowym.⁴⁰

Przykładem podobieństwa strukturalnego, z punktu widzenia tzw. monoelektroniki tunelowej,⁴¹ może być analogia pomiędzy układem białek łańcuchów transportu elektronów w komórce żywej a technicznymi mikrostrukturami ze skorelowanym tunelowaniem pojedynczych elektronów.⁴² W wypadku tej właśnie analogii rolę mikrogranuli odgrywa grupa prostetyczna usytuowana w łańcuchu polipeptydowym makromolekuły białkowej. W rzeczywistości skorelowane tunelowanie pojedynczego elektronu może zachodzić jedynie z powodu małego rozmiaru granuli, który dostarcza możliwości pewnemu elektronowi by stał się pierwszym, który powstrzymuje tunelowanie jakiegoś innego elektronu. W ten sam sposób, jeden elektron przetransferowany do grupy prostetycznej blokuje przybycie innego w czasie, gdy pierwszy znajduje się w tej grupie.

Zwarty łańcuch polipeptydowy wykonuje kilka funkcji. Po pierwsze, oddziela grupy prostetyczne, tworząc w ten sposób złącze tunelowe. Po drugie, specyficzne otoczenie każdej grupy prostetycznej determinuje jej potencjał redoks względem innych grup. Po trzecie, buduje sztywny szkielet grupom prostetycznym, który zapewnia ich względną orientację przestrzenną. Oczekuje się, że z supramolekularnych układów białkowych można wykonać różne monoelektroniczne urządzenia tunelowe, zwłaszcza zaś: kondensatory,

³⁶ Fröhlich 1968 s. 641, Fröhlich 1973 s. 385, Fröhlich 1975 s. 4211, Fröhlich 1986 s. 421.

³⁷ Mascarenhas 1980 s. 321.

³⁸ Już w 1979 roku odbyło się pierwsze międzynarodowe sympozjum na temat molekularnych urządzeń elektronicznych; Carter 1982, Carter 1987, Carter i in. 1988.

³⁹ Huth i in. 1984 s. 227.

⁴⁰ Carter 1984c s. 243.

⁴¹ Gilmanshin & Lazarev 1988 s. S83.

⁴² Wykorzystywane w tych badaniach struktury składają się z granulek In mających średnicę rzędu 100 nm, oddzielonych od warstewek stopów ołowiu za pomocą In₂O₃ i od górnej warstwy przez izolację SiO o grubości 50 nm (Gilmanshin i in. 1988 s. S-83).

przewodniki tunelowe i oporniki.⁴³ Sugerowano, iż kompleksy enzymowe są podobne do tunelowych tranzystorów pojemnościowych pracujących w oparciu o pojedyncze elektrony.⁴⁴

Znacznie trudniejsze wydaje się znalezienie analogii funkcji. Należałoby bowiem wskazać jakieś funkcje, które mogłyby być pełnione przede wszystkim przez złącza *p-n* w układach enzymatycznych. W aspekcie energetycznym biologiczne złącza *p-n* powinny pełnić rolę detektora elektromagnetycznego, bądź spełniać funkcje diody na przykład elektroluminescencyjnej, czy nawet emitera promieniowania spójnego. Sformułowanie tego rodzaju analogii z technicznymi złączami typu *p-n* można jednak usprawiedliwić, wskazując na niektóre fakty mające, jak się wydaje, istotny związek z wyżej wspomnianymi funkcjami. Na przykład wpływ promieniowania elektromagnetycznego (niekiedy rezonansowy) na pewne enzymy, jak: katalazę,⁴⁵ peroksydazę,⁴⁶ enzymy allosteryczne,⁴⁷ ATPazę,⁴⁸ enolazę,⁴⁹ 5'-nukleotydazę,⁵⁰ lub ultrasłabą luminescencję towarzyszącą fosforylacji oksydacyjnej. Twierdzi się również, że promieniowanie koherentne, szczególnie w zakresie podczerwieni, wykorzystywane jest w bioukładach za pośrednictwem feromonów, hormonów i enzymów.⁵¹ Ważne w tym kontekście są hipotezy na temat istnienia elektromagnetycznej akumulacji energii w organizmach żywych i elektromagnetycznego sterowania procesami komórkowymi.⁵² Okazuje się, że modulowane amplitudowo pole elektromagnetyczne może synchronizować funkcjonowanie enzymów.⁵³ Przypuszcza się, że energia aktywacji reakcji biochemicznych może być zmieniana wskutek interferencji elektromagnetycznej.⁵⁴

Dzięki własnościom nabywanym przez pewne enzymy wskutek odpowiednich zmian konformacyjnych mogą one funkcjonować jako przełączniki molekularne.⁵⁵ Uważa się, że właśnie mechanizm przełączający tzw. cyklicznego układu enzymowego może pełnić rolę "diody chemicznej", co wskazuje na

⁴³ Gilmanshin & Lazarev 1988 s. S83.

⁴⁴ Likharev & Semenov 1987 s. 182.

⁴⁵ Czyrkow 1974 s. 34, Rybnikow 1975 s. 66.

⁴⁶ Czyrkow 1974 s. 34.

⁴⁷ Żwirblis 1982 s. 197; zob. także Bolognani i in. 1995 s. 235, Nazar & Dutta 1994 s. 175, Neshev & Kirilova 1995 s. 17, Dutta i in. 1994 s. 377, Achimowicz 1982 s. 23S, Markin i in. 1992 s. 1045.

⁴⁸ Blank 1995 s. 175, Blank 1993 s. 203, Bolognani i in. 1995 s. 235.

⁴⁹ Dutta i in. 1994 s. 377, Nazar i in. 1994 s. 175.

⁵⁰ Martin & Moses 1995 s. 87.

⁵¹ Callahan 1984 s. 337.

⁵² Zob. np. Popp 1979 s. 123, Popp 1983a s. 43, Popp 1983b s. 60 i inne prace cytowane w rozdziale 1-szym niniejszej rozprawy.

⁵³ Neshev & Kirilova 1995 s. 17.

⁵⁴ Huang i in. 1995 s. 1355.

⁵⁵ np. Pratt 1986 s. 145.

możliwość wykorzystania tego rodzaju układów jako tzw. biochipów w charakterze obwodów przełączających w biokomputerze.⁵⁶

Interesujące wydaje się przypisanie układom enzymów *in vivo* funkcji analogicznych do operacji elektronicznych i matematycznych. Sugerowano bowiem, w kontekście badań w zakresie elektroniki biomolekularnej i konstruowania urządzeń mikroelektronicznych,⁵⁷ że sprzężone enzymy w bioczujnikach naśladują sytuacje metaboliczne w komórce żywej, a jakimś ważnym aspektem sprzężonych reakcji z unieruchomionymi enzymami jest samoistne przetwarzanie sygnału, które właśnie wykazuje analogie do wyżej wspomnianych operacji matematycznych i elektronicznych.⁵⁸ Tak więc:

1) jeden czujnik zawierający dwa niezależne enzymy wykonuje dodawanie sygnałów z dwóch odpowiednich czujników monoenzymowych,

2) sygnał czujnika kompetycyjnego (współzawodnictwa) z dwoma enzymami dla jednego substratu jest ekwiwalentem różnicy sygnału z substratowego czujnika enzymowego i sygnału z kofaktorowego czujnika chemicznego,

3) wzmocnienie, dzięki obiegowi substratu lub kofaktora, jest równoważne wielokrotnemu dodawaniu, czyli mnożeniu sygnału z dwóch odpowiednich czujników monoenzymowych, ten obieg daje tranzystoropodobną charakterystykę krzywej prądowo-stężeniowej,

4) eliminacja substratu przez błonę antyzakłóceńową (antyinterferencyjną) odejmuje sygnał substratu zakłócającego od sumy zakłócającego substratu i substratu pożądanego.

Warto dodać, że pewne układy biologiczne mogą funkcjonować jako piroelektryczne detektory i przetworniki⁵⁹ zaś termoelektryczna przemiana energii mogłaby być jednym z rodzajów źródeł energii dla organizmów żywych. Sądzi się, że ta energia elektryczna może przekształcać się w energię chemiczną ATP w procesie fosforylacji oksydacyjnej.⁶⁰

Zapewne znaleźć można jeszcze wiele przykładów analogii substratowo-strukturalno-funkcjonalnych. Na przykład szukać ich można byłoby z urządzeniami chemotronicznymi, w postaci przetworników elektrokinetycznych i mechoelektrycznych. Te wspomniane wyżej rozmaite własności elektroniczne enzymów i odpowiadające im "cząstkowe" hipotezy oraz teorie takie jak półprzewodnikowa Cope'a, piezoelektryczna Caserta'y i Cervigni'ego, czy nadprzewodnikowa mogą mieć wspólną podstawę w istnieniu stanu plazmowego w określonych biostrukturach z jego istotną rolą w procesach katalitycznych. Problem zaangażowania plazmy fizycznej w procesy enzymatyczne, któremu poświęcony jest 3-ci rozdział niniejszej rozprawy, stanowi istotny element

⁵⁶ Okamoto & Hayashi 1986 s. 1, Okamoto i in. 1987 s. 1.

⁵⁷ p. następny paragraf.

⁵⁸ Rennenberg i in. 1986 s. 216.

⁵⁹ Athenstaedt 1985 s. 103, Athenstaedt 1987 s.

⁶⁰ Muller 1983 s. 319.

bioelektromagnetycznego modelu katalizy enzymatycznej.⁶¹

Poniżej zreferowane zostaną niektóre zastosowania biomateriałów - w szczególności enzymów - w elektronice, tj. w istniejącej od niedawna dziedzinie nazywanej elektroniką biomolekularną lub bioelektroniką.

2.2.2. Wykorzystanie enzymów w elektronice biomolekularnej

Termin bioelektronika jest w niniejszym podrozdziale używany w dwóch znaczeniach. Z jednej strony, na określenie nauki o zjawiskach życiowych przebiegających z udziałem elektronów jako swobodnych nośników ładunku. Bioelektronika w tym znaczeniu przypisuje kwantowym procesom elektronicznym istotne znaczenie w mechanizmach funkcjonowania różnorodnych zjawisk życiowych.⁶² Z drugiej strony zaś, na określenie dziedziny techniki, zwanej również niekiedy elektroniką biomolekularną, w której wykorzystywane są biomateriały lub imitowane są jakieś struktury czy funkcje życiowe.⁶³ W tej dziedzinie pozycję niewątpliwie dominującą mają Japończycy.⁶⁴

Bioelektronika w drugim znaczeniu, to także elektronika techniczna, w

⁶¹ Warto w tym miejscu wspomnieć o panujących jeszcze opiniach stwierdzających niemożliwość funkcjonowania układów żywych jako układów elektronicznych. Za przykład może służyć "Przedmowa" do książki T. Ścibor-Rylskiej "Tajemnice uorganizowania żywej komórki" pióra W. J. H. Kunickiego-Goldfingera (biologa, prominentnego wówczas członka PAN), w której to przedmowie jej autor nie tylko nie wykazał odpowiedniej dozy wyobraźni naukowej, ale nawet nieznane mu były współczesne osiągnięcia elektroniki. Oto parę charakterystycznych w tym względzie fragmentów:

- "Postępy elektroniki i cały rozwój współczesnej technologii zauroczył ludzi. Głęboko zakorzenione, na niczym zresztą nie oparte przeświadczenie, że natura zawsze znajduje najlepsze rozwiązania, skłania do szukania w naturze pierwowzorów takich osiągnięć technologicznych. A jednak układy biologiczne nie wynalazły elektroniki.";

- "Elektronika nasza posługuje się nie cząsteczkami, lecz wprawdzie zminiaturyzowanymi, ale w zestawieniu z makrocząsteczkami, olbrzymimi jednostkami. One same, jak i ich łącza, są zatem tak wielkie, że mogą unikać niebezpieczeństw związanych ze zjawiskiem "tunelowania". Pomysły wykorzystania makromolekuł jako jednostek układów elektronicznych należą z tych przyczyn do sfery science-fiction, ..." (W. J. H. Kunicki-Goldfinger, w: Ścibor-Rylska 1986 s. 16).

Przypomnieć należy również, iż do owego czasu, gdy wspomniany autor pisał tę przedmowę (czerwiec 1983 r.), odbyło się już dwa międzynarodowe spotkania naukowe poświęcone molekularnym urządzeniom elektronicznym; drugie z nich miało miejsce 13-15 kwietnia 1983 r. (Carter 1987).

⁶² zob. np. Szent-Györgyi 1968a, Sedlak 1979a, Sedlak 1984, Sedlak 1988a, Sedlak i in. 1990, Zon 1986b s. 183, Zon 1991-1992 s. 151, Zon & Tien 1988 s. 181; por. Bone & Zaba 1992; na temat elektronicznych własności układów biologicznych zob. np. Lipiński 1982, Marino 1988.

⁶³ zob. np. Hong 1989, Kaminuma 1985, Moriizumi 1987, Shinagawa 1987b, Carter 1982, Carter 1987, Carter i in. 1988, Sienicki 1993, Tien 1988 s. 171, Tien i in. 1988b s. S1, Tien i in. 1988a s. 171, Tien i in. 1990 s. 157, Tien i in. 1991 s. 323, De Rosa i in. 1994 s. 669, Göpel & Heiduschka 1994 s. iii, Göpel & Heiduschka 1995 s. U2, Nicolini 1995 s. 105, Watsuji i in. 1995 s. 101, Lotan i in. 1993 s. 635, Mahler i in. 1996.

⁶⁴ Aizawa 1985, Aizawa 1989 s. 146, Aizawa 1990b s. 5, Aizawa 1992 s. 5, Aizawa 1991a s. 1472, Aizawa 1988 s. 551, Aizawa 1984 s. 33, Aizawa 1991b s. 440, Karube 1992 s. 63, Sasabe 1988 s. 69, Sasabe i in. 1991 s. 149.

której wykorzystywane są nie tylko biomateriały, ale nawet mikroorganizmy.⁶⁵ Nazywana jest ona również elektroniką biomolekularną,⁶⁶ monoelektroniką molekularną⁶⁷ lub ogólniej elektroniką molekularną.⁶⁸

Zapotrzebowanie technologii elektronicznej na coraz większą złożoność i gęstość zintegrowanych obwodów, a także przekonanie, że przyszłe generacje komputerów (dla zwiększenia pojemności pamięci i szybkości przetwarzania informacji) wymagać będą zasadniczo nowych technologii opartych na całkowicie odmiennych typach materiałów, wymusiły zwrócenie większej uwagi badaczy na półprzewodniki i metale organiczne. Związki te (np. poliacetylen, polipirol) stały się ważnymi alternatywami dla tradycyjnych substancji nieorganicznych. Półprzewodzące polimery organiczne wykazują bowiem przewodność od 10^{-7} do $10^4 \Omega^{-1}m^{-1}$, a nawet więcej. Lista zastosowań tego rodzaju tzw. molekularnych materiałów elektronicznych obejmuje np. kondensatory, tranzystory, baterie, urządzenia pamięciowe, czujniki chemiczne, przetworniki, elektrody, elektrolity polimerowe, urządzenia optoelektroniczne itd.⁶⁹ Trzeba podkreślić, że owo zastosowanie materiałów organicznych polega na ich użyciu jako aktywnych komponentów obwodów elektronicznych, a nie tak jak dawniej na biernym użyciu ich jako izolatorów w funkcji obudowy.

Z kolei, po syntetycznych półprzewodnikach i metalach organicznych zainteresowano się biomateriałami. Zresztą zanim materiały pochodzenia biologicznego zastosowano w mikroelektronice, istniała od dość dawna technika wytwarzania i badania bardzo cienkich warstwek (niekiedy monomolekularnych) pewnych substancji, tzw. warstwek Langmuira-Blodgett, np. molekuł DNA, białek globularnych, kwasów tłuszczowych, chlorofili, porfiryn itd.⁷⁰ Technika ta stała się jedną z głównych metod stosowanych w elektronice biomolekularnej. Kilka odbytych w latach 80-tych sympozjów na temat molekularnych urządzeń elektronicznych mocno akcentowało znaczenie biomolekuł i różnych biostruktur dla konstruowania tzw. urządzeń biomolekularnych, biokomputerów, bioczujni-

⁶⁵ np. Clark 1994 s. 657, Grattarola & Martinoia 1994 s. 41, Schmid & Karube 1988 s. 317, May 1989 s. 35, Munn 1992 s. 207, Wangermann 1989 s. 9, Wangermann & Ivanitzki 1989, Lawrence 1987 s. 253, Lazarev 1991, Isoda 1991 s. 465, Zon & Tien 1988 s. 181, Cooper i in. 1993 s. R22.

⁶⁶ np. Phadke i in. 1988 s. S67, Tsong 1989b s. 83, Powers 1989 s. 115.

⁶⁷ Gilmanshin & Lazarev 1988 s. S83, Gilmanshin 1993 s. 1.

⁶⁸ np. Carter 1984c s. 243, Day 1990 s. 52, Tapuhi 1991 s. 45, Bloor 1992 s. 437, Aviram 1993 s. 13, Phadke 1995b s. 583, Subramanian 1994 s. 844, Wilson 1995 s. 3775, Krieger 1993 s. 896.

⁶⁹ zob. np. Potember i in. 1987a s. 574, Potember i in. 1987b s. 147, Meijer & van Roggen 1988 s. 119, Roth i in. 1989 s. C815, Pethrick 1987 s. 278, Potember i in. 1988 s. 663, Garnier & Horowitz 1987 s. 693, Yoshino i in. 1987 s. 741, Potember i in. 1986 s. 129, Rambidi & Zamalin 1986 s. 5, Carter 1985 s. 11, Carter 1984b s. 127, Saxena & Gunton 1986 s. 23.

⁷⁰ zob. art. przegl. np. Roberts 1985 s. 475, Sugi 1985 s. 3.

ków itd. Dziedzina ta nazywana jest również bioelektroniką.⁷¹

Poszukiwania mające na celu zastosowania biomolekuł do urządzeń elektronicznych obejmują m. in.: bioczuJNIki, biobaterie i wiele funkcji komputerowych. Na przykład w urządzeniach pamięciowych wykorzystuje się: bakteriorodopsynę, cytochromy *c* i *c*₃, ferrytynę, kolagen itd.; w bramkach wejściu/wyjściu - enzymy, receptory, metaloproteiny itd.; w bramkach elektronicznych i przełącznikach - ATPazę, receptory acetylocholinowe, układy fotosyntetyczne, wspomnianą wyżej bakteriorodopsynę itd.; w przewodach instalacji elektrycznej - antybiotyki polienowe i biopolimery przewodzące. Skonstruowano już: tranzystory enzymowe,⁷² enzymowe bramki logiczne,⁷³ piroelektryczne detektory enzymowe,⁷⁴ termistory enzymowe,⁷⁵ tranzystory bioczuJNIkowe wykorzystujące enzymy⁷⁶ itd. Zastosowania bioelektroniczne enzymów są przedmiotem licznych prac,⁷⁷ w szczególności: cytochromu *c*,⁷⁸ cytochromu *b*,⁷⁹ cytochromu *c*₃,⁸⁰ cytochromu *a*,⁸¹ cytochromu *c*₄,⁸² cytochromu *c*₇,⁸³ cytochromu *c*'⁸⁴ cytochromu *b*₂,⁸⁵ cytochromu *c*₅₅₁,⁸⁶ oksydazy cytochromowej,⁸⁷ cytochromu *b*₅₆₂,⁸⁸ peroksydazy chrzanowej,⁸⁹ dehydrogenazy

⁷¹ zob. art. przegl. Moriizumi 1987, Hamann 1987 s. 95, Aizawa 1987 s. 586, Aizawa 1988 s. 551, Aizawa 1989 s. 146, Akaike 1987 s. 86, Gilmanszin & Łazariew 1987a s. 421, Gilmanszin & Łazariew 1987b.

⁷² np. Winqvist i in. 1988 s. 232, Caras & Janata 1988 s. 247.

⁷³ Tuchman i in. 1994 s. 223, Lotan i in. 1993 s. 635.

⁷⁴ Arney 1989.

⁷⁵ Satoh 1987 s. 933, Danielsson & Mosbach 1988a s. 181, Danielsson 1991 s. 83.

⁷⁶ Kuriyama i in. 1986a, Kuriyama i in. 1986b.

⁷⁷ np. Aizawa 1987 s. 586, Aizawa 1990a s. 608, Aizawa i in. 1992 s. 139, Aizawa i in. 1989 s. 269, Lotan i in. 1993 s. 635, Phadke 1995a s. 179.

⁷⁸ Akaike 1987 s. 86, Akaike 1989 s. 102, Kamiyama i in. 1988, Tokuda & Isoda 1988, Tomizawa & Isoda 1988, Ogura & Isoda 1988a, Suzuki i in. 1989 s. 319, Phadke i in. 1991, McNeil i in. 1995 s. 75.

⁷⁹ Kamiyama i in. 1988, Ogura & Isoda 1988a.

⁸⁰ Niki 1991 s. 5, Ogura & Isoda 1988b, Ogura i in. 1988c.

⁸¹ Ogura & Isoda 1988a.

⁸² Ogura & Isoda 1988b, Ogura i in. 1988c.

⁸³ Ogura & Isoda 1988b, Ogura i in. 1988c.

⁸⁴ Ogura & Isoda 1988b, Ogura i in. 1988c.

⁸⁵ Ogura & Isoda 1988b, Ogura i in. 1988c.

⁸⁶ Iguchi i in. 1991.

⁸⁷ Powers 1994 s. 211.

⁸⁸ Sasabe i in. 1994 s. 271.

⁸⁹ Wright i in. 1995 s. 495.

fruktozowej,⁹⁰ oksydazy glikozowej,⁹¹ cytochromu *c-550*.⁹²

Nie tylko wykorzystuje się biomolekuły (np. DNA, RNA, białka, pigmenty itd.) jako materiał elektroniczny,⁹³ ale również określone struktury biologiczne traktuje się jak naturalne urządzenia elektroniczne, np. pigmenty wzrokowe (typu rodopsyny)⁹⁴ i anteny chlorofilowe jako naturalne molekularne urządzenia przełączające;⁹⁵ mikrotubule, cytoszkielet i neurony jako mikroprocesory,⁹⁶ zaś enzymy jako naturalne diody lub tranzystory.⁹⁷ Oszacowano, że energia przełączenia jest mniejsza o 7-8 rzędów wielkości w porównaniu z taką energią w wypadku dotychczasowych komputerów.⁹⁸

Pojawiły się też prace na temat bioukładów scalonych ("biochips") czyli mikroelektronicznych układów funkcjonalnych złożonych z biomolekuł.⁹⁹ Z tego rodzaju biotechnologii najważniejsze i najbardziej interesujące są biokomputery z bioukładami scalonymi ("biochips").¹⁰⁰ W tej dziedzinie patenty są coraz liczniejsze. Oczekuje się około 10 tysięcy razy większej mocy przetwarzania danych przez komputer na bioukładach scalonych w wypadku trójwymiarowej sieci obwodów elektronicznych.

Chociaż idea bioukładu scalonego liczy sobie zaledwie kilkanaście lat a pomysł obwodu zintegrowanego dopiero ponad 25 lat, to uważa się, że tego rodzaju zasady funkcjonowania są bardzo stare i być może liczą sobie ponad 4 mld lat, kiedy to jakieś skomplikowane łańcuchy molekularne stały się tym, co nazywamy dziś "kodem genetycznym".¹⁰¹ Przy tej okazji warto wspomnieć, że z ideami samoorganizujących się urządzeń molekularnych próbuje się dzisiaj

⁹⁰ Aizawa i in. 1994 s. 601.

⁹¹ Alvarez-Icaza i in. 1995 s. 735.

⁹² Canters & van Pouderoyen 1994 s. 637.

⁹³ zob. np. Lawrence & Birge 1984 s. 207, Carter 1984c s. 243, Ulmer 1982 s. 213, McAlear & Wehrung in. 1982 s. 175, Gilmanshin & Lazarev 1987 s. 71, Gilmanszin & Łazariew 1987c, Phadke i in. 1988 s. S-67, Ramsden i in. 1988 s. S-91.

⁹⁴ Honig 1982 s. 137, Hong 1995 s. 117, Todd i in. 1994 s. 49.

⁹⁵ Shipman 1982a s. 341, Shipman 1982b s. 51.

⁹⁶ np. Hameroff & Watt 1982b s. 341, Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243, Hameroff i in. 1992 s. 30, Matsumoto & Iijima 1989 s. 213, Hameroff & Watt 1982a s. 549, Lahoz-Beltra i in. 1993 s. 1, Koruga 1989 s. 231, Rasmussen i in. 1990 s. 428.

⁹⁷ Cardenas 1991 s. 111, Sucheta i in. 1992 s. 361, Okamoto i in. 1987 s. 1.

⁹⁸ Carter 1984 s. 175.

⁹⁹ Niestety wiele artykułów jest w językach azjatyckich. Okamoto & Wada 1984 s. 170, Moriya 1984 s. 569, Hung & Ma 1986 s. 334, Chiang 1986 s. 346, Tan 1988 s. 87, Shinagawa 1987b, Shinagawa 1987a s. 318, McAlear & Wehrung 1987 s. 623, Robinson & Seeman 1987 s. 295, Van Brunt 1985 s. 209, Kaminuma 1985, Hollenberg & Di Mauro 1991.

¹⁰⁰ Haddon & Lamola 1985 s. 1874, McAlear & Wehrung 1987 s. 623, Conrad 1989d s. 385, Koyano i in. 1992, Koyano i in. 1991, Okamoto & Wada 1984 s. 170, Robinson & Seeman 1987 s. 295, Saito i in. 1991a, Saito i in. 1992, Van Brunt 1985 s. 211, Shinagawa 1987b, Shinagawa 1987a s. 318, Kaminuma 1985, Chiang 1986 s. 346, Tan 1988 s. 87.

¹⁰¹ McAlear & Wehrung 1987 s. 623.

wiązać zagadnienie powstania życia.¹⁰²

Zupełnie nowych (jakościowo) generacji komputerów należy się spodziewać ze strony możliwości zastosowania biochipów jako urządzeń fotomolekularnych, gdzie światło (promieniowanie elektromagnetyczne zakresu widzialnego) byłoby używane do przełączania innego światła, przewodzonego falowodem (zamiast przełączania elektronów tak, jak dokonuje się to w tranzystorze). Komputer biomolekularny, w którym nośnikami sygnałów byłyby solitony, jest dalszym celem.¹⁰³ Mówi się już o biologicznych paradygmatach elektroniki molekularnej¹⁰⁴ i daje się zauważyć przekonanie o istnieniu elektronicznych funkcji bioukładów w naturze.¹⁰⁵

Oprócz prób wykorzystywania biomateriałów, a w szczególności enzymów, w tzw. biotechnologii biokomputerowej, istnieje obszerna dziedzina zastosowania ich do konstruowania bioczuJNIKÓW, tj. narzęDI lub ukłADÓW analitycznych, zawierających unieruchomiony materiał biologiczny (taki jak: enzym, antyciało, cała komórka, organella lub kombinacje tych elementów) będący w bezpośrednim kontakcie z odpowiednim urządzeniem przetwarzającym, które przekształca sygnał biochemiczny na zliczalny sygnał elektryczny.¹⁰⁶ BioczuJNIKI zawierające unieruchomione enzymy są kontynuacją rozwoju tzw. elektrod enzymowych.¹⁰⁷ Enzymy stosuje się w układach z wszelkimi typami przetworników sygnału, np. bioczuJNIKI elektrochemiczne,¹⁰⁸ optoelektroniczne.¹⁰⁹ Istnieją też termistory enzymowe,¹¹⁰ tranzystory enzymowe.¹¹¹

Najbardziej oryginalnymi wydają się być te czuJNIKI biokatalityczne, w których zamiast pojedynczego enzymu lub zespołu enzymów, stosuje się komórki bakterii lub grzybów, a nawet fragmenty tkanek zwierzęcych czy roślinnych

¹⁰² Kuhn 1987 s. 411.

¹⁰³ McLear & Wehrung 1987 s. 623.

¹⁰⁴ Chiabrera i in. 1993 s. 77, Chiabrera i in. 1991 s. 17.

¹⁰⁵ Należy tu jednak podkreślić, że w bardzo skąpej literaturze na ten temat nie podaje się istotnych szczegółów, które są z pewnością przedmiotem zastrzeżeń patentowych. Zobacz, na przykład szereg japońskich patentów na urządzenia wykorzystujące białka, a w szczególności cytochromy typu a, b i c (Tokuda & Isoda 1988, Tomizawa & Isoda 1988, Kamiyama i in. 1988, Ogura & Isoda 1988a, Ogura & Isoda 1988b, Ogura i in. 1988c).

¹⁰⁶ Zob. np. publ. książkowe: Turner i in. 1987, Karube 1986, Sorochinskii & Kurganov 1988, i art. przegl.: Gronow i in. 1985 s. 295, Koryta 1986 s. 515, Schmidt & Kittsteiner-Eberle 1986 s. 314, Scheller i in. 1985 s. 135, Winquist 1987, van Opstal & van Bemmkom 1986 s. 542, Aizawa 1987 s. 586, Rachinov 1986 s. 704, Karube 1985 s. 22, Scheller i in. 1984 s. 367.

¹⁰⁷ np. Barlett & Pratt 1993 s. 451.

¹⁰⁸ Bacha i in. 1995 s. 1669, Koncki i in. 1995 s. 653, Schuhmann 1995 s. 181, Alvarez-Icaza i in. 1995 s. 735, Suleiman & Guilbault 1994 s. 1.

¹⁰⁹ Lowe & Goldfinch 1988 s. 338.

¹¹⁰ np. Danielsson & Mosbach 1988a s. 181, Satoh 1987 s. 933, Danielsson i in. 1988b s. 139, Danielsson 1994 s. 173, Barlett & Birkin 1994 s. 1552, Winquist 1987.

¹¹¹ np. Winquist i in. 1988 s. 232, Caras 1988 s. 247, Kuriyama i in. 1986a, Kuriyama i in. 1986b.

(oczywiście jako materiał katalityczny).¹¹² Tego typu bioczujniki nie dość, że zachowują większą stabilną aktywność i selektywność oraz, że cechuje je dłuższy czas używalności, to jeszcze te żywe komórki umożliwiają "samoodtwarzalność" takiego czujnika.

Nie bez znaczenia jest też kierunek rozwoju zmierzający do miniaturyzowania bioczujników. Mikrobioczujniki enzymowe¹¹³ mają już zastosowanie w medycynie.

Na zakończenie warto wspomnieć o wykorzystaniu w elektronice molekularnej unieruchomionych enzymów, również w charakterze katalizatorów procesów elektrodowych. Zjawisko reakcji elektrochemicznych katalizowanych przez enzymy nazwano bioelektrokatalizą.¹¹⁴

Przedstawiony powyżej przegląd elektronicznych zastosowań biomateriałów, w szczególności enzymów, wydaje się świadczyć aż nadto o możliwości ich elektronicznego funkcjonowania *in vivo*, wbrew wspomnianej wyżej sceptycznej opinii Kunickiego-Goldfingera. W kolejnym podrozdziale przedstawiony zostanie przegląd propozycji teoretycznych dotyczących elektronicznych mechanizmów działania enzymów i biokatalizy.

2.3. Dotychczas proponowane elektroniczne mechanizmy biokatalizy

Relacje pomiędzy strukturą elektronową związków biologicznie czynnych, a ich aktywnością biologiczną są przedmiotem badań biochemii kwantowej (nazywanej też biologią kwantową). Właśnie obliczenia kwantowomechaniczne tej struktury w wypadku molekuł enzymów mają, jak się uważa, ważki wkład w wyjaśnianie mechanizmów biokatalizy, a także rozumienie procesów biochemicznych zachodzących w organizmach żywych. Aktywność biologiczna molekuly jest bowiem bardzo czułą funkcją jej struktury elektronowej. Próby powiązania własności tego typu struktury z aktywnością enzymów, będące w zasadzie klasycznym podejściem do katalizy enzymatycznej, nie będą tutaj referowane. Nie uwzględniają one bowiem przewodnictwa elektronicznego w układach biologicznych. Przykładami tego podejścia mogą być koncepcja elektroniczno-konformacyjnego sprzężania,¹¹⁵ czy model gęstości protonowo-elektronowych.¹¹⁶

Poniżej przedstawione zostaną jedynie te, nieliczne (jak się okazuje) idee, które wprost wiążą ruch swobodnych nośników ładunku w biostrukturach z

¹¹² np. Uchiyama & Rechnitz 1987 s. 457, Ikeda i in. 1992 s. 1359.

¹¹³ zob. np. Karube & Moriizumi 1988 s. 255.

¹¹⁴ Zob. np. Varfolomeev 1988 s. 430, Varfolomeyev & Bachurin 1984a s. 305, Varfolomeyev & Bachurin 1984b s. 315, Varfolomeyev i in. 1993 s. 331, Senda & Ikeda 1991 s. 229, Gindilis i in. 1988 s. 229, Schneider 1987.

¹¹⁵ Ferreira & Gomes 1982 s. 537.

¹¹⁶ Ressler 1982 s. 195.

katalizą enzymatyczną.

Jedną z najwcześniejszych idei, dotyczących powiązania zjawisk elektrycznych z funkcjonowaniem enzymów, była sugestia E. J. Lunda, że pola elektryczne w komórce powstają dzięki różnicom potencjałów elektrodowych pewnych enzymów oksydacyjnych.¹¹⁷ Według tej idei błona biologiczna jest strukturą sprzęgającą dwa układy redoks umieszczone po obu jej stronach.¹¹⁸ Sugestia powyższa została później rozwinięta przez T. L. Jahna,¹¹⁹ który zaproponował, iż potencjał elektryczny poprzez błonę biologiczną powstaje w wyniku różnicy potencjałów pomiędzy dwoma różnymi enzymami redoks na dwóch powierzchniach tej błony, z przewodnictwem elektronowym przez tę błonę za pośrednictwem nienasyconych łańcuchów węglowych wchodzących w skład lipidów. Ilościową postać tej koncepcji nadał F. W. Cope,¹²⁰ poświęcając szczególną uwagę oksydazie cytochromowej. Krótko mówiąc, koncepcja powyższa implikuje tezę, że aktywność enzymów oksydacyjnych w błonie jest sprzęgnięta z różnicą potencjału elektrycznego poprzez tę błonę.

2.3.1. Półprzewodnikowy mechanizm działania enzymów

W latach 1963-1979 powstała półprzewodnikowa teoria funkcjonowania oksydazy cytochromowej.¹²¹ Teoria ta stanowiła jedną z ważniejszych propozycji teoretycznych Freemana W. Cope'a w ramach jego tzw. biologii supramolekularnej i fizyki biologicznego ciała stałego, którymi to nazwami opatrzył on z biegiem czasu swoje koncepcje.¹²² W teorii tej Cope podszedł do zagadnienia kinetyki reakcji chemicznych katalizowanych przez enzymy w sposób zupełnie odmienny od klasycznego.¹²³ Sposób klasyczny, reprezentowany przez teorię Michaelisa-Mentena, opiera się na prawie działania mas. Zakłada się przy tym, że wszystkie reagujące molekuly pływają swobodnie w roztworze i szybkość reakcji jest proporcjonalna do częstości zderzeń pomiędzy cząsteczkami reagentów, które jest proporcjonalne do stężeń tych reagentów. W wypadku enzymów związanych z błonami, jak na przykład oksydaza cytochromowa, podejście klasyczne wydało się F. W. Cope'owi nieadekwatne. Stwierdził on, że enzym ten swoim zachowaniem nie odpowiada wzorowi Michaelisa-Mentena i

¹¹⁷ Lund 1928a s. 265 za Cope 1969 s. 519.

¹¹⁸ Lund 1928b s. 327 za Zon 1983 s. 165.

¹¹⁹ Jahn 1962 s. 129 za Cope 1969 s. 519.

¹²⁰ Cope 1963 s. 352.

¹²¹ Cope 1963 s. 352, Cope 1963 s. 165, Cope 1964 bez str. (za Cope 1979d s. 261 i Cope 1969 s. 519), Cope 1965 s. 237, Cope 1969 s. 519, Cope 1970 s. 1 (za Cope 1973 s. 627), Cope 1971 s. 579, Cope 1973b s. 627, Cope 1979d s. 261, Cope & Straub 1969 s. 761.

¹²² Zob. np. Cope 1973c s. 416, Cope 1974 s. 636, Cope 1975 s. 1, Cope 1980b s. 297.

¹²³ O tej "odmienności" świadczyć również może uwaga poczyniona na tytułowej stronie pierwszej publikacji Cope'a na ten temat (Cope 1963 s. 352), iż opinie i wnioski autora zawarte w tej publikacji nie mogą być traktowane jako odzwierciedlające poglądy lub poparcie instytucji zatrudniającej Cope'a (tj. US Naval Development Center, Johnsville, PA, USA).

uznał, że układ kinetyczny zawiera cząstki ciała stałego i błony; dlatego też kataliza może, a nawet musi, pociągać za sobą istnienie przewodnictwa elektronowego dwiema drogami:

- a) przez te ciała stałe, zgodnie z prawami fizyki ciała stałego,
- b) poprzez powierzchnię międzyfazową ciecz/ciało stałe, zgodnie z zachowaniem się elektrod.

Model oksydazy cytochromowej wyróżnia dwa miejsca, gdzie cząsteczki substratu o małym ciężarze mogą wymieniać elektrony z molekułą enzymu. Przy czym miejsce X może wymieniać elektrony tylko z substratem X, a miejsce Y tylko z substratem Y. Miejsca te traktowane są jako elektrody zanurzone w dwóch roztworach, przy różnych równowagowych potencjałach elektrodowych. Gdy połączy się te dwa miejsca za pomocą drutu (przewodnika) lub przez wewnętrzny opór cząsteczki enzymu, to popłynie prąd elektronowy limitowany opornością elektryczną jaka istnieje na drodze poprzez tę cząsteczkę. Tak więc różnica potencjału poprzez enzym powoduje przepływ prądu elektronowego poprzez niego, podobnie do prądu płynącego przez parę elektrod połączonych opornikiem. Sytuacja taka jest równoważna określonemu obwodowi elektrycznemu, w którym: bateria (V_{cell}) reprezentuje różnicę potencjału redoks pomiędzy miejscami X i Y, "i" wskazuje przepływ prądu poprzez cząstkę, V_{act} - nad napięcie aktywacyjne (będące spadkiem napięcia poprzez barierę energii aktywacji na przejściu międzyfazowym ciecz/ciało stałe, przy miejscu X), wreszcie V_{diff} (nad napięcie dyfuzyjne) jest spadkiem potencjału poprzez warstwę roztworu bezpośrednio przylegającą do miejsca X, który to spadek występuje wówczas, gdy reagent przy powierzchni cząstki jest "konsumowany" na tyle szybko, by zmniejszyć stężenie powierzchniowe znacznie poniżej stężenia objętościowego roztworu (dla uproszczenia, przyjęto za zerowe nad napięcia przy miejscu Y).

Celem teorii kinetycznej enzymów jest przewidywanie funkcji zmian stężenia substratu w czasie dla reakcji katalizowanej przez dany enzym, gdyż stężenie w zależności od czasu jest dość łatwo mierzalną charakterystyką procesu enzymatycznego. Wyprowadzenie takiej funkcji oparł Cope na wspomnianych powyżej fizycznych i chemicznych podstawach, odpowiednich dla oksydazy cytochromowej i warunków jej działania.

Najpierw została określona różnica potencjału poprzez cząstkę, którą to różnicę nazwano potencjałem ogniwa (V_{cell}). Reprezentuje ona różnicę równowagowych potencjałów elektrodowych dwóch miejsc w dwóch końcach cząstki,

$$V_{cell} = V_x - V_y \quad [1]$$

gdzie V_x i V_y oznaczają potencjały elektrodowe w miejscach odpowiednio X i Y. Zakładając, że redukcja 1 mola X_{ox} wymaga 1 mola elektronów, równanie powyższe zapisać można w innej postaci, wykorzystując równanie elektrodowe:

$$V_x = V_x^o + \frac{RT}{F} \ln \frac{[X_{ox}]}{[X_{red}]} \quad [2]$$

gdzie $[X_{ox}]$ i $[X_{red}]$ są stężeniami form utlenionej i zredukowanej substratu X; R jest stałą gazową, T - temperaturą bezwzględną, F - stałą Faraday'a, a V_x° - stałą. Suma stężeń form utlenionej i zredukowanej substratu X jest zawsze stała, toteż $[X_{ox}] + [X_{red}] = C_x$.

Przy założeniu, że substrat Y jest obecny w nadmiarze, tak że potencjał redoks w miejscu Y na cząstce jest stały, równania powyższe zostały skombinowane w ten sposób, aby otrzymać różnicę potencjału V_{cell} w terminach stężenia substratu w formie zredukowanej:

$$V_{cell} = V_o - \frac{RT}{F} \ln \frac{[X_{red}]}{C_x [X_{red}]} \quad [3]$$

gdzie V_o jest nową stałą równą różnicy ($V_x^\circ - V_y$). Z kolei, jeżeli założy się, że natężenie prądu (i) przez cząstkę enzymu jest podporządkowane prawu Ohma, co jest prawdziwe dla większości półprzewodników organicznych, to

$$V_{cell} = ir \quad [4]$$

gdzie r jest oporem elektrycznym poprzez cząstkę. Z uwagi na to, że jeden mol elektronów, który przepłynął poprzez cząstkę enzymu, redukuje (lub utlenia) jeden mol substratu, to można napisać, że

$$i = \frac{F d[X_{red}]}{dt} \quad [5]$$

Równanie różniczkowe redukcji substratu wyprowadzono następnie kombinując równania [3] i [4]:

$$-\frac{d[X_{red}]}{dt} = A \ln \frac{[X_{red}]}{C_x - [X_{red}]} - B \quad [6]$$

gdzie: t - czas, A i B są stałymi. Otrzymane równanie [6] jest właśnie podstawowym równaniem opisującym kinetykę enzymową, która jest limitowana przez przewodnictwo ohmowe elektronów poprzez cząstkę. Wykonując następnie wykres zależności $d[X_{red}]/dt$ od $\ln \{ [X_{red}] / C_x - [X_{red}] \}$ otrzymuje się linię prostą, która wskazuje na zgodność danych eksperymentalnych z równaniem [6]. Równanie to zostało następnie przekształcone w inne, dogodniejsze do scałkowania i analizy danych doświadczalnych:

$$-\frac{d[X_{red}]}{dt} = \left(\frac{\alpha}{C_x + \beta} + \gamma \right) [X_r] + \epsilon \quad [7]$$

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

gdzie α , β , γ , i ϵ - stałe. Uwzględnione zostało tu nad napięcie dyfuzyjne w miejscu X. Równanie to jest pierwszego rzędu ze względu na $[X_{red}]$ i przewiduje hiperboliczną relację pomiędzy stałą szybkości 1-go rzędu a C_x , ale o bardziej złożonej formie:

$$k' = \frac{\alpha}{C_x + \beta} + \gamma \quad [8]$$

lub

$$[k' - \gamma](C_x + \beta) = \alpha \quad [9]$$

Według tej relacji k' zmniejsza się, gdy wzrasta ogólne stężenie substratu (formy utlenionej plus zredukowanej).

Wzór kinetyczny o tej właśnie postaci został doświadczalnie stwierdzony dla oksydazy cytochromowej, katalizującej utlenianie zredukowanego cytochromu c za pomocą O_2 . Zaobserwowane to również zostało w wypadku innych enzymów, takich jak peroksydaza cytochromowa i karboksylaza pirogronianowa.

Klasyczne wyjaśnienie tego, niezwyklego zdaniem F. W. Cope'a, zachowania się w terminach prawa działania mas musiało postulować jakiś sposób inhibicji substratu lub pewną skomplikowaną sekwencję reakcji.

Teoria Cope'a przewiduje, że energia aktywacji reakcji katalizowanej przez oksydazę cytochromową powinna równać się energii aktywacji półprzewodnictwa dla tego enzymu (jako cząstki ciała stałego). Zostało to potwierdzone empirycznie. Oksydaza cytochromowa jest unikalna wśród zbadanych dotąd białek w tym właśnie względzie, że ma energię aktywacji około trzy razy niższą niż inne białka. K. P. Straub podał wartość wynoszącą średnio 0,26 eV.¹²⁴ Istnienie przewodnictwa elektronowego w oksydazie cytochromowej potwierdzają pomiary ruchliwości dryfowej elektronów dochodzącej do 10^{-9} m²/Vs i obliczona koncentracja nośników ładunku 10^7 elektronów na kilogram białka (obie wartości w temperaturze 298 K),¹²⁵ podczas gdy ruchliwość Halla wynosi $2,64 \times 10^{-3}$ m²/Vs.¹²⁶

W roku 1969 Cope i Straub wysunęli sugestię, że nośnikami ładunku w oksydazie cytochromowej mogą być polarony (kombinacja elektronu lub dziury z fononem) i, że te kwazicząstki sprzęgają procesy utleniania z fosforylacją w błonie mitochondrialnej. Owo sprzężenie utleniania z fosforylacją pociąga za sobą rozszczepienie tych polaronów i powstałe z nich fonony są źródłem energii dla tworzenia się ATP z ADP. Energia fononowa rozprzestrzenia się w warstwie lipidowej poprzez całą błonę mitochondrialną dzięki temu, że mitochondrium jako całość działa jak wnęka rezonansowa promieniowania elektromagnetycznego w

¹²⁴ Straub 1967 za Cope & Straub 1969 s. 761.

¹²⁵ Straub 1967 za Cope & Straub 1969 s. 761; Cope & Straub 1969 s. 761.

¹²⁶ Eley i in. 1973 s. 187 za Simionescu i in. 1978 s. 151. Na temat innych doświadczeń w tym zakresie zob. art. przegl. F. W. Cope'a (Cope 1975 s. 1, Cope 1980b s. 297).

zakresie podczerwieni. Z uwagi bowiem na to, że energia swobodna hydrolizy ATP (przyjęta za równą ok. 38 kJ/mol lub 0,31 eV/cząsteczkę) musi być energią fosforylacji ADP, fonon fosforylacyjny powinien mieć odpowiednio dużą energię, równoważną fotonowi o dł. fali 3,24 μm, czyli właśnie w zakresie podczerwieni. Teoria sprzężenia elektronowo-fononowego w fosforylacji oksydacyjnej została szerzej rozwinięta w późniejszej publikacji Cope'a.¹²⁷

Z półprzewodnikowym mechanizmem funkcjonowania niektórych enzymów ściśle łączy się inna teoria Cope'a, mianowicie teoria sprzężenia elektronowo-jonowego, zastosowana do karboksylazy pirogronianowej.¹²⁸ Opiera się ona na relacjach Onsagera opisujących sprzężone procesy fizyczne. Posługując się prostym modelem obwodu elektrycznego, równoważnego dla transportu jonów przez pory błony, sprzężonego z transportem elektronów poprzez białka tejże błony, wyprowadził on równanie wykazujące kinetykę I-go rzędu z hiperboliczną zależnością pomiędzy stałą szybkości reakcji a sumą stężeń substratu i produktu (C_x):

$$\frac{d[X_r]}{dt} = \left(\frac{\alpha}{C_x} - \gamma \right) [X_r] \quad [10]$$

gdzie α i β - są dodatnimi stałymi.

W Cope'a modelu sprzężonego transportu elektronowo-jonowego przez błonę biologiczną przyjęte zostały następujące założenia:¹²⁹

- a) zarówno strona X jak i Y błony posiada miejsca z enzymami zdolne wymienić elektrony z substratami odpowiednio X i Y,
- b) elektrony są przewodzone poprzez matrycę białkową błony pomiędzy tymi dwoma powierzchniami,
- c) każdy elektron przepływający przez tę błonę przeprowadza przez otwór jeden mały dodatnio naładowany jon (w),
- d) po każdej stronie błony znajduje się żel białkowy mający miejsca (W), do których przyłączony jest jon nieorganiczny (w) aczkolwiek swobodnie wymieniaalny (W_w - reprezentuje ten kompleks z jonem),
- e) dwie powierzchnie błony mają potencjały jonowe (E_w i E_w') analogiczne do elektronicznych potencjałów elektrodowych.

Wspomniana przed chwilą teoria sprzężonego transportu jest, zdaniem Cope'a, możliwa do zastosowania do wielu różnych typów układów innych niż układ sprzężonego transportu elektronowo-jonowego, np. układów mających sprzężone przewodnictwo elektronowo-elektronowe lub jonowo-jonowe.

Do półprzewodnictwa w molekułach enzymów również nawiązuje poniżej referowana piezoelektryczna teoria katalizy enzymatycznej.

¹²⁷ Cope 1973b s. 627.

¹²⁸ Cope 1965 s. 237.

¹²⁹ Cope 1965 s. 99, Cope 1965 s. 237.

2.3.2. Piezoelektryczna teoria katalizy enzymatycznej

Sugestię, że piezoelektryczność może odgrywać jakąś rolę w aktywacji lub hamowaniu enzymów wysunął, bodaj jako pierwszy, C. A. L. Basset,¹³⁰ jednakże nie podał żadnych konkretnych propozycji w tym względzie. Z kolei, nie biorąc w ogóle pod uwagę tej sugestii, G. Caserta i T. Cervigni¹³¹ zaaplikowali do katalizy enzymatycznej elektromechanochemiczną teorię procesów bioenergetycznych sformułowaną wcześniej przez D. E. Greena i S. Ji. W teorii tej, gdzie białka potraktowano jako urządzenia biologiczne służące do manipulowania energią w organizmie, podano następujące dwie zasady przetwarzania energii dla wyspecjalizowanych molekuł białkowych:¹³²

- a) przemiana energii termicznej w elektromechanochemiczną,
- b) polaryzacja odpowiednich wiązań chemicznych w cząsteczce substratu przez enzymy z pomocą energii elektromechanochemicznej.

Jednym z mechanizmów przemiany energii i jej magazynowania w organizmach żywych jest ruch oscylacyjny w cząsteczkach białkowych. Fluktuacje te mogą wytwarzać różnego rodzaju energie:

- a) elektryczną - z powodu ruchów ładunków i dipoli,
- b) mechaniczną - z uwagi na zmieniające się pozycje zrębów atomowych,
- c) chemiczną (tworzenie się i rozpadanie wiązań chemicznych).

Te indukowane termicznie fluktuacje w cząsteczkach białkowych mogą zostać przekształcone równocześnie w różne rodzaje energii, przed chwilą wymienione.

W odniesieniu do enzymów teoria elektromechanochemiczna stwierdza w ogólności, że:

a) enzymy są urządzeniami makromolekularnymi przekształcającymi okazjonalnie i w sposób nietrwały energię termiczną środowiska w elektromechanochemiczną energię potencjalną układu enzymatycznego;

b) energia elektromechanochemiczna kierowana jest do procesu polaryzacji wrażliwego wiązania chemicznego w substracie, w obrębie wnęki katalitycznej i w przeciagu istnienia stanu zasilanego energią; wnęka ta ma niską stałą dielektryczną a cykl oscylacyjny molekuły białkowej zamyka substrat w ustabilizowanym stanie konformacyjnym, gdzie krytyczna para atomów substratu polaryzuje się dzięki lokalnemu polu elektrycznemu; zakłada się tutaj, że wykorzystanie energii elektromechanochemicznej do rozdzielenia ładunków jakiejś pary atomowej w obrębie molekuły substratu jest kluczowym punktem katalizy enzymatycznej;

c) enzymy posiadają wysoką "zawartość informacji" (wyrażającą się miarą entropii ujemnej, która mierzy niestatystyczne uporządkowanie układów żywych), za pomocą której sterowane (kontrolowane) są manewry umożliwiające przekształcenie substrat-produkt.

Przesłanki powyższe Casserta i Cervigni zestawili z faktem

¹³⁰ Basset 1968 s. 252.

¹³¹ Caserta & Cervigni 1974 s. 4421.

¹³² zob. np. art. przegl. Guzelsu 1982 s. 201.

UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (mjwnuk@kul.lublin.pl). W

piezoelektryczności i półprzewodnictwa białek *in vitro*, twierdząc, że enzymy jako piezoelektryczne półprzewodniki manipulują energią w sposób umożliwiający spełnianie następujących funkcji:

1) bariera energetyczna (pokonanie której konieczne jest do przemiany substrat-produkt) obniża się dzięki działaniu pewnych czynników granicznych, które wiążą wrażliwy region substratu odpowiednimi wiązami mechanicznymi i elektrycznymi;

2) fale wibracyjne niskiej częstotliwości (obecne w termicznym tle poprzez strukturę enzymu) są wzmacniane selektywnie dzięki pewnemu prądowi elektronowemu zgodnie ze zwyczajnymi procesami znamionymi dla piezoelektrycznych półprzewodników;

3) energia towarzysząca tym wzmocnionym falom jest kanalizowana w kierunku labilnego substratu powodując wzrost pól elektrycznego lub mechanicznego, za pomocą których realizuje się przekształcenie substrat-produkt. Tak sformułowane tezy, które zdaniem ich autorów dotyczą wszystkich enzymów z wyjątkiem transferaz, są następnie szczegółowiej rozwijane z podaniem przybliżonych ocen ilościowych.

ad 1). **Obniżanie bariery energetycznej substrat-produkt.** Obniżanie tej energii jest uważane za jedną z najważniejszych funkcji enzymów. Według Caserta'y i Cervigni'ego proces ten może być wyjaśniony w terminach efektu piezoelektrycznego jeśli założy się, że substrat jako ciało piezoelektryczne przyłączony jest we wnęce katalitycznej w sposób umożliwiający oddziaływanie granicznych stanów elektrycznego lub mechanicznego na region wrażliwy substratu. Sprzężenie pomiędzy polami elektrycznym i mechanicznym w ciałach piezoelektrycznych może enzymowi pozwolić na użycie mniejszej siły mechanicznej lub elektrycznej do rozerwania odpowiednich wiązań chemicznych.

W pierwszym wypadku, w którym energia mechaniczna potrzebna jest do przekształcenia substrat-produkt, region wrażliwy substratu musi zostać odkształcony. Energia na jednostkę objętości (potrzebna do mechanicznego odkształcenia S we wrażliwym regionie substratu, gdy ten jest daleko od enzymu i ponadto odizolowany od jakiegoś źródła pól elektrycznych) równa się $cS^2/2$, gdzie c - moduł sprężystości materiału. Jeżeli region wrażliwy substratu we wnęce katalitycznej jest związany z czynnikiem dostarczającym ładunki elektryczne (co pozwala na skompensowanie stanu elektrycznego wewnątrz tego regionu (warunek zwarcia), to moduł sprężystości redukuje się o czynnik $(1 - K_r^2)$, gdzie K_r^2 - jest współczynnikiem sprzężenia piezoelektrycznego tego wrażliwego regionu, który to współczynnik jest z założenia różny od współczynnika dla innych regionów tego substratu (K_s^2).¹³³ Wskutek tego zmniejsza się o ten sam czynnik również mechaniczna energia przekształcenia. Czynnikiem spełniającymi funkcje wspomnianej wyżej kompensacji elektrycznej, umożliwiającymi przepływ tzw. prądu zwarcia, są prawdopodobnie grupy elektrofilne i nukleofilne obecne we wnęce katalitycznej.

¹³³ Współczynnik ten pokazuje jak dużo z całej wchodzącej energii elektrycznej przekształca się w zmagazynowaną energię mechaniczną lub jak dużo z wchodzącej energii mechanicznej pojawia się w postaci energii elektrycznej zmagazynowanej w danym materiale.

W drugim natomiast wypadku, w którym energia przemiany substrat-produkt ma formę energii elektrycznej, energia ta może być zredukowana wtedy, gdy region wrażliwy substratu chroniony jest przed deformacją (tzw. warunek "sklamrowania"). Energia elektryczna jest proporcjonalna do stałej dielektrycznej tego regionu, która byłaby wynosiła $(1 - K_r^2)$ razy wartość stałej, stosownej dla regionu wrażliwego, ulegającego deformacji. Przy założeniu, że struktura wnęki katalitycznej umożliwia pewnym obszarom substratu sztywne spojenie (sklamrowanie) z poszczególnymi miejscami tej wnęki w wielu enzymach oraz jeśli spełniony jest odpowiedni warunek graniczny, wówczas energia przekazywana od enzymu do substratu w celu dokonania przemiany określona jest następującym wzorem:

$$W = (1 - K_r^2) W_s \quad [11]$$

gdzie W_s - energia przemiany bez pomocy enzymu.

ad 2). **Selektywne wzmocnienie fal wibracyjnych niskiej częstotliwości.** Potrzebna w miejscu aktywnym enzymu energia otrzymywana jest poprzez wzmocnienie fal akustycznych (mechanicznych), które już są obecne w niektórych częściach lub w całej molekuale białkowej. Wzmocnienie takie jest konieczne z uwagi na to, że energia tych fal jest dwa rzędy wielkości niższa niż energia konieczna do reakcji enzymatycznych. Istnienie mechanizmu wzmocnienia tych drgań może być wynikiem jednoczesnego występowania piezoelektryczności i półprzewodnictwa w strukturze enzymatycznej, gdyż właśnie w piezoelektrycznych półprzewodnikach niewielkie pasmo z zakresu akustycznych (mechanicznych) drgań termicznych sieci może być selektywnie wzmocnione przez ruchliwe nośniki ładunku (elektrony lub dziury) dryfujące pod wpływem pola elektrycznego. Zaistnienie procesu wzmocnienia selektywnego wymaga spełnienia następujących warunków:

- a) prędkość dryfu elektronów (v_d) musi przewyższać prędkość fal akustycznych (v_s) rozchodzących się w kierunku przepływu prądu ($v_d = \mu E$, gdzie μ - ruchliwość elektronów, E - pole elektryczne przyłożone poprzez region wzmocnienia),
- b) $v_d \cos\Theta > v_s$, gdzie Θ - kąt między kierunkiem rozchodzenia się fali akustycznej a kierunkiem przepływu prądu,
- c) wzmocniane są tylko fale akustyczne o częstotliwości zbliżonej do optymalnej (f_m) równej w przybliżeniu:

$$f_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\sigma e v_s^2}{\epsilon_a \mu k T}} \quad [12]$$

gdzie: σ - przewodność elektryczna materiału, e - ładunek elektryczny, ϵ_a - absolutna stała dielektryczna,

d) wzmocnienie jest maksymalne (przy f_m), gdy przyłożone pole elektryczne równa się:

$$E_m = \frac{v_s}{\mu} \left[1 + 2 \sqrt{\frac{\sigma \mu kT}{\epsilon_a e v_s^2}} \right] \quad [13]$$

W regionie wzmacniającym energia wzrasta niemal wykładniczo od katody do anody i w sprzyjających warunkach może być nawet 10 rzędów wielkości większa, niż w wypadku równowagi termicznej.

Z kolei założono, że wskutek związania substratu z enzymem powstaje pole elektryczne wzdłuż kierunku wyznaczonego przez dwa zasadnicze, działające jako masywne elektrody, miejsca reakcyjne enzymu (tj. aktywne i allosteryczne) z substratem i kofaktorami. Te dwie elektrody odgraniczają rejon (aktywny), przypuszczalnie mający długość ok. kilkudziesięciu nm, równoważny regionowi wzmacniającemu półprzewodnika piezoelektrycznego. Przyjęto także, że prąd elektronowy płynie w regionie aktywnym w kierunku substratu. Jeżeli założy się ponadto, że różnica potencjałów pomiędzy tymi dwoma elektrodami osiąga prawdopodobnie kilkadziesiąt mV, to oznacza to, że w regionie aktywnym istnieje pole elektryczne o natężeniu rzędu $10^6 - 10^7$ V/m. Ponieważ szybkość przepływu elektronów, $v_d = \mu E$, może osiągać (dzięki ruchliwości elektronów w białkach dochodzącej do 0,002-0,005 m²/Vs) wartości przekraczające prędkość dźwięku (v_s), które w materiałach biologicznych są rzędu 10^3 m/s, to spełnienie głównego warunku jest wysoce prawdopodobne.

Oszacowana zgodnie z wzorem [12] częstotliwość fali akustycznej, f_m , na podstawie dostępnych wówczas danych dla materiałów białkowych ($\sigma = 3 \times 10^{-2} \Omega^{-1}m^{-1}$, $\epsilon = 2,5$, $\mu = 0,002$ m²/Vs oraz przy $T = 300$ K), odpowiadająca maksymalnemu wzmocnieniu wyniosła około 10^9 s⁻¹, a więc w zakresie częstotliwości stwierdzonych doświadczalnie dla białek. Inne oszacowane wielkości są następujące:

- optymalna wartość natężenia pola elektrycznego (z równania [13]) wynosi $7,5 \times 10^5$ V/m, dla regionów aktywnych o rozmiarach 10-100 nm pole to odpowiada różnicy potencjałów 7-70 mV,
- prędkość dryfu równa się $1,5 \times 10^3$ m/s,
- kąt stożka wzmocnienia rozchodzącej się energii akustycznej (zgodnie z $v_d \cos\Theta > v_s$) ma 48°.

Ze względu na brak danych nie udało się wspomnianym autorom oszacować wartości ΔW_a , wyrażono jednakże opinię, że do wystąpienia reakcji enzymatycznej, związana z modami akustycznymi energia termiczna tła musi być wzmocniona w najgorszym razie nie więcej niż 1000 razy, .

ad 3). **Wykorzystanie wzmocnionej energii w celu przekształcenia substrat-produkt.** Z uwagi na założenie, że substrat jest piezoelektrykiem przyczepionym do enzymu w pozycji współosiowej wzdłuż kierunku, w którym zachodzi proces wzmocnienia, nadmiar energii mechanicznej ΔW_a , wzmocnionej fali akustycznej, "uderza" w substrat. Część tej energii pojawi się w formie elektrycznej: $W_e = K_s^{-2} \Delta W_a$, a część w postaci mechanicznej: $W^m = (1 - K_s^{-2}) \Delta W_a$

(gdzie K_s^2 - współczynnik sprzężenia piezoelektrycznego dla substratu). Ponieważ do dokonania przemiany substratu w produkt potrzebna jest odpowiednia ilość energii elektrycznej bądź mechanicznej (określona wzorem [11]), to przemiana ta wystąpi wówczas, gdy proces wzmocnienia w enzymie jest taki, że W_e lub W_m jest równe W .

Piezoelektryczny model działania enzymów Caserta'y i Cervigni'ego został opracowany w oparciu o klasyczne potraktowanie procesów wzmocnienia akustycznego przy zaniedbaniu ujęcia kwantowo-mechanicznego. Mimo tego uproszczenia, jest jedną z odosobnionych, nielicznych koncepcji biokatalizy, która uwzględnia w procesach enzymatycznych ruch swobodnych nośników ładunku w molekułach białkowych. Do takich właśnie koncepcji również należą, omówione poniżej, idee wiążące działanie enzymów ze zjawiskiem nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego.

2.3.3. Nadprzewodnikowe hipotezy katalizy enzymatycznej

Pierwsze sugestie na temat możliwości istnienia nadprzewodnictwa w układach żywych wysunął w latach 60-tych W. A. Little i do tej pory brak jest jakiegokolwiek w pełni potwierdzonej teorii opisującej tzw. nadprzewodnictwo wysokotemperaturowe, a więc zjawisko występujące w temperaturach, w których funkcjonują organizmy żywe. Tocząca się w międzyczasie dyskusja w tym względzie wyłoniła wiele hipotez dotyczących roli nadprzewodnictwa jako możliwego mechanizmu wielu procesów biologicznych,¹³⁴ a w szczególności również enzymatycznych.

Większość prac mających na celu doświadczalne stwierdzenie nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego próbowało wykryć tzw. efekt Meissnera, jako jedną z najlepiej zbadanych i opisanych konsekwencji występowania stanu nadprzewodzącego jakiegoś systemu. W 1975 r. Ahmed i współpr.¹³⁵ opublikowali wyniki pomiarów podatności magnetycznej i dielektrycznej rozcieńczonych roztworów wodnych lizozymu. Pola rzędu 0,06 tesli powodują w 0,011 % (wag.) roztworze tego enzymu wzrost wielkości podatności diamagnetycznej rzędu $1,5 \times 10^{-6}$, co w przeliczeniu na molekułę stanowi wartość 10^4 razy wyższą od normalnie spodziewanej. Efekt ten znika powyżej pól krytycznych rzędu 0,08 T sugerując tym samym efekt Meissnera. W każdej molekułce lizozymu powinien byłby istnieć niewielki region nadprzewodzący o rozmiarach liniowych mniejszych niż tzw. głębokość wnikania Londona. Nie tylko cząsteczki lizozymu, ale również woda i jony mogłyby odgrywać jakąś rolę w ustaleniu (utwierdzeniu) regionów nadprzewodzących. Inne pomiary¹³⁶ pokazały, że pola magnetyczne i o częstotliwościach radiowych w zakresie 50 kHz do 300 MHz mogą zmieniać aktywność enzymatyczną rozcieńczonych

¹³⁴ zob. art. przegl. Cope 1982 s. 99.

¹³⁵ Ahmed i in. 1975 s. 129, Ahmed i in. 1976 s. 155.

¹³⁶ Shaya & Smith 1976 s. 215 za Pethig 1979 s. 341.

roztworów lizozymu.

Niestety wyżej wspomniane zmiany podatności diamagnetycznej roztworów lizozymu indukowane polem magnetycznym nie zostały potwierdzone przez innych badaczy,¹³⁷ a także, z rezultatami Ahmeda i jego współpracowników stoją w sprzeczności uzyskane przez Clarka i współpr.¹³⁸ wyniki pomiarów transportu elektronów w lizozymie w zależności od natężenia zewnętrznego pola magnetycznego.

O ile powyższe badania dotyczyły wyłącznie prób doświadczalnego wykrycia nadprzewodnictwa w cząsteczkach pewnego enzymu, bez przypisywania jakiegś roli temu zjawisku w mechanizmach biokatalizy, o tyle wprost do tej ostatniej możliwości nawiązują Achimowicz i współpr.¹³⁹ w swojej propozycji mechanizmu aktywności enzymatycznej opartego na kwantowych efektach kooperatywnych. Jedną z poprzednich hipotez pochodzenia specyficzności i wydajności działania enzymów oparta na tego rodzaju efektach (jak kondensacja Bose-Einsteina fononów), autorstwa H. Fröhlicha, wymagała założenia istnienia pompy energii koherentnej o pewnej mocy do wprowadzenia dalekozasięgowych sił selekcyjnych; możliwym źródłem energii byłby metabolizm układów biologicznych. Otóż hipoteza Achimowicza i współpr. nie wymaga takiego założenia.

Hipoteza ta powstała z analogii heurystycznej pomiędzy stopami binarnymi¹⁴⁰ a łańcuchami biomolekuł oddziaływujących wzajemnie ze sobą w rozpuszczalnikach polarnych. Właśnie stopy A-15, rozpatrywane jako układy sprzężonych łańcuchów jednowymiarowych, posiadają struktury wykazujące niestabilności widm elektronowych sugerujące zapoczątkowanie nadprzewodnictwa we względnie wysokich temperaturach. W hipotezie tej, cząsteczki enzymu i substratu potraktowano jak łańcuchy, których silne oddziaływania wzajemne [elektronowo-elektronowe, przebiegające za pośrednictwem elektronu (ekscytynu) i fononu] czynią strukturę elektroniczną kompleksu enzym-substrat niestabilną. Ma więc miejsce przejście strukturalne (tj. zmiany konformacyjne konieczne do wystąpienia reakcji katalizowanych), które jest analogiczne do niestabilności Peierlsa w sieciach krystalicznych. Stan nadprzewodzący ograniczałby się do kompleksu enzym-substrat i być może cząsteczek wody jako rozpuszczalnika, stanowiąc raczej koherentny stan elektronowy, występowanie którego jest równoważne istnieniu selektywnych sił molekularnych. Te kooperatywne siły razem z przekształceniami konformacyjnymi prowadzą do stworzenia regulacji enzymatycznej z wysoką zależnością aktywności enzymów od temperatury, promieniowania i składników substratu. W układzie enzymatycznym może również istnieć tzw. dalekozasięgowa korelacja stanów elektronowych spowodowana tunelowaniem elektronów typu Josephsona pomiędzy nadprzewodzącymi kompleksami molekularnymi, co jest równoważne powstaniu

¹³⁷ Sorensen i in. 1976 s. L251.

¹³⁸ Clark & Dunne 1979 s. 535.

¹³⁹ Achimowicz 1982 s. 23S, Achimowicz i in. 1977a s. 383, Achimowicz i in. 1977b.

¹⁴⁰ o tzw. strukturze A-15.

nowych sił molekularnych na poziomie chemicznym. Zdaniem autorów opisanej powyżej koncepcji, można ją zastosować także do enzymów działających na poziomie genetycznym i epigenetycznym, jak DNA-aza lub RNA-aza, a także kompleksów DNA z białkami regulującymi aktywność genów. Dodać również trzeba, że M. Conrad,¹⁴¹ w swoim modelu katalizy enzymatycznej, przypisuje istotne znaczenie właśnie sparowaniu elektronów o antyrównoległych spinach, które jest przecież podstawą nadprzewodnictwa.

Wobec braku bezpośrednich dowodów doświadczalnych występowania nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego w układach enzymatycznych propozycja sugerująca zaangażowanie tego stanu w procesy enzymatyczne pozostaje nadal otwarta. Warto w tym kontekście wspomnieć doniesienie autorów japońskich wskazujące na możliwość pojawienia się nadprzewodnictwa w preparatach cytochromu *c*.¹⁴² Problem istnienia nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego w biosystemach rozważali też niedawno H. Tributsch i L. Pohlmann.¹⁴³ Rozpatrywali oni nieliniowy transfer elektronowy z autokatalitycznymi pętlami sprzężenia zwrotnego i uprawdopodobnili tezę, że w biologicznych łańcuchach transferu elektronów może wystąpić nadprzewodnictwo w temperaturze fizjologicznej. Powstawałoby ono jako konsekwencja eksportu entropii w następstwie redukcji stopni swobody elektronów (lub dziur), spowodowanej przez nieliniowe sprzężenie zwrotne pomiędzy elektronami (lub gęstościami elektronowymi) struktur biomolekularnych.

Niezależnie od słuszności tej czy innej z przedstawionych powyżej elektronicznych teorii katalizy, w określonym zakresie fizycznych i chemicznych procesów wewnątrzkomórkowych, wydaje się, że zasadna jest teza o istotnym zaangażowaniu swobodnych nośników ładunku w procesach enzymatycznych. Poniżej, w dwóch kolejnych podrozdziałach, przedstawione zostaną nowe hipotezy bioelektroniczne dotyczące enzymów.

2.4. Enzymy jako nanoprocessory: procesorowa funkcja enzymów w bioelektronice technicznej i w układach żywych

W metabolicznych mechanizmach komórki i błon enzymy katalizują reakcje chemiczne dzięki stwarzaniu uporządkowanego środowiska dla tych reakcji, co jest koniecznym warunkiem ich zachodzenia. Przy nieobecności takiego bogatego w informacje środowiska pewne reakcje mogłyby przebiegać aż setki lat do swego zakończenia.¹⁴⁴ Gdyby więc nie informacja i enzymy, to komórka musiałaby obumrzeć na długo przedtem zanim odpowiednie reakcje by zaszły, tj. zanim zakończyłyby się procesy przebiegające bez udziału tych

¹⁴¹ Conrad 1974 s. 137.

¹⁴² Sugahara i in. 1986 s. 423.

¹⁴³ Tributsch & Pohlmann 1993 s. 225.

¹⁴⁴ Stonier 1990 s. 87.

przetworników energo-informacyjnych (enzymów).

Trzeba tu także podkreślić fakt, że w komórkach żywych nie tylko kwasy nukleinowe, ale i wiele białek, włącznie z enzymami, posiada zdolność do przetwarzania i przekazywania informacji (i to jako funkcje pierwotne);¹⁴⁵ chociaż tradycyjnie uważa się, że funkcją białek są transformacje chemiczne pośredników metabolicznych i budowanie struktur komórkowych.

O ile metabolizm jest względnie dobrze poznany, o tyle przetwarzanie informacji i sposoby organizowania przez nią przemiany masy i energii w rzeczywistości biotycznej - to jeszcze w dużej mierze *terra incognita*. Nie inaczej przedstawia się sytuacja poznawcza w odniesieniu do, badanych od dawna przez biochemię, biofizykę i inne nauki, enzymów i katalizy enzymatycznej - niezmiernie ważnych elementów biostruktur i procesów życiowych. Poniżej podjęta zostanie próba spojrzenia na te elementy w sposób odmienny od dotychczasowego. Aspekt taki jest tu usprawiedliwiony istnieniem nowego, bioelektronicznego paradygmatu w naukach biologicznych, wyrażającego postulat, iż przyroda w uorganizowaniu życia "uwzględniła" takie reakcje chemiczne, którym towarzyszą sprzężone z nimi kwantowomechanicznie procesy elektroniczne w półprzewodnikach białkowych. Stąd też, duże znaczenie poznawcze mają problemy: przekazywania energii i informacji wewnątrz biostruktur za pośrednictwem translukacji swobodnych elektronów i kwazicząstek, wewnątrzukładowego elektromagnetycznego sterowania procesami życiowymi, ultrasłabej bioluminescencji itd. Teza, że enzymy są urządzeniami elektronicznymi, a w szczególności nanoprocesorami (w sensie przetwarzającego informacje istotnego elementu komputera) zostanie tutaj zarysowana jako możliwa perspektywa rekonstrukcji bioelektronicznych własności i funkcji układów żywych. Perspektywa ta została już w pewnej mierze uprawdopodobniona dzięki przedstawionym wyżej analogiom z molekularnymi urządzeniami elektronicznymi.

Z kolei w elektronice molekularnej i biomolekularnej, rozwiązując zagadnienia dotyczące przetwarzania informacji, sięga się po wiedzę o systemach żywych.¹⁴⁶ Przepływ informacji jest tam bowiem badany w odniesieniu do rozmaitych biostruktur i biosystemów oraz jej nośników¹⁴⁷ chemicznych i fizycznych, jak: swobodne elektrony, fonony, ekscytony, polarony, solitony itd., włącznie z nośnikiem elektromagnetycznym.¹⁴⁸ W rezultacie, wykonuje się

¹⁴⁵ zob. np. Bray 1995 s. 307, Conrad 1992c s. 223.

¹⁴⁶ np. Bray 1995 s. 307, Conrad 1993a s. 103, Conrad 1993b s. 203, Conrad 1988b s. 287, Conrad 1992b s. 125, Conrad 1989b s. 75, Conrad 1989a s. 121, Conrad 1995a s. 157, Hopfield 1991 s. 217, Hopfield 1994 s. 53, Valleton 1988 s. S75, Koruga 1992 s. 5, Nicolini 1995 s. 105, Lawrence & Birge 1989 s. 407, Weisbuch 1986 s. 255, Huth i in. 1984 s. 227, Rambidi i in. 1991 s. 105, Rambidi & Chernavskii 1991 s. 115, Rambidi i in. 1993 s. 85, Rambidi 1992 s. 219, Rambidi 1993 s. 3, Gritsenko i in. 1991 s. 155, Rachimow 1986 s. 704, Pratt 1986 s. 145, McDonald 1993 s. R21.

¹⁴⁷ zob. np. Kohn & Bedrosian 1985 s. 55, Vassilev & Kanazirska 1985 s. 93, Kotyk 1992 s. 37, Cook 1984 s. 349, Paton 1993 s. 63.

¹⁴⁸ np. Triffet & Green 1988 s. 199, Bistolfi 1990b s. 4, Bistolfi 1990a s. 10, Bistolfi 1991, Tsong 1989a s. 89, Jibu & Yasue 1994 s. 59, Jibu & Yasue 1993a s. 123, Jibu & Yasue 1993c s. 15pp, Jibu & Yasue 1992 s. 797.

całkowicie organiczne tranzystory,¹⁴⁹ "dochodzi się" do tranzystorów w skali atomowej, gdzie kilkanaście atomów już wystarcza do pełnienia tego typu funkcji,¹⁵⁰ rozważa się kwantowe magazynowanie informacji,¹⁵¹ zaś przetwarzanie informacji w obrębie komputera molekularnego może się przecież dokonywać przy wykorzystaniu zaledwie pojedynczych elektronów, pojedynczych atomów lub pojedynczych grup chemicznych.¹⁵²

Z jednej strony powstała nanoelektronika i nanotechnologia,¹⁵³ z drugiej natomiast zarysowuje się nanobiologia (dziedzina badań bioukładów o rozmiarach w nanoskali).¹⁵⁴ Można zapewne już mówić przez analogię o "bionanohardware" i rekonstruowaniu "bionanosoftware". Usiłuje się bowiem konstruować sztuczne nanoukłady naśladujące naturalne układy biologiczne i oparte na przetwarzaniu informacji w biomolekułach.¹⁵⁵

Geneza informacji przetwarzanych w organizmach żywych na poziomie molekularnym ich organizacji była już przedmiotem wielu badań,¹⁵⁶ uwarunkowanych w dużej mierze postępem głównie genetyki molekularnej i teorii informacji, chociaż nie tylko w tych dziedzinach.¹⁵⁷ Niezwykle interesujące w tym kontekście są koncepcje funkcjonowania komórki żywej lub jej części jako komputera.¹⁵⁸ Duży wkład wniosła jednakże nie tyle biofizyka, ile elektronika biomolekularna. Wykazano bowiem, że takie biostruktury jak mikrotubule są procesorami

¹⁴⁹ Bloor 1991 s. 738, Brown i in. 1994 s. 257, Yang & Heeger 1994b s. 344.

¹⁵⁰ Washburn 1992 s. 199.

¹⁵¹ Maddox 1987 s. 97.

¹⁵² Mahler & Obermayer 1987.

¹⁵³ Carter 1985 s. 11, Carter & Siatkowski 1989 s. 307, Randall i in. 1989 s. 1398, Van Rossum 1993 s. 128, Luscombe 1992 s. 357, Fahy 1993 s. 2011, Hameroff 1987, Kaehler 1994 s. 1797, Göpel 1995 s. 35, Drexler 1994 s. 377, Connolly i in. 1991 s. 160; zob. także: Ball 1993a s. 123, Ball 1993b s. 123.

¹⁵⁴ np. Koruga 1992 s. 5, Nagayama 1992 s. 25, Hong 1992 s. 39.

¹⁵⁵ Hameroff 1987, Conrad 1985 s. 464, Valleton 1990 s. 109, Valleton 1988 s. S75, Chapeau-Blondeau 1995 s. 155, Conrad 1995a s. 157, Conrad 1995b s. 161, Kampfner 1995 s. 229, Rambidi 1995 s. 195, Rambidi & Maximychev 1995 s. 87, Biczó 1995 s. 233, Rambidi 1994 s. 45, Rambidi i in. 1994 s. 125.

¹⁵⁶ np. Fox 1974 s. 129, Eigen 1976 s. 1059, Küppers 1991, Kuhn 1976 s. 1209, Wicken 1978 s. 191, Yockey 1977 s. 377, Matsuno 1984 s. 489, Maurel 1991 s. 93, Lambert 1984 s. 387, Hatase & Wang 1989, Hong 1992 s. 189, Nicolis 1987 s. 1359, Pattee 1987 s. 325, Kotyk 1992 s. 37.

¹⁵⁷ np. Popp i in. 1979, Sedlak 1977a s. 439, Sedlak 1977b s. 149, Bistolfi 1990b s. 4, Bistolfi 1990a s. 10.

¹⁵⁸ np. Paton 1993 s. 63, Liberman 1972 s. 932, Wajncwajg & Liberman 1973 s. 939, Liberman & Szklowski 1973 s. 1121, Liberman 1974a s. 148, Liberman 1975a s. 432, Liberman 1975b s. 624, Liberman 1983 s. 183, Liberman 1989 s. 913, Liberman & Minina 1995 s. 203, Liberman & Minina 1996 s. 173, Kampfner 1995 s. 229, Rasmussen i in. 1990 s. 428, Hameroff & Watt 1982a s. 549, Hameroff i in. 1986 s. 949, Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243, Hameroff i in. 1989b s. 521, Conrad 1988b s. 287, Conrad 1992b s. 125, Matsuno 1995 s. 209, Sosic & Johnson 1995 s. 7, Holcombe & Paton 1993 prep.

informacji¹⁵⁹ i nie jest przesadą nazywanie ich automatami biomolekularnymi i nanokomputerami.¹⁶⁰ Na procesory te mogą wpływać pola elektromagnetyczne zewnętrzne i autogenne, jak również sztuczne pola, obecne w środowisku elektromagnetycznym jako jego zanieczyszczenie źródłami pochodzenia cywilizacyjnego,¹⁶¹ tym bardziej, że same tubule są naturalnymi urządzeniami fotonicznymi.¹⁶² Biosystemy mogą się komunikować dzięki transmisji i recepcji sygnałów elektromagnetycznych, za pośrednictwem receptorów błonowych i właśnie enzymów.¹⁶³ Enzymy te są molekularnymi wskaźnikami oddziaływań pól elektromagnetycznych,¹⁶⁴ absorbują one energię z pola elektrycznego,¹⁶⁵ odgrywającego rolę organizującą¹⁶⁶ do wykonywania swojej pracy.¹⁶⁷ Zresztą fotoaktywacja i fotomodulacja aktywności enzymów są znane od dawna¹⁶⁸ i mówi się już o fotoenzymach.¹⁶⁹ Enzymy "*komunikują się elektronicznie*" pomiędzy sobą.¹⁷⁰ Ich wzajemnego rozpoznawania się, jak również rozpoznawania substratów i produktów nie daje się scharakteryzować w terminach nawet dobrze zdefiniowanego zbioru stałych szybkości reakcji, ale raczej w wyrafinowanej fizyce obejmującej kwantową naturę procesów submolekularnych,¹⁷¹ ta zaś nie jest jeszcze wystarczająco rozwinięta. Enzymy będąc także detektorami koncentracji rozmaitych molekuł używają tę informację aby zmieniać swoją własną aktywność, tj. w pewnym sensie są podobne do komputerów i muszą być rozpatrywane jako "*biologiczne tranzystory*".¹⁷² Enzymy są maszynami, które organizują w sensie informacyjnym, całość procesów wewnątrz komórki żywej; sieci enzymów, jako "*molekularnych automatów*" lub równoległych procesorów,

¹⁵⁹ Vassilev & Kanazirska 1985 s. 93, Hameroff & Watt 1982b s. 341, Hameroff & Watt 1982a s. 549, Hameroff i in. 1992 s. 30, Lahoz-Beltra i in. 1993 s. 1, Koruga & Simic-Krstic 1990 s. 167, Koruga 1989 s. 231, Rasmussen i in. 1990 s. 428, Engelborghs 1992 s. 97, Engelborghs 1994 s. 685, Tuszyński 1995 s. 371, Dayhoff i in. 1994 s. 79, Hotani i in. 1992 s. 61, Werbos 1992 s. 75.

¹⁶⁰ Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243, Hameroff i in. 1989b s. 521, Hameroff i in. 1986 s. 949.

¹⁶¹ Wnuk 1994 s. 99.

¹⁶² Jibu i in. 1994 s. 195.

¹⁶³ Tsong 1989a s. 89.

¹⁶⁴ np. Adey 1989 s. 263, Adey & Sheppard 1987 s. 365, Westerhoff i in. 1987 s. 203, Snita & Marek 1989 s. 139, Neshev & Kirilova 1995 s. 17, Bolognani i in. 1995 s. 235.

¹⁶⁵ Westerhoff i in. 1986 s. 4734.

¹⁶⁶ Valleton & Sanfeld 1987 s. 137.

¹⁶⁷ Tsong 1989a s. 89, Tsong 1989b s. 83, Tsong & Astumian 1988 s. 273, Tsong i in. 1989 s. 319.

¹⁶⁸ np. Hug & Hunter 1991 s. 3, Anderson 1986 s. 1, Berg 1995 s. 153, Pacold i in. 1995 s. 297, Seto & Hsieh 1976 s. 813, Willner & Rubin 1996 s. 367.

¹⁶⁹ Begley 1994 s. 394, Willner & Zahavy 1994b s. 581.

¹⁷⁰ Shimomura 1991 s. 571, Willner & Willner 1994a s. 267.

¹⁷¹ Conrad 1992c s. 223.

¹⁷² Marijuán 1991 s. 259, Marijuán 1996 s. 163.

stanowią przez to pierwotną i podstawową cechę komórki.¹⁷³ Enzymy, dzięki swoim właściwościom specyficznego rozpoznawania i allosterycznej modulacji mogą integrować wiele oddzielnych procesów w systemowe całości z funkcjami koherentnymi, tak więc są prawdziwymi organizatorami procesów cytoplazmowych.¹⁷⁴ Nie jest zatem przesadą mówienie o istnieniu enzymatycznej podstawy przetwarzania informacji w komórce żywej.¹⁷⁵

W kontekście wspomnianej wyżej elektromagnetycznej teorii życia, nie jest to zaskakujące. Pozostaje jednak nadal problem fizycznych granic w przetwarzaniu informacji przez tak małe układy.¹⁷⁶

Wydaje się, że bioelektroniczna perspektywa przyszłych badań dotyczących enzymów polegać będzie na eksploracji nie tylko strony termodynamicznej, ale przede wszystkim aspektu informacyjnego ich funkcjonowania lub inaczej mówiąc elektromagnetycznej i kwantowo-akustycznej strony bioinformacji. Postępy w nanotechnologii elektronicznej dokonują się w dużej mierze dzięki "podpatrywaniu żywej przyrody" na submolekularnym i supramolekularnym poziomie jej uorganizowania. Rekonstrukcja strumieni elektronów, fononów, fotonów, plazmonów, solitonów i innych nośników energii i informacji w sieci układów enzymatycznych przybliży zapewne poznanie kanałów informacyjnych komórki żywej i wyjaśni submolekularne uorganizowanie biostruktur.

2.5. Enzymy jako generatory kwantowe

Wychodząc z ogólnej idei występowania w układach żywych efektów laserowych¹⁷⁷ można wysunąć hipotezę, która enzymy traktuje jako szczególnego rodzaju kwantowe urządzenia elektroniczne, tj. generatory kwantowe (biolasery, biomasery). Poniżej rozpatrzona zostanie taka właśnie możliwość.

Postuluje się tu tezę, że centrum aktywne enzymu (np. układ porfirynowy w enzymach hemowych) jest ośrodkiem czynnym, tzn. utrzymywany jest w stanie ujemnej absorpcji kosztem energii dostarczanej z zewnątrz. W układzie tym zaistnieć może inwersja obsadzeń poziomów energetycznych. Byłby to zapewne analogon naturalnego lasera półprzewodnikowego lub barwnikowego czy złączonego.¹⁷⁸ Ale zapewne największa analogia byłaby z laserami z kwantowym obszarem czynnym. Zasada ich działania polega na wykorzystaniu zjawiska kwantyzacji ruchu nośników ładunku zamkniętych w supercieńkich heterostruktu-

¹⁷³ Marijuán 1991 s. 259.

¹⁷⁴ Mirijuan i in. 1992 s. 97.

¹⁷⁵ Welch 1996 s. 147.

¹⁷⁶ Keyes 1988 s. 159, Chiabrera i in. 1989 s. 1571.

¹⁷⁷ np. Popp 1979 s. 123, Sedlak 1970b s. 143, Sedlak 1972a s. 533.

¹⁷⁸ Zob. np. zastosowanie chlorofilu do laserów barwnikowych (Hindman i in. 1977 s. 5).

rach.¹⁷⁹ Mają w nich miejsce kwantowe efekty rozmiarowe.¹⁸⁰ Struktury z wielokrotnym obszarem czynnym mogą działać również jako wnęka rezonansowa dla fononów, wzmacniając ich generację i umożliwiając akcję laserową dla przejść z udziałem fononów. Nie wykluczone przeto, że takie struktury mogą występować w enzymach wielohemowych. Wspomniane powyżej cechy powinny dać się skorelować z aktywnością i selektywnością enzymów. Nie bez znaczenia tutaj jest też hipoteza wody jako lasera,¹⁸¹ w której uważa się, iż koherentne oddziaływania pomiędzy dipolami elektrycznymi cząsteczek wody a promieniowaniem elektromagnetycznym spełnia bardzo ważne zadanie generowania uporządkowanych struktur w makroskopowych domenach o rozmiarach kilkuset mikronów, co może, zdaniem jej autorów, mieć fundamentalne znaczenie w organizacji zarówno materii nieożywionej jak i żywej.

Jedną z podstawowych zasad funkcjonowania katalizatora są procesy cykliczne. W pewnych wypadkach zamknięte procesy autokatalityczne nazwać można cyklicznymi procesami samoreprodukcyjnymi, działanie których jest niezależne od tego, jaki ze składników i w jakich ilościach bierze w nich udział. Samoreprodukcyjne (autokatalityczne) systemy procesów cyklicznych stanowią podstawę rozwoju świata żywego. Jeżeli systemy enzymowe uznać za minimalne biosystemy elektroniczne, to prawdopodobnie procesem cyklicznym byłoby pompowanie lasera i emisja wymuszona.

Niezmiernie interesujące w kontekście biologicznym może być to, że składniad generatory kwantowe są przykładami systemów, którym przypisuje się ujemne temperatury bezwzględne.¹⁸² W wypadku laserów pojęcie ujemnej temperatury dotyczy podukładu elektronów zajmujących wyższe poziomy energetyczne w układzie wytraconym z równowagi wskutek dopływu energii z zewnątrz. W wypadku $T < 0$ wyższe poziomy energetyczne są bardziej zapełnione, średnia energia układu jest większa niż dla $T > 0$. W zakresie temperatur ujemnych wzrost średniej energii układu związany jest ze zmniejszeniem się bezwzględnej wartości T , tj. najgorętszym stanom (średnia E_{\max}) odpowiada $T = -0$, zaś w zakresie temperatur dodatnich najzimniejszym stanem (E_{\min}) odpowiada $T = +0$.

To, że ujemne temperatury odpowiadają bardziej "gorącym" stanom układu niż temperatury dodatnie jest cechą, na którą warto zwrócić uwagę, bowiem w obszarze ujemnych temperatur entropia układu maleje ze wzrostem

¹⁷⁹ Zob. np. Mroziewicz i in. 1985 s. 201-213.

¹⁸⁰ Najważniejsze istotne cechy technicznych laserów z kwantowym obszarem czynnym są następujące: (a) w heterostrukturach ma miejsce rekombinacja pomiędzy zespołami elektronów i dziur o ściśle określonych energiach, (b) istnieje możliwość wzmocnienia oddziaływania elektron-fonon i uzyskania akcji laserowej dla przejść z udziałem fononów, (c) duży ($\Delta\lambda = 100$ nm) zakres przestrajania długości fali promieniowania, możliwy dzięki wypełnieniu dyskretnych stanów kwantowych w obszarze czynnym. Już dość dawno skonstruowano lasery zarówno z pojedynczym kwantowym obszarem czynnym, jak i wielokrotnym obszarem czynnym pracujące na fali ciągłej w temperaturze 300 K.

¹⁸¹ Del Giudice i in. 1988 s. 1085.

¹⁸² Pojęcie temperatury ujemnej (zob. np. Smirnowa 1980 s. 175-179) było po raz pierwszy wprowadzone dla opisu spinów jądrowych.

jego energii. Wynikałoby z tego, że dostarczanie energii spoza układu (np. poprzez pompowanie optyczne lub z reakcji egzoergicznej) nie tylko utrzymywałoby ten układ w wysokim stanie energetycznym, ale i powodowałoby, dzięki zmniejszeniu się entropii, coraz większe uorganizowanie tego układu. Gdyby przyjąć, że elektrony znajdujące się w obszarze ujemnej temperatury bezwzględnej stanowią nadprzewodzącą plazmę fizyczną, to byłaby ona przypuszczalnie źródłem wymuszającym uporządkowanie w biostrukturach.

Być może, że sprzężenie dwóch rodzajów plazm (tj. plazmy znajdującej się w ujemnym obszarze temperatur i plazmy w dodatnim obszarze temperatur) stanowiłoby istotę zjawisk życiowych na poziomie kwantowym. Zapewne kondensat Bose'go plazmonów w takich domenach plazmowych wziętych łącznie w skali całego organizmu, stanowiłby o specyfice bioplazmy danego organizmu.

2.6. Bioelektroniczny aspekt pochodzenia i ewolucji enzymów

Problematyka pochodzenia katalizy enzymatycznej i ewolucji enzymów jest jednym z ważkich inter- i transdyscyplinarnych zagadnień w ramach badań mających na celu rekonstrukcję procesów abiogenezy. Problematyka ta ma długą tradycję i poświęcono jej liczne publikacje.¹⁸³ Mimo to bioelektroniczny aspekt czeka dopiero na swoje opracowanie; tę lukę poznawczą autor już sygnalizował.¹⁸⁴ Czy możliwa jest obecnie rekonstrukcja procesów powstania katalizy enzymatycznej i ewolucji bioelektronicznej enzymów? Wydaje się, że jednak nie, przynajmniej przy obecnym stanie wiedzy z zakresu bioelektroniki enzymów. Zresztą dopiero od niedawna daje się zauważyć "przebijanie się" nowego aspektu poznawczego w badaniach abiogenezy i ewolucji, mianowicie aspektu biorącego pod uwagę kwantowomechaniczny opis bioukładów i kwantowe wzbudzenia kolektywne w organizmach żywych.¹⁸⁵ Do przyszłej rekonstrukcji w tym względzie będą potrzebne dane: o częstotliwościach rezonansowych promieniowania elektromagnetycznego oddziałującego z enzymami, niskopoziomowej emisji biofotonowej enzymów, ich pojemności informacyjnej etc.

Przed kilkunastu laty Szczepan W. Ślaga podkreślał, że przy próbach tworzenia modeli bioelektronicznych mających związek z rekonstrukcją abiogenezy wychodzić należy od możliwie najprostszyc układów biologicznych.¹⁸⁶ Nie wykluczone, że kierując się tym postulatem należałoby zwrócić uwagę właśnie na enzymy i katalizę enzymatyczną. W niniejszej rozprawie ten interesujący

¹⁸³ Zob. np. Bakyrdzijewa 1981 s. 19, Black 1970 s. 754, Buvet 1977 s. 267, Dose 1976 s. 149, Egami 1975 s. 1165, Fox 1984 s. 331, Georgiev & Bakardjieva 1975 s. 413, Hall & Koehn 1983 s. 53, Kacser & Beeby 1984 s. 38, Keleti & Welch 1984 s. 299, King 1980 s. 23, Lambert 1984 s. 387, McGlade & Allen 1986 s. 1052, Rudenko 1969, Szamosi 1986 s. 165, Visser 1984a s. 291, Visser 1984b s. 301, Visser 1984c s. 693, Visser 1984d s. 699, Williams & Fox 1974 s. 461.

¹⁸⁴ Wnuk 1990 s. 151.

¹⁸⁵ Chela-Flores 1985a, Sedlak 1975b s. 95, Szram 1980 s. 557, Ślaga 1984 s. 13, Wnuk 1987.

¹⁸⁶ por. Ślaga 1984 s. 13.

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

aspekt będzie jeszcze sygnalizowany w rozdziale 4-ym i 5-ym.

* * *

Celem drugiego rozdziału było przedstawienie aspektu bioelektronicznego katalizy enzymatycznej. Zaproponowano w tym względzie dwie nowe hipotezy, zgodnie z którymi enzymy są uważane za procesory informacji i generatory kwantowe. Propozycje te rozszerzają koncepcję elektromagnetycznej natury życia w aspekcie energetyczno-informacyjnym. Znaczenie filozoficzne aspektu bioelektronicznego polega na tym, że aspekt ten dotyczy najbardziej fundamentalnego, w świetle współczesnej wiedzy, poziomu uorganizowania procesów życiowych.

Zagadnienie udziału plazmy fizycznej w katalizie enzymatycznej, jako drugiego elementu bioelektromagnetycznego modelu biokatalizy, zostanie podjęte w następnym rozdziale. Jest ono bowiem znacznie trudniejsze i obszerniejsze.

3. BIOPLAZMOWY ASPEKT KATALIZY ENZYMATYCZNEJ

Istotne znaczenie ruchu swobodnych nośników ładunku, w szczególności elektronów, w procesach enzymatycznych (rozpatrywane w poprzednim rozdziale) usprawiedliwia teraz postawienie pytań o możliwość kolektywnego zachowania się tych nośników i zaangażowania się w te procesy plazmy fizycznej, tj. stanu materii innego niż stały, ciekły lub gazowy. Niniejszy rozdział ma na celu uprawdopodobnienie tezy, iż u podstaw mechanizmów katalizy enzymatycznej leży plazma fizyczna.

Dlaczego właśnie plazmowy mechanizm? Po cóż dodawać jeszcze jeden do wielu już istniejących? Przecież nawet samo istnienie półprzewodnictwa *in vivo* lub jego jakiegokolwiek znaczenie w procesach życiowych bywa kwestionowane. Obecnie dominują raczej poglądy biorące pod uwagę inne sposoby transportu ładunków i energii w biostrukturach. Za istotne uważa się tu przemieszczanie się elektronów powiązanych z dziurami lub fononami (np. model ekscytonowy, model polaronowy), a także elektro-solitonowy przekaz energii, nie mówiąc o tunelowym czy hoppingowym transporcie elektronów. Niedawno jednakże wykazano możliwość tworzenia się przestrzennych struktur dyssypatywnych obejmujących swobodne nośniki ładunku w biosystemach.¹ Otóż w świetle koncepcji elektromagnetycznej natury życia wydaje się, że istota i dynamika procesów enzymatycznych może być opisana i wyjaśniona w sposób równie niesprzeczny, a jednocześnie najprostszy, najbardziej adekwatny i najogólniejszy właśnie z punktu widzenia bioplazmowego.²

Należy zatem odpowiedzieć na kilka zasadniczych pytań dotyczących specyfiki stanu plazmowego w układach enzymatycznych, a więc pytań o właściwości, przyczyny, skutki i funkcje tego stanu w układach żywych. Innymi słowy chodzi przede wszystkim o to:

¹ Esperidiao i in. 1995 s. 569.

² Koncepcje elektromagnetycznej natury życia i bioplazmy są wzajemnie uwikłane. UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych; możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana (mjwnuk@kul.lublin.pl). W tekście nie występuje oryginalna numeracja stron.

- jakie są mikroplazmy³ układów enzymatycznych?,
- jak powstały te mikroplazmy?,
- jakie skutki wywołują?,
- jakie są funkcje tych mikroplazm i w jakie relacje są włączone?

Odpowiedzi na te złożone pytania są bardzo ważne. Umożliwią one, w przekonaniu autora, zbudowanie w przyszłości biofizycznej teorii katalizy enzymatycznej. A więc pozwolą: bliżej sprecyzować założenia i ustalić podstawowe tezy, wskazać na znane dotychczas fakty wyjaśniane przez tę teorię, przewidzieć nowe fakty w oparciu o nią oraz podać jej implikacje testowe.

Poniżej przedstawiona zostanie próba odpowiedzi na powyższe pytania. Korzystając z dostępnych danych empirycznych i własnych oryginalnych obliczeń, zaprezentowano możliwą rolę plazmy fizycznej w katalizie enzymatycznej.

3.1. Możliwość występowania plazmy fizycznej w układach enzymatycznych

Dyskusja wokół problemu istnienia plazmy fizycznej w organizmach żywych jest nadal otwarta.⁴ Ostatnia konferencja na temat bioplazmy,⁵ kładąca nacisk raczej na aspekty fizyczne tego nowego stanu materii i daleko idącą identyfikację jej z plazmą fizyczną uwikłaną w procesy metaboliczne, dostarczyła nowych argumentów i reinterpretacji istniejących już danych. Szczególnie obszernie opracowanie w tym względzie stanowi książka J. Zona⁶ na temat plazmy elektronowej w błonach biologicznych. Zostały tam sformułowane i sprawdzone procedury dyskusowania o możliwości występowania plazmy fizycznej w biostrukturach. Najogólniejsza konkluzja tej rozprawy polega na stwierdzeniu możliwości istnienia w biomembranach plazmy elektronowej (zarówno klasycznej jak i kwantowej), która może pośredniczyć w oddziaływaniu czynników środowiska zewnętrznego i wewnętrznego na stan procesów życiowych i brać udział w procesach bioenergetycznych oraz w koordynowaniu zjawisk przebiegających w bardzo krótkich przedziałach czasu, rzędu ω_p^{-1} sekundy (gdzie ω_p - częstość plazmowa).

Z uwagi na to, że wiele enzymów jest ulokowane w błonach lub na ich powierzchniach warto przytoczyć niektóre hipotetyczne właściwości tej plazmy. Najbardziej charakterystyczną cechą plazmy elektronowej w błonach⁷ byłoby

³ Termin "mikroplazma" użyto pierwotnie na określenie swobodnych nośników ładunku w złączu p-n, którego rozmiary odpowiadały w przybliżeniu zakresowi rozmiarów opatrywanemu przedrostkiem "mikro-". Tutaj posługuję się nim niezbyt precyzyjnie, zdając sobie sprawę, że biologiczne złącza p-n lub obszary plazmowe mogą mieć rozmiary znacznie mniejsze.

⁴ Zob. np. Quickenden & Tilbury 1986 s. 89, Zon 1987 s. 295. Na temat filozoficznych analiz kryteriów istnienia w naukach przyrodniczych zob. np. Czarnocka 1986.

⁵ Sedlak i in. 1988.

⁶ Zon 1986a.

⁷ Zon 1986a s. 414-416.

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

"*zdyspergowanie*" na poszczególne, oddziaływujące ze sobą zbiory ruchliwych elektronów (typu np. plazmy kinetycznej, plazmy kwantowej, gorącej plazmy impulsowej), których charakterystyki są silnie uzależnione od usytuowania przestrzenno-czasowego i zmian fizyko-chemicznych zachodzących w mikrośrodkowisku. Te poszczególne typy plazm mogłyby przekształcać się w siebie nawzajem, zaś niektóre jednostki plazmowe tego samego typu, ulegając silnemu sprzężeniu (np. na zasadzie rezonansu), umożliwiałyby koordynację przebiegu procesów realizowanych przez te jednostki, a zachodzących w wielu zbliżonych do siebie błonach. Stopień takiego sprzężenia może być uwarunkowany orientacją przestrzenną kierunku oscylacji plazmowych, których częstość zawiera się prawdopodobnie zakresie od mikrofal do fal świetlnych. Plazma elektronowa w błonach biologicznych byłaby ponadto, pod względem podstawowych własności fizycznych, taka sama jak plazma wytworzona w cienkim, niejednorodnym i zmieniającym się w czasie ośrodku ciekłokrystalicznym z domieszką cząstek w fazie stałej, poddanym oddziaływaniu silnego pola elektrycznego i światła. Plazma w błonach spełniałaby rolę pierwotnego receptora oddziaływań fizycznych i chemicznych na organizm, zwłaszcza takich, które poprzez zmianę parametrów plazmy wywołują zmiany: stopnia skolektywizowania oddziaływań między elektronami, przestrojenia częstotliwości drgań i stopnia bezkolizyjności plazmy. Teza o plazmie elektronowej w biomembranach wyjaśniałaby mechanizmy oddziaływań na organizmy: małych dawek promieniowania jonizującego (zarówno oddziaływań korzystnych jak i niekorzystnych), elektroaerozoli i mikrofal (o niewielkiej gęstości strumienia mocy i promieniowania cechującego się skrajnie wąską szerokością pasma).

Zapewne niektóre argumenty i dane wskazujące na istnienie plazmy elektronowej w błonach biologicznych są słuszne także w odniesieniu do układów enzymatycznych. Wspomniana powyżej praca Zona poświęca sporo miejsca zagadnieniom dotyczącym przewodnictwa elektronowego i przenikalności elektrycznej ośrodka wewnątrz błonowego.⁸ Stąd też ograniczę się tutaj jedynie do samych układów enzymatycznych. Zagadnienie możliwego występowania stanu plazmowego w tych układach rozpatrzone będzie w odniesieniu do dwóch ośrodków: pierwszego, którym są biomakromolekuły i struktury supramolekularne oraz drugiego, którym jest ciekłe otoczenie cząsteczek enzymów.

3.1.1. Makromolekuły enzymów i struktury supramolekularne

Faktem jest, że duża liczba rodzajów metabolicznie ważnych biomolekuł, przeważnie heterocyklicznych, spełniających istotne funkcje życiowe stanowi układy wiązań sprzężonych bogate w wysoce zdelokalizowane elektrony π , np. puryny, pirymidyny, porfiryny, pterydyny, flawiny, chinony, karoteny, retinale, tzw. wysokoenergetyczne fosforany, a także prawie wszystkie koenzymy itd.⁹ Wprawdzie enzymów jest kilka tysięcy, ale większość ich (wyłączając enzymy hydrolityczne) wykazuje aktywność katalityczną w sprzężeniu z koenzymami,

⁸ Zon 1986a s. 195-299.

⁹ Pullman 1972 s. 136, Pullman & Pullman 1962 s. 1137.

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

których liczba jest bardzo ograniczona. Niemal wszystkie koenzymy posiadają wiązania sprzężone, na przykład takie koenzymy oksydoredukcyjne jak: dwunukleotyd nikotynamidoadeninowy (NAD), dwunukleotyd flawinowy (FAD), mononukleotyd flawinowy (FMN), fosforan dwunukleotydu nikotynamidoadeninowego (NADP), chinony, hemy i syrohemy. Tego typu wiązania są również w takich koenzymach reakcji przenoszenia grup chemicznych, jak: fosforan pirydoksalu, koenzymy korynowe, pirofosforan tiaminy, kwas czterohydrofoliowy itd.

Oprócz delokalizacji elektronowej, która wpływa na wzrost trwałości danej molekuly, wspomniane wyżej w charakterze przykładów związki heterocykliczne dysponują atomami posiadającymi samotne pary elektronowe, jak azot lub tlen. Fakty te wskazują na dość dużą liczbę względnie swobodnych zdelokalizowanych elektronów π w enzymach, co przy permanentnym wzbudzeniu materii żywej (metastabilny stan wzbudzony można bowiem uznać za cechę charakterystyczną struktur żywych) umożliwia utworzenie się swoistego gazu elektronowego w sieci zrębów atomowych cząsteczek enzymów. Tak więc swobodne nośniki ładunku (przynajmniej elektrony) istnieją tam z dość dużym prawdopodobieństwem; konsekwentnie zatem, plazmowe ich zachowanie nie powinno być czymś nadzwyczajnym.

Interesujące w tym kontekście byłyby szczegółowe dane, *in vivo*, dotyczące struktury ścieżek przewodnictwa elektronowego, długości średniej drogi swobodnej nośników ładunku, gęstości elektronów swobodnych itp. w makromolekułach enzymów. Niestety są one niedostępne z powodu braku w tym względzie wyników odpowiednich pomiarów. Niemniej kwantowo-mechaniczne obliczenia komputerowe i doświadczenia *in vitro* (niestety w warunkach odbiegających znacznie od biologicznych) pozwalają określać prawdopodobne ścieżki przemieszczania się elektronów wewnątrz makromolekuly białkowej.

Jedną z możliwych ścieżek może rozciągać się poprzez łańcuch wiązań peptydowych, jakkolwiek szerokość przerwy energetycznej między najniższymi niewypełnionymi orbitalami a wypełnionymi orbitalami π tych wiązań jest zbyt duża (ponad 3 eV) w porównaniu ze średnią dostępną w układzie energią termiczną cząstek i, co za tym idzie, wzbudzenia termiczne elektronów do pasm przewodnictwa są bardzo mało prawdopodobne. Tym niemniej ścieżka tego typu, dla której przerwa energetyczna jest równoważna energiom fotonów absorbowanych przez biostrukturę w zakresie ultrafioletowym widma i porównywalna z energią wiązań, może mieć jakieś znaczenie w wypadku emisji tzw. mitogenetycznego promieniowania autogennego właśnie w zakresie ultrafioletu.

Drugim proponowanym rodzajem ścieżki przemieszczania się elektronów w biomakromolekułach i między nimi może być sieć wiązań wodorowych utworzona pomiędzy grupami C=O jednego peptydu a grupami NH sąsiedniego. Sieć taka współuczestniczy w tworzeniu struktury drugorzędowej i pofałdowaniu łańcuchów peptydowych.

Trzeci typ możliwej ścieżki dla elektronów może istnieć dzięki pośrednictwu specyficznych łańcuchów bocznych aminokwasów takich jak: aromatyczne łańcuchy boczne tyrozyny, fenyloalaniny, tryptofanu, czy łańcuchy boczne zawierające siarkę (-SR, -SH, -SS) oraz tworzeniu się kationów i anionów rodnikowych, np. tryptofan mógłby pośredniczyć w przemieszczaniu się elektronów pomiędzy cytochromem *c* i peroksydazą cytochromową *c*.

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

Kolejnym możliwym sposobem byłoby wykorzystywanie tzw. kanałów hydrofobowych prowadzących od powierzchni białka do grup prostetycznych, a będących środowiskiem o niskiej wartości przenikalności elektrycznej.

Istnieje również propozycja mechanizmu transferu elektronowego, tzw. mechanizmu podwójnej wymiany, w którym nie są zaangażowane niezapełnione orbitale π łańcucha peptydowego lecz orbitale zapełnione. W procesie tym następuje utrata elektronu z ligandu peptydowego i przejście elektronu do czynnika utleniającego, podczas gdy w tej samej chwili jakiś inny elektron jest przyjmowany od innego jeszcze czynnika redukującego.

Najbardziej preferowanymi przez elektrony ścieżkami są z pewnością wiązania sprzężone, obecne na ogół we wszystkich wspomnianych już koenzymach. Gdy takie grupy prostetyczne (np. porfiryny) występują w białku wówczas jego przewodność elektronowa jest znacznie większa niż w wypadku nieobecności tych grup. Na wielkość przewodności wpływać również może stan utlenienia danego białka, np. cytochrom c_3 , posiadający 4 grupy hemowe, ma w stanie zredukowanym przewodność 10 rzędów wielkości większą niż w stanie utlenionym, tj. rezystywność $0,57 \Omega\text{m}$ (przy 268 K), a więc odpowiadającą germanowi.¹⁰

Podsumowując należy stwierdzić, że w makromolekułach enzymów znajdują się różne domeny o większym lub mniejszym stopniu delokalizacji elektronów π , ścieżki przewodnictwa tworzące jedno-, dwu- i trójwymiarowe sieci o zróżnicowanych wielkościach przewodności. Czy wytworzony w tych sieciach gaz π -elektronowy może ulegać wzbudzeniom plazmowym? Temu właśnie problemowi wypadnie poświęcić teraz nieco uwagi.

Badania plazmy ciała stałego stanowią już obszerną dziedzinę wiedzy. Najliczniejsze są oczywiście ich wyniki odnoszące się do plazmy w wypadku metali i stopów, mniej liczne - do półprzewodników nieorganicznych,¹¹ a najmniej - do półprzewodników organicznych.¹² Zainteresowanie zjawiskami plazmowymi w materiale organicznym wzrosło ostatnio po udanych syntezach tzw. metali organicznych (substancji o bardzo wysokich wartościach przewodności elektronowej), z którymi wiąże się duże nadzieje, jeśli chodzi o ich zastosowania w elektronice. Badania plazmowych wzbudzeń elektronowych objęły takie związki organiczne (głównie metale organiczne i nadprzewodniki organiczne) jak: czterotiofulwaleno-czterocyjanochinodwumetan (TTF,TCNQ),¹³ bis-(etylenodwutiolo)czterotiofulwalenotrójjodek [Alfa-(BEDT-TTF)₂I₃],¹⁴ sześciometyleno-czteroselenofulwalino-czterocyjanochinodwumetan

¹⁰ Nakahara i in. 1979 s. 877.

¹¹ zob. np. Bass i in. 1975, Bielecki i in. 1984, Pożela 1977, Władimirow i in. 1979.

¹² Zob. przegląd. Gutmann i in. 1983k s. 390-392.

¹³ Bright i in. 1973 s. 943, Bright i in. 1974 s. 1328, Brosens & Devreese 1978 s. 445, Grant i in. 1973 s. 1311, Isihara & Nakane 1985 s. 85, Kahn i in. 1978 s. 4600, Ritsko i in. 1975 s. 1330, Tomkiewicz i in. 1977 s. 471, Welber i in. 1978 s. 2692, Williams & Bloch 1974 s. 1097, Williams & Bloch 1976 s. 64, Županović i in. 1985 s. 1751.

¹⁴ Własowa i in. 1986 s. 3037.

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

(HMTSF-TCNQ),¹⁵ Cs₂(TCNQ),¹⁶ czterometylo-
czteroselenafulwaleno-sześćiofluorofosforan [(TMTSF)₂PF₆]¹⁷ i inne tego typu
sole jak (TMTSF)₂ClO₄ i (TMTSF)₂AsF₆,¹⁸ poli-*p*-fenylen i polifenylenowiny-
len,¹⁹ poliacytylen,²⁰ i polimetaloftalocyjaniny (z np. Ni, Ge, Si).²¹ Do listy tej
należy dodać także grafit.²² W ostatnich latach szczególnym zainteresowaniem
cieszą się wzbudzenia plazmonowe w fullerenach (nowa odmiana węgla: C₆₀,
C₇₀ itp.)²³ i w nanorureczkach²⁴ węglowych.²⁵ Niektóre typy wyżej wspomnia-
nych substancji są bardzo interesujące ponieważ układy wiązań sprzężonych (jak
w poliacytylenie, fullerenach) występują również w układach biologicznych, a
pierścienie cykloczteropirołowe (jak we ftalocyjaninach) są podobne elektronicz-
nie i strukturalnie do biochemicznych związków czteropirołowych (porfiryn,
hemów, chlorofili).

Nie biorąc pod uwagę laserowo indukowanej plazmy wysokotemperaturowej
w strukturach żywych,²⁶ wzbudzenia plazmowe zdelokalizowanych elektronów
w materiałach biologicznych nie są jeszcze przedmiotem badań, być może z
powodu trudności metodycznych. Oczekiwać należy ich pokonania prawdopodobnie
w niedalekiej przyszłości. Poza pracami teoretycznymi w nurcie bioelektroniki,
pojawily się względnie niedawno w ramach fizyki ciała stałego niezmiernie
interesujące doniesienia na temat plazmonów w kwasie deoksyrybonukleino-
wym²⁷ i wzbudzeń plazmonów dwuwymiarowych w błonach biologicznych.²⁸

Tak więc teza o możliwości istnienia plazmy fizycznej w makromolekułach
enzymów okazuje się bardzo prawdopodobna. Problemy, które należałoby podjąć

¹⁵ Jacobsen i in. 1977 s. 349, Županović i in. 1985 s. 1751.

¹⁶ Własowa i in. 1975 s. 3529.

¹⁷ Jacobsen i in. 1981 s. 1142, Yamaji 1986 s. 406.

¹⁸ Yamaji 1986 s. 406.

¹⁹ Fink 1987 s. 87.

²⁰ Drechsler & Bobeth 1985a s. 267, Drechsler & Bobeth 1985b s. 261, Fink 1987 s. 87,
Haase & Taut 1989 s. 225, March 1985a s. 368, March 1985b s. 719, Mintmire & White 1983 s.
1447, Ritsko 1982 s. 2192, Ritsko i in. 1983 s. 4902, Ritsko i in. 1980 s. 1351, Zscheile i in. 1984
s. K161.

²¹ Diel i in. 1983 s. 1551.

²² Caputi i in. 1986 s. 6080, Shung 1986 s. 979, Hoffman i in. 1993 s. 16078, Lin-Chung &
Rajagopal 1994a s. 8454, Kobayashi i in. 1994 s. 2010, Lucas i in. 1995 s. 470.

²³ Antropov i in. 1993 s. 7651, Barton & Eberlein 1991 s. 1512, Bertsch i in. 1991 s. 2690,
Cohen i in. 1994 s. 519, Hertel i in. 1992 s. 784, Jost i in. 1991 s. 1966, Ju i in. 1993 s. 9071, Kresin
& Kresin 1994 s. 2715, Kuzuo i in. 1994 s. L1316, Östling i in. 1993 s. S282, Rubio i in. 1993 s.
247, Saito i in. 1991b s. L1068, Van Giai & Lipparini 1993 s. 193.

²⁴ tj. strukturach o rozmiarach nanometrowych.

²⁵ Lin & Shung 1994 s. 17744, Bursil i in. 1994 s. 2882, Yannouleas i in. 1994 s. 7977.

²⁶ Moseley & Allan 1987 s. 1159.

²⁷ Van Zandt & Saxena 1988 s. 1788, Van Zandt & Saxena 1989 s. 2672, Saxena i in. 1989
s. 1474, Saxena & Van Zandt 1992 s. 227.

²⁸ Fisun 1993 s. 57.

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

w tym kontekście dotyczą już raczej rodzaju domen²⁹ plazmowych, parametrów i własności tych domen itd., a także wzajemnego oddziaływania tych rodzajów plazm na poziomie supramolekularnym. Poniżej rozpatrzone zostanie pokrewne zagadnienie możliwości występowania plazmy fizycznej w płynnym środowisku enzymów.

3.1.2. Faza ciekła otaczająca enzymy

Uzasadnienie tezy o plazmowym zachowaniu się otaczającego (częściowo lub całkowicie) makromolekuły enzymów elektrolitu, zawierającego także substraty i produkty reakcji enzymatycznych, wydaje się znacznie trudniejsze. Badania plazmy cieczy i roztworów (z wyjątkiem ciekłych metali i stopów oraz stopionych soli) są bowiem dopiero w stadium początkowym.

Istniejące już sugestie możliwego występowania plazmy jonowej w cytoplazmie³⁰ i nieliczne, co prawda, prace dotyczące plazmy elektrolitów, np. roztworu wodnego NaCl,³¹ a nawet samej wody³² pozwalają domniemać, że i elektrolit biologiczny może wykazywać zachowanie plazmowe. Właśnie jako układ plazmowy modelowano przewodnictwo jonowe komórki nerwowej.³³ Co więcej, wysuwano przypuszczenie o istotnej roli oscylacji plazmowych dipoli w regulacji konformacji białek i w funkcjach nerwowych.³⁴ Usiłowano też wykazać możliwość³⁵ lub niemożność³⁶ wzbudzania się magnetohydrodynamicznych fal plazmopodobnych w fizjologicznym roztworze wodnym. Trzeba jednak zaznaczyć, że donoszono również o rezonansie cyklotronowym jonów w komórce żywej,³⁷ a więc o efekcie typowym również dla plazmy fizycznej.

Istotny wpływ na zjawiska katalityczne ma, jak się wydaje, tzw. podwójna warstwa elektryczna przy powierzchni danego katalizatora. Z uwagi na to, że enzym traktowany jest tu jako półprzewodnik, to na granicy rozdziału faz istnieją w gruncie rzeczy dwie rozmyte warstwy podwójne: jedna w elektrolicie, druga w półprzewodniku. Obszar tych podwójnych warstw, w którym występuje ładunek nadmiarowy można uważać za przestrzeń wypełnioną plazmą fizyczną naładowaną elektrycznie. W skład tej plazmy wchodziłyby nie tylko jony i dipole wody, ale również uwodnione elektrony. Te ostatnie mogą mieć pewne znaczenie w

²⁹ tj. obszarów, w których występuje plazma.

³⁰ Wasilewski 1976 s. 71/43-76, Zon 1980 s. 28, Zon 1980 s. 357.

³¹ Dodo 1983 s. 715.

³² Banville i in. 1977 s. 2143, Lobo i in. 1973 s. 5992.

³³ Triffet & Green 1980 s. 3.

³⁴ Hameroff i in. 1982c s. 183.

³⁵ Kuzniecowa 1979 s. 865.

³⁶ Lifszyc i in. 1983 s. 524.

³⁷ Liboff 1985a s. 281, Liboff 1985b s. 99, Smith i in. 1987 s. 215, Smith i in. 1995 s. 161, Liboff i in. 1987 s. 13, Halle 1988 s. 381, McLeod i in. 1992 s. 15, McLeod i in. 1987 s. 1, Sandweiss 1990 s. 203, Zhadin & Fesenko 1990 s. 245.

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

katalizie, bowiem nie wykluczano możliwości, że podczas chemisorpcji wody na polimerach obdarzonych niesparowanymi elektronami mogłyby powstawać elektrony uwodnione, które w istotny sposób przyczyniałyby się do zmiany własności i mechanizmu transportu ładunków w tego typu układach.³⁸ Wprawdzie badane klasycznie zjawiska bioelektrochemiczne na granicy rozdziału faz są rozpatrywane na modelu *izolator / elektrolit*,³⁹ pomimo iż adekwatniejszym byłby model *półprzewodnik / elektrolit*, to jednak nawet i to nie przeszkadza potraktować je (tzn. te zjawiska) tutaj w kategoriach plazmowych, mówi się bowiem o plazmonach nawet w izolatorach.⁴⁰ Warto przy tej okazji zwrócić uwagę na to, że w cieczach polarnych, w tym również w wodzie, mogą tworzyć się plazmony dwubiegunowe.⁴¹ W tym wypadku mówi się o plazmie dipolowej. Niewykluczone więc, że **układ >>plazma elektronowa / plazma dipolowa<<** będzie adekwatniejszym modelem od dotychczasowych.

Reasumując powyższe stwierdzić należy, że bardzo prawdopodobne jest występowanie różnych obszarów plazmowych w obrębie makromolekuł enzymów i ich przypowierzchniowych warstw elektrolitów. Stwierdzenie takie jest jednak zbyt ogólne i należałoby teraz oszacować ilościowe warunki występowania stanu plazmowego w konkretnych układach enzymatycznych, a przynajmniej w jakimś modelowym układzie. Następnie trzeba byłoby scharakteryzować własności tych domen plazmowych i znaleźć korelacje i związki z termodynamicznymi i kinetycznymi parametrami opisującymi poszczególne procesy katalityczne. Zadanie powyższe jest bardzo złożone, obszerne i niezmiernie trudne do wykonania nawet dla jakiegoś zespołu badawczego. Całkowite zrealizowanie tego zadania, zresztą wychodzącego znacznie poza zakres i charakter filozoficzny niniejszej rozprawy, dokona się zapewne w dalszej przyszłości z uwagi na aktualny brak wielu niezbędnych do tego celu danych. Dlatego w niniejszym opracowaniu, jedynie zostaną wskazane możliwe kierunki rozważań i zapoczątkowane w tym względzie rozwiązania.

3.2. Prawdopodobne warunki ilościowe występowania stanu plazmowego w układach enzymatycznych

Kolejnym elementem odpowiedzi na postawione na początku tego rozdziału pytanie "jakie są własności mikroplazmy układów enzymatycznych?" jest określenie warunków ilościowych występowania stanu plazmowego w tych biostrukturach. Najpierw rozpatrzone więc zostanie kryterium istnienia stanu plazmowego jakie stosuje się dla plazmy fizycznej, a potem kryteria określające rodzaje tej plazmy.

³⁸ Kryszewski 1968 s. 330.

³⁹ zob. np. Bogusławski 1978.

⁴⁰ Egri 1985 s. 1191, Egri 1985 s. 363.

⁴¹ Ascarelli 1977 s. 1916, Banville i in. 1977 s. 2143, Lobo 1973 s. 5992.
UWAGA: Tekst został zrekonstruowany przy pomocy środków automatycznych;
możliwe są więc pewne błędy, których sygnalizacja jest mile widziana
(mjwnuk@kul.lublin.pl). W tekście nie występuje oryginalna numeracja stron.

3.2.1. Kryterium występowania stanu plazmowego w układach fizycznych

Termin plazma, pochodzący z języka greckiego (πλάσμα) i oznaczający pewien uorganizowany twór, przyjął się najpierw w biologii i parapsychologii, a dopiero później (w latach 20-tych bieżącego stulecia) trafił do fizyki w zmienionym znaczeniu. Nazwano nim nowy stan materii - zjonizowany gaz, stosując dookreślenie "plazma fizyczna" dla zaznaczenia różnicy od cytoplazmy, protoplazmy itd. Następnie określenie plazma fizyczna rozszerzono na gaz elektronowy w ciałach stałych, a wreszcie nawet na układ zawierający naładowane elektrycznie składniki bez względu na to czy są one swobodne czy związane.

Przyjmuje się obecnie, że plazma fizyczna jest zbiorem różnego rodzaju cząstek o ładunkach dodatnich i ujemnych, z których przynajmniej jeden rodzaj to cząstki poruszające się swobodnie, których ruch podlega prawom statystycznym. Plazma taka różni się więc od zwykłego zbioru cząstek istnieniem w niej silnych oddziaływań wzajemnych pomiędzy cząstkami, sprawiających, że między położeniami cząstek w danej objętości zachodzi korelacja.⁴² Podstawową zatem właściwością plazmy fizycznej jest zarówno swobodne przemieszczanie się naładowanych cząstek, jak i ich wzajemne oddziaływanie zgodnie z prawem Coulomba, w następstwie czego istnieje kolektywny charakter oddziaływania naładowanych cząstek z cząstką zadaną w zasięgu kuli o promieniu Debye'a (λ_D) albo promieniu Thomasa-Fermiego (λ_{FT}) w wypadku plazmy zdegenerowanej. Ażeby ów kolektywny charakter oddziaływań mógł się przejawiać konieczne jest spełnienie warunku [14]:⁴³

$$N_D = \frac{4}{3} \pi n_o \lambda_D^3 > 1 \quad [14]$$

gdzie: N_D - liczba nośników ładunku w kuli o promieniu Debye'a (λ_D), inaczej tzw. liczba Debye'a; n_o - gęstość cząstek wyrażona liczbą cząstek w jednostce objętości (m^3), λ_D - długość (promień) Debye'a, tj. charakterystyczna odległość, na której potencjał ładunku jest ekranowany sąsiednimi cząstkami naładowanymi. Z warunku [14] wynika nierówność [15]:

$$n_o^{-1/3} < \lambda_D \quad [15]$$

która jest warunkiem koniecznym istnienia stanu plazmowego (gdzie $n_o^{-1/3}$ jest definiowana jako średnia odległość pomiędzy cząstkami).

Pełny, jak się wydaje, warunek istnienia stanu plazmowego, charakteryzowany przez szereg nierówności i obejmujący również wspomniane wyżej nierówności [15], jest następujący:⁴⁴

⁴² Jeleński 1976 s. 471.

⁴³ Szefiłd 1978 s. 10.

⁴⁴ Szefiłd 1978 s. 9.

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

$$L_c \ll n_o^{-1/3} \ll \lambda_D \ll \lambda_c, L \quad [m] \quad [16]$$

gdzie: L_c - odległość krytyczna [m] (tj. odległość, na której energia potencjalna okazuje się równa energii kinetycznej przy zbliżeniu się dwóch cząstek z jednakowym ładunkiem q), λ_c - średnia długość swobodnego przebiegu cząstki, która po zderzeniu się z inną cząstką ulega rozproszeniu pod kątem 90° , L - rozmiar liniowy plazmy. Parametry powyższe określa się następującymi wzorami: L_c - odległość krytyczna [m],

$$L_c = \frac{q^2}{4\pi\epsilon_o\epsilon_r kT} \quad [m] \quad [17]$$

gdzie: q - ładunek cząstki, w wypadku elektronu $e = 1,6021 \times 10^{-19}$ C, ϵ_o - przenikalność dielektryczna próżni równa $8,88541 \times 10^{-12}$ Fm⁻¹, ϵ_r - względna przenikalność dielektryczna środowiska (w polach statycznych), k - stała Boltzmanna równa $1,38054 \times 10^{-23}$ JK⁻¹, T - temperatura bezwzględna, K; λ_D - długość Debye'a (promień Debye'a) [m],

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{\epsilon_o\epsilon_r kT}{n_o e^2}} \quad [m] \quad [18]$$

λ_c - średnia długość drogi swobodnej [m],

$$\lambda_c = \frac{1}{4\pi L_c^2 n_o} \quad [m] \quad [19]$$

Jak to zostanie pokazane poniżej w następnym paragrafie, istnieją kryteria pozwalające określać rodzaj plazmy fizycznej w ciałach stałych. Okazuje się, że różne rodzaje plazmy są charakteryzowane przez niekiedy odmienne parametry, stąd też może to mieć znaczenie dla samego kryterium istnienia danej plazmy. Tak jest w istocie na przykład dla plazmy zdegenerowanej, przypuszczalnie występującej w układach enzymatycznych.

W celu scharakteryzowania plazmy zdegenerowanej używa się analogicznych parametrów, np. promień Thomasa-Fermiego (λ_{FT}) zamiast promienia Debye'a, liczbę Thomasa-Fermiego (N_{FT}) zamiast liczby Debye'a itd.⁴⁵ Tak więc warunek istnienia plazmy zdegenerowanej przyjmie następującą postać:

$$L_F \ll n_o^{-1/3} \ll \lambda_{FT} \ll \lambda_F, L \quad [m] \quad [20]$$

⁴⁵ Płaczman & Wolf 1975 s. 27.

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

Parametry powyższe określa się następującymi wzorami:
 L_F - odległość krytyczna [m],

$$L_F = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_o\epsilon_r E_F} \quad [m] \quad [21]$$

gdzie: E_F - energia Fermiego, wyrażająca się następującym wzorem:

$$E_F = \frac{\hbar^2 k_F^2}{2m^*} \quad [m] \quad [22]$$

w którym k_F oznacza wektor falowy Fermiego, $k_F = (3\pi^2 n_o)^{1/3}$,
 λ_{FT} - długość (promień) Thomasa-Fermiego [m],

$$\lambda_{FT} = \sqrt{\frac{2\epsilon_o\epsilon_r E_F}{3n_o e^2}} \quad [m] \quad [23]$$

λ_F - średnia długość drogi swobodnej [m],

$$\lambda_F = \frac{1}{4\pi L_F^2 n_o} \quad [m] \quad [24]$$

Jak widać, wymienione powyżej główne parametry plazmowe są funkcjami takich wielkości fizycznych jak: względna przenikalność dielektryczna, temperatura, gęstość swobodnych nośników ładunku, ładunek cząstki itd. Toteż ażeby stwierdzić czy warunek istnienia stanu plazmowego jest spełniony należałoby dysponować wartościami odpowiednich, wyżej wspomnianych wielkości odnoszących się do danego układu enzymatycznego. W wypadku zaś, gdyby niektóre wielkości nie były dostępne lub znane, można byłoby oszacować jakie powinny one być, aby ten warunek był spełniony.

Jednym z istotnych parametrów wchodzących do wspomnianego wyżej warunku jest rozmiar liniowy plazmy (L), który można w zasadzie utożsamić z rozmiarami jakichś struktur biologicznych. Wymiary biostruktur są na ogół poznane, z wyjątkiem być może geometrii ścieżek przewodnictwa elektronowego i ich superstruktury na poziomie supramolekularnym.

Na marginesie warto wspomnieć, że w kierunku tworzenia coraz bardziej złożonych struktur i to o coraz mniejszych rozmiarach zmierza technologia układów mikroelektronicznych, w której ważkie znaczenie mają badania plazmowego zachowania się swobodnych nośników ładunku w metalach i półprzewodnikach. Przykładem może być mikroprocesor zawierający kilkaset

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

tysięcy tranzystorów (w nich zaś każde złącze $p-n$ jest już obszarem mikroplazmowym) lub transputer. Choć nowsze techniczne układy mikroelektroniczne są jeszcze nadal większe od układów enzymatycznych, to jednak rozważania na temat występowania plazmy w tych ostatnich nie są niedozwoloną ekstrapolacją, istnieje już bowiem nanoelektronika. Ponadto warunek przeciw istnienia stanu plazmowego nie narzuca ograniczeń na wielkość rozmiaru liniowego plazmy fizycznej. Wynikająca bowiem z tego warunku nierówność $n_0^{-1/3} \ll L$ wymaga tylko, aby gęstość nośników ładunku w plazmie była coraz większa w miarę zmniejszania się jej rozmiarów liniowych, gdyż n powinno być dużo większe od $L^{-1/3}$. Enzymy lub kompleksy enzymów mają rozmiary rzędu kilku do kilkunastu nanometrów, natomiast takie centrum aktywne u niektórych enzymów jak hem ma średnicę tylko około 1,5 nm. Domniemane więc istnienie plazmy w tych strukturach uwarunkowane byłoby dość wysoką koncentracją nośników ładunku, bo np. jeśli L równałoby się 10^{-8} m, to n powinno być dużo większe od 10^{24} m⁻³, jeżeli zaś $L = 10^{-9}$ m, to $n_0 \gg 10^{27}$ m⁻³. Jak to zostanie pokazane niżej warunek ten może być jednak spełniony, co uprawdopodobnia tezę o występowaniu plazmy w tych biostrukturach.

Pokrewnym problemem do wyżej omawianego jest zagadnienie czasu istnienia danego rodzaju plazmy. Jeżeli z tego punktu widzenia porównuje się na przykład plazmę ciała stałego z plazmą gazową, to ta pierwsza jest absolutnie trwała, podczas gdy plazma gazowa dysponuje krótkim czasem życia i szybko rozpada się.⁴⁶ Można snuć przypuszczenie, że bioplazma (jako plazma fizyczna sprzężona z procesami metabolicznymi w organizmie żywym) może być jeszcze bardziej stabilna od zwykłej plazmy ciała stałego. Wydaje się, że problem ten może mieć jakieś znaczenie w wypadku rekonstrukcji procesów ewolucji bioplazmy.

3.2.2. Kryteria określania rodzaju plazmy obecnej w fazie skondensowanej

Ścisłych kryteriów, pozwalających na odróżnienie bioplazmy od innych rodzajów plazmy w fazie skondensowanej, jeszcze nie ustalono. Odnosiłyby się one do układu biologicznego takiego dopiero jak komórka żywa lub być może samoreplikująca się organella, jak mitochondrium czy chloroplast. Skoro takich kryteriów na razie nie ma, to nie pozostaje nic innego jak wykorzystać te - jakie już stosuje się do plazm fizycznych, tym bardziej, że układy enzymatyczne nie są przecież organizmami żywymi i zawarta w tych układach plazma nie jest bioplazmą a co najwyżej elementem konstytutywnym tejże.

Znane obecnie kryteria⁴⁷ posługują się odpowiednimi parametrami charakterystycznymi dla określonego typu plazmy. Rozróżnienia stosowane w tym wypadku wzięły swój początek od sposobów badania plazm. Te ostatnie mogą być podzielone na dwie szerokie kategorie: plazmę klasyczną i plazmę kwantowo-mechaniczną. Dalszy podział rozróżnia w obrębie klasycznym plazmy słabo i silnie sprzężone. Z kolei plazma kwantowa jest opisywana w ogólności

⁴⁶ Bielecki i in. 1984 s. 10.

⁴⁷ Liboff 1984 s. 2530.

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

przez teorię cieczy Fermiego, a przy bardzo dużych gęstościach przechodzi w tzw. słabo sprzężone medium kwantowe.

Do scharakteryzowania tych plazm używa się bezwymiarowych parametrów:

a) parametr plazmowy Γ ($\Gamma=1/4\pi n\lambda_D^3$), którego wielkość pozwala na rozróżnianie pomiędzy plazmami klasycznymi: silnie sprzężoną (gdy $\Gamma>1$ lub $\Gamma\approx 1$) i słabo sprzężoną (gdy $\Gamma\ll 1$),

b) kwantowy parametr degeneracji Λ ($\Lambda=\lambda_d n^{1/3}$), umożliwiający odróżnianie plazmy klasycznej od kwantowej, (gdzie: $\lambda_d^2=h^2/2\pi m^*k_B T$),

c) kwantowy parametr kompresji r_s , którego wielkość definiuje słabo sprzężoną domenę plazmy zdegenerowanej.

Nie wiadomo czy powyższe, stosowane do plazmy ciała stałego, kryteria są adekwatne dla plazmy cieczy. Być może niektóre z nich są stosowalne w pewnych wypadkach, brak jednakże na ten temat konkretnych informacji w literaturze. Plazma elektrolitu i plazma cieczy polarnej z pewnością mają różne własności, a ponadto różnią się od plazmy ciała stałego. Interesujące może się wydać, że badania nieobojętnej plazmy elektronowej (i jonowej) zawartej w specjalnych pułapkach wykazują możliwość zachowania się jej podobnego do cieczy lub ciała stałego; wymienia się w tym kontekście ciekłe kryształy smektyczne.⁴⁸

Poniżej przedyskutowana zostanie problematyka istnienia, własności i funkcji mikroplazm lub domen plazmowych układów enzymatycznych.

3.3. Biosystemy plazmowe układów enzymatycznych

Z dotychczasowych rozważań wynika możliwość występowania w układach enzymatycznych przede wszystkim następujących rodzajów plazmy (jeżeli chodzi o rodzaj cząstek): elektronowej lub elektronowo-dziurowej w makromolekułach, a także dipolowej i jonowej w ich płynnym otoczeniu. Nie należy wykluczać zaangażowania innych rodzajów, na przykład plazmy ekscytonowej czy protonowej. Zostaną tutaj oszacowane prawdopodobne parametry rozmaitych domen plazmowych, wskazane będzie ich pochodzenie i wywołane przez nie skutki oraz funkcje. Następnie uwaga zostanie poświęcona możliwemu powiązaniu parametrów plazmowych z parametrami termodynamicznymi i kinetycznymi opisującymi reakcje enzymatyczne.

Wydaje się, że plazma układów enzymatycznych może być podzielona na domeny plazmowe odpowiadające hierarchii struktur enzymów. Inne właściwości może mieć domena plazmowa w koenzymie, inne natomiast w części białkowej enzymu, inne wreszcie zbiór tego rodzaju domen w ramach organizacji supramolekularnej. Wyodrębnia się bowiem różne poziomy strukturalnej organizacji enzymów. Mówi się nawet o enzymatycznych właściwościach błon biologicznych.⁴⁹ W tym kontekście uważa się, że kanały jonowe w błonach wykazywałyby podobieństwa funkcjonalne z enzymami i stanowiłyby katalizatory

⁴⁸ np. Wineland i in. 1988 s. 93.

⁴⁹ Zob. np. Rybaczko & Kurski 1977 s. 73.

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

przepływu prądu elektrycznego.⁵⁰

3.3.1. Rodzaje domen plazmowych i ich parametry

Poniżej podjęta zostanie próba oszacowania niektórych parametrów kilku rodzajów domen plazmowych, tj. plazmy elektronowej, plazmy dipolowej i plazmy jonowej.

3.3.1.1. Plazma elektronowa

Jak wskazano powyżej, prawdopodobne istnienie stanu plazmowego w strukturach o tak małych rozmiarach jak rozmiary układów enzymatycznych wiąże się z dość wysoką koncentracją nośników ładunku, tj. $n_0 \gg 10^{27} \text{ m}^{-3}$ w wypadku gdy $L = 10^{-9} \text{ m}$ i $n_0 \gg 10^{24} \text{ m}^{-3}$ dla $L = 10^{-8} \text{ m}$. Fakt ten implikuje duże prawdopodobieństwo występowania plazmy zdegenerowanej, gdyż spełnione jest wówczas temperaturowe kryterium degeneracji gazu elektronowego w ciele stałym, wyrażone nierównością [25]:⁵¹

$$T \ll T_0 = \frac{h^2 n_0^{2/3}}{2\pi m k} \approx 5,5558 \cdot 10^{-15} n_0^{2/3}, \quad [K] \quad [25]$$

gdzie: T_0 jest temperaturą degeneracji, k - stałą Boltzmana, m - masą spoczynkową elektronu. Na przykład, jeżeli $n_0 = 8 \times 10^{27}$ elektronów na m^3 , to $T_0 = 2,22 \times 10^4 \text{ K}$, czyli $T_0 \gg T$, gdzie T jest temperaturą sieci atomowej rzędu 300 K. Jeżeli weźmie się pod uwagę temperaturę fizjologiczną, tj. od ok. 270 K do ok. 340 K (pominąwszy ekstremalne warunki temperaturowe życia), to gdzieś przy gęstościach elektronów rzędu $1 \times 10^{25} \div 1,5 \times 10^{25} \text{ m}^{-3}$ znajduje się granica przejścia pomiędzy stanem zdegenerowanym plazmy a niezdegenerowanym.

Centrum aktywne enzymów hemowych stanowi układ porfirynewy, dla którego oszacowano gęstość zdelokalizowanych elektronów (przy uwzględnieniu jedynie 18-tu elektronów makropierścienia)⁵² na równą około $2,75 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$. Ważny jest tu rząd wielkości, gdyż nawet gdyby uwzględnić wszystkie zdelokalizowane elektrony układu, tj. 22 (a nawet więcej jeśli dodać te, które pochodzą z łańcuchów bocznych), to wyniesie $3,36 \times 10^{28} \text{ m}^{-3}$ (lub więcej). Widać więc, że wartość n_0 dla hemów leży raczej w zakresie π -elektronowej plazmy zdegenerowanej tym bardziej, że biorąc pod uwagę rozmiar hemu (ok. $1,5 \times 10^{-9} \text{ m}$), warunek $n_0^{-1/3} \ll L$ jest spełniony.

Gdyby układ porfirynewy potraktować jako przewodnik elektronowy o obwodzie zamkniętym, to jeżeli przyjąć, że promień makropierścienia wynosi ok. 0,6 nm, wówczas obwód wynosi ok. $3,77 \times 10^{-9} \text{ m}$, gęstość liniowa ok. $4,77 \times 10^9$

⁵⁰ Eisenberg 1990 s. 1.

⁵¹ Yavorsky & Detlaf 1980 s. 280.

⁵² Wnuk 1983b s. 259, Wnuk 1987 s. 197.

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

elektronów/m, a średnia odległość pomiędzy π -elektronami wyniesie $n_0^{-1/3} \approx 2,09 \times 10^{-10}$ m. Byłaby to w takim razie jednowymiarowa plazma π -elektronowa.

Pokrewnym kryterium (w stosunku do w/w temperaturowego kryterium degeneracji), które to pozwala rozróżnić zespół cząstek klasyczny od kwantowo-mechanicznego (tj. zdegenerowanego) stanowi tzw. klasyczny parametr degeneracji Λ , wyrażony poprzez długość fali de Broglie'a λ_d . W tym wypadku, jeśli $n_0 = 2,75 \times 10^{28}$ i $T = 310$, to

$$\Lambda \equiv \lambda_d n_0^{1/3} = \sqrt[3]{5,5558 \cdot 10^{-15} \frac{n_0^{2/3}}{T}} = 12,79 > 1 \quad [26]$$

czyli plazma w pierścieniu porfiryńowym jest zdegenerowana. Jak widać ze wzoru [26], kwantowego zachowania się zbioru π -elektronów można oczekiwać przy odpowiednich wysokich gęstościach lub niskich temperaturach. Przy bardzo dużej gęstości plazma zdegenerowana staje się słabo sprzężona ponieważ energia kinetyczna, związana z nieokreślonością momentu pędu, znacznie wzrasta pokonując energię oddziaływania pomiędzy cząstkami. Kwantową analogią równania [27]

$$\frac{\langle V \rangle}{\langle E_k \rangle} \approx \frac{e^2 n^{1/3}}{k_B T} \quad [27]$$

(dla którego sprzężenie jest małe jeśli $(\langle V \rangle / \langle E_k \rangle) \ll 1$) jest kwantowy parametr kompresji r_s ,

$$r_s \equiv \frac{\langle V \rangle}{\langle E_Q \rangle} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{e^2 m^*}{\epsilon \hbar^2 \sqrt{n}}} \quad [28]$$

gdzie E_Q jest kwantową energią nieokreśloności

$$\langle E_Q \rangle = \frac{(\Delta p)^2}{2m^*} \approx \frac{\hbar^2}{2m^* (\Delta x)^2} \approx \frac{\hbar^2}{2m^*} n^{2/3} \quad [29]$$

(p - jest momentem, x - przemieszczeniem). Otóż warunek dla jakiejś słabo sprzężonej plazmy zdegenerowanej dany jest przez nierówność

$$r_s \leq 1. \quad [30]$$

Inaczej zdefiniowany parametr r_s jest wyrażony przez następujące wzory:⁵³

$$r_s = \frac{r_o}{a_o^*} = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{e^2 m^*}{\epsilon \hbar^2 \sqrt{n}}} \quad [31]$$

gdzie: r_o - odległość międzycząstkowa równa $[3/4\pi n]^{1/3}$, a_o^* - efektywny promień Bohra wynoszący $\epsilon \hbar^2 / m^* e^2$, i

$$r_s = \frac{3\pi}{2^{5/3}} \frac{\langle V \rangle}{\langle E_F \rangle} . \quad [32]$$

Z uwagi na to, że warunkiem istnienia plazmy π -elektronowej pierścienia porfirynowego (o gęstości $n_o = 2,75 \times 10^{28}$) jest spełnienie warunków [33-34]:⁵⁴

$$25 < \epsilon_r m_x^{-1} < 65 \quad , \quad [33]$$

$$\epsilon_r m_x \approx 8,7517 \cdot 10^{31} \omega_p^{-2} \quad , \quad [34]$$

gdzie: $m_x = m^* m_e$, możemy oszacować kwantowy parametr kompresji r_s , biorąc do obliczeń stosunek $\epsilon_r / m_x = 45$, co daje wartość

$$r_s \approx 8,63 \cdot 10^{-2} . \quad [35]$$

Zatem zachowany jest warunek $r_s \leq 1$, mamy więc w tym wypadku słabo sprzężoną plazmę zdegenerowaną. Wartość parametru plazmowego Γ_Q , również potwierdza to, że ta plazma jest słabo sprzężona. Jeżeli bowiem wziąć $\lambda_{FT} = 4,483 \cdot 10^{-28}$ m (otrzymane przy $\epsilon_r = 14$, $m_x = 0,31$ i $n_o = 2,75 \cdot 10^{28}$),⁵⁵ to $\Gamma_Q \leq 1$:

$$\Gamma_Q = \frac{1}{6\pi n \lambda_{TF}^3} = 2,14 \cdot 10^{-2} . \quad [36]$$

Z kolei prędkość Fermiego v_F , można byłoby oszacować z równania [37]:⁵⁶

⁵³ Liboff 1984 s. 2530.

⁵⁴ Wnuk 1983b s. 265, Wnuk 1987 s. 201.

⁵⁵ Wnuk 1983b s. 269, Wnuk 1987 s. 204.

⁵⁶ Liboff 1984 s. 2530.

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

$$\lambda_{TF}^2 \omega_p^2 = \frac{1}{3} v_F^2, \quad [37]$$

czyli

$$v_F = \sqrt{3} \lambda_{TF} \omega_p. \quad [38]$$

Ponieważ⁵⁷

$$\omega_p \approx 56,4131 \cdot n_o^{1/2} m_x^{-1/2} \epsilon_r^{-1/2} \quad [39]$$

i

$$\lambda_{FT} \approx 3,6652 \cdot 10^{-6} n_o^{-1/6} \epsilon_r^{1/2} m_x^{-1/2} \quad [40]$$

oraz dla $\epsilon_r = 14$ i $m_x = 0,31$ mamy $\omega_p = 4,488 \cdot 10^{15}$ rad s⁻¹ (co odpowiada tzw. pasmu Soreta w widmie absorpcyjnym porfiryń: ok. 420 nm) i $\lambda_{FT} \approx 4,483 \cdot 10^{-10}$, to

$$v_F = 3,5813 \cdot 10^{-4} n_o^{1/3} m_x^{-1} \approx 3,48 \cdot 10^6, \quad [m/s] \quad [41]$$

W tym wypadku znika jeden z nieznanych dokładnie parametrów jakim jest ϵ_r .
Kontynuując oszacowania przy tych samych jak powyżej wartościach $n_o = 2,75 \cdot 10^{28}$ i $m_x = 0,31$ otrzymujemy następującą wielkość energii Fermiego elektronów:

$$E_F \approx 1,717 \cdot 10^{-18} \text{ J} \approx 10,717 \text{ eV}, \quad [42]$$

przy teźże, potencjał chemiczny gazu elektronowego, w/g wzoru [43]:⁵⁸

$$\mu = E_F \left[1 - \frac{\pi^2 (kT)^2}{12 E_F^2} \right], \quad [43]$$

wynosi (przy T = 310 K):

⁵⁷ Wnuk 1983b s. 261-262, Wnuk 1987 s. 198.

⁵⁸ Yavorsky & Detlaf 1980 s. 282.

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

$$\mu = 1,7170 \cdot 10^{-18} J = 10,7166 \text{ eV} , \quad [44]$$

czyli prawie tyle samo (tj. ok. $1,717 \cdot 10^{-18}$ J lub 10,72 eV).

Przy powyższej wartości E_F średnia energia elektronu w/g równania [45]⁵⁹ wyniesie wówczas:

$$\bar{E} = \frac{3}{5} E_F \left[1 + \frac{5\pi^2 (kT)^2}{12 E_F^2} \right] = 1,03 \cdot 10^{-19} J = 6,43 \text{ eV}, \quad [45]$$

natomiast energia 18-tu elektronów ($N_A = 18$):

$$N_A \bar{E} = 1,854 \cdot 10^{-17} J = 115,74 \text{ eV} , \quad [46]$$

ciepło właściwe tych elektronów według równania [47]:⁶⁰

$$c_{el} = \frac{\pi^2}{2} k N_A \frac{kT}{E_F} = 3,057 \cdot 10^{-24} \text{ J/K} . \quad [47]$$

Długość fali związanej z elektronem⁶¹ wynosi w rozpatrywanym wypadku:

$$\lambda_{\min} = 2 \sqrt[3]{\frac{\pi}{3n_o}} = 6,729 \cdot 10^{-10} \text{ m} . \quad [48]$$

Zgodnie z wzorem [49]⁶² ciśnienie panujące w rozpatrywanym tu gazie π -elektronowym w pierścieniu porfirynowym, przy $m_x = 0,31$ i $n_o = 2,75 \cdot 10^{28}$, wyniosłoby:

⁵⁹ Senczyk 1980 s. 136.

⁶⁰ Senczyk 1980 s. 136.

⁶¹ Senczyk 1980 s. 140.

⁶² Senczyk 1980 s. 142.

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

$$p = - \frac{\partial(N\bar{E})}{\partial V} = \frac{\hbar^2}{5m^*} (3\pi^2)^{2/3} n_o^{5/3} = 1,889 \cdot 10^{10} \text{ [N/m}^2\text{]} . \quad [49]$$

Obliczone powyżej wartości niektórych parametrów plazmy π -elektronowej, na przykładzie elektronów zdelokalizowanych pierścienia porfirynowego, są zapewne podobne do wartości jakie można uzyskać w oszacowaniach dla koenzymów nieporfirynowych. Spodziewane drobne różnice nie są zapewne większe od zakresu błędu wynikającego z przyjętego tu sposobu oszacowań.⁶³

Przechodząc do obliczeń warunków istnienia stanu plazmowego w molekułach białkowych mamy do czynienia z rozmiarami już znacznie większymi niż w wypadku grup prostetycznych. Większość tych biomolekuł posiada rozmiary w granicach 1,5 do 8,0 nm, stąd też wymagana będzie mniejsza gęstość swobodnych nośników ładunku do spełnienia wspomnianych warunków. Istotne jest również to, że molekuły z coraz większą liczbą elektronów π posiadają coraz wyższe pasma wzbronione,⁶⁴ łatwiej więc elektrony będą przechodzić do pasma przewodnictwa. Ponadto na gęstość elektronów w tym ostatnim pasmie wpływać będą cząsteczki zaadsorbowane na powierzchni molekuly białkowej, np. woda stanowić będzie donor elektronów, zaś cząsteczki akceptorów elektronów wstrzykiwać będą dziury do tego pasma.

Kształt przestrzenny pasma przewodnictwa w białkach jest z pewnością bardzo złożony, zależny nie tylko od struktury I-, II-, czy III-rzędowej białka, ale i obecności tzw. atomów domieszkowych itd. W pewnych złożonych, aromatycznych związkach organicznych π -elektrony tworzą trójwymiarowy system sprzężony.⁶⁵ Tak więc plazmę π -elektronową powinno się rozpatrywać nie tylko w układach jedno- czy dwuwymiarowych, ale i trójwymiarowych.⁶⁶

W celu oszacowania gęstości plazmy potrzebne są także, w miarę dokładne rozmiary biomakromolekuły. Badanie rozmiarów molekuł, które nie mają ostrości granic,⁶⁷ jest złożone i niełatwo jest znaleźć w literaturze konkretne dane liczbowe. Jako przykład modelowy posłuży w tym miejscu cytochrom c_3 z bakterii redukujących siarczany - *Desulfovibrio vulgaris* (szczep Miyazaki),⁶⁸ którego rozmiary w przybliżeniu wynoszą 3,3 x 3,9 x 3,4 nm.⁶⁹ Jest to jeden z najmniejszych spośród cytochromów, którego ciężar cząsteczkowy wynosi ok. 14000. Cytochrom ten, już dawno uważany za biologiczny kondensator

⁶³ Jak dotąd brak lepszego sposobu.

⁶⁴ zob. np. Eley 1989 s. 1.

⁶⁵ Haddon 1988 s. 243.

⁶⁶ Pominięty tu zostanie fraktalny aspekt opisu białek, według którego, np. fraktalny wymiar powierzchni cytochromu c_3 ma wartość 2,117 (za Elber 1989 s. 407).

⁶⁷ zob. np. Meyer 1986 s. 449.

⁶⁸ Higuchi i in. 1981 s. 1659, Inokuchi 1983 s. 101.

⁶⁹ Inokuchi 1983 s. 101, Ichimura i in. 1982 s. 19, Niki i in. 1982 s. 199, Higuchi i in. 1984 s. 109.

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

elektryczny,⁷⁰ jest o tyle ciekawy w niniejszym kontekście, iż jego przewodność jest nadzwyczaj duża, bliska przewodności półmetali.⁷¹ Co więcej rozważa się możliwość istnienia nadprzewodnictwa w warstewkach tego cytochromu.⁷²

Cytochrom c_3 posiada 107 reszt aminokwasowych i aż 4 hemy, te ostatnie są, jak się uważa, odpowiedzialne za wspomnianą wyżej nadzwyczaj dużą przewodność. Przyjmując po 4 π -elektrony na jedno wiązanie peptydowe⁷³ plus po 18 elektronów na jeden hem mamy około 470 elektronów π przypadających na jedną molekułę cytochromu c_3 . Ponieważ objętość tej molekuly wyniesie około

$$V = \frac{4\pi}{3} abc \approx 2,2912 \cdot 10^{-26} \text{ m}^3, \quad [50]$$

a więc gęstość elektronów (n_o):

$$n_o = \frac{470}{V} \approx 2,05 \cdot 10^{28} \text{ el./m}^3. \quad [51]$$

Zatem średnia odległość pomiędzy π -elektronami wyniesie:

$$n_o^{-1/3} = 3,653 \cdot 10^{-10} \text{ m}. \quad [52]$$

Tak więc, ponieważ rozmiar liniowy cytochromu c_3 równa się maksimum $3,9 \cdot 10^{-9}$ m, to warunek $n_o^{-1/3} \ll L$ jest spełniony. Stąd, z uwagi na to, że promień Fermiego-Thomasa λ_{FT} musi zawierać się w granicach $n_o^{-1/3} \ll \lambda_{FT} \ll L$, mamy:

$$3,653 \cdot 10^{-10} \ll \lambda_{FT} \ll 3,9 \cdot 10^{-9} \quad [m]. \quad [53]$$

Po uwzględnieniu stałych we wzorach [23] i [22] mamy, że

$$\lambda_{FT} \approx 3,6652 \cdot 10^{-6} n_o^{-1/6} \epsilon_r^{1/2} m_x^{-1/2}. \quad [54]$$

Stąd z równania [54] i nierówności [20] wynika, że nieznanne parametry ϵ_r i m_x powinny być związane następującą nierównością:

⁷⁰ Le Gall 1974 s. 987.

⁷¹ Kimura i in. 1979 s. 3317, Kimura & Inokuchi 1982 s. 2218, Kimura & Inokuchi 1984 s. 474, Sasaki 1988 s. 75, Yagi i in. 1983 s. 2, Nakahara i in. 1979 s. 877, Ichimura i in. 1982 s. 19, Inokuchi 1983 s. 101.

⁷² Sugahara i in. 1986 s. 423.

⁷³ Eley 1989 s. 1.

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

$$7,444 \cdot 10^{10} n_o^{-1/3} \ll \epsilon_r m_x^{-1} \ll 7,444 \cdot 10^{10} L^2 n_o^{1/3} . \quad [55]$$

Uwzględniając zatem, że $n_o = 2,05 \cdot 10^{28}$ i $L = 3,9 \cdot 10^{-9}$, spełnienie nierówności [53] będzie zachodziło wówczas, gdy:

$$27 \ll \epsilon_r m_x^{-1} \ll 3099 . \quad [56]$$

Zawężenie tego zakresu możemy uzyskać jeszcze poprzez uwzględnienie, że liczba Thomasa-Fermiego N_{FT} :

$$N_{FT} = \frac{4}{3} \pi \lambda_{FT}^3 n_o \quad [57]$$

jest również ograniczona:

$$\frac{4}{3} \pi \ll N_{FT} \ll 470 . \quad [58]$$

Stąd zaś wynika, że λ_{FT} zawarte jest również w określonych granicach, tj.

$$n_o^{-1/3} \ll \lambda_{FT} \ll \left(\frac{352,5}{\pi} \right)^{1/3} n_o^{-1/3} . \quad [59]$$

Z kolei z relacji [59] i równania [54] otrzymujemy

$$7,444 \cdot 10^{10} n_o^{-1/3} \ll \epsilon_r m_x^{-1} \ll 1,732 \cdot 10^{12} n_o^{-1/3} . \quad [60]$$

Po podstawieniu natomiast $n_o = 2,05 \cdot 10^{28}$ do nierówności [60] otrzymujemy kolejne poszukiwane ograniczenie:

$$27 \ll \epsilon_r m_x^{-1} \ll 637 . \quad [61]$$

Parametry ϵ_r i m_x można także wyrazić jako funkcję częstości plazmowej, ω_p :

$$\omega_p = \left(\frac{n_o e^2}{\epsilon_o \epsilon_r m^*} \right)^{1/2} = 56,4131 \cdot n_o^{1/2} \epsilon_r^{-1/2} m_x^{-1/2} , \quad [62]$$

wówczas przy wartości n_o takiej jak powyżej będziemy mieli:

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

$$\epsilon_r m_x = 6,5285 \cdot 10^{31} \omega_p^{-2} . \quad [63]$$

Zatem jednoczesne spełnienie relacji [61] i równania [63] wyrażało będzie spełnienie warunku istnienia stanu plazmowego, tj. plazmy π -elektronowej w cytochromie c_3 .

Jeżeli kwantowy parametr kompresji r_r [równanie 28 lub 31] jest ≤ 1 , to będzie to słabo sprzężona plazma zdegenerowana. Biorąc do obliczeń stosunek ϵ_r/m_x za leżący gdzieś w środku pomiędzy wartościami skrajnymi (relacja 61), tj. za wynoszący 332, otrzymamy, że

$$r_s \approx 0,1621 . \quad [64]$$

Warunek $r_s \leq 1$ jest więc spełniony. Jednakże tak wysoki stosunek ϵ_r/m_x równy powiedzmy 332 wiązałby się z bardzo niskimi masami efektywnymi elektronów, rzędu $0,03 m_e$ (przy $\epsilon_r \approx 10^{12}$ przyjmowanych dla błon biologicznych) lub wysokimi ϵ_r , zamiennymi dla stanu ferroelektrycznego błon. Ponadto zakres dopuszczalnych wartości ϵ_r i m_x jest uwarunkowany przez ω_p (wzór 63), np. dla częstości związanej z długością fali 400 nm (granica między UV a zakresem widzialnym widma), tj. $4,7124 \cdot 10^{15} \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, mamy:

$$\epsilon_r m_x \approx 3 . \quad [65]$$

Rozwiązując układ

$$\begin{aligned} \epsilon_r m_x &= 3 \\ 27 \ll \epsilon_r m_x^{-1} &\ll 637 \end{aligned}$$

mamy

$$\begin{aligned} 9 < \epsilon_r < 43,71 \\ 0,069 < m_x < 0,333 . \end{aligned} \quad [66]$$

Zaś dla $\lambda = 750 \text{ nm}$, czyli $\omega_p = 2,5133 \cdot 10^{15} \text{ rad/s}$, mamy

$$\epsilon_r m_x \approx 10,34 . \quad [67]$$

Analogicznie rozwiązując:

$$\begin{aligned} \epsilon_r m_x &= 10,34 \\ 27 \ll \epsilon_r m_x^{-1} &\ll 637 \end{aligned}$$

otrzymujemy:

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

$$\begin{aligned} 16,7 < \epsilon_r < 81,2 \\ 0,127 < m_x < 0,619 . \end{aligned} \quad [68]$$

Otrzymane zakresy ϵ_r i m_x nie są jednak w całości dopuszczalne dla spełnienia warunku $r_s \leq 1$, na przykład biorąc z układu nierówności [66]: $\epsilon_r = 12$ i $m_x = 0,25$, czyli $\epsilon_r/m_x = 48$, otrzymujemy, że

$$r_s = 1,1212 , \quad [69]$$

a więc w tym wypadku nie mamy słabo sprzężonej plazmy zdegenerowanej. Warto byłoby przeliczyć wszelkie możliwe zakresy w tym względzie.

Kolejny parametr, prędkość Fermiego elektronów v_F wyniosłaby na przykład (przy $n_0 = 2,0514 \cdot 10^{28}$ i $m_x = 0,25$):

$$v_F = 3,5813 \cdot 10^{-4} n_0^{1/3} m_x^{-1} \approx 3,92 \cdot 10^6 \quad [m/s] . \quad [70]$$

Ponieważ dla $\omega_p = 4,7124 \cdot 10^{15}$ rad/s, m_x zawiera się w następujących granicach: $0,069 \ll m_x \ll 0,333$, [66b], więc również v_F będzie zawarte w granicach jak poniżej:

$$2,94 \cdot 10^6 < v_F < 1,43 \cdot 10^7 . \quad [71]$$

Analogicznie należałoby policzyć inne zależności.

Kontynuując oszacowania dla $n_0 = 2,05 \cdot 10^{28}$ otrzymujemy kolejno wielkości energii Fermiego elektronów. Obliczone znowu zostaną dwa przypadki:

a) przy $\omega_p = 4,7124 \cdot 10^{15}$ rad/s, $0,069 \ll m_x \ll 0,333$, mamy

$$\begin{aligned} E_F &= \frac{\hbar^2 k_F^2}{2m^*} = 5,4811 \cdot 10^{-38} n_0^{2/3} m_x^{-1} , \\ 1,23 \cdot 10^{-18} &< E_F < 5,99 \cdot 10^{-18} \quad [J] , \end{aligned} \quad [72]$$

lub

$$7,69 < E_F < 37,37 \quad [eV] ; \quad [73]$$

b) przy $\omega_p = 2,5133 \cdot 10^{15}$ rad/s, $0,127 \ll m_x \ll 0,619$, mamy

$$6,64 \cdot 10^{-19} < E_F < 3,22 \cdot 10^{-18} \quad [J] , \quad [74]$$

lub

$$4,14 < E_F < 20,12 \quad [eV] . \quad [75]$$

Ponieważ potencjał chemiczny gazu elektronowego (μ) równa się w przybliżeniu E_F , więc powyższe zakresy wartości E_F będą w zasadzie takie same dla μ .

Z pozostałych do obliczenia parametrów pominię w tym miejscu E^+ , c_{el} i p , oszacuję zaś długość fali związanej z elektronem λ_{min} . Zgodnie z wzorem [48]:

$$\lambda_{min} = 7,419 \cdot 10^{-10} \quad [m] . \quad [76]$$

Teraz zostaną przeprowadzone obliczenia dotyczące cytochromu c_3 według innego wariantu, zakładającego, że w części białkowej tej molekuly gęstość π -elektronów jest dużo mniejsza niż w pierścieniu porfirynowym. Stąd też należałoby wyłączyć π -elektryony tych pierścieni i, co za tym idzie, wielkości parametrów byłyby przez to faktycznie niższe niż powyższe uśrednione wartości. Jeżeli zatem odjąć objętość zajmowaną przez cztery hemy (przyjmując, że hem jest w przybliżeniu dyskiem o średnicy 1,5 nm i grubości 0,37 nm⁷⁴, czyli o objętości ok. $6,54 \cdot 10^{-28} \text{ m}^3$), tj. $4 \times 6,54 \cdot 10^{-28} \text{ m}^3 \approx 2,6160 \times 10^{-27} \text{ m}^3$, to otrzymujemy, że objętość części białkowej cytochromu c_3 wynosi w przybliżeniu:

$$V \approx 2,2912 \cdot 10^{-26} - 2,6160 \cdot 10^{-27} \approx 2,0296 \cdot 10^{-26} \quad m^3 . \quad [77]$$

Zatem gęstość π -elektronów w części białkowej będzie równa około:

$$n_o = \frac{400}{2,0296 \cdot 10^{-26}} \approx 1,971 \cdot 10^{28} \quad el./m^3 , \quad [78]$$

natomiast średnie odległości między tymi elektronami:

$$n_o^{-1/3} \approx 3,702 \cdot 10^{-10} \quad m . \quad [79]$$

Analogicznie więc do powyższych obliczeń, ϵ_r i m_x będą związane poniższymi zależnościami; ponieważ

$$7,444 \cdot 10^{10} n_o^{-1/3} \ll \epsilon_r m_x^{-1} \ll 7,444 \cdot 10^{10} L^2 n_o^{1/3}, \quad [55]$$

więc przy $n_o = 1,971 \cdot 10^{28}$ i $L = 3,9 \cdot 10^{-9}$ otrzymujemy:

⁷⁴ Starodub i in. 1976 s. 8.

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

$$28 < \epsilon_r m_x^{-1} < 3058 , \quad [80]$$

co po uwzględnieniu liczby Thomasa-Fermiego N_{FT} :

$$\frac{4\pi}{3} < N_{FT} < 400 , \quad [81]$$

$$n_o^{-1/3} < \lambda_{FT} < \left(\frac{300}{\pi} \right)^{1/3} n_o^{-1/3} , \quad [82]$$

otrzymujemy na podstawie wzorów [82] i [54] oraz [78], że:

$$7,444 \cdot 10^{10} n_o^{-1/3} < \epsilon_r m_x^{-1} < 1,555 \cdot 10^{12} n_o^{-1/3} , \quad [83]$$

$$28 < \epsilon_r m_x^{-1} < 576 . \quad [84]$$

Natomiast wyrażając ϵ_r i m_x jako funkcję częstości plazmowej otrzymujemy na podstawie relacji [78] i [62]:

$$\epsilon_r m_x \approx 6,272 \cdot 10^{31} \omega_p^{-2} . \quad [85]$$

Jako przykład częstości plazmowej wzięta zostanie teraz do obliczeń ta, która odpowiada fali elektromagnetycznej w zakresie nadfioletu, powiedzmy $\lambda = 300$ nm, tj. $\omega_p = 6,2832 \cdot 10^{15}$ rad/s. A więc rozwiązując układ

$$\begin{aligned} \epsilon_r m_x &\approx 1,59 \\ 28 < \epsilon_r m_x^{-1} < 576 , \end{aligned} \quad [86]$$

mamy

$$\begin{aligned} 6,67 < \epsilon_r < 30,25 \\ 0,053 < m_x < 0,238 . \end{aligned} \quad [87]$$

Z kolei dla podczerwieni, na przykład dla $\nu = 3000$ cm^{-1} , czemu odpowiada $\omega_p = 5,6549 \cdot 10^{14}$ rad/s, otrzymujemy układ:

$$\begin{aligned} \epsilon_r m_x &\approx 191,14 \\ 28 &< \epsilon_r m_x^{-1} < 576, \end{aligned} \quad [88]$$

$$\begin{aligned} 73,15 &< \epsilon_r < 331,80 \\ 0,576 &< m_x < 2,613. \end{aligned} \quad [89]$$

Porównując powyższe warunki stanu plazmowego (relacje 87 i 89) dla częstości plazmowych w ultrafiolecie i podczerwieni, widzimy wyraźne przesunięcie dopuszczalnych zakresów w kierunku znacznie wyższych wartości ϵ_r i m_x . W wypadku ϵ_r , jego zakres wartości odpowiada już właściwościom ferroelektrycznym części białkowej.

Obliczone powyżej gęstości plazmy π -elektronowej (wzory 51 i 78) spełniają z dużym zapasem warunek istnienia stanu plazmowego, tj. $n_o^{-1/3} \ll \lambda_{FT} \ll L$. Warunek ten byłby totalnie załamany, gdyby $n_o^{-1/3} \approx L$. Innymi słowy, przy maksymalnym rozmiarze liniowym cytochromu c_3 ($3,9 \cdot 10^{-9}$ m), minimalna, już niedopuszczalna, gęstość wynosiłaby:

$$n_o = L^{-3} \approx 1,686 \cdot 10^{25} \text{ el./m}^3, \quad [90]$$

zaś odpowiednia graniczna liczba π -elektronów, N:

a) dla $V_1 = 2,2912 \cdot 10^{-26} \text{ m}^3$,

$$N_1 = n_o V_1 = 1,6858 \cdot 10^{25} \cdot 2,2912 \cdot 10^{-26} \approx 0,386 \quad [91]$$

b) dla $V_2 = 2,0296 \cdot 10^{-26}$, wynosiłaby ona:

$$N_2 = n_o V_2 = 1,686 \cdot 10^{25} \cdot 2,0296 \cdot 10^{-26} \approx 0,342. \quad [92]$$

Widać więc, że powyższa, niedopuszczalna już wartość n_o [wzór 90] jest o trzy rzędy wielkości mniejsza od oszacowanych [patrz wzory 51 i 78], zaś liczby N_1 i N_2 są nawet ułamkowe. Oznacza to, że w molekuły cytochromu c_3 wystarczyłoby już kilkanaście-kilkadziesiąt zdelokalizowanych elektronów do powstania w nim stanu plazmowego, co więcej nie wszystkie π -elektrony tej molekule musiałyby przechodzić do pasm przewodnictwa.

Porównanie oszacowanych wielkości n_o :

a) dla części białkowej: $n_o = 1,97 \cdot 10^{28}$, [78];

b) uśredniona dla całej molekule: $n_o = 2,05 \cdot 10^{28}$, [51];

c) dla pierścienia porfirynowego: $n_o = 2,75 \cdot 10^{28}$ lub $n_o = 3,36 \cdot 10^{28}$;

sugeruje istnienie w rozpatrywanej molekuły dwóch różnych rodzajów domen gęstości π -elektronów, jednej stanowiącej część białkową i czterech stanowiących

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

układy porfirynowe. Powstaje pytanie, czy wspomniane wyżej różnice gęstości są na tyle wystarczające aby na granicach "hem - część białkowa" mogło zaistnieć znane z elektroniki technicznej, tak zwane złącze *p-n*. Nie wykluczone, że w pierścieniu porfirynowym byłoby przewodnictwo dziurowe, natomiast w części białkowej - elektronowe, a tym samym istniałyby dwa obszary biologicznego półprzewodnika o różnym typie przewodnictwa.

Należy również domniemać, że na styku "białko - warstewka wody" istnieje złącze *p-n*, z uwagi chociażby na przewodnictwo protonowe wewnątrz warstewki.

Złącza *p-n* umożliwiają wprowadzanie, odprowadzanie i sterowanie strumienia nośników ładunku, a tym samym są podstawowym elementem technicznych układów elektronicznych. Jest wielce prawdopodobne, że złącza *p-n* w biostrukturach wykazują analogiczne funkcje.

Powracając do parametrów szacowanych dla $n_0 = 1,981 \cdot 10^{28}$ obliczone zostanie jeszcze E_F , w dwóch przypadkach:

a) dla $\lambda = 300$ nm, tj. $\omega_p = 6,2832 \cdot 10^{15}$ i $0,053 \ll m_x \ll 0,238$ mamy na podstawie wzoru [22]:

$$1,68 \cdot 10^{-18} \ll E_F \ll 7,62 \cdot 10^{-18} \quad [J], \quad [93]$$

lub

$$10,48 \ll E_F \ll 47,55 \quad [eV], \quad [94]$$

b) dla $\nu = 3000$ cm⁻¹, tj. $\omega_p = 5,6549 \cdot 10^{14}$ i $0,576 \ll m_x \ll 2,613$ mamy:

$$1,531 \cdot 10^{-19} \ll E_F \ll 6,943 \cdot 10^{-19} \quad [J], \quad [95]$$

lub

$$0,96 \ll E_F \ll 4,33 \quad [eV]. \quad [96]$$

Tak więc, co jest oczywiste, E_F (i potencjał chemiczny μ) zmniejszają się wraz ze zmniejszaniem się gęstości plazmy i odpowiadającej jej częstości plazmowej. Czy powyższe różnice potencjału chemicznego pomiędzy domenami plazmowymi mają jakieś znaczenie w przebiegu reakcji biochemicznych jest problemem do zbadania.

Wydaje się, że warto w niniejszym kontekście poruszyć również problem istnienia jakichś optymalnych warunków istnienia stanu plazmowego.⁷⁵ Pytanie takie pojawiło się przy przekształcaniu warunku stanu plazmowego do postaci następującej (patrz wspomniana praca):

⁷⁵ zarysowany w: Wnuk 1983 s. 279, Wnuk 1987 s. 211.

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

$$4,836 \cdot 10^3 \omega_p m_x (L n_o^{-1/3} - n_o^{-2/3}) \gg 0 . \quad [97]$$

Występujące w powyższej nierówności wyrażenie w nawiasie

$$\Delta P = L n_o^{-1/3} - n_o^{-2/3} , \quad [98]$$

osiąga maksimum w punkcie $(8L^{-3}, 0,25L^2)$, w którym wartość gęstości plazmy n_o realizuje w "maksymalnym stopniu" tę nierówność [wzór 97], a więc jakby jest optymalna. Dla $L = 3,9 \cdot 10^{-9}$ m maksimum jest w punkcie

$$(1,348 \cdot 10^{26}; 3,803 \cdot 10^{-18}) , \quad [99]$$

czyli dla gęstości $1,348 \cdot 10^{26}$, zaledwie o niecały rząd większej od już niedopuszczalnej i nieprzekraczalnej wartości $n_o = 1,686 \cdot 10^{25}$.

Ciekawe jest również to, że ta tak zwana optymalna gęstość ($1,348 \cdot 10^{26} \text{ m}^{-3}$) w wypadku objętości białkowej części cytochromu c_3 równej $2,0296 \cdot 10^{-26}$ [wzór 77] daje małą liczbę swobodnych π -elektronów, tj. średnio:

$$N = n_o V = 1,348 \cdot 10^{26} \cdot 2,0296 \cdot 10^{-26} \approx 2,74 . \quad [100]$$

Jest to wartość wprawdzie większa niż 1, ale też mniejsza od $4\pi/3$. Trudno więc mówić o "optymalnych" warunkach w sytuacji, gdy wartość jednego z parametrów plazmowych (N_{FT}) jest na granicy zachowania. Może to świadczyć albo o niezwykle "egzotycznym" zestawie parametrów realizujących optymalne warunki stanu plazmowego w biostrukturach, albo o tym, że faktyczny stan plazmowy w tych strukturach realizowany jest przez warunki dalekie od optymalnych, albo wreszcie, że wzór [97] nie jest adekwatny do postawionego pytania dotyczącego optymalnych wyżej wspomnianych warunków.

3.3.1.2. Plazma dipolowa i jonowa

Oszacowania powyższe dotyczyły w zasadzie plazmy π -elektronowej w obrębie biostruktur molekularnych traktowanych jako ciało stałe, teraz zaś zajmujemy się obliczeniami dotyczącymi przypowierzchniowej warstwy ciekłej. Faza wodna w komórce jest wysoce ustrukturyzowana i ułatwia transfer elektronów pomiędzy białkami.⁷⁶ W wypadku tego tego ośrodka, jak już zaznaczono wcześniej, powinniśmy mieć do czynienia z plazmą dipolową i plazmą elektrolitu. Główne różnice wyrażają się przede wszystkim w charakterze oddziaływań pomiędzy cząstkami różnych rodzajów plazmy. Na przykład

⁷⁶ np. Szasz i in. 1994 s. 299.

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

oddziaływanie pomiędzy jonem w elektrolicie a molekułą wody jest dużo silniejsze, aniżeli oddziaływanie pomiędzy jonem a obojętną cząsteczką gazu w plazmie gazowej, a więc zachowanie się jonów w plazmie elektrolitu różni się od ich zachowania w plazmie gazowej.⁷⁷ Druga istotna różnica polega na obecności cząstek różnoimiennych i obojętnych spolaryzowanych, które tworzą plazmę, zaś plazma π -elektronowa ma w zasadzie jeden rodzaj ruchomych ładunków. Trzecia różnica z kolei to znacznie większy rozmiar liniowy plazmy dipolowej, którego wielkość równa się w zasadzie wielkości komórki a nawet organizmu wielokomórkowego. Pomimo bowiem istnienia kompartmentacji, woda (plazma dipolowa) ma względną swobodę ruchu dzięki systemowi kanałów. Dotyczy to w pewnej mierze i jonów. Mimo jednak ich większej swobody ruchów (niż w wypadku elektronów zdelokalizowanych w biostrukturach stałych), oddziaływania wzajemne są również natury kolektywnej, tzn. siła oddziaływania dwóch wybranych cząstek zależy od położenia pozostałych. Ruchy termiczne poszczególnych jonów nie są wzajemnie całkowicie niezależne na skutek działania sił kulombowskich. Siły przyciągania działające pomiędzy jonami o przeciwnych ładunkach i siły odpychania między jonami jednoimiennymi dążą do uporządkowania jonów w roztworze, podobnego do uporządkowania w kryształach. Uporządkowanie takie powinno charakteryzować się minimalną energią potencjalną oddziaływań elektrostatycznych. W wypadku układów pozabiologicznych ruchy cieplne przeciwdziałają doskonałemu uporządkowaniu jonów w roztworze, w wypadku jednakże układów *in vivo* można z dużym prawdopodobieństwem przyjąć istnienie takiego stanu uporządkowania (choćby z powodu stanu nierównowagowego i dyssypacji energii).

W cieczy plazma tworzy się wtedy, gdy energia wzajemnego oddziaływania elektrostatycznego dwóch jonów jest mała w porównaniu z energią kinetyczną jonu przy pewnej temperaturze T . Tym łatwiej więc o spełnienie w układzie żywym warunku stanu plazmowego, który w wypadku *in vitro* jest następujący:⁷⁸

$$\frac{z^2 e^2}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r \langle r \rangle} \ll kT, \quad [101]$$

gdzie: $\langle r \rangle$ - średnia odległość między jonami, z - ładunek jonu, (ϵ_0 , ϵ_r , k , T , e - jak wyżej). Podstawiając za: $T = 300$ K, $\epsilon_r = 81$, $z = 1$ (biorąc pod uwagę jony jednowartościowe) otrzymujemy w pierwszym przybliżeniu, że

$$n_0 \ll \left[\frac{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r kT}{z^2 e^2} \right]^3 = 3,075 \cdot 10^{27} \quad [m^{-3}], \quad [102]$$

A więc, ponieważ
1 g-jon odpowiada $6,023 \cdot 10^{23}$ jonów/l

⁷⁷ Dodo 1983 s. 715.

⁷⁸ za Wasilesku 1976 s. 71.

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

$$x \text{ ----- } 3,075 \cdot 10^{24} \text{ jonów/l}$$

$$x = 5,1 \text{ m .}$$

Tym samym warunek [102] powinien być spełniony dla takich jonów jak Na^+ , K^+ , których stężenia w komórkach są właśnie kilka rzędów wielkości niższe od 5,1 molowego.

W wypadku jonów dwuwartościowych (Mg^{2+} , Ca^{2+} itd.), $z=2$, otrzymujemy:

$$\begin{aligned} n_o &< 4,805 \cdot 10^{25} \quad [m^{-3}] \\ x &= 7,978 \cdot 10^{-2} \text{ mola .} \end{aligned} \quad [103]$$

Wewnątrzkomórkowe stężenie jonów Ca^{2+} jest rzędu 10^{-7} mola/l, zatem warunek [103] powinien być również spełniony.

Warunek dla średniej odległości pomiędzy jonami wynosiłby odpowiednio:

$$n_o^{-1/3} > 6,877 \cdot 10^{-10} \quad [m] \quad [104]$$

i

$$n_o^{-1/3} > 2,751 \cdot 10^{-9} \quad [m] . \quad [105]$$

Wyłania się jednak istotna trudność polegająca na tym, że warunek istnienia plazmy elektrolitu [wzór 101] jest zbyt łagodny. Jest to warunek konieczny - jak było powyżej stwierdzone, spełniony z dużym zapasem - ale niewystarczający. Warunek wystarczający wiąże się z odpowiednią wartością promienia ekranowania Debye'a; w wypadku plazmy klasycznej:

$$n_o^{-1/3} \ll \lambda_D = 69(\epsilon_r T / n_o)^{1/2} . \quad [15 \text{ i } 18]$$

Warunek powyższy przekształcony do postaci

$$n_o < 69^6 \epsilon_r^3 T^3 , \quad [106]$$

przy $\epsilon_r = 81$ i $T = 300$, daje następujące ograniczenie:

$$n_o < 1,549 \cdot 10^{24} \quad [m^{-3}] \quad [107]$$

$$n_o^{-1/3} > 8,644 \cdot 10^{-9} \quad [m] , \quad [108]$$

czyli stężenie powinno być dużo niższe od około 0,00257 mola/l. Zatem nierówność [106] daje wartość gęstości jonów od 1-go do 3-ch rzędów wielkości mniejszą niż nierówność [101]. Stężenie 0,00257 mola/l, jako górna, niedopuszczalna już granica stanu plazmowego elektrolitu, leży raczej w dolnym

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

przedziale, a nawet w niektórych wypadkach poza przedziałem wewnątrzkomórkowych stężeń jonów, np. dla różnych bioukładów i organizmów: Na^+ (0,007-0,51 mola), K^+ (0,044-1,26 mola), Mg^{2+} (0,00157-0,45 mola), Ca^{2+} ($5 \cdot 10^{-7}$ -0,475 mola); dla stężeń na zewnątrz komórki: Na^+ (0,001-0,44 mola), K^+ (0,0001-0,022 mola) itd.⁷⁹ Ponadto, trzeba przecież uwzględnić w gruncie rzeczy jakieś sumaryczne stężenie jonów. Gdyby nawet przyjąć, że w jakimś bioukładzie sumaryczne stężenie wynosi około 0,001 mola, to i tak warunek $n_o^{-1/3} \ll \lambda_D$ realizowałby się bardzo słabo:

$$\frac{1 \text{ m}}{0,001 \text{ m}} = \frac{6,023 \cdot 10^{23} \text{ l}^{-1}}{x}$$

$$x = 6,023 \cdot 10^{20} \text{ l}^{-1} = n_o = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}, \quad [109]$$

a więc

$$n_o^{-1/3} \approx 1,184 \cdot 10^{-8} \text{ m}, \quad [110]$$

$$\lambda_D = 1,386 \cdot 10^{-8} \text{ m}. \quad [111]$$

Widać zatem, że średnia odległość pomiędzy jonami wynosząca ok. 11,8 nm i ponad, jest nawet większa od przeciętnej grubości błony biologicznej i zapewne nie realizuje się w zwyczajnych okolicznościach funkcjonowania komórki. Należy zatem uznać, że klasyczna plazma jonowa prawdopodobnie nie ma odpowiednich warunków na zaistnienie w większości układów, z wyjątkiem być może niektórych.

Na marginesie należałoby przypomnieć, że takie jony, jak Na^+ i K^+ są ważnymi aktywatorami enzymów usytuowanych wewnątrz komórki, a Ca^{2+} aktywują enzymy pozakomórkowe. Stąd też, problem plazmowych właściwości elektrolitów nie jest zatem taki nieistotny.

Drugi wariant, który należałoby rozpatrzyć wiąże się z założeniem bardzo wysokich przenikalności elektrycznych środowiska wodnego jonów, co wiązałoby się z prawdopodobnym stanem ferroelektrycznym. Ten zaś, a także stan elektretowy, świadczy o możliwości pewnego uorganizowania. Ustrukturyzowany stan wody w przestrzeniach międzybłonowych polegałby na względnie trwałym uporządkowaniu dipoli wody lub gromadzeniu nieskompensowanego ładunku elektrycznego, objętościowego czy powierzchniowego. Nie tylko woda, ale i uwodnione sole nieorganiczne mogą wykazywać zachowanie elektretowe.⁸⁰ W tym kontekście warto na marginesie wspomnieć o hipotezie ferroelektrycznych

⁷⁹ H'juz 1983 s. 323.

⁸⁰ Zob. np. Mascarenhas 1980 s. 321.

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

kanałów jonowych⁸¹ i hipotezie wskazującej na daleko idącą analogię między kanałami a enzymami.⁸² Przy powyższym założeniu, nie bezpodstawnym zresztą, stan plazmowy elektrolitu realizowałby się przy znacznie większych stężeniach jonów, obejmujących jednak wyżej wspomniane zakresy stężeń *in vivo*.

W charakterze przykładu oszacowane zostaną dla czterech różnych stężeń fizjologicznych odpowiednie wartości ϵ_r , powyżej których zachowany byłby warunek stanu plazmowego (przy $T = 300$ K). Przekształcony do tego celu warunek stanu plazmowego wygląda następująco:

$$\epsilon_r > 2,1004 \cdot 10^{-4} n_o^{1/3} T^{-1} . \quad [112]$$

a).

$$x = 0,001 \text{ mola}; \quad n_o = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}; \quad \epsilon_r > 59,14 \quad [113]$$

b).

$$x = 0,01 \text{ mola}; \quad n_o = 6,023 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-3}; \quad \epsilon_r > 127,39 \quad [114]$$

c).

$$x = 0,1 \text{ mola}; \quad n_o = 6,023 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}; \quad \epsilon_r > 274,44 \quad [115]$$

d).

$$x = 1 \text{ mol}; \quad n_o = 6,023 \cdot 10^{26} \text{ m}^{-3}; \quad \epsilon_r > 591,25 . \quad [116]$$

Widać więc, że trzy ostatnie przypadki związane są z występowaniem nadzwyczajnych właściwościami dielektrycznych fazy ciekłej *in vivo*. Pewnym osłabieniem tej możliwości byłoby uwzględnienie w nierówności [112] znacznie niższych stężeń jonów od przed chwilą wymienionych. Wiązałoby się to z koncepcjami podkreślającymi znaczenie dyskusyjnego faktu, że większość jonów w komórce występuje w stanie związanym z makromolekułami, a nie swobodnie w roztworze.⁸³ Dotyczy to kationów komórkowych, zwłaszcza Na^+ i K^+ . Idea ta sugeruje nawet proste analogie pomiędzy przewodnictwem czy dyfuzją kationów

⁸¹ Leuchtag 1987a s. 321, Leuchtag 1987b s. 341, Leuchtag 1989 s. 402, Leuchtag 1991 s. 169, Leuchtag 1992 s. 22, Leuchtag 1994 s. 217, Leuchtag 1995 s. 197, Bresnev i in. 1982 s. 111, Bystrov 1992 s. 127, Bystrov i in. 1993, Bystrov i in. 1994a s. 383, Bystrov & Leuchtag 1994b s. 19.

⁸² Eisenberg 1990 s. 1.

⁸³ np. Cope 1976a s. 479, Cope 1976a s. 569, Cope 1977 s. 389.

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

komórkowych a przewodnictwem elektronowym w półprzewodniku typu p , np. dyfuzja małej frakcji swobodnych jonów potasu w wodzie komórkowej jest analogiczna do ruchu elektronów w pasmie przewodnictwa w półprzewodniku, zaś dyfuzja luk w miejscach asocjacji jonów jest analogiczna do ruchu dziur w półprzewodniku. Kationy swobodne miałyby się do kationów związanych tak jak elektrony w pasmie przewodnictwa do elektronów w pasmie walencyjnym. Koncepcja powyższa przyjmuje również, że woda w komórce żywej jest ustrukturyzowana, co prawda mniej niż w lodzie, ale bardziej niż w tzw. ciekłej wodzie. A zatem, jest zupełnie możliwe, że powyższe okoliczności (ustrukturyzowany stan wody i niższe faktycznie koncentracje swobodnych jonów w komórce) znacznie bardziej sprzyjają realizacji stanu plazmowego niż to się wydaje na pierwszy rzut oka.

Dodatkowym, jak się wydaje, argumentem może być nieznaczne spełnienie warunku stanu plazmowego nawet dla jonów H^+ i OH^- w czystej wodzie. Ponieważ $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$ gramojona/l, więc

$$n_o = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 6,023 \cdot 10^{23} [l^{-1}] = 1,2046 \cdot 10^{20} [m^{-3}] . \quad [117]$$

Zatem pozostałe parametry, przy $\epsilon_r = 81$ i $T = 300$ K, mają wartości:

$$L_c \approx 6,87 \cdot 10^{-10} \text{ m} , \quad [118]$$

$$n_o^{-1/3} \approx 2,025 \cdot 10^{-7} \text{ m} , \quad [119]$$

$$\lambda_D \approx 9,80 \cdot 10^{-7} \text{ m} , \quad [120]$$

$$\lambda_c \approx 1,397 \cdot 10^{-3} \text{ m} , \quad [121]$$

$$N_D \approx 476 . \quad [122]$$

Nie wykluczone, że właśnie taka sytuacja plazmowa mogłaby istnieć na przykład w roślinnych wiązkach sitowo-naczyniowych w warunkach ekstremalnych.

Trzeci wariant, który należałoby rozpatrzyć wiąże się z przyjęciem temperatur wyższych niż $T = 300$ K (lub w pobliżu), przy powiedzmy $\epsilon_r = 81$. Po przekształceniu warunku stanu plazmowego do postaci:

$$T > 2,1004 \cdot 10^{-4} n_o^{1/3} \epsilon_r^{-1} , \quad [123]$$

oszacowane zostaną znowu 4 warianty, analogicznie do powyższych (relacje 113-116);

a).

$$x = 0,001 \text{ mola}; n_o = 6,023 \cdot 10^{23} \text{ m}^{-3}; T > 218,99 \text{ K}; \quad [124]$$

b).

$$x = 0,01 \text{ mola}; n_o = 6,023 \cdot 10^{24} \text{ m}^{-3}; T > 471,80 \text{ K}; \quad [125]$$

c).

$$x = 0,1 \text{ mola}; n_o = 6,023 \cdot 10^{25} \text{ m}^{-3}; T > 1016,45 \text{ K}; \quad [126]$$

d).

$$x = 1 \text{ mol}; n_o = 6,023 \cdot 10^{26} \text{ m}^{-3}; T > 2189,88 \text{ K}. \quad [127]$$

W rozpatrywanym tu wypadku, oprócz pierwszego wariantu jedynie jeszcze drugi wchodziłby w grę. Mógłby się on realizować w pewnych bakteriach termofilnych, żyjących w temperaturach powyżej 250 °C,⁸⁴ o ile nie są te bakterie artefaktem.⁸⁵

Zupełnie odmienną możliwością od rozpatrywanych powyżej jest założenie, że plazma elektrolitu komórkowego mogłaby być plazmą kwantową a nie klasyczną. Parametr T nie miałby wówczas istotnego znaczenia. Niestety w kwantowomechanicznych modelach roztworu⁸⁶ nie jest uwzględniana taka możliwość chociażby do warunków *in vitro*. Uważa się nawet, że koncepcja tak zwanego poziomu Fermiego dla stanów elektronicznych w roztworze nie jest wartościowa.⁸⁷ Jako ciecz kwantową rozpatruje się tylko ciekły hel⁸⁸ jeżeli chodzi o stan ciekły skupienia materii.

Kolejnym rodzajem plazmy jaki należałoby rozpatrzyć jest plazma, której elementami składowymi nie są cząstki obdarzone ładunkiem (jak jony, elektrony), a spolaryzowane cząstki obojętne, tj. chodzi tu przede wszystkim o zbiór cząsteczek H₂O jako plazmę dipolową. Niestety w literaturze brak jest jakiegoś warunku stanu plazmowego w cieczach polarnych analogicznego do takiegoż

⁸⁴ Baross i in. 1983 s. 423, Walsby 1983 s. 381.

⁸⁵ Trent i in. 1984 s. 737. Powyższe oszacowania przeprowadzone były (wzory 109-127) dla jonów jednowartościowych.

⁸⁶ Damaskin & Pietrij 1975 s. 296.

⁸⁷ Bockris & Khan 1983 s. 124.

⁸⁸ Marcz & Parinello 1986 s. 175.

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

warunku w wypadku elektrolitu czy ciała stałego. W kilku, jedynych jak się wydaje, pracach wspomnianych wcześniej nie podano takiego warunku. Stwierdza się na przykład,⁸⁹ że powierzchniowe, nieradiacyjne plazmony dwubiegunowe są kolektywnymi wzbudzeniami polaryzacyjnej gęstości ładunku. W wypadku warstewki cieczy polarnej o skończonej grubości, np. wody, tego rodzaju plazmony są wysoce dyspersyjne przy granicy długofalowej. W wypadku zaś części objętościowej tej cieczy, plazmony dwubiegunowe są czysto dalekozasięgowymi oscylacjami gęstości polaryzacyjnej i są słabo tłumione. Częstość plazmonu jest dana następującym wzorem:⁹⁰

$$\omega_p = \sqrt{\frac{4\pi n\mu^2}{I^* \epsilon_\infty}}, \quad [128]$$

gdzie: n - gęstość trwałych dipoli elektrycznych o momencie dipolowym μ , I^* - moment inercji molekuł dipolarnych i ϵ_∞ - stała dielektryczna przy częstości nieskończonej.

Podobny wzór podają Lobo i współpr.:⁹¹

$$\omega_p^2 \approx \frac{4\pi N\mu^2}{VI^* \epsilon_\infty} = \frac{4\pi N\mu_v^2 (\epsilon_\infty + 2)^2}{VI^* \epsilon_\infty 3}, \quad [129]$$

gdzie ω_p - długozasięgową częstość plazmowa, N - liczba cząstek plazmy w objętości V .

Niestety brak jest konkretniejszych danych na temat wody jako plazmy dipolowej, które można byłoby w jakiś sposób odnieść do rozpatrywanego tutaj zagadnienia.

Jak się wydaje nie zajmowano się dotąd problematyką dotyczącą jednoczesnego istnienia w fazie ciekłej plazmy jonowej i plazmy dipolowej. Taka, nazwijmy ją, plazma jonowo-dipolowa modelowałaby elektrolit komórkowy, czy ogólnie cieczy wewnątrzorganizmalne. Niewątpliwie zbadanie w przyszłości kolektywnych właściwości tego rodzaju układu ciekłofazowego, mających miejsce w ekstremalnych warunkach fizycznych jakimi są warunki *in vivo*, da znaczący wgląd w poznanie rzeczywistych cech i funkcji biostruktur ciekłych. Należy się spodziewać, że u podstaw wielu procesów życiowych leżą nieznanne jeszcze relacje pomiędzy plazmami π -elektronowymi biostruktur fazy stałej a plazmami jonowo-dipolowymi biostruktur ciekłych. Należałoby poszukiwać takich relacji. Próbą w tym kierunku jest podjęcie kwestii pochodzenia wyżej wspomnianych rodzajów plazm i wywoływanych przez nie skutków.

⁸⁹ Banville i in. 1977 s. 2143.

⁹⁰ Banville i in. 1977 s. 2143.

⁹¹ Lobo i in 1973 s. 5992.

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

3.3.2. Pochodzenie domen plazmowych i wywoływane przez nie skutki

Jakie jest źródło lub źródła stanu plazmowego w rozmaitych biostrukturach związanych bezpośrednio lub pośrednio z katalizą enzymatyczną? Wydaje się, że w kwestii pochodzenia domen plazmowych należy rozpatrywać:

- a) źródła różnego typu cząstek w poszczególnych domenach,
- b) czynniki decydujące o specyficznym charakterze danej plazmy,
- c) czynniki powodujące utrzymywanie się lub niewygasanie stanu plazmowego w określonym przedziale czasu.

W wypadku plazmy jonowo-dipolowej źródło cząstek tej plazmy jest oczywiste, po prostu pochodzą one z zewnątrz układu ożywionego. Jednakże w wypadku plazmy elektronowo-dziurowej biostruktur stałych cząstki tej plazmy nie pochodzą z zewnątrz, lecz są tworzone albo w momencie syntezy tych struktur albo w jakiś czas później. Półprzewodnictwo samoistne białek jest bardzo mało prawdopodobne. Powstanie plazmy w strukturach białkowych spowodowane może być przede wszystkim dzięki półprzewodnictwu domieszkowemu i ustawicznym generowaniem swobodnych nośników ładunku przez pole elektryczne o dużym natężeniu i promieniowanie elektromagnetyczne, które towarzyszą metastabilnemu stanowi wzbudzonej materii ożywionej. Ten rodzaj plazmy, tj. elektronowo-dziurowej, wymaga ciągłego dopływu energii dla podtrzymania w istnieniu. W przeciwnym wypadku zbyt mało elektronów pozostałoby w pasmach przewodnictwa, ażeby utworzyć plazmy elektronowo-dziurowe w kolejnych biosyntetyzowanych makromolekułach. Przepływ energii przez domeny mikroplazmowe jest również konieczny z uwagi na to, że plazma fizyczna jako odrębny stan materii podlega procesom generacji i degradacji. Przepływ ten powinien być tym większy im większa nierównowaga termodynamiczna cząstek danej plazmy względem sieci zębów atomowych jest konieczna do procesów anabolicznych i katabolicznych. Energia do podtrzymania stanu plazmowego, jako złożonego układu nieciągłego pod względem gęstości, składu i innych parametrów, może pochodzić również z egzotermicznych reakcji biochemicznych.

Źródła energii generujące poszczególne rodzaje cząstek plazmy wpływają w pewnym stopniu na proporcje ilościowe między tymi rodzajami cząstek. Proporcje te są jednym z czynników decydujących o specyficznym charakterze danej domeny plazmy. Oczywiście, omawiane wyżej parametry plazmowe również są tymi czynnikami.

Natomiast jeżeli chodzi o warunki powodujące utrzymywanie się lub niewygasanie stanu plazmowego w określonym przedziale czasu, to wiążą się one z tym, czy w danej domenie będzie plazma impulsowa czy stacjonarna. Należy oczekiwać, że w wypadku akcji enzymatycznej istnieć mogą oba rodzaje plazm, w wypadku zaś zaniku tej akcji - wyłącznie plazma stacjonarna albo w ogóle zanik plazmy. Przykładem plazmy impulsowej prawdopodobnie jest strumień jonów w pewnych kanałach jonowych, kanałach - klastrach. Kanały - klasterki działają jak oligomeryczne enzymy allosteryczne z dużą liczbą centrów aktywnych i z jednym lub kilkoma rejonami regulatorowymi, z tym, że zużywają one energię potencjału elektrochemicznego dla urzeczywistnienia procesu nie chemicznego, ale fizycznego, mianowicie przemieszczania jonów przez błonę. Przy czym energia aktywacji transbłonowej dyfuzji jonów obniża się z ok. 251

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

kJ/mol do kilkunastu kJ/mol, a szybkość transportu jonów powiększa się ok. 10^{39} razy! Kanały te posiadają nadzwyczajnie wysoką zdolność przepuszczania jonów (do 10^9 jonów na sekundę),⁹² przewyższającą maksymalną możliwą liczbę elementarnych aktów działania enzymu w jednostce czasu (liczbę obrotów enzymu). W wypadku jednego z najszybszych enzymów, powiedzmy katalazy, liczba obrotów sięga około 10^5 s^{-1} . Przykładami zaś plazmy stacjonarnej jest z pewnością plazma dipolowa i w określonych okolicznościach - zapewne plazma elektronowo-dziurowa biomakromolekuł.

W kontekście kwestii pochodzenia mikroplazm warto wspomnieć o koncepcji W. Sedlaka "kwantowego szwu życia", innymi słowy "sprzężenia chemiczno-elektronicznego". "Szew" ten jest w niej porównywany do generatora cząstek plazmy fizycznej, a właściwie bioplazmy jako nowego stanu materii analogicznego do plazmy fizycznej: "...szew można by uważać za kwantowy generator plazmy".⁹³ Sugestia ta we wspomnianej koncepcji nie była szerzej rozwinięta.

Jeżeli wewnątrz komórki żywej, w układach enzymatycznych istnieją domeny plazmowe, to oczywiście powinny wywoływać jakieś skutki. Przede wszystkim z natury plazmy fizycznej (w odróżnieniu od trzech "normalnych" stanów skupienia materii) wynika kolektywna reakcja zbioru jej cząstek na wzbudzenia elektryczne i magnetyczne. Pociąga to za sobą możliwość powstawania i ukierunkowanego oddziaływania tzw. oscylacji plazmowych oraz innych rodzajów fal, jak również możliwość pośredniczenia plazmy w transformacji różnych rodzajów energii. Na przykład skutkiem, mogącym mieć znaczenie biologiczne, może być zjawisko tzw. ucieczki elektronów z plazmy (tj. proces oddzielania się ładunków w polu elektrycznym).⁹⁴ Analogicznie można powiedzieć o naturalnej "ucieczce" promieniowania z plazmy. Skutkiem tych "ucieczek" jest zapewne inicjowanie reakcji chemicznych.

Wreszcie najważniejszą bodajże konsekwencją obecności plazmy fizycznej w układach biologicznych może być trwałość egzystencji plazmy, przypuszczalnie większa niż w wypadku plazmy ciała stałego nieorganicznego. Analogicznie bowiem, zasadnicza różnica polega na tym, że - z punktu widzenia trwałości istnienia - plazma ciała stałego jest absolutnie trwała, gdy tymczasem plazma gazowa ma względnie krótki czas życia i szybko rozpada się.⁹⁵ Konsekwentnie idąc po tej linii rozumowania można ekstrapolować tę właściwość na bioplazmę jako nowy stan materii, że mianowicie jej trwałość jest jeszcze większa niż trwałość zwyczajnej plazmy ciała stałego. Gdyby tak było, to nie pozostałoby to bez istotnego wpływu na funkcje mikroplazm w katalizie enzymatycznej.

3.3.3. Funkcje domen plazmowych - możliwość powiązania parametrów plazmowych z parametrami termodynamicznymi i kinetycznymi

⁹² Gieletiuk & Kazaczeko 1990 s. 201.

⁹³ Sedlak 1984 s. 91.

⁹⁴ Clauser 1964 s. 24.

⁹⁵ Bielecki i in. 1984 s. 10.

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

opisującymi reakcje enzymatyczne

Jednym z podstawowych zadań katalizatora jest manipulowanie lub zarządzanie energią swobodną.⁹⁶ Właśnie dlatego enzymy nazywane bywają molekularnymi maszynami energetycznymi,⁹⁷ które mogą energię magazynować, transportować i przekształcać.

Plazma fizyczna jest stanem materii szczególnie predestynowanym do pośredniczenia w przekształceniach różnych form energii. Podejrzewać więc należy, że funkcje mikroplazm właśnie na tym polegają. Nie ma w tym stwierdzeniu jednak nic specjalnie odkrywczego. Wgląd w tzw. plazmowy mechanizm katalizy enzymatycznej dać może dopiero wskazanie warunków ilościowych wyżej wspomnianego magazynowania, transportu i przekształcania energii, w aspektach znamiennych dla katalizy, tj. np. selektywności, wybiórczości, liczby obrotów enzymu itd. Do tego dodać należy kwestię przemian z ogromną szybkością jednych form materii korpuskularnej w jej inne formy.

Jak wiadomo, w technologii chemicznej z użyciem wyładowań elektrycznych, nierównowagowe układy plazmochemiczne pozwalają na realizację przemian chemicznych selektywnie i przy wysokiej efektywności energetycznej.⁹⁸

W kwazirównowagowych układach plazmochemicznych temperatura T jest jedyną energetyczną charakterystyką układu, tj. $T \approx T_0 \approx T_e \approx T_i \approx T_r = T_v$, gdzie: T_0 - translacyjna temperatura gazu obojętnego; T_e - temperatura elektronów; T_i - temperatura jonów; T_r - temperatura rotacyjna molekuł; T_v - oscylacyjna temperatura gazu molekularnego. W układach nierównowagowych natomiast mogą realizować się rozmaite sytuacje nieizotermiczne, gdzie np. $T_e \gg T_v \gg T_0 \approx T_i \approx T_r$. Zmianianie parametrów plazmowych pozwala na sterowanie procesem chemicznym, kierując go na odpowiedni tor i w rezultacie na optymalizowanie jego energetycznej efektywności. W nierównowagowych układach plazmochemicznych urzeczywistniają się wielorakie przekształcenia: przemiany energii, przemiany atomowo-molekularne, przemiany cząstek naładowanych. W układach tych mechanizmem procesu plazmochemicznego nazywane są: kolejność przekształceń, którym podlegają substancje wyjściowe i energia elektryczna potrzebna do ich przemiany w produkty i energię cieplną.

Wyróżnia się trzy podstawowe etapy tego procesu:

- a) przekaz energii pola elektrycznego elektronom plazmy,
- b) przekaz energii elektronów cząstkom neutralnym,
- c) reakcje chemiczne i relaksacja wzbudzonych cząstek.⁹⁹

Intensywnie badane procesy chemiczne w plazmie fizycznej¹⁰⁰ obejmują również procesy polimeryzacji związków organicznych, otrzymywanych zwłaszcza w postaci ultracienkich warstewek bez defektów, o określonych

⁹⁶ Zob. np. Lumry & Gregory 1986 s. 1.

⁹⁷ Welch & Kell 1986 s. 451.

⁹⁸ Zob. np. Rusanow & Fridman 1984 s. 3.

⁹⁹ Rusanow & Fridman 1984 s. 22-23.

¹⁰⁰ W plazmie fizycznej powstawać mogą systemy molekularne o wysokim poziomie energii swobodnej (Pollo 1990 s. 115).

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

wartościach elektroprzewodnictwa i przenikalności dielektrycznej.¹⁰¹ Nie tylko polimeryzacja, ale również, w kontekście tak zwanej katalizy plazmowej, badane są liczne inne reakcje związków organicznych w nierównowagowej plazmie gazowej, np. kondensacji, eliminacji, izomeryzacji, generacji reaktywnych cząstek, a także złożone reakcje wielostopniowe i modyfikacje powierzchni.¹⁰² Fakty te, tj. reakcje w fazie gazowej w temperaturach rzędu 2000-3000 K, mogą mieć znaczenie dla rozpatrywanego tu problemu plazmowego mechanizmu katalizy enzymatycznej, ponieważ uważa się, że dotychczasowe badania doświadczalne mechanizmów działania enzymów (oparte na analogii z reakcjami w roztworze) powinny być przewartościowane i zreinterpretowane. Trzeba bowiem podkreślić to, że odpowiedni substrat jakiegoś enzymu jest ściśle dopasowany do miejsca aktywnego tego enzymu i dlatego późniejsza reakcja przebiega przy nieobecności rozpuszczalnika, tj. jak gdyby w fazie gazowej. Interpretacja reakcji enzymatycznych wymaga więc informacji dotyczących chemii fazy gazowej, których niestety brakuje.¹⁰³ Być może przydatne mogą się okazać badania nad katalizą heterogeniczną w nisko-ciśnieniowych plazmach.¹⁰⁴ Interesująca w tym kontekście jest informacja, że enzym symuluje efekty wyższych koncentracji reaktantów i efekty wyższej temperatury, aczkolwiek w rzeczywistości nie ma wyższej temperatury lub stężenia reaktantów, ponieważ reaktanty nie mają wyższej energii kinetycznej lub liczby zderzeń.¹⁰⁵ Nieobecność rozpuszczalnika w centrum aktywnym, tj. wody, nie wyklucza oczywiście jego udziału w innych fazach procesu.

Rozpatrując problem katalizy od strony chemii plazmy stwierdzić należy, że bardziej adekwatna w tym względzie byłaby nie plazmochemia procesów heterofazowych w plazmie niskotemperaturowej (rozwijana od dawna głównie dla potrzeb przemysłu), lecz chemia plazmy ciała stałego lub cieczy. Interesujące bowiem dla rozpatrywanego tu problemu byłyby relacje pomiędzy plazmą w ciele stałym a reakcjami zachodzącymi na powierzchni tego ciała lub w jego fazie objętościowej, np. adsorpcją, chemisorpcją, katalizą itd. Niestety tego typu chemia plazmy ciała stałego nie istnieje jeszcze, chociaż bada się na przykład wpływ plazmonów powierzchniowych metalu lub kryształu molekularnego na procesy rozpadu wzbudzonych cząsteczek (także cząsteczek organicznych) osadzonych na powierzchni tych ciał stałych.¹⁰⁶

Pożądana sytuacja poznawcza byłaby "idealna", gdyby istniał już plazmowy model katalizy na metalach i półprzewodnikach nieorganicznych. Mimo braku takiego modelu, podjęta tu jednak zostanie próba wyjścia od elektronowej teorii katalizy na półprzewodnikach zapoczątkowanej przez F. F. Wolkensztejn.¹⁰⁷

¹⁰¹ Zob. np. Jasuda 1988 s. 13.

¹⁰² Zob. np. Suhr 1983 s. 1.

¹⁰³ Dewar 1986 s. 8.

¹⁰⁴ np. Gicquel i in. 1986 s. 2013.

¹⁰⁵ Higazi 1985 s. 609.

¹⁰⁶ np. Morawitz 1978 s. 261, Morawitz & Philpott 1974 s. 4863, Philpott 1978 s. 329.

¹⁰⁷ Zob. np. Baru & Wolkensztejn 1978, Kisielw & Kryłow 1979, Madey i in. 1976 s. 59/1-124, Wolkensztejn 1962, Wolkensztejn 1969, Wolkensztejn 1973, Wolkensztejn 1987.

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

Podstawowe tezy tej teorii są następujące.

1) Charakter wiązania zaadsorbowanej cząstki z siecią adsorbenta jest uwarunkowany zdolnością tej cząstki do związywania swobodnego elektronu (lub swobodnej dziury) sieci. Formy chemisorpcji różnią się charakterem tego wiązania.

2) Cząstki, w zależności od sposobu chemisorpcji, mają różne zdolności reakcyjne, gdyż jedna z możliwych form chemisorpcji odznacza się wysyceniem wartościowości, zaś pozostałe formy mają charakter rodnikowy lub jonowo-rodnikowy.

3) Lokalizacja lub uwolnienie swobodnego elektronu (lub dziury) jest powodowana przez zmianę charakteru wiązania zaadsorbowanej cząstki z powierzchni, tzn. różne formy chemisorpcji mogą przechodzić jedna w drugą.

4) Położenie poziomu Fermiego elektronów na powierzchni (które zależy od położenia w głębi) kryształu półprzewodnika określa:

a) zdolności reakcyjne cząstek chemisorbowanych, tj. stosunek stężeń różnych form chemisorpcji na powierzchni przy ustalonej równowadze elektronowej,

b) zdolność adsorpcyjną powierzchni względem danego rodzaju cząstek,

c) aktywność katalityczną tego półprzewodnika względem danej reakcji.

5) Chemisorpcja wpływa na zmianę przewodnictwa elektrycznego półprzewodnika.

6) Pomiędzy przewodnictwem elektrycznym a aktywnością katalityczną półprzewodnika istnieje określona korelacja.

7) Aktywność katalityczna (jak również zdolność adsorpcyjna) zmienia się pod wpływem:

a) wprowadzenia domieszek do półprzewodnika (ponadto od niejednorodnego rozkładu domieszek), które przesuwają poziom Fermiego, co pociąga za sobą przyspieszenie lub zahamowanie reakcji,

b) oświetlania półprzewodnika promieniowaniem zdolnym do wywołania zjawiska fotoelektrycznego, tj. zmian stężenia gazu elektronowego (lub dziurowego) na powierzchni, a co za tym idzie względnych zmian stężeń różnych form chemisorpcji i zmian zdolności reakcyjnych chemisorbowanych cząstek,

c) zewnętrznego pola elektrycznego, co pociąga za sobą zmianę stężenia swobodnych elektronów i dziur,

d) stopnia rozdrobnienia (przy dostatecznie dużym rozdrobnieniu półprzewodnika), gdyż w wypadku dostatecznie małych kryształów położenie poziomu Fermiego zależy od rozmiarów kryształu,

e) strukturalnych defektów powierzchni.

8) Półprzewodnik, zawierający w sobie zapas elektronów i dziur biorących udział w reakcji i odgrywających rolę wolnych wartościowości, jest polirodnikiem i funkcja jego - jako katalizatora - polega na dostarczaniu swobodnych wartościowości do udziału w reakcji. Analogiczny do tego jest wpływ swobodnych rodników wprowadzonych do fazy gazowej na przebieg reakcji homogenicznej.

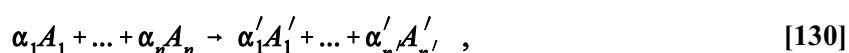
Tak więc katalizator (półprzewodnik) uczestniczy w etapach pośrednich reakcji na prawach jednego z uczestników reakcji, a mechanizm katalitycznego działania półprzewodnika jest "ukryty" wewnątrz samego półprzewodnika.

Podstawowymi pojęciami, z którymi mamy do czynienia w katalizie, są pojęcie aktywności i pojęcie selektywności katalizatora. Aktywność jest

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

charakteryzowana przez względne powiększenie szybkości reakcji, a selektywność to zdolność katalizatora do zmieniania kierunku reakcji. Zarówno katalityczna aktywność jak i selektywność mogą być w sposób istotny zmieniane w wyniku określonych oddziaływań z zewnątrz na półprzewodnik, np. podwyższanie temperatury powoduje wzrost aktywności katalizatora. Prócz wyżej wspomnianych wymienia się jeszcze pojęcie energii aktywacji reakcji (E). Otóż według prawa Arrheniusa: $K(T) = K_0 \exp(-E/kT)$, gdzie: $K(T)$ - stała szybkości reakcji, k - stała Boltzmanna, T - temperatura bezwzględna.

Zapiszmy ogólne równanie reakcji następująco:



gdzie: A_1, \dots, A_n - są symbolami chemicznymi substancji wchodzących w reakcję, A'_1, \dots, A'_n - symbole produktów reakcji; α_i (gdzie $i = 1, 2, \dots, n$) i α'_k (gdzie $k = 1, 2, \dots, n'$) - to tak zwane współczynniki stechiometryczne. Oznaczając dalej przez N_i i N'_k stężenia molekuł A_i i A'_k w fazie gazowej i wprowadzając parametr czasu (t) otrzymamy, że dla wszystkich wartości "i" i "k" [131]:

$$\frac{N_i(0) - N_i(t)}{\alpha_i} = \frac{N'_k(t) - N'_k(0)}{\alpha'_k}, \quad [131]$$

gdzie: $\{N_i(0) - N_i(t)\}$ równa się liczbie molekuł substancji wyjściowej, które przereagowały w czasie t, $\{N'_k(t) - N'_k(0)\}$ = liczbie molekuł produktu powstałych w czasie t. Stąd otrzymuje się wielkość zwaną szybkością reakcji (g) [132]:

$$g = -\frac{1}{\alpha_i} \frac{dN_i(t)}{dt} = \frac{1}{\alpha'_k} \frac{dN'_k(t)}{dt}, \quad [132]$$

która jest funkcją temperatury i koncentracji molekuł biorących udział w reakcji. Zazwyczaj

$$g = K(T) N_1^{\beta_1} N_2^{\beta_2} \dots N_n^{\beta_n}, \quad [133]$$

gdzie β_i ($i = 1, 2, \dots, n$) - to współczynniki kinetyczne, stanowiące tzw. "rząd reakcji" ze względu na komponent A_i (w większości wypadków β_i równają się odpowiednim współczynnikom stechiometrycznym: $\beta_i = \alpha_i$).

Z punktu widzenia elektronowej teorii katalizy, mechanizm heterogennego procesu katalitycznego nie może być zrozumiany do końca bez rozszyfrowania mechanizmu etapów pośrednich tego procesu, tj. etapów adsorpcji i desorpcji. Przy chemisorpcji biorą udział swobodne elektrony i dziury adsorbenta, a chemisorbowana cząstka, w ciągu swojego życia w stanie chemisorbowanym, spędza dość długi czas w stanie rodnikowym lub jonowo-rodnikowym. Stąd mówi

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

się o rodnikowym mechanizmie reakcji heterogenicznej.

W niniejszej rozprawie idzie się krok dalej, stwierdza się mianowicie, że ma miejsce plazmowy mechanizm reakcji katalitycznej, a w szczególności enzymatycznej.

Szybkość reakcji (a tym samym aktywność katalityczna półprzewodnika odnośnie danej reakcji) określana jest, przy pozostałych warunkach stałych (położeniem poziomu Fermiego na powierzchni półprzewodnika) [równanie 134]:

$$g = g(E_F) . \quad [134]$$

Stąd wyróżnia się dwie przeciwstawne klasy reakcji:

a) reakcje przebiegające tym szybciej, im wyżej położony jest poziom Fermiego [nierówność 135]; reakcje te są przyspieszane elektronami i nazywane są reakcjami akceptorowymi lub reakcjami klasy n :

$$\frac{dg}{dE_F} > 0 , \quad [135]$$

b) reakcje przebiegające tym szybciej, im niżej jest położony poziom Fermiego [nierówność 136] - są to reakcje przyspieszane dziurami (reakcje donorowe lub reakcje klasy p):

$$\frac{dg}{dE_F} < 0 . \quad [136]$$

Położenie poziomu Fermiego może być przesuwane przez wprowadzane domieszki, np. domieszka donorowa przesuwają go do góry, akceptorowa natomiast - w dół. Wpływ jednej i tej samej domieszki na aktywność katalityczną będzie wprost przeciwny w wypadku reakcji akceptorowej i w wypadku reakcji donorowej.

Pomiędzy aktywnością katalityczną półprzewodnika a jego charakterystykami elektronowymi istnieje ścisła korelacja, w szczególności z przewodnictwem elektronowym (κ) i pracą wyjścia elektronu z półprzewodnika (ϕ_T). Otóż

$$\frac{dg}{d\phi_T} = \frac{dg}{d\epsilon_s} \quad [137]$$

(pochodna ta jest większa od zera w wypadku reakcji donorowej lub jest mniejsza od zera w wypadku reakcji akceptorowej), gdzie ϵ_s - odległość między dnem pasma przewodnictwa a poziomem Fermiego na powierzchni półprzewodnika (ϵ_v - we wnętrzu półprzewodnika). Zaś w wypadku korelacji między aktywnością katalityczną ($g=g(\epsilon_s)$) a elektroprzewodnością ($\kappa=\kappa(\epsilon_s, \epsilon_v)$) mamy następujące zależności:

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

	półprzewodnik typu <i>n</i>	półprzewodnik typu <i>p</i>
<i>n</i> -reakcja	$dg/d\kappa > 0$	$dg/d\kappa < 0$
<i>p</i> -reakcja	$dg/d\kappa < 0$	$dg/d\kappa > 0$

Paralelizm między aktywnością katalizatora i jego elektroprzewodnością wynika z tego, że ta druga jest określana przez koncentrację swobodnych elektronów i dziur w półprzewodniku, które biorą udział w reakcji na prawach komponentów reakcji i decydują przez to o jej szybkości. Tak więc czynniki zmieniające pracę wyjścia elektronu lub elektroprzewodność półprzewodnika zmieniają aktywność katalityczną. Te dwa parametry zmieniają się zresztą i w trakcie samej reakcji. Katalizator może ulegać utlenieniu lub redukcji, np. podczas rozpadu alkoholu metylowego ($\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$), katalizowanego tlenkiem cynku, przewodność ZnO wzrasta z biegiem reakcji; katalizator ten redukując się uzyskuje zwyrodniałą gaz elektronowy i przewodność metaliczną.¹⁰⁸

Istnieje również korelacja pomiędzy aktywnością katalityczną a szerokością pasma wzbronionego ($u = E_c - E_v$; gdzie E_c - poziom dolnej krawędzi pasma przewodnictwa, E_v - poziom górnej krawędzi pasma walencyjnego) w widmie energetycznym półprzewodnika. Wyraża się ona następującą zależnością:

$$g = C \exp\left(-\frac{u}{kT}\right), \quad [138]$$

gdzie *C* - współczynnik zależący od szeregu parametrów charakteryzujących dany katalizator.

Na aktywność wpływają również czynniki zewnętrzne, np. pole elektryczne, światło. Pod wpływem oświetlenia zmieniają się zarówno adsorpcyjne właściwości półprzewodnika, jak i katalityczne (efekt fotokatalityczny). Oświetlenie może powodować przyspieszenie reakcji (dodatni efekt fotokatalityczny) jak również hamować reakcję (ujemny efekt fotokatalityczny), wreszcie nie wpływać na katalityczną aktywność katalizatora. Pod wpływem oświetlenia szybkości rozmaitych paralelnie przebiegających reakcji zmieniają się w różnym stopniu. Tak więc, pod działaniem światła zmienia się nie tylko aktywność katalizatora wobec każdej danej reakcji, ale i jego selektywność wobec paralelnie przebiegających reakcji. Fotokatalityczną aktywność przejawiają te częstotliwości promieniowania, które są aktywne fotoelektrycznie, tzn. wzbudzają fotoprzewodnictwo w półprzewodniku.¹⁰⁹

Analogicznie ma się rzecz z wpływem zewnętrznego pola elektrycznego (efekt elektrokatalityczny).

Również istotny wpływ na własności katalityczne półprzewodnika na metalu ma grubość warstewki tego pierwszego. Okazuje się, że w wielu wypadkach optymalna grubość (tj. taka, przy której szybkość reakcji jest maksymalna)

¹⁰⁸ Zob. np. Wolkensztejn 1987 s. 229.

¹⁰⁹ W ostatnich latach wykonano szereg interesujących prac dotyczących fotokatalizatorów półprzewodnikowych o rozmiarach nanometrowych (np. Rao & Natarajan 1994 s. 742, Shiragami i in. 1993 s. 12882, Kamat 1991 s. 375).

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

zawiera się w granicach $10^{-8} \text{ m} < L < 10^{-6} \div 10^{-7} \text{ m}$.¹¹⁰

Przedstawione powyżej prawidłowości, dotyczące katalizy na półprzewodnikach, ustalone były przede wszystkim w oparciu o badania półprzewodników nieorganicznych. Należy jednak sądzić, że z racji ogólności dotyczą także katalizy na półprzewodnikach organicznych. Niestety własności katalityczne półprzewodników organicznych były przedmiotem stosunkowo niewielu prac.¹¹¹

W wypadku katalizy na półprzewodnikach organicznych znajdowane są już podobne do wspomnianych powyżej korelacje pomiędzy przewodnością elektryczną a aktywnością katalityczną.¹¹² Ogólnie mówiąc półprzewodniki typu *n* działają jak czynniki redukujące, a typu *p* jak utleniające, natomiast aktywność katalityczna podnosi się, gdy energia aktywacji zmniejsza się, a przewodność wzrasta. Parametry przewodnictwa elektrycznego zależą głównie od struktury chemicznej molekuł, tj. liczby elektronów π i stopnia delokalizacji, jak również od barier międzymolekularnych i defektów. Na katalityczne własności mają również wpływ specyficzne właściwości chemiczne czy strukturalne katalizatora, chociażby charakter jonu metalu, np. metaloftalocyjanin.¹¹³

Analogiczne aspekty dotyczą również tzw. metali organicznych. Badania wzbudzeń plazmowych w tych substancjach nie są na razie wiązane z teorią katalizy.

Warto w tym miejscu podkreślić niektóre, jakby specyficzne zależności. Otóż wśród półprzewodników organicznych (będących polimerami wielkocząsteczkowymi, np. poli-aminochinony, poli-miedzio-ftalocyjaniny) właściwości katalityczne wykazują zwłaszcza te substancje, które charakteryzują się stosunkowo dużym przewodnictwem właściwym w temperaturze pokojowej. Istnieje związek pomiędzy aktywnością katalityczną a liczbą niesparowanych elektronów w wielkocząsteczkowych półprzewodnikach organicznych. W wypadku, gdy jest to polimer półprzewodnikowy o strukturze chelatowej, to aktywność jego zależy od jonu metalu tworzącego wiązanie koordynacyjne i grup bocznych bezpośrednio z nim związanych, natomiast rodniki i grupy boczne nie związane z metalem nie wpływają w sposób istotny na tą aktywność. Aktywność katalityczna polimeru jest większa niż aktywność katalityczna monomeru. Warto odnotować, że poli-Fe-ftalocyjanina jest, przynajmniej w pewnych warunkach, lepszym katalizatorem aniżeli platyna. Energie aktywacji przewodnictwa poli-metal-ftalocyjanin wynoszą na przykład dla poli-Cu-ftalocyjaniny 0,21 eV, dla poli-Ni-ftalocyjaniny 0,42 eV, zaś dla monomerów - Ni-ftalocyjaniny 1,60 eV, Cu-ftalocyjaniny 1,77 eV.¹¹⁴ Wartość tej energii zależy od postaci lub sposobu preparowania danej substancji, np. w wypadku ftalocyjaniny (H_2Fc) - dla: drobnokrystalicznego proszku sprasowanego 2,4 eV, monokryształu 1,7 eV,

¹¹⁰ Wolkensztejn 1987 s. 238.

¹¹¹ i co za tym idzie nielicznych prac przeglądowych, Kryszewski 1968 s. 199-209, Kryszewski 1980 s. 297-316 i 578-582, Meier 1974 s. 451-454, Gutmann i in. 1983 s. 25-26 i 464.

¹¹² zob. np. Meier 1974 s. 451.

¹¹³ tj. katalizatorów organicznych podobnych strukturalnie do porfiryn, a tym samym centrów aktywnych w enzymach hemowych.

¹¹⁴ Zob. np. Gutmann i in. 1983 s. 464.

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

warstewki naniesionej w obecności powietrza 1,5 eV, warstwy naniesionej na podłożu kwarcowym 0,9 eV; przyjmuje się, za najbardziej wiarygodne wartości energii aktywacji $E = 1,7 \div 1,9$ eV i oporności $\rho = 10^{14} \div 10^{17}$ Ωm przy dodatnim znaku nośników ładunku, ruchliwość elektronów $\mu = (4,3 \div 7) \times 10^{-5}$ m^2/Vs , a ruchliwość dziur $(2,4 \div 5,6) \times 10^{-5}$ m^2/Vs .¹¹⁵ Tlen ma silny wpływ na elektroprzewodnictwo, np. w wypadku miedziotalocyjaniny przewodnictwo dziurowe jest wynikiem adsorpcji tlenu tworzącego poziomy typu akceptorowego, na które przechodzą elektrony; Cu-ftalocyjanina przy niskich temperaturach i ciśnieniach jest półprzewodnikiem typu *n*, natomiast podwyższenie temperatury lub ciśnienia tlenu prowadzi do zmniejszenia koncentracji swobodnych elektronów aż do przejścia w półprzewodnik typu *p*. Położenie poziomu Fermiego ftalocyjanin także zależy od typu atmosfery - tlen przesuwają poziom Fermiego bliżej pasma walencyjnego, zaś wodór wykazuje przeciwne działanie.¹¹⁶

Katalizie na takich półprzewodnikach organicznych jak porfiryny i ftalocyjaniny poświęcono stosunkowo dużo prac, obejmujących również reakcje elektrokatalityczne, fotokatalityczne, fotoelektrokatalityczne itd.¹¹⁷ Związki te są aktywnymi i selektywnymi katalizatorami licznych reakcji utleniająco-redukujących. Jednakże zasadniczą rolę w aktywacji cząsteczek substratu przypisuje się tam lokalnym oddziaływaniom chemicznym, określanym przede wszystkim strukturą chemiczną molekuly kompleksu, a nie kolektywnym parametrami elektrofizycznym warstewek metaloporfiryn o właściwościach półprzewodnikowych. Efekty kolektywnych oddziaływań wzajemnych odgrywałyby rolę co najwyżej drugorzędą. Niestety mechanizmy efektów katalitycznych rozpatruje się tam w ramach klasycznej teorii pola krystalicznego ligandów, a nie z punktu widzenia elektronowej teorii katalizy na półprzewodnikach. Może dlatego taki a nie inny aspekt widzenia wpłynął na niekorzystną interpretację wyników doświadczalnych w kategoriach zjawisk kolektywnych, a co za tym idzie i plazmowych.

Problem udziału i znaczenia zarówno "lokalnych" jak i "kolektywnych" efektów w katalizie jest również poruszany przez głównego autora elektronowej teorii katalizy na półprzewodnikach V. V. Wolkensztejn.¹¹⁸ Te pierwsze efekty dotyczą oddziaływania wzajemnego adsorbowanej cząstki z centrum adsorpcji, te drugie zaś - wzajemnego oddziaływania tejże cząstki z całą siecią - tutaj odgrywają istotną rolę wszystkie biorące udział elektrony i dziury sieci. Szkoda, że stosunkowo niedawne, dwie obszernie monografie poświęcone półprzewodnikom organicznym¹¹⁹ zupełnie pomijają aspekt katalizy. Pojawiają się już, ale jednak należące do wyjątków, prace dyskutujące możliwość wykorzystania elektroniki molekularnej w biokatalizie i biocybernetyce.¹²⁰ Zwraca się tu uwagę na modelowanie poszczególnych, receptorowych i generacyjnych funkcji błon

¹¹⁵ Tarasiewicz & RADIUSZKINA 1982 s. 59.

¹¹⁶ Tarasiewicz & RADIUSZKINA 1982 s. 62.

¹¹⁷ patrz monografia: Tarasiewicz & RADIUSZKINA 1982.

¹¹⁸ Zob. np. Wolkensztejn 1987 s. 404.

¹¹⁹ Poup & Swienberg 1985 t. I i II, Kao & Huang 1984 t. I i II.

¹²⁰ Kisielew 1990 s. 273.

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

komórkowych. Charakterystyczną bowiem osobliwością licznych układów biologicznych i biokatalitycznych jest ściśle zespolenie w nich procesów elektronowych i protonowych. W złożonym przecież procesie katalitycznym sprzęgają się utleniająco-redukujące stadia reakcji, przyspieszane elektronami, z etapami kwasowo-zasadowymi, w których uczestniczą protony i ugrupowania zawierające protony. Właśnie powierzchnia katalizatora-półprzewodnika jest odpowiednią sceną dla sprzęgania takich procesów. Nie wykluczone, że takie zespolenie procesów elektronowych z protonowymi ma istotny związek z tzw. sprzężeniem chemiczno-elektronicznym, którego występowanie w organizmach żywych jest postulowane we wspomnianych wyżej pracach W. Sedlaka.

Większość reakcji chemicznych potrzebuje energii do zainicjowania. Otóż, wówczas gdy mamy do czynienia z konwencjonalnym źródłem energii, dostarczanie energii odbywa się małymi porcjami i molekuly "ogrzewają" się stopniowo aż do osiągnięcia przez nie energii równoważnej tzw. energii aktywacji. Owo stopniowe wzbudzenie doprowadza jedynie do najniższego poziomu reakcyjnego. Wyższe bowiem poziomy energetyczne są dostępne dopiero wtedy, gdy większe kwanty energii są doprowadzane do jakiegoś pojedynczego procesu wzbudzenia, co ma miejsce w fotochemii lub chemii plazmy. Te wyższe stany wzbudzone albo przechodzą kaskadowo do niższych stanów energetycznych, albo mogą prowadzić do nowych reakcji i rozmaitych produktów. Zakres energii potrzebnej do generowania stanów wzbudzonych sięga w klasycznej chemii do ok. 4 eV, w fotochemii do ok. 6 eV; plazma natomiast może także generować te stany znacznie powyżej tych wartości.

Wydaje się zatem, że plazmowy opis reakcji chemicznych, a w tym i biochemicznych, jest ogólniejszy od klasycznego. Z jednej strony bowiem, w układzie żywym występować mogą cząstki plazmy o wysokiej energii, np. gorące elektrony nierównowagowe w procesach fotosyntetycznych, cząstki wysokoenergetyczne będące rezultatem ultrasłabego biologicznego promieniowania ultrafioletowego (tzw. promieniowanie autogenne)¹²¹ lub promieniowania jonizującego z otaczającego środowiska.¹²² Z drugiej strony zaś, plazmowe wzbudzenia kolektywne w półprzewodnikach mogą powstawać nawet pod wpływem bardzo małych energii, mniejszych nawet niż średnie energie ruchu cieplnego, np. energia plazmonu w tym wypadku wynosi zaledwie ok. 0,001 eV.¹²³ Ponadto występuje niskopoziomowa luminescencja biosystemów również w zakresie widzialnym.¹²⁴ W ośrodku biologicznym więc istnieją odpowiednie warunki generacji plazmonów i cząstek plazmy w szerokim zakresie energetycznym. Inne argumenty w tym względzie podano w paragrafach powyżej.

Większość organicznych reakcji plazmowych (np. polimeryzacji, kondensacji, izomeryzacji, generacji reaktywnych cząstek) opisuje się w postaci sekwencji

¹²¹ np. Quickenden & Que Hee 1981 s. 453, Yanbastiev 1984 s. 299.

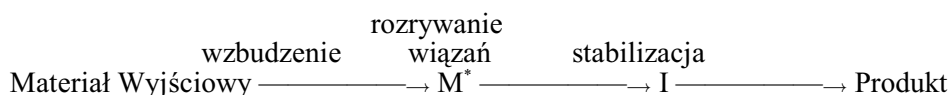
¹²² Uważa się nawet, że promieniowanie jonizujące w małych dawkach może być fizjologicznie korzystne (Luckey 1982 s. 771, Luckey 1985 s. 184, Juszcak 1993).

¹²³ Pożęła 1977 s. 75.

¹²⁴ np. Sławiński 1984 s. 27, Sławińska & Sławiński 1985 s. 495, Ruth 1979 s. 107, Gu & Popp 1992 s. 1069, van Wijk van Aken 1992 s. 1092, Rajfur 1994 s. 59, Isojima i in. 1995 s. 658, Pang 1995 s. 411, Pang 1996 s. 71.

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

o trzech stopniach:¹²⁵



gdzie: M^* jest wzbudzoną cząstką obojętną lub jonową, I - jest pośrednikiem obojętnym lub jonowym. Reakcja może być selektywna jedynie wtedy, gdy każdy z tych trzech stopni jest wystarczająco selektywny. Wzbudzenie selektywne wymagałoby elektronów monoenergetycznych i istnieć powinny wydajne sposoby transferu energii w obrębie molekuly lub pomiędzy nimi. Z kolei, aby zapewnić selektywne rozrywanie wiązań, konieczne są odpowiednie różnice energii wiązań. W wypadku reakcji w plazmie gazowej różnice te powinny wynosić $\geq 41,9$ kJ/mol ($\geq 0,43$ eV), w stanie podstawowym.¹²⁶ Niestety dla większości układów reakcyjnych nie jest znana zależność wydajności reakcji od rozmaitych parametrów plazmowych. Nie wykluczone, że podobna sekwencja trójstopniowa może występować również dla reakcji w bioplazmie. Problem ten jest jednak zbyt obszerny i wykracza poza zakres niniejszej rozprawy. Tutaj jednak ograniczę się do jeszcze paru sugestii.

Jak już wskazywano powyżej, rozmaite parametry plazmowe (jak ω_p , n_e , T itd.) mogą prawdopodobnie być odpowiedzialne za zjawiska selektywności i specyficzności. Nie wykluczone więc, że mechanizmy wielkiej liczby rozmaitych reakcji enzymatycznych mają wspólne podłoże energetyczne wyrażające się w różnych stanach plazmowych. Aczkolwiek istnieje ogromna liczba enzymów, to jednak w gruncie rzeczy można je pogrupować w niewielką ilość klas odpowiedzialnych za katalizowanie reakcji przebiegających z udziałem takich wiązań chemicznych jak: C-H, C-N, C=O, O-H, C-C, S-N, C-P, C=C, S-S itd.

Chociaż energetyczne aspekty katalizy nie są jak dotąd wystarczająco uwzględniane w badaniach, to niemniej jednak sugerowano przecież, że enzymy są swego rodzaju "lejkami" energetycznymi zdolnymi do magazynowania, porządkowania i koncentrowania chaotycznej energii termicznej mikrośrodowiska w miejscu ściśle określonym, np. w centrum aktywnym enzymu, gdzie energia ta służy do tzw. aktywacji związku.¹²⁷ Nie tylko energię termiczną należałoby tu uwzględnić. W świetle przedstawionych rozważań układy enzymatyczne wydają się być systemami złożonymi z kilku rodzajów plazm wzajemnie oddziaływujących, np. elektronowej, dziurowej, dipolowej, ekscytonowej; bądź w zależności od własności elektronicznych odpowiednich mikroobszarów, na przykład plazmy nadprzewodnikowej, półprzewodnikowej, elektrolitu; wreszcie plazmy jednowymiarowej, dwuwymiarowej itd.

Trzeba koniecznie zaakcentować istnienie pewnej publikacji, bardzo interesującej w kontekście rozpatrywanej tutaj problematyki. Otóż spośród licznych prac na temat oscylacji plazmowych w półprzewodnikach bodajże tylko

¹²⁵ Suhr 1983 s. 1.

¹²⁶ Suhr 1983 s. 1.

¹²⁷ Higazi 1985 s. 609, Kell 1982 s. 349.

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

jedna¹²⁸ zawiera sugestię dotyczącą katalizy. Praca ta poświęcona jest kolektywnym wzbudzeniom elektronowym dysków plazmowych, o określonym promieniu, usytuowanych na powierzchni ciała stałego, a w szczególności ZnO. Te szczególne struktury geometryczne - dyski elektronowe - stanowiłyby rezerwuuar, w którym mogłaby się odkładać energia pochodząca z reakcji egzotermicznej mającej miejsce na powierzchni danego ciała stałego lub blisko niej. Ponieważ rozmiar dysku (np. dla dysku o rozmiarze 10 nm oszacowano energię plazmonu 1,88 eV) jak również inne parametry fizyczne determinują ściśle określoną ilość energii jaka mogłaby być pochłonięta, to częstość plazmonu dyskowego może być "dostrojona" do jakiejś określonej reakcji chemicznej.¹²⁹

Warto zauważyć, że z tego rodzaju możliwościami wiąże się pewne zjawisko kooperatywne, polegające na przekształcaniu energii nagromadzonej w pojedynczej warstwie wzbudzonych molekuł, ułożonej na metalu lub półprzewodniku domieszkowanym, w rezonansowy powierzchniowy mod plazmonowy, np. plazmon powierzchniowy warstewki srebra ma energię $\hbar\omega_p = 3,6$ eV, a molekuły organiczne, jak benzen, mają swój najniższy stan trypletowy w tym samym zakresie energii.¹³⁰ Być może istnieje wiele innych podobnych zjawisk, znanych z fizyki plazmy ciała stałego, które mogłyby znacząco wpływać na przemiany energetyczne i chemiczne.

W świetle powyższych danych wydaje się zatem celowe, by poszukiwać podobnych, do wyżej wspomnianych, struktur dyskowych i w makromolekułach enzymów. Nie wykluczone, że na przykład w pierścieniu porfirynowym, będącym centrum aktywnym wielu enzymów, mogą powstawać właśnie takie dyskowe oscylacje plazmowe. Możliwość ta wydaje się dość obiecująca i należałoby podjąć konkretne oszacowania. Nie wykluczone, że takowe obliczenia podjęte zostaną już w ramach biofizyki.

Wydaje się także prawdopodobne, że sprzężenie procesów mających miejsce w różnych rodzajach mikroplazm może być odpowiedzialne za kluczowe mechanizmy katalizy enzymatycznej. Konieczne jest więc poszukiwanie relacji między parametrami plazmowymi a selektywnością i wydajnością enzymów.

W przekonaniu autora, za przyśpieszenie reakcji chemicznej odpowiedzialna byłaby mikroplazma elektronowa a za inhibicję mikroplazma dipolowa, z uwagi chociażby na różne pojemności energetyczne tych domen plazmowych czy szybkość przepływu energii.

Te idee są, jak się wydaje, zgodne z nowszymi poglądami na temat reakcji enzymatycznych. Otóż trzeba zauważyć, że odpowiedni substrat jakiegoś enzymu jest dostosowany ściśle do miejsca aktywnego tego enzymu i dlatego późniejsza reakcja przebiega przy nieobecności rozpuszczalnika, tj. jak gdyby w fazie gazowej. Stąd uważa się, że dotychczasowe badania doświadczalne mechanizmów działania enzymów, oparte na analogii z reakcjami w roztworze, powinny być przewartościowane, zreinterpretowane. Interpretacja reakcji enzymatycznych

¹²⁸ Gersten 1982 s. 6285.

¹²⁹ Gersten 1982 s. 6285.

¹³⁰ Bonifacio & Morawitz 1976 s. 1559.

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

wymaga informacji dotyczących chemii fazy gazowej, których właśnie brakuje.¹³¹ Być może przydatne tu będą badania nad katalizą heterogeniczną w nisko-ciśnieniowych plazmach.¹³²

Tajemnica reakcji enzymatycznych wydawałaby się prosta. Enzymy "rozwinęły" pomysłowe sposoby przeprowadzania reakcji fazy gazowej w roztworze wodnym. Skąd by im to się wzięło? Prawdopodobnie jest to skutkiem ich glinokrzemianowego pochodzenia z wczesnego prekambriu. Teorie krzemowych form protożycia¹³³ będą w tym kontekście adekwatnym tłem rozważań. Ażeby wyjaśnić pochodzenie i ewolucję enzymów należałoby zapewne wspomnianą powyżej hipotezę dysków plazmowych zastosować również do katalizatorów glinokrzemianowych jako poprzedników dzisiejszych enzymów. Ważne w tym względzie jest istnienie takich na przykład reliktyw biochemicznych jak enzym silikaza, czy uzależnienie biosyntezy DNA od pewnych związków krzemoorganicznych.

* * *

Niniejszy rozdział rozprawy miał na celu przedstawienie bioplazmowego aspektu katalizy enzymatycznej. Znaczenie filozoficzne tego aspektu polega na tym, że dotyczy on bioplazmy, która nazwana była nowym stanem materii, zmiennym tylko dla organizmów żywych. Wydaje się, że przeprowadzone powyżej obliczenia i zaproponowane sugestie odnośnie plazmowego mechanizmu katalizy przynajmniej dostatecznie potwierdzają bioelektromagnetyczny model¹³⁴ katalizy enzymatycznej. Miejmy nadzieję, że mogą też zakreślić interesujące horyzonty poznawcze, zarówno w zakresie przyrodniczych nauk o życiu jak i filozofii przyrody. Do tej ostatniej powraca się w następnym, 4-tym rozdziale.

¹³¹ Dewar 1986 s. 8.

¹³² Gicquel i in. 1986 s. 2013.

¹³³ zob. np. Cairns-Smith 1982, Sedlak 1985c.

¹³⁴ Model ten stanowi, w przekonaniu autora, istotne poszerzenie koncepcji elektromagnetycznej natury życia w odniesieniu do tej tak ważnej klasy procesów życiowych. Rzecz jasna nie jest to jakaś "rasowa enzymologia" w ujęciu klasycznej biofizyki.

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

4. FILOZOFICZNY ASPEKT KATALIZY ENZYMATYCZNEJ

W niniejszym rozdziale przedstawione zostaną dwa ujęcia pewnego, pozornie bardzo szczegółowego, problemu dotyczącego istoty życia: w ujęciu arystotelesowsko-tomistycznym, nazwanym tu klasycznym¹ i w ujęciu systemowo-informacyjnym.² Chodzi tu o filozoficzny aspekt katalizy enzymatycznej. Problem ten już został podjęty w pierwszym z wymienionych wyżej ujęć, w ramach dużo szerszych analiz z zakresu filozofii zjawiska biologicznego.³

Przedmiotem filozofii zjawisk życiowych jest poznanie ich istoty.⁴ Tradycyjnie, polega ono na poszukiwaniu obiektywnych form całości biologicznej i dociekaniu przyczyn tych form, zaś fundamentalnym narzędziem poznania jest zasada przyczynowości sprawczej. W ramach tych dociekań poszukiwane są również przyczyny integrowania rozwoju układów biologicznych. Okazuje się, że analiza dynamiki podstawowego procesu biochemicznego, jakim jest wytwarzanie się enzymów, świadczy o tym, że ów proces ma w organizmach charakter układu rozwojowego i w konsekwencji niesie w sobie wszystkie problemy dostrzegane w cyklu rozwojowym. W związku z tym wyrażany jest pogląd, że proces powstawania enzymów nie może być uważany za przyczynowe wyjaśnienie zjawiska integracji biosystemów.⁵ Autor niniejszej rozprawy nie podziela w pełni tego poglądu. Wydaje się bowiem, że podejście systemowo-informacyjne do katalizy enzymatycznej może świadczyć o czymś wręcz przeciwnym. Niniejszy rozdział przedstawia oba wspomniane wyżej podejścia i próbę ich analizy.

¹ np. Mazierski 1969.

² np. Lubański 1992 s. 13.

³ Lenartowicz 1986 s. 291.

⁴ Tak to właśnie ujmuje Piotr Lenartowicz (Lenartowicz 1986).

⁵ Lenartowicz 1986 s. 21.

4.1. Ujęcie klasyczne

Klasyczne ujęcie bierze za podstawę, nie bez racji zresztą, że absolutnie wszystkie zjawiska biologiczne (a więc gromadzenie energii, wchłanianie materii z otoczenia, budowanie struktur komórkowych, wydalanie produktów rozpadu, działania obronne, lokomocyjne itd.) zależą w istotny sposób od procesów katalizy enzymatycznej.⁶ Niezależnie od wątpliwej być może słuszności lub argumentacji, że "absolutnie wszystkie", takie "docenienie" tego rodzaju procesów (tj. enzymatycznych) ma znaczną wagę poznawczą.

Jak już wspomniano we wstępie, w klasycznych badaniach filozoficznych nad zjawiskami biologicznymi za przedmiot formalny przyjmuje się poszukiwanie obiektywnej i precyzyjnej koncepcji całości biologicznej, zaś jako przedmiot materialny - cykl życiowy. W ramach tego cyklu podejmuje się próby zidentyfikowania cech podstawowych i adaptacyjnych. Cykl życiowy jest więc "jednostką" zjawisk biologicznych i jest liczony od momentu minimalnej do momentu maksymalnej złożoności biostruktur.⁷ Z kolei tzw. całość zjawiska życia (lub też całościowość) jest uważana za zarówno najbardziej intrygującą cechę życia, jak i najbardziej uderzający rodzaj formy całościowości. Całościowość jest przedmiotem poszukiwań.⁸ Dziwne więc wydaje się, że całościowość jest poszukiwana, a jednocześnie najbardziej uderzająca w otaczającej nas rzeczywistości. Ale pozostawiając tą kwestię na boku, należy w ogólności przychylić się do stanowiska P. Lenartowicza, że abstrakcyjne pojęcia: epigenезы, integracji, konkretyzacji, hierarchizacji, fenotypu i genotypu, układów funkcjonalnych i procesów rozwojowych mają swoje ścisłe odpowiedniki również na poziomie biochemicznym.⁹

4.1.1. Enzymy a epigenеза i integracja na molekularnym poziomie organizacji życia

Poniżej przedstawione zostaną główne tezy P. Lenartowicza dotyczące epigenезы i integracji na poziomie molekularnym organizacji, które wyprowadził on analizując tzw. zagadnienie enzymów. Badaniami mechanizmów katalizy enzymatycznej zajmują się przede wszystkim biochemia i biofizyka. Z tych też dziedzin wybrane zostały przez tego autora do analizy cztery hipotetyczne koncepcje teoretyczne. Koncepcje te, jak się można domyślać uznane przez

⁶ Lenartowicz 1986 s. 286.

⁷ Lenartowicz 1986 s. 50.

⁸ Lenartowicz 1986 s. 43.

⁹ Lenartowicz 1986 s. 284.

omawianego autora za reprezentatywne, sprowadzają się do następujących stwierdzeń:

- a) enzym zwiększa entropię aktywacji,
- b) enzym obniża energię aktywacji,
- c) enzym zwiększa prawdopodobieństwo użytecznej fluktuacji energii,
- d) enzym działa dzięki rekuperacji energii.

Niezależnie od prawdziwości albo fałszu, każda z wyżej wspomnianych hipotez zawiera w sobie elementy opisywane przez pojęcia: synheksji, symmorfii, stechiometrii, syntopii i synchronii układu funkcjonalnego, czyli ogólnie biorąc - synergii.¹⁰

ad a) założono tutaj specyficzne "dopasowanie" enzymu i substratu (a więc synheksja i symmorfia) oraz działanie enzymu wiodące do syntopii i synchronii,

ad b) w drugiej hipotezie przyjęto, podobnie jak w pierwszej, "dopasowanie" enzymu i substratu,

ad c) w trzeciej z kolei założono "dopasowanie" enzymu do substratu (podobnie jak w pierwszej i drugiej) oraz działanie enzymu prowadzące do syntopii i synchronii (podobnie jak w pierwszej),

ad d) w czwartej natomiast, również założono "dopasowanie" enzymu i substratu (podobnie jak w trzech poprzednich hipotezach) oraz przyjęto działanie enzymu opierające się na dwóch różnych układach funkcjonalnych.

W konkretnym regionie (specyficzność substratowa) ściśle określonej cząsteczki substratu konkretny enzym dokonuje ściśle określonej "operacji", polegającej na także ściśle określonym przekształceniu tego rejonu, który może ulegać różnorodnym przekształceniom (manifestuje się tutaj tzw. swoistość kierunku działania). Specyficzność reakcji enzymatycznych jest nadzwyczaj istotna, ponieważ uporządkowany przebieg metabolizmu jest możliwy właśnie dzięki precyzyjnemu ograniczeniu funkcji poszczególnych enzymów do określonych substratów. Już w wewnętrznej strukturze enzymu zdeterminowane są trzy niezależne od siebie (w sensie czysto fizyczno-chemicznym) relacje:

- a) pomiędzy enzymem a strukturą konkretnego substratu jako całości,
- b) enzymem a konkretnym rejonem substratu, i
- c) enzymem a konkretną przemianą tego rejonu.

Właśnie wiedza o strukturze wewnętrznej enzymu "zmusza" do postulowania proporcjonalnego mechanizmu jego genezy, opartego na koncepcji wielu ścieżek rozwojowych, tworzących zintegrowaną i niepodzielną dynamicznie całość.¹¹

W aspekcie biochemicznym pojedynczy enzym jest strukturą uważaną za coś bezsensownego i bezużytecznego,¹² zaś proces życiowy - za niepodziel-

¹⁰ Lenartowicz 1986 s. 292.

¹¹ Lenartowicz 1986 s. 293-295.

¹² Lenartowicz 1986 s. 292.

ny zespół wielu różnorodnych procesów chemicznych (katalizowanych enzymatycznie).¹³ Tylko bowiem ściśle określony i unikalny zespół enzymów stanowi zjawisko posiadające sens biologiczny. O tym, czy dany zespół enzymów jest zespołem całościowym albo nie, rozstrzyga kryterium całościowości, którym jest niearbitralne pojęcie ścieżki biochemicznej jako rodzaju ścieżki rozwojowej.

Enzymy mogą nie tylko obniżyć bariery energetyczne reakcji wewnątrzkomórkowych, ale też umożliwić reakcje polegające na "podnoszeniu" produktów na wyższy poziom energii swobodnej. Znaczenie filozoficzne zjawiska katalizy prowadzącej do wzrostu energii swobodnej substratu (lub produktu) polegałoby na tym, że tego rodzaju kataliza jest podstawowym procesem biochemicznym, bez którego nie może być mowy o cyklu życiowym z jednej strony, z drugiej strony zaś bez wzajemnego sprzężenia reakcji enzymatycznych nie ma z kolei mowy o tego typu katalizie. Jest więc ona jednym z warunków koniecznych dla zachodzenia procesów życiowych. Sprzężenie to więc wiąże się w sposób nieunikniony ze wspomnianymi wyżej uwarunkowaniami: synehksji, symmorfii, stechiometrii, syntopii i synchronii. Fakt ten wskazuje zatem na fundamentalność wymienionych okoliczności w procesach biochemicznych i uświadamia konieczność znalezienia proporcjonalnych mechanizmów wyjaśniających.¹⁴ Wspomniane przed chwilą "sprzężenie" procesów enzymatycznych, a więc napędzanie jednego procesu enzymatycznego energią uwalnianą w procesie sąsiednim, umożliwiające jest dzięki precyzyjnemu rozmieszczeniu (tzw. kompartmentacji) zespołów enzymów. A zatem w cyklu życiowym tworzą się w określonych punktach komórki (syntopia) tylko te wiązania chemiczne, które są korzystne dla syntezy układów funkcjonalnych danej komórki lub tworów należących do wyższych pięt hierarchii organizacji biosystemów. Energia uwalniana z tych wiązań chemicznych jest porządkowana i wykorzystywana przy minimalnym jej rozpraszaniu (minimalny wzrost entropii, maksymalna wydajność energetyczna) w reakcjach syntezy chemicznej prowadzącej do ściśle określonych i funkcjonalnie dopasowanych do siebie struktur komórki.¹⁵ Ten niezwykle precyzyjny i szybki proces powstawania enzymów leży u samych podstaw trwania wszystkich procesów życiowych.¹⁶ Komórka żywa, ażeby się rozmnożyć, buduje wewnątrz siebie "nadmiar" identycznych biostruktur, wyposażonych w odrębny komplet enzymów. Z kolei komórka nie rozmnażająca się demontuje ciągle swoje enzymy i

¹³ Lenartowicz 1986 s. 295. W stwierdzeniu powyższym wyrażony jest dość wyraźnie tzw. chemiczny paradygmat w naukach o życiu ograniczający, w przekonaniu autora niniejszej rozprawy, pole filozoficznych analiz procesów życiowych.

¹⁴ Lenartowicz 1986 s. 296-297.

¹⁵ Lenartowicz 1986 s. 298.

¹⁶ To sformułowanie znów należałoby uznać za wyraz akceptacji chemicznego paradygmatu w naukach o życiu.

stale uzupełnia powstałe braki budując z materii nieorganicznej nowe ich egzemplarze.¹⁷

W obecnej biosferze proces powstawania biostruktur, takich jak na przykład enzymy, posiada wszystkie charakterystyczne cechy układu rozwojowego i dynamiki rozwojowej. Z uwagi na to, że proces wytwarzania enzymów ma sens biologiczny jedynie w całości (poszczególne bowiem fragmenty tego procesu nie posiadają sensu biologicznego), stanowiąc dynamikę całościową w sensie absolutnie obiektywnym, to jako obiektywna całość proces ten jest równocześnie układem rozwojowym.¹⁸ Gdyby bowiem proces budowania enzymów był procesem funkcjonalnym, to jego trwanie nie wymagałoby integracji (choćby jakąś integrację struktur tego układu funkcjonalnego należałoby postulować gdzieś na początku procesu życiowego). Tymczasem jednak zaistnienie syntezy, symetrii, stechiometrii, syntopii i synchronii dokonuje się bezustannie w samym procesie trwania zjawiska biologicznego. Stąd dynamizm produkcji enzymów, uważany za najbardziej charakterystyczny i fundamentalny dla bioprocessów, okazuje się być zjawiskiem, w którym konieczność postulowania czynnika integrującego jest równie oczywista jak we wszystkich innych formach epigenetycy cyklu życiowego.¹⁹ Krótko mówiąc, życie można uważać za proces całościowy i zintegrowany na wszystkich szczeblach swej hierarchicznej struktury i dynamiki.

4.1.2. Problematyka enzymów w kontekście filozoficznej dyskusji nad problemem istoty i powstania życia

Analiza procesu życiowego na poziomie chemicznym prowadzi do ujęcia go jako epigenetycznego i zintegrowanego procesu budowy hierarchicznych struktur enzymatycznych, rozpoczynającego się już na poziomie materii nieorganicznej. Integracja tego procesu wymaga z kolei wyjaśnienia całościowego i proporcjonalnego. Przy podejmowaniu prób takiego wyjaśnienia spekuluje się, konstruując hipotezy i postulaty, które łączą ze sobą element empiryczny i podstawowe zasady kierujące procesem poznania, a więc zasady natury filozoficznej.²⁰

Z zagadnieniem powstawania życia na Ziemi wiązany jest przede wszystkim problem powstawania biostruktur. Ale zdaniem tego Autora współczesne teorie powstawania życia ignorują niestety problem synergii, syntopii czy synchronii lub nawet epigenetycy składników komórki żywej. Dlatego uważa

¹⁷ Lenartowicz 1986 s. 320.

¹⁸ Lenartowicz 1986 s. 350.

¹⁹ Lenartowicz 1986 s. 351.

²⁰ Lenartowicz 1986 s. 321.

on, że na przykład teoria spontanicznej "ewolucji chemicznej" jest "[...] *rodzajem złudzenia intelektualnego wynikającego nie tyle z nadmiaru wyobraźni, ile z braku wyobraźni połączonego z brakiem całościowej wiedzy o naturze procesów biochemicznych. Jest to też próba wytworzenia takiego modelu spekulatywnego, teoretycznego, w którym efekty o oczywistych cechach selektywnych powstają na drodze mechanizmów nieselektywnych.*"²¹

W postulowanych przez teorię "ewolucji chemicznej" ogromnych przedziałach czasu cząsteczki enzymów (a więc białka funkcjonalnego) są dość nietrwałe, co dodatkowo zmniejsza szanse ich przetrwania. Tymczasem białka funkcjonalne i kwasy nukleinowe zawierające sensowną biologicznie informację symboliczną są przecież przejawem i rezultatem procesu życiowego, a nie jakimś materiałem, z którego proces życiowy startuje. Co więcej, integracja procesów enzymatycznych nie jest rezultatem powstawania białek i kwasów nukleinowych, ale następnym piętrem tej integracji, postulującym działanie i całościowość czynnika integrującego.²²

W związku z powyższymi ustaleniami można przyjąć, że Lenartowicz prezentuje stanowisko uznające pytania o początek i ewolucję życia za drugoplanowe. Uważa bowiem, że nie ma sensu nie tylko rekonstruować hipotetycznego scenariusza zdarzeń, które sprawiły, że życie pojawiło się na Ziemi, ale nawet mówić na temat powstania życia dopóty, dopóki nie uzyskamy jakiejś zadowalającej odpowiedzi na pytanie, co jest istotą procesu życiowego. Gdyby genetyka umożliwiła rozwiązanie zagadki genomu²³ (jako przyczyny zjawisk fenotypowych), to wówczas problem powstania życia sprowadzałby się do wyjaśnienia, czym jest genom i w jaki sposób może on powstać.²⁴ Lenartowicz wyróżnia bowiem dwa aspekty genomu: genom statyczny (ściśle określone struktury materialne spełniające albo nie spełniające rolę "*siły rozwojowej*"), oraz genom dynamiczny (oznaczający działanie, które pokrywa się z postulatami czynnika kierującego procesami rozwoju, regeneracji, integracją obserwowaną w cyklu życiowym).²⁵ Stąd też wyklucza on, jak się wydaje, możliwość czysto przyrodniczego wyjaśnienia biogenezy.²⁶

²¹ Lenartowicz 1986 s. 352-353.

²² Lenartowicz 1986 s. 354.

²³ Nawiasem mówiąc genetyka, zdaniem omawianego filozofa, powróciła w gruncie rzeczy do arystotelesowskiej koncepcji życia, choć w zmienionej oprawie terminologicznej (fenotyp, genom).

²⁴ Lenartowicz 1986 s. 355-356.

²⁵ Lenartowicz 1986 s. 203.

²⁶ O tym może chyba świadczyć poniższy cytat: >>*Rozwiązanie zagadki powstania życia na Ziemi to odpowiedź na pytania: a) Czym jest genom? b) Czy do powstania genomu konieczna jest "celowa nadprzyrodzona ingerencja"? [...] Biolodzy skłaniający się do witalizmu spodziewać się mogą, że genom okaże się bytem niematerialnym. [...] może się zdarzyć, że odwoływanie się do fizycznych i chemicznych właściwości materii będzie jawnie irracjonalne*

Podobnie jak w wypadku teorii ewolucji chemicznej Lenartowicz uważa, że w świetle znajomości komórkowych procesów biochemicznych, zmiana typu ewolucyjnego wydaje się niemożliwa. W kategoriach biochemicznych bowiem przekształcenie się jednego gatunku w drugi oznaczałoby "zbudowanie cząsteczki DNA posiadającej przepis na zespół różnorodnych enzymów i innych elementów układów funkcjonalnych, które warunkowałyby nową formę całości cyklu życiowego".²⁷ Każda funkcjonalna adaptacja cyklu życiowego (organizmu) zawsze opiera się przecież na zmianach w zespole enzymów, warunkujących przemiany chemiczne w komórkach oraz pociąga za sobą uruchomienie ściśle określonych systemów enzymatycznych i zazwyczaj zsyntetyzowanie specyficznych enzymów, zdolnych do stworzenia najniższego (chemicznego) poziomu złożenia dla wielopiętrowej hierarchii nowego modelu funkcjonowania.²⁸ Otóż ze względu na konieczność syntezy, symetrii i stechiometrii, zmiany te musiałyby być bardzo liczne i stanowiłyby zatem "cud probabilistyczny".²⁹

Ze wspomnianym powyżej pojęciem genomu dynamicznego Lenartowicz wiąże sześć postulatów, w których punkcie wyjścia są dane empiryczne oraz decydujące o interpretacji tych danych zasady metafizyczne (ontologiczne) i teoriopoznawcze: heterokatalizy, autokatalizy, stałości i jedyności genomu, złożoności bytowej i (ewentualnie) materialności. Tutaj zwraca się uwagę jedynie na dwa pierwsze, będące postulatami przyczynowymi.

Jeżeli chodzi o postulat heterokatalizy, to podkreśla on rolę genomu dynamicznego w kierowaniu procesem powstawania dojrzałej formy fenotypu.³⁰ Heterokataliza oznacza pewnego rodzaju dualizm wewnętrzny organizmu żywego, w którym to organizmie ujawniają się dwa odrębne czynniki: jeden kształtujący (genom) i drugi kształtowany (fenotyp).³¹

Jeżeli zaś chodzi o postulat autokatalizy, to podkreśla on rolę genomu dynamicznego, polegającą na rozmnażaniu się czynnika kierującego. Postulat ten zwiększa wymagania zawarte w postulacie heterokatalizy, gdyż genom musi nie tylko budować cykl życiowy, ale i mieć "moc" nieograniczonego ilościowo rozmnażania się.³²

Ogólnie mówiąc, życie jest ciągłym budowaniem (lub także odbudowywaniem) wszystkich elementów strukturalnych organizmu, który jest cy-

[...]<< (Lenartowicz 1986 s. 356).

²⁷ Lenartowicz 1986 s. 356.

²⁸ Lenartowicz 1986 s. 360-361.

²⁹ Lenartowicz 1986 s. 354.

³⁰ Tutaj heterokataliza i autokataliza oznaczają coś innego (choć może analogicznego) niż w chemii fizycznej.

³¹ Lenartowicz 1986 s. 364.

³² Lenartowicz 1986 s. 367.

klem życiowym; zaś śmierć to zaprzestanie procesu ciągłej odbudowy lub rozwoju. Życie jest więc procesem, natomiast struktury materialne - anatomiczne, komórkowe, molekularne (w tym i enzymatyczne) - są przejawem tego procesu, a nie jego istotą. Dlatego struktury, w których proces przemian metabolicznych (a co za tym idzie enzymatycznych) nie zachodzą lub zachodzić nie mogą, nie powinny być uważane za żywe, gdyż nie są prawdziwą częścią cyklu życiowego.³³ W konsekwencji wspomniany Filozof uważa, że na przykład wirusy i plemniki nie powinny być traktowane jako byty żywe, a więc nie mogą dla filozofa stanowić punktu wyjścia dla rozważań dotyczących istoty zjawisk życiowych.³⁴ A zatem gameta ludzka nie byłaby bytem żywym, ale bakteria - tak. Co więcej, zajęcie takiego stanowiska pociąga za sobą również nieuznawanie za istoty żywe osobników powstałych w sposób partenogenetyczny (np. u niektórych stawonogów, ptaków), włącznie ze sztuczną partenogenezą u żab. Autor niniejszej rozprawy nie podziela tej konkluzji. W świetle bowiem koncepcji elektromagnetycznej natury życia i bioelektromagnetycznego modelu katalizy enzymatycznej, analiza filozoficzna procesów życiowych w żadnym wypadku nie może pomijać submolekularnego poziomu organizacji życia. Tymczasem wirusy i plemniki są już wysoce uorganizowanymi systemami biotycznymi, a nie tylko tzw. częściami cyklu życiowego. Enzymy zaś są najprawdopodobniej samodzielny, wyspecjalizowanymi biosystemami przetwarzającymi informację elektromagnetyczną. Ponadto autokatalityczny RNA jest przykładem układu, będącego zarówno genotypem jak i fenotypem, który może uchodzić za modelowo najprostszy "organizm żywy".

4.2. Ujęcie systemowo-informacyjne

Odmiernym podejściem do katalizy enzymatycznej, a w przekonaniu autora bardziej adekwatnym niż klasyczne podejście filozoficzne, jest podejście systemowo-informacyjne. Poniżej zaprezentowana zostanie próba ujęcia systemowo-informacyjnego w odniesieniu do enzymów i katalizy enzymatycznej, zainspirowanego bioelektroniką i filozofią systemowo-informacyjną.

4.2.1. Biosystemy jako "komputery"

Istotnym elementem każdego komputera jest procesor, tzn. urządzenie przeznaczone do przetwarzania informacji, co polega na przekształcaniu jakichś danych początkowych (wejściowych) w wyniki końcowe (wyjściowe), czyli obliczaniu odpowiednich funkcji. Procesor zatem jest urządzeniem zdol-

³³ Lenartowicz 1986 s. 423-425.

³⁴ Lenartowicz 1986 s. 425.

nym do wykonywania dowolnych ciągów operacji, pochodzących z ustalonego i ograniczonego zbioru operacji elementarnych. Ażeby to wykonać procesor musi otrzymać program działania (określający sposób przetwarzania danych, zbudowany w postaci ciągu rozkazów) i dane wejściowe, a po zakończeniu obliczeń musi przekazać wyniki końcowe na zewnątrz. Oprócz procesora w skład komputera wchodzi zestaw układów do wprowadzania i wyprowadzania informacji, pamięć (w której przechowywany jest program, dane oraz wyniki cząstkowe i końcowe) a także specjalne łącza (tzw. magistrala), po których poszczególne bloki komputera mogą wymieniać informacje między sobą. Otóż elementy analogiczne, do wyżej wspomnianych elementów podstawowych komputera, usiłowano zidentyfikować także w biostrukturach.

Poszukiwanie analogii pomiędzy mózgiem a komputerem owocowało niekiedy nowymi pomysłami mającymi zastosowanie w technologii komputerowej.³⁵ Nie inaczej jest również w wypadku szukania analogii pomiędzy komórką żywą a tym urządzeniem.³⁶

Koncepcje traktujące komórkę żywą jako komputer pojawiły się już dość dawno, a to głównie dzięki pracom Je. A. Libermana³⁷ i M. Conrada.³⁸ Chodziło w nich jednak o komputer molekularny, w którym rolę elementów pamięci miały spełniać molekuly białka (przenośniki elektronów), kanały jonowe błon oraz ATPazy (zależne od DNA i RNA). W tych pracach daleko jest jeszcze od analogii z urządzeniami elektronicznymi przetwarzającymi informacje.

Jakościowo nową była przedstawiona przez Libermana koncepcja kwantowych komputerów molekularnych.³⁹ Według niej w komórkach żywych pod "nadzorem" wspomnianego wyżej komputera molekularnego następuje najpierw tworzenie hiperdźwiękowego komputera kwantowego, a później sterowanie jego pracą. Z kolei system sterujący komórką żywą byłby ekstremalnym molekularnym regulatorem kwantowym (z elementami o rozmiarach molekuł), w którym "energetyczny koszt" pojedynczej operacji byłby zbliżony do wartości stałej Plancka h .⁴⁰ Kwanty emitowane lub absorbowane przez taki system są o długości fali rzędu rozmiarów molekuly (1-10 nm); stąd muszą to być fonony, gdyż fotony o takiej długości fali miałyby olbrzymie energie, wskutek czego niszczyłyby molekuly. Różnica wspomnianego kosztu jednost-

³⁵ np. Raković i in. 1989 s. 397, Raković i in. 1989prep, Penrose 1995.

³⁶ np. Koruga 1989 s. 231, Koruga 1992 s. 5.

³⁷ Liberman 1972 s. 932, Liberman 1974a s. 148, Liberman 1974b s. 361, Liberman 1974c s. 1101, Liberman 1975a s. 432, Liberman 1975b s. 624, Liberman i in. 1978 s. 305, Liberman & Szklowski 1973 s. 1121, Wajncwajg & Liberman 1973 s. 939, Liberman & Minina 1996 s. 173.

³⁸ Conrad 1972 s. 1, Conrad 1985 s. 464, Conrad 1988a s. 1015, Conrad 1989c s. 1354, Conrad 1990 s. 1776.

³⁹ Liberman 1989 s. 913.

⁴⁰ Liberman 1983 s. 183, Liberman & Minina 1995 s. 203.

kowej operacji w molekularnym komputerze kwantowym, w stosunku do zwykłego komputera molekularnego, przekształcającego molekuly-słowa DNA i RNA, wynosiłaby aż około $10^{13}h$. Dlatego właśnie komputer molekularny jest uznawany za prawie półmakroskopową maszynę obliczeniową.

Uwzględnienie procesów kwantowych w bioukładach, jak na przykład oddziaływań elektroniczno-konformacyjnych, występuje również w koncepcjach komputera molekularnego M. Conrada.⁴¹ Te i inne prace z zakresu elektroniki molekularnej idą jednak wyraźnie w kierunku zastosowań technicznych, a nie wyjaśnień mechanizmów procesów zachodzących w organizmach żywych.⁴² Interesujące jednakże jest to, że przy okazji prace te ujawniają bioelektroniczny aspekt funkcjonowania biostruktur. Przede wszystkim wspomnieć tu należy, o czym już było w poprzednich rozdziałach, że neurony są ujmowane jako mikroprocesory,⁴³ a ważne elementy subkomórkowe - mikrotubule są uznawane za automaty biomolekularne i nanokomputery.⁴⁴

Zapotrzebowanie ze strony użytkowników elektroniki na maksymalną miniaturyzację i wydajność urządzeń przyczyniło się do podjęcia badań nad możliwością zastosowania materiałów organicznych i biologicznych do konstruowania tzw. molekularnych i biomolekularnych urządzeń elektronicznych.⁴⁵ Przy tej okazji, jak już wyżej wspomniano, odkryto niektóre funkcje bioelektroniczne pewnych układów wewnątrzkomórkowych, w szczególności cytoszkieletu. Niezależnie od spełnianej roli podporowej, cytoszkielet jest wewnętrzną siecią komunikacyjną komórki żywej, biorącą udział w transporcie substancji i koordynowaniu nadzwyczaj złożonych procesów, takich jak podział komórki, jej wzrost i zróżnicowanie. Jest on uważany za komórkowy "system nerwowy", który bierze udział nie tylko w przetwarzaniu informacji na poziomie molekularnym,⁴⁶ ale zdaniem P. J. Werbosa⁴⁷ może mieć w przyszłości przełomowe znaczenie w wyjaśnieniu "uczenia się" i w rozumieniu "naturalnej inteligencji".

Jednym z istotnych elementów składowych cytoszkieletu są mikrotubule, których istnienie stwierdzono we wszystkich komórkach żywych. Występują one w rzęskach, wiciach, wrzecionie mitotycznym, centriolach, kinetochorach, desmosomach i innych organellach. W obrębie neuronów mikrotubule

⁴¹ Conrad 1988b s. 287, Conrad 1992b s. 125, Conrad 1992a s. 11.

⁴² np. Gritsenko i in. 1991 s. 155, Rambidi & Chernavskii 1991 s. 115, Rambidi i in. 1991 s. 105.

⁴³ Matsumoto & Iijima 1989 s. 213.

⁴⁴ Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243, Hameroff i in. 1989b s. 521, Rasmussen i in. 1990 s. 428.

⁴⁵ np. Aviram 1989, Carter 1982, Carter 1987, Carter i in. 1988, Hong 1989.

⁴⁶ Vassilev & Kanazirska 1985 s. 93.

⁴⁷ Werbos 1992 s. 75.

biegną przez całą długość aksonu i dendrytów. Są one tam zaangażowane w przepływ aksoplazmy oraz dostarczanie substancji odżywczych i odprowadzanie metabolitów: błony neuronu, komórek glejowych i postsynaptycznych. Stwierdzono też, że depolaryzacja błony nerwu koreluje ze zwiększoną gęstością i szybkością polimeryzacji mikrotubul wewnątrzneuronowych. Wykazano ponadto, iż główne funkcje fizjologiczne mikrotubul to: funkcje szkieletowopodporowe komórki, ruchliwość, transport i pamięć.

Większość mikrotubul stanowi zespół 13-tu podłużnych włókienek (protofilamentów), z których każda jest szeregiem dimerów tubuliny.⁴⁸ Powtarzalny sztywny geometryczny podjednostek mikrotubul nadaje im specyficzną strukturę (cylindryczna lewoskrętna krata szachownicopodobna), która, zdaniem S. R. Hameroffa, może służyć jako programowalna matryca przełączająca, zdolna do ukierunkowanego transferu i zintegrowanego przetwarzania ładunków lub energii biochemicznej, mechanicznej lub elektromagnetycznej, a co za tym idzie przetwarzania i magazynowania informacji.

Do montażu mikrotubul z podjednostek (synteza tubulin dokonuje się w rybosomach) konieczne są jony Mg^{2+} , zaś niskie stężenia Ca^{2+} stymulują i wzmacniają ten montaż. Jednak już milimolowe koncentracje Ca^{2+} zapobiegają polimeryzacji. Energia do tego montażu pochodzi z hydrolizy GTP. Proces ten dostarcza również energii do generacji wzbudzeń koherentnych, solitonów i fal polaryzacji. Mikrotubule są strukturami nadzwyczaj dynamicznymi i ze swej natury "inteligentnymi", tzn. podatnymi na informację i "uczenie się", ponieważ samorzutnie montują się, ukierunkowują i depolimeryzują się we właściwym miejscu i w odpowiednim czasie. Centrami zaś organizacji mikrotubul są centriole.

Na uwagę zasługuje także wpływ innych jonów, np. nadmiar Zn^{2+} powoduje rozrywanie mikrotubul i indukowanie nienormalnej polimeryzacji ich składników, natomiast Li^+ poniżej 1 milimola stymuluje montaż i chroni zmontowaną mikrotubulę przed depolimeryzacją, którą można indukować na przykład farmakologicznie. Różne zaś kationy ze środowiska mogą wywierać długotrwały wpływ toksyczny, np. nadmierny poziom Al^{3+} w mózgu może powodować otępienie umysłowe, przy którym mikrotubule neuronalne stają się nienormalnie poplątane.

Mikrotubule, jak również ich poszczególne dimery, są dipolami (α -tubulina jest naładowana ujemnie i zorientowana w kierunku centrum, zaś β -tubulina jest naładowana dodatnio i zorientowana na zewnątrz), a co za tym idzie są one elektretami. Jako takie wykazują więc własności piezoelektryczne i można oczekiwać, iż są zaangażowane w przemiany fotonowo-fononowe, tj. w przekaz skwantowanych zaburzeń elektromagnetycznych i mechanicznych. Z

⁴⁸ Jeden dimer składa się z dwóch nieznacznie różniących się monomerów o ciężarze cząsteczkowym ok. 55000 - tubuliny α i β - o średnicy 4 nm. Całość jest w kształcie rurki, której zewnętrzna średnica wynosi 25-30 nm, a wewnętrzna średnica wydrążenia 14-15 nm, zaś długości funkcjonalne mogą być w zakresie od setek nm do nawet kilkunastu metrów.

powodu zmian momentu dipolowego i masy podjednostek, mikrotubule oscylują z następującymi częstotliwościami: elektromagnetyczną $f_{EM} \approx 6 \times 10^{15}$ Hz i akustyczną $f_{AC} \approx 5 \times 10^{10}$ Hz.⁴⁹

Zewnętrzne powierzchnie mikrotubul są otoczone naładowaną ujemnie powłoką o grubości 5-10 nm, która generuje pole elektroujemne z powodu nadmiaru elektronów w tubulinie. Pole to z kolei wymusza uorganizowywanie wody cytoplazmatycznej i, co tu jest najistotniejsze, właśnie enzymów. Zewnętrzna warstwa mikrotubul jest eksponowana natomiast na wpływ jonów z cytoplazmy, wskutek czego ulega zmianom masa i moment dipolowy jej podjednostek. W wewnętrznym kanale mikrotubuli nie stwierdzono jakiegokolwiek substancji podstawowej i prawdopodobnie, zdaniem Hameroffa, może on pełnić rolę falowodu elektromagnetycznego. Powinno to mieć konsekwencje bioinformacyjne.

Mikrotubule wraz z innymi komponentami biostrukturalnymi tworzą nadrzędną strukturę, tzw. bioelektroniczny układ złączowy (przewodzący biosystem kontaktowy),⁵⁰ którego głównym zadaniem jest przetwarzanie (np. transdukcja piezoelektryczna, piroelektryczna) i przekaz sygnałów wewnątrzkomórkowych i międzykomórkowych (strumienie elektronów i protonów, fale wzbudzeń i polaryzacji, promieniowanie zakresu widzialnego i podczerwieni, mechanowibracje, a w szczególności solitony).

Jak z powyższego można się domyślać, właściwości strukturalne i fizyczne mikrotubul są wystarczająco sprzyjające do tego, by posiadały one zdolność do przetwarzania informacji, dla której jako nośniki proponowano konformony i/lub fonony, nie wykluczając innych cząstek i kwazicząstek. Zaproponowano w tym względzie kilka modeli.⁵¹ Przetwarzanie sygnałów w sieci mikrotubul może dokonywać się bowiem dzięki sprzężeniu stanów konformacyjnych z nośnikami ładunku lub stanami dipolowymi i dzięki oddziaływaniom kooperatywnym z sąsiednimi stanami tubulin. Sądzi się, że takie oddziaływania wzajemne stanowią podstawę funkcjonowania tzw. automatów molekularnych,⁵² w których stany konformacyjne poszczególnych podjednostek dimerów tubulinowych reprezentują "bity" informacji, znajdującej się w dynamicznych związkach z sąsiadującymi podjednostkami.

Oszacowano⁵³ liczbę podjednostek mikrotubul w mózgu ludzkim na około 10^{14} . Mogą one zmieniać swoje stany od 10^9 do 10^{11} razy na sekundę, co

⁴⁹ Smith C. W., Best S., *Electromagnetic Man*. - J. M. Dent, New York 1989 (za Koruga 1992 s. 5).

⁵⁰ Bistolfi 1990a s. 10, Bistolfi 1991 s. 53-60.

⁵¹ Hameroff 1987, Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243, Hameroff i in. 1989b s. 521, Hameroff i in. 1986 s. 949, Hameroff & Watt 1982b s. 341, Hameroff & Watt 1982a s. 549.

⁵² np. Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243, Hameroff i in. 1989b s. 521, Smith i in. 1984 s. 168.

⁵³ Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243, Rasmussen i in. 1990 s. 428.

w konsekwencji daje całkowitą przepustowość informacyjną mózgu od 10^{23} do 10^{25} bitów na sekundę. Jest to liczba ogromna i o wiele rzędów większa od, na przykład, liczby połączeń synaptycznych pomiędzy neuronami (rzędu 10^{15}), z których większość jest utrzymywana w rezerwie, a funkcjonuje znikoma ich część. Należy też podkreślić, że ruch nośników ładunku może być uznany za proces leżący u podstaw (lub warunkujący) zarówno funkcjonowania sieci neuronów, jak i sieci mikrotubul. Z kolei ruch ten może być zmieniany (zaburzany lub korygowany) przez oddziaływanie pola elektromagnetycznego.

4.2.2. Enzymy jako procesory masy, energii i informacji

Katalizatory, a w szczególności enzymy, przetwarzają jedne formy materii korpuskularnej w inne jej formy. Są więc przetwornikami masy i energii. Takie ujęcie ich funkcji jest obecnie najpowszechniejsze. Tutaj trzeba będzie zwrócić uwagę na aspekt informacyjny katalizy enzymatycznej. Ujęcie to będzie konkurencyjne w stosunku do tego, zgodnie z którym najważniejsza jest rola katalizy, decydująca w przepływie energii przez organizmy żywe i wytwarzaniu pracy przez te organizmy.

Ujęcie enzymów jako procesorów wszystkich trzech podstawowych "elementów" przyrody, tj. fermionów, bozonów i fononów, wydaje się najbardziej adekwatne. Biorąc bowiem pod uwagę filozofię systemowo-informacyjną i bioelektronikę (jako pewien typ filozofii przyrody ożywionej)⁵⁴ taka opinia wydaje się w pełni uzasadniona. W kontekście tych dwóch ważnych dziedzin poznania istotę życia można ująć inaczej i być może adekwatniej, niż dotychczas: życie byłoby formą istnienia informacji elektromagnetycznej. Życie jest to specyficzna informacja na nośniku elektromagnetycznym organizująca nośnik korpuskularny w metastabilnym stanie wzbudzonym, zdolny do zainicjowania akcji laserowej, której rezultatem jest przenoszenie informacji na inne nośniki, niekoniecznie elektromagnetyczne.⁵⁵ Materię biotyczną można zatem, o czym już wspomniano w 1-szym rozdziale, scharakteryzować jako swoistego rodzaju odbitkę informacji z otoczenia, tj. jako system wchłaniający impulsy elektromagnetyczne, magazynujący je i wykorzystujący do tworzenia trwałych struktur.⁵⁶ System ten zresztą nie jest tylko prostą wypadkową gry sił lub informacji środowiska. Przetwarza bowiem nie tylko informacje środowiska, ale również sam może generować informacje dzięki procesom endogennym czy autogennym. Podkreślić należy, o czym już wyżej była mowa, że materia żywa posługuje się (dysponuje) "*logiką kwantową*", umożliwiającą optymalne wyko-

⁵⁴ Tj. np. bioelektroniki jako filozofii przyrody rozumianej jako pewna forma protonauki, czyli "nauki u początku" (Lubański 1991 s. 91).

⁵⁵ Wnuk 1995b s. 105.

⁵⁶ Popp 1992a s. 148.

rzystanie tych impulsów "informacyjnych" ze środowiska do własnej stabilizacji i wydobywania się z bezładu łaźni cieplnej.⁵⁷

Biosystemy są strukturami dyssypatywnymi. Jedną z istotnych cech struktur dyssypatywnych (odróżniających je od przemian fazowych w równowagowych układach termodynamicznych) jest wytwarzanie ciepła wzrastające ze stopniem strukturyzacji. Powoduje to, że struktury te wytwarzają swoje uporządkowanie tym szybciej, im bardziej jest już ono zaawansowane. Istniejący już porządek zatem jakby **katalizuje** powstawanie jeszcze większego uporządkowania. Tak więc, właściwości **autokatalityczne** są typowe dla nierównowagowych przemian fazowych.⁵⁸

Faktem jest, że niskopoziomowa (ultrasłaba) luminescencja układów żywych występuje powszechnie w przyrodzie żywej.⁵⁹ Z uwagi na dostępność niskoenergetycznych fotonów otaczającego pola radiacyjnego enzymy zwiększają, czasami dość znacznie, szybkość przemiany, odgrywając tym samym kluczową rolę w regulacji procesów w komórce żywej. Jest więc prawdopodobne, że biofotony są regulatorem sterującym aktywnością pośredniego kompleksu enzym-substrat. Okazuje się bowiem, że pole fotonowe o ultraniskim natężeniu ma olbrzymią przewagę nad polem cieplnym w temperaturach fizjologicznych, gdyż w wypadku aktywacji biocząsteczek skuteczność biofotonów jest oceniana na około 10^{40} razy większą od skuteczności fotonów dostarczanych przez promieniowanie cieplne.⁶⁰ W zależności od swojej energii i częstości biofotony mogą wzbudzać określone stany biomolekuł (wzbudzenia: elektronowe, oscylacyjne, rotacyjne, konformacyjne, translacyjne) bądź supramolekularnych struktur elektronowych (wchodzą tu w grę rozmaite wzbudzenia kolektywne: fononowe, plazmonowe itd.). Dodatkowo, oprócz częstości, także kierunek polaryzacji i rozchodzenia się biofotonów decydują w każdym miejscu i czasie o przebiegu lub zahamowaniu określonej reakcji biochemicznej. Tym można tłumaczyć o wiele wolniejszy przebieg tych reakcji w warunkach *in vitro*, niż w komórkach żywych, jak np. ogólnej katalizy zasadowej przebiegającej z udziałem chymotrypsyny. I przeciwnie: wzbudzenie światłem enzymów w układach doświadczalnych umożliwia zwiększanie ich aktywności dzięki właśnie rezonansowemu napromieniowaniu fotonami o ściśle określonej długości fali.⁶¹ Ogólnie mówiąc procesy elektromagnetyczne nie są, jak się jeszcze prawie powszechnie uważa, pochodne od bardziej podstawowych pro-

⁵⁷ Popp 1992a s. 147.

⁵⁸ Popp 1992a s. 25.

⁵⁹ Zob. np. Sławińska & Sławiński 1985 s. 495, Sławiński 1982 s. 59, Sławiński 1984 s. 27.

⁶⁰ Popp 1992a s. 68. Termin "skuteczność fotonów" należy zapewne odnosić do faktu dużo większej szybkości wzbudzenia orbitali ważnych cząsteczek w układzie biologicznym przez biofotony od szybkości - w wypadku zwykłych fotonów promieniowania cieplnego (właśnie ta pierwsza jest aż ok. 10^{40} razy większa od drugiej).

⁶¹ Popp 1992a s. 69.

cesów biochemicznych, ale odwrotnie - to kinetyka biochemiczna, leżąca u podstaw metabolizmu, jest w rzeczywistości tylko stroną chemiczną całkowitego efektu, jakim są procesy elektromagnetyczne.⁶²

Możliwość występowania efektów laserowych w układach żywych po- ciąga za sobą tezę o elektromagnetycznym charakterze przekazu informacji w tych układach. Niezależnie od tego, także tzw. chemiczne przekazywanie in- formacji polega na wymianie fotonów, gdyż wiązania chemiczne powstają w wyniku przemieszczeń elektronów, czemu może towarzyszyć generacja pól elektromagnetycznych. Jeżeli właściwa informacja jest zawarta w charaktery- stykach przebiegów czasowych włączania i wyłączenia promienia laserowego wewnątrz organizmu,⁶³ to można oszacować całkowitą informację Q w bitach, która jest przekazywana w granicach czasu spójności fali laserowej τ :⁶⁴

$$Q = v_M \tau \text{ bitów.}$$

Otóż w wypadku aktywacji enzymu w komórce żywej istotne jest do- starczenie mu w określonej chwili porcji energii równej tzw. energii aktywacji. Jeżeli przyjąć, że konieczny czas spójności powinien być rzędu 10^5 sekund,⁶⁵ a częstość modulacji odpowiada fotonom optycznym $v_M \approx 10^{15}$ Hz, które to rów- nież przenoszą energię aktywacji, to informacja potrzebna do sterowania ak- tywnością enzymatyczną jest równa: $Q = 10^{20}$ bitów.⁶⁶ Układ pola fotonowego w komórce powinien być zatem uwarunkowany konkretną sekwencją ok. 10^{20} rozstrzygnięć typu "tak-nie", przez cały czas i w każdym punkcie tej komórki, jako ciąg sygnałów zależny od miejsca. W takim ujęciu przebieg reakcji byłby wtedy możliwy, gdyby w wypadku określonego następstwa sygnałów "tak" energia była rezonansowo pobierana z tego pola (lub, jako indukowana emisja, doprowadzana); w przeciwnym razie molekula enzymu byłaby w danym punk- cie nieaktywna.⁶⁷ Ilość informacji, potrzebnej do regulacji enzymatycznej, rzę- du 10^{20} bitów, byłaby dostarczana przez DNA, który byłby biolaserem i maga- zynem fotonów.⁶⁸ Również sygnały z DNA danej komórki (i DNA komórek sąsiednich) sterują transkrypcją i replikacją własnego DNA.⁶⁹ DNA można by więc traktować jako nośnik informacji nie tylko w postaci sekwencji nukleoty- dów, ale również w postaci rezonatora wnątkowego fal elektromagnetycznych o

⁶² takie przekonanie wyraża D. Bulkley (Bulkley 1992a, Bulkley 1992b).

⁶³ Maksymalna częstość włączania i wyłączenia, nazywana częstością modulacji v_M , określa największą możliwą liczbę przenoszonych jednostek informacji w jednostce czasu (Popp 1992a s. 142).

⁶⁴ Popp 1992a s. 142.

⁶⁵ tj. w przybliżeniu długość doby.

⁶⁶ Popp 1992a s. 142-143.

⁶⁷ Popp 1992a s. 143.

⁶⁸ np. Popp 1979 s. 123, Popp 1992a s. 146.

⁶⁹ Popp 1992a s. 146.

bardzo wysokiej dobroci.⁷⁰

Enzymy zawierają informację, która umożliwia przebieg reakcji chemicznych z dużo większym prawdopodobieństwem termodynamicznym (i to znacznie większym), aniżeli należałoby oczekiwać w danej temperaturze (jak i innych parametrach fizycznych) systemu komórkowego. Enzymy można więc rozpatrywać jako fragmenty maszyneryi informatycznej dostarczającej środowiska przekazującej informacje, które umożliwiają przebieg reakcji (przy już wspomnianej dużo niższej temperaturze).⁷¹ Zespoły enzymów mogą "rozebrać" na części duże molekuly i w tym procesie "wyekstrahowywać" użyteczną energię. I odwrotnie, mogą one z mniejszych podjednostek tworzyć duże molekuly, włączając z białkami. Dostarczają więc one specyficznej informacji potrzebnej dla budowy dużych molekuł lub ich "pokawałkowania".

Za przykład może posłużyć trypsyna,⁷² która hydrolizuje wiązania peptydowe w miejscach zawierających albo argininę, albo lizynę. Tak jak większość enzymów, trypsyna posiada wysoką specyficzność w stosunku do trójwymiarowej struktury atomowej i elektronicznej łańcucha polipeptydowego przy tzw. miejscu ataku. Zarówno więc enzym (trypsyna) jak i substrat (np. wiązanie peptydowe przy aminokwasie argininie) posiada przestrzenną organizację, pozwalającą na "rozpoznawanie", co dokonuje się analogicznie do dopasowania się klucza do zamka. Otóż można oceniać miarę informacji, zawartej jedynie w strukturze czwartorzędowej jakiegoś enzymu, poprzez obliczenie zmian entropii unieaktywniania tego białka przez ciepło (denaturacja). Różnica więc w zawartości informacji pomiędzy molekułą, która pracuje (katalizuje jako enzym) a taką, która nie pracuje, chociaż nawet jest zbudowana faktycznie z tych samych zrębów atomowych, w wypadku trypsyny pociąga za sobą zmianę entropii: $\Delta S = 891 \text{ J/K/mol}$). Z tego zaś wynika zmiana zawartości informacji o 155 bitów/molekułę. Ażeby więc uorganizować molekułę tego właśnie heteropolimeru, składającą się z łańcucha aminokwasów w jego trójwymiarowej, czwartorzędowej strukturze, potrzeba dodania informacji równoważnej 155 bitom.⁷³

Rzecz jasna, nie wszystkie informacje strukturalne zawarte w jakimś enzymie są bezpośrednio związane z jego funkcją katalityczną. Analizując bowiem strukturalną informację jakiegoś przetwornika energii, należy rozróżniać pomiędzy informacją strukturalną, która jest bezpośrednio związana z produkcją informacji kinetycznej, a informacją niestrukturalną (i/lub metastruktural-

⁷⁰ Oczywiście "dobroć" nie ma tutaj konotacji aksjologicznych czy etyczno-moralnych, lecz jest terminem fizykalnym i oznacza wielkość bezwymiarową charakteryzującą własności rezonansowe układu drgającego.

⁷¹ Stonier 1990 s. 49.

⁷² O masie cząsteczkowej ok. 24 tys. daltonów.

⁷³ Stonier 1990 s. 49-50.

na), która tej własności nie posiada.⁷⁴ W wypadku zatem enzymu, jego tzw. miejsce aktywne (gdzie właśnie struktury elektroniczne substratów reakcji ulegają reorganizacji) posiada oczywiście istotne znaczenie, podczas gdy część, która przyłącza enzym do błony komórkowej prawdopodobnie nie jest tak bardzo istotna. Jednakże precyzyjne ułożenie jakiegoś enzymu w komórce, często sprzężonego z innym sąsiednim enzymem, może być decydujące (rozstrzygające) o jego funkcji.⁷⁵ Z kolei enzymy, które wypełniają identyczne funkcje biochemiczne, ale których struktury są różne (tj. izozymy), jak na przykład peroksydazy (które występują w postaci kilkudziesięciu izozymów), mają te same miejsca aktywne w rozmaitych izozymach, chociaż ich części białkowe mogą być całkiem różne. Jednym z powodów różnicy jest to, że inne części molekuly białkowej są odpowiedzialne za przyczepianie tych enzymów do określonej biostruktury (np. ściany komórkowej, systemu membran, mikro-tubuli) lub odwrotnie - utrzymywania tego enzymu w stanie rozpuszczonym.⁷⁶

Ażeby poznać wzajemne relacje pomiędzy informacją strukturalną zawartą w enzymie (jako przetworniku energii) a informacją kinetyczną, dostarczaną przez to urządzenie molekularne, należałoby dokonać analizy obejmującej co najmniej dwa poziomy organizacyjne:

1) poziom indywidualnego procesu lub reakcji (analiza wytwarzanej informacji kinetycznej sprzyjającej konkretnej indywidualnej reakcji chemicznej);

2) poziom systemów, w których indywidualny enzym znajduje się w zespole wielu enzymów lub jest włączony jako ogniwo mechanizmu metabolicznego komórki żywej.⁷⁷

Wspomniane formy informacji (tj. strukturalna i kinetyczna) są również wzajemnie zamienialne. Informacja kinetyczna może pozostawać kinetyczna jedynie tak długo, jak długo dany system jest w stanie braku równowagi. Zmianie energii aktywacji, którą - jak się sądzi - enzym obniża, towarzyszy zamiana strukturalnej informacji systemu na informację kinetyczną. Im większa energia aktywacji jest wymagana do zniszczenia strukturalnej informacji zawartej w systemie, tym większe są jego szanse przetrwania. Dlatego właśnie ujemna en-

⁷⁴ *Informacja strukturalna* jest tutaj określana jako informacja inherentna, informacja zawarta w strukturach uorganizowanych (np. informacja strukturalna zawarta w silniku parowym zawdzięcza swoje istnienie takim ludziom jak Boyle, Newcomen, Watt oraz wszystkim innym naukowcom, inżynierom i rzemieślnikom, którzy dostarczyli konkretnych informacji potrzebnych do zaprojektowania i wykonania udanego silnika). *Informacja kinetyczna* jest tutaj określana jako informacja w działaniu, informacja stosowana, taka, która stwarza sytuację nierównowagową i sprzęga ją z siłą równoważącą tak ażeby wytworzyć pracę. Ogólnie mówiąc, zdolność jakiegoś przetwornika energii do dostarczania informacji kinetycznej jest pewną funkcją jego informacji strukturalnej (zob. Stonier 1990 s. 87-89).

⁷⁵ Stonier 1990 s. 90.

⁷⁶ Stonier 1990 s. 89.

⁷⁷ Stonier 1990 s. 90.

entropia, zmagazynowana w układach biologicznych, jest wytworem między innymi sił selekcyjnych systemy informacyjne o wzrastającej zdolności do przetrwania. Jest to więc ważny czynnik ewolucyjny.

Ogólnie rzecz ujmując, informacyjna zawartość jakiegoś systemu jest wprost proporcjonalna do przestrzeni, którą on zajmuje. W wypadku zaś czasu jest odwrotnie - czas, tak jak entropia, jest powiązany z informacją zależnością odwrotnej proporcjonalności: im dłuższy jest przedział czasu pomiędzy dwoma zdarzeniami, tym mniejsza jest zawartość informacyjna systemu.⁷⁸ W wypadku zatem enzymów, gdzie mamy do czynienia z wielką liczbą zdarzeń w jednostce czasu (zazwyczaj bardzo duża liczba aktów elementarnych, liczba tzw. obrotów enzymu), kataliza jako fenomen czasowy jest bardzo bogata informacyjnie.

Enzymy, z uwagi na to, że posiadają właściwości specyficznego rozpoznawania i allosterycznej modulacji, mogą integrować bardzo dużą liczbę poszczególnych procesów w całości systemowe z funkcjami koherentnymi, stąd uważa się je za prawdziwe organizatory procesów cytoplazmowych.⁷⁹ Sieci enzymów można więc traktować jak "molekularne automaty" lub nawet procesory równoległe.⁸⁰ Z kolei z punktu widzenia bioelektroniki enzymy można uznać za jedną z klas nanoprocesorów.⁸¹

Wszystkie układy przetwarzające energię, czyli przetworniki energii muszą posiadać organizację (niezależnie od tego czy to byłby np.: indywidualny atom, ogniwo, molekula białkowa, błona, czy też komórka). Wszystkie one posiadają informację strukturalną, bez której nie mogłyby działać właśnie jako przetworniki energii (m. in. poprzez zamianę energii w użyteczną pracę). Te przetworniki energii zapewniają spełnianie dwu warunków koniecznych dla wytwarzania użytecznej pracy, a mianowicie:

1) wytwarzanie sytuacji nierównowagowej, co dzieje się dzięki dodaniu informacji, i

2) dostarczanie mechanizmu kompensującego (równoważącego) siłę konieczną do wytworzenia użytecznej pracy.⁸²

Ilustrując to na przykładzie enzymu w komórce żywej, można powiedzieć, iż enzym:

1) przyjmuje (lub oddaje) elektrony od atomów lub molekuł substratu, tym samym czyniąc go niestabilnym, przy czym:

2) niestabilność ta jest następnie wykorzystywana do sprzęgania substratu z innym substratem lub ze sobą, po to, ażeby utworzyć biopolimer czy

⁷⁸ Stonier 1990 s. 79-80.

⁷⁹ Marijuán & Westley 1992 s. 97, Marijuán 1995 s. 167, Marijuán 1996 s. 163, Welch 1996 s. 147.

⁸⁰ Marijuán 1991 s. 259.

⁸¹ Wnuk 1995a s. 127.

⁸² Stonier 1990 s. 96.

inny użyteczny produkt.⁸³

Bez enzymu, tzn. bez przyśpieszenia przez niego przesunięcia reakcji ku stanowi równowagi i bez organizacji, a co za tym idzie - informacji, po prostu wzrastałaby entropia systemu. W metabolicznych systemach komórek żywych sprzężenie reakcji umożliwia wysoko-energetycznym elektronom, poruszającym się poprzez cały szereg molekuł organicznych, dokonanie maksymalnej ilości pracy chemicznej, zanim elektrony te przyłączone zostaną do końcowego akceptora (np. tlenu). Można więc zgodzić się z opinią, że biosystemy zawierają w sobie informację zakumulowaną w ciągu miliardów lat procesu ewolucyjnego.⁸⁴ Skoro enzymy są procesorami informacji, energii i masy, to środowisko elektromagnetyczne może na nie wpływać również informacyjnie.

4.2.3. Możliwość informacyjnego wpływu pól elektromagnetycznych środowiska na bioprocesory

Wszystkie istoty żywe są "dostrojone" do normalnego zakresu częstotliwości zmian ziemskiego pola magnetycznego (mikropulsacje 0-30 Hz przez 24 godz. na dobę). Za pośrednictwem rozmaitych mechanizmów odczytu⁸⁵ czerpią one ważne informacje z tych naturalnych częstotliwości, które regulują cykle biologiczne. Jednakże generowanie anormalnych pól elektromagnetycznych przez dużą część wytworów aktywności cywilizacyjnej człowieka wprowadziło do środowiska takie częstotliwości i natężenia pól, które Interferują z normalnymi parametrami tych pól (ELF i VLF),⁸⁶ wyczuwalnych przez biostруктуры. Właśnie na te anormalne częstotliwości, które są najbliższe normalnych, organizmy uwrażliwione są najbardziej.⁸⁷

Cywilizacja techniczna przyniosła ze sobą nie tylko znane powszechnie skażenie chemiczne środowiska, ale również radykalną zmianę tła elektromagnetycznego i to w stopniu daleko większym niż w zakresie innych fizycznych czynników środowiska. Poziom, na przykład, promieniowania radiowego w naszym otoczeniu przewyższa 100 milionów do 200 milionów razy poziom naturalnego promieniowania tego zakresu, wytwarzanego głównie przez Słońce. Zagrożenia ze strony tego rodzaju czynnika środowiska, którego zakres częstotliwościowy, intensywność i zasięg ustawicznie rosną, są coraz większe a skut-

⁸³ Stonier 1990 s. 97.

⁸⁴ Stonier 1990 s. 98.

⁸⁵ Czułe na te pola są na przykład komórki hipokampu i szyszynki, zawierające mikrokryształy magnetytu; również wrażliwe na nie są prądy elektryczne przepływające w mózgu i wytwarzające pola magnetyczne.

⁸⁶ tj. ekstremalnie niskich i bardzo niskich częstotliwości.

⁸⁷ np. zaburzenia synchronizacji szybkości podziału komórkowego w całym ciele, ogólne osłabienie systemu immunologicznego, aberacje psychiczne.

ki ich stosunkowo mało dotychczas rozpoznane. Ingerencja pól elektromagnetycznych środowiska w organizmy żywe może także dokonywać się poprzez wpływ "informacyjny" tych pól na niektóre układy biologiczne.⁸⁸ Niestety bardzo słabo poznane jest to tzw. oddziaływanie informacyjne tych pól na organizmy żywe.

Naturalne środowisko elektromagnetyczne, w którym biosfera powstała i ewoluowała, już nie istnieje. Duże obszary widma elektromagnetycznego były "całkowicie spokojne" przez miliardy lat rozwoju życia,⁸⁹ gdy tymczasem zaledwie w ciągu tylko jednego, ostatniego stulecia nastąpiła gwałtowna zmiana środowiska elektromagnetycznego. Wszystkim ludzkim działaniom coraz częściej bowiem towarzyszą rozmaite urządzenia elektryczne i elektroniczne, skutkiem czego znajdujemy się w oceanie energii, której świat żywy nigdy dotąd nie miał okazji doświadczać. Obecnie mówi się raczej o naturalnych źródłach pól elektromagnetycznych występujących w przyrodzie i zestawia się je dla kontrastu ze źródłami sztucznymi. Zestawień tych źródeł nie ma tu potrzeby powtarzać. Wystarczy powiedzieć, że lista kategorii tych źródeł jest długa i obejmuje dziesiątki pozycji. Na ten temat, jak i w ogóle na temat oddziaływania pól elektromagnetycznych na biosystemy, istnieje już obszerna literatura.⁹⁰

Należy podkreślić, że nie widać na razie kresu narastania poziomu i zmian jakości tła elektromagnetycznego. Lawinowo bowiem przyrasta liczba zestawów komputerowych⁹¹, a ponadto powstają nowe rodzaje silnych źródeł, skażających elektromagnetycznie nasze środowisko, np. środki transportu poruszające się na "poduszce magnetycznej", samochody o napędzie elektrycznym, satelity przekazujące w pasmie mikrofal energię słoneczną na Ziemię itd. Doliczyć do tego należy przyszłe "elektromagnetyczne" metody terapeutyczne w medycynie. Są już bowiem w tym zakresie interesujące propozycje.⁹²

Ziemska aktywność elektromagnetyczna wywiera zasadniczy wpływ na organizmy żywe. Wykazano, na przykład, że u ludzi całkowicie odizolowanych od naturalnych pól elektromagnetycznych następuje desynchronizacja wielu bioritmów.⁹³ Czynnikiem synchronizującym w tym wypadku okazało się pole o bardzo małej wartości natężenia składowej elektrycznej (2,5 V/m), pulsujące z częstotliwością 10 Hz. A właśnie ten typ pola odgrywający, jak już wspo-

⁸⁸ Wnuk 1994 s. 99.

⁸⁹ np. Cole i in. 1975 s. 243.

⁹⁰ np. Barański & Czernski 1976, Chiabrera i in. 1985, Hołownia 1990 s. 75, König 1977, König i in. 1981, Lin 1988, Marino 1988, Markov & Blank 1988, Mikołajczyk 1990 s. 153, Nordenström 1992 s. 233, Oconnor & Lovely 1988, Presman 1971, Sidjakin 1986, Sidjakin i in. 1985, Sierdjuk 1977, Tenforde & Kaune 1987 s. 585, Zon 1976 s. 89.

⁹¹ zob. np. na temat emisji przez monitory Tofani & Damore 1991 s. 35.

⁹² np. Bistolfi 1991, Wolkowski 1983.

⁹³ np. Wever 1968 s. 29.

mniano, rolę zasadniczego czynnika sterującego biorytmami, jest elementem składowym mikropulsacji ziemskiego pola elektromagnetycznego. (Powierzchnia Ziemi bowiem i jonosfera łącznie tworzą elektrodynamiczną wnękę rezonansową generującą mikropulsacje, których podstawowa częstotliwość drgań własnych jest w pobliżu 10 Hz.) Z uwagi na to, że około 10-hercowa częstotliwość dominuje w EEG wielu zwierząt, istnieje więc prawdopodobnie, co należy podkreślić, ścisły związek pomiędzy istotami żywymi a środowiskiem za pośrednictwem pól elektromagnetycznych.⁹⁴ Dlatego też, problem skutków oddziaływania sztucznie wytwarzanej energii elektromagnetycznej jest bardzo poważny. Co więcej, wiadomo już teraz, że pierwotne skutki oddziaływania pól z zakresu ekstremalnie niskich częstotliwości (ELF) stwierdzić można u wszystkich form żywych.⁹⁵

Zagrożenie ze strony tzw. smogu elektromagnetycznego⁹⁶ sygnalizowano już dość dawno. Zagrożenie takie staje się "oczywiste" jeśli organizm żywy ujmuje się jako złożony system bioelektroniczny.⁹⁷ Niestety dopiero od niedawna pola elektromagnetyczne są traktowane jak nowy czynnik ekologiczny.⁹⁸

Obecnie podkreśla się istnienie trzech zasadniczych, chociaż niewspółmiernych, typów zagrożenia ze strony sztucznie wytwarzanych pól elektromagnetycznych:

1) zakłócanie właściwej koordynacji naszych rytmów biologicznych przez pola z zakresu ELF wibrujące z częstotliwością od 30 do 100 Hz (nawet wtedy, gdy są słabsze od pól ziemskich), co w konsekwencji prowadzi do stanu chronicznego stresu i zmniejsza odporność na choroby;

2) upośledzanie, w wyniku elektro skażenia, procesów wzrostowych komórek;

3) możliwość użycia broni elektromagnetycznych.⁹⁹

⁹⁴ np. Direnfeld 1983 s. 111.

⁹⁵ Wiadomo również, że promieniowanie z innych przedziałów widma może powodować skutki w określonym bioukładzie, na każdym wręcz poziomie jego organizacji (począwszy od atomowego, a skończywszy na biosferze jako całości), a nie, jak dawniej sądzono, iż promieniowanie o określonej długości fali może oddziaływać na obiekty o rozmiarach porównywalnych z tą długością fali.

⁹⁶ Hommel 1987 s. 441.

⁹⁷ Sedlak 1970a s. 43, Sedlak 1973 s. 223, Sedlak 1981a s. 55, Sedlak 1981b s. 41.

⁹⁸ Markov 1988 s. 135.

⁹⁹ Na ten typ zagrożenia zwraca uwagę Robert Becker w popularno-naukowych książkach: (a) R. O. Becker, G. Selden, *"The Body Electric: Electromagnetism and Foundation of Life"*. -Quill, William Morrow, New York 1985, s. 317-326 (tł. pol. pt. *"Elektropolis. Elektromagnetyzm i podstawy życia"*, IW PAX i Fundacja Bioelektroniki im. W. Sedlaka, Warszawa 1994 s. 364-375); (b) R. O. Becker, *"Cross Currents: The Promise of Electromedicine, The Perils of Electropollution"*. - Jeremy P. Tarcher, Inc., Los Angeles 1990, s. 297-304.

Ten ostatni typ zagrożeń nie jest bynajmniej nierealny. Opublikowane jak dotąd badania nad wpływem pól elektromagnetycznych na układ nerwowy człowieka wskazują, iż prace nad tymi aplikacjami są już dość zaawansowane.¹⁰⁰ Za przykład niech posłuży reakcja neuronów na słabe pola ELF i pola impulsowe.¹⁰¹ Jeśli tylko pole takie pulsuje zgodnie z częstotliwością fal mózgowych, to może ono zmieniać częstotliwość elektrycznych wyładowań neuronów w mózgu człowieka i małp. Odpowiednie kombinacje impulsów zwalniają lub przyspieszają tempo wydzielania lub pochłaniania jonów Ca^{2+} przez te komórki, a z kolei przepływy tych jonów wpływają na szybkość elektrycznych wyładowań neuronów. Wypływ jonów Ca^{2+} z komórek wiązany jest z trudniejszą koncentracją uwagi w wypadku wykonywania bardzo złożonych zadań, a także z zaburzeniami prawidłowego przebiegu snu; co więcej może zmieniać funkcje mózgu w sposób trudny do przewidzenia. Okazało się, że istnieją "okna" częstotliwości pulsacji fal radiowych, przy których ma miejsce wspomniany wzrost tempa wypływu jonów wapniowych z komórek i zaburzenia przekazu impulsów nerwowych. Jedno okno przy 147 MHz, pulsujące z częstotliwością 6 do 10 Hz (10 W/m^2)¹⁰² i drugie 450 MHz, pulsujące z częstotliwością 16 Hz ($1-10 \text{ W/m}^2$).¹⁰³ Istnieje zatem możliwość selektywnego oddziaływania pól elektromagnetycznych na pracę mózgu, a co za tym idzie trzeba stwierdzić, iż "śmiecie" elektromagnetyczne mogą w nim zainicjować nieoczekiwane i niebezpieczne zmiany.

Bada się wpływ promieniowania mikrofalowego na montowanie się zespołów makromolekuł,¹⁰⁴ co może mieć istotny związek z montażem mikrotubul i ich funkcjonowaniem. Donoszono także o tym, że pole linii wysokiego napięcia (50 Hz, 14 kV/m) zmienia elementy cytoszkieletu w neuronach Purkiniego mózdzku królika (w którego tkankach natężenie zewnętrznego pola wynosi około 0,1 V/m).¹⁰⁵ Okazało się, że wiązanie i uwalnianie wapnia w tkance mózgowej jest wskaźnikiem oddziaływania środowiskowych pól elektromagnetycznych;¹⁰⁶ jednym z końcowych skutków jest wpływ na mikrotubule i filamenty cytoszkieletu. O roli jonów Ca^{2+} w montażu mikrotubul wspomniano powyżej. Wydaje się ważne w tym kontekście istnienie nie tylko "okien"

¹⁰⁰ np. Adey 1983 s. 359, Chołodow 1982, Chołodow & Lebidiewa 1988, Kholodov 1988 s. 109, Oconnor & Lovely 1988.

¹⁰¹ Pola o natężeniu porównywalnym z natężeniem pola elektrycznego wytwarzanego przez zwykłą żarówkę oddaloną o 3 metry.

¹⁰² Blackman i in. 1979 s. 93.

¹⁰³ Bawin i in. 1978 s. 67.

¹⁰⁴ Conrad 1992b s. 125.

¹⁰⁵ Adey 1988 s. 81.

¹⁰⁶ Adey 1983 s. 359.

częstotliwości i amplitudy, ale również "okna w czasie".¹⁰⁷ Prawdopodobne jest więc, że za pośrednictwem zmian polaryzacji błony komórkowej, zewnętrzne pola elektromagnetyczne wpływają na sieć mikrotubul i procesy mające w niej miejsce.

Pola elektromagnetyczne mogą być nośnikami bioinformacji¹⁰⁸ i faktycznie nimi są (na przykład w warstwach kory mózgowej¹⁰⁹). Znana też jest bioinformacyjna funkcja naturalnych pól elektromagnetycznych,¹¹⁰ jak i możliwość elektromagnetycznego sterowania pewnymi procesami biologicznymi.¹¹¹ Tym bardziej więc groźne mogą być konsekwencje wspomnianych powyżej zagrożeń "śmieciami" elektromagnetycznymi (zwłaszcza, że organizmy żywe są nie tylko układami chemicznymi, ale i urządzeniami elektronicznymi; chociaż ten sposób ich ujmowania nie jest jeszcze powszechnie zaakceptowany).

Szukanie jednoznacznych mechanizmów oddziaływania niskoczęstotliwościowych pól elektromagnetycznych na układy żywe trwa nadal. Interesującą propozycją jest tu na przykład hipoteza rezonansu cyklotronowego jonów komórkowych (takich jak Ca^{2+} , Li^+ , Na^+ , K^+) jako bioefektu ELF.¹¹² Skądinąd jest to efekt mogący występować w plazmie fizycznej. Możliwość występowania plazmy fizycznej w organizmach i jej pośrednictwa w oddziaływaniach pól środowiskowych na procesy życiowe była proponowana już wcześniej jako hipoteza.¹¹³ Nie wykluczone więc, że bioplazma pośredniczy w recepcji pól zewnętrznych jako zwyczajnych sygnałów środowiskowych, ale również, w wypadku tej jej "części" zawartej w sieci mikrotubul, uczestniczy w przetwarzaniu informacji. Bioplazma bowiem to nie tylko zbiór nośników ładunku, ale i magazyn fotonów,¹¹⁴ a te mają tu istotne znaczenie, tj. są nośnikami informacji. Zgodnie przecież z koncepcją elektromagnetycznej natury życia - jest ono przede wszystkim falą elektromagnetyczną generowaną w środowisku półprzewodników białkowych. Czy też według tzw. definicji falowej życia - przytoczonej już w 1-szym rozdziale - *"życie jest to drgająca siatka dyfrakcyjna elektronowo-fotonowo-fononowa w ośrodku piezoelektrycznego półprzewodnika białkowego zasilana energią chemiczną procesów metabolicznych"*, orga-

¹⁰⁷ Adey 1988 s. 81.

¹⁰⁸ Popp i in. 1979.

¹⁰⁹ Triffet i in. 1988 s. 199; zob. także holograficzne modele pamięci, np. Grochowski 1985 s. 179.

¹¹⁰ Kaznaczejew & Michajłowa 1985.

¹¹¹ np. Becker 1984 s. 105, Pilla i in. 1985 s. 423.

¹¹² np. Liboff 1985a s. 281, McLeod & Liboff 1986 s. 177.

¹¹³ Wolkowski i in. 1983 s. 139, Zon 1979 s. 501, Zon & Szejka 1988 s. 71.

¹¹⁴ zob. na temat magazynowania fotonów w układach żywych (Popp 1979 s. 123, Popp 1983a s. 43, Popp 1983b s. 60).

nizm zaś *"jest to układ białkowy piezoelektrycznych półprzewodników o sprzężonych funkcjach chemicznych i elektronicznych z falową koordynacją wewnętrzną, otoczony falą elektromagnetyczną emitowaną na zewnątrz"*,¹¹⁵ w postaci biopola.

Wydaje się więc prawdopodobne, że układy żywe, jako szerokopasmowe oscylatory elektromagnetyczne, mogą być wrażliwe na rezonansowe, czy też informacyjne oddziaływania środowiskowych pól elektromagnetycznych, a mikrotubule mogą pośredniczyć w tych oddziaływaniach.

Zapewne sprawą niedalekiej przyszłości mogą być prace, które wprost podejmą problem elektromagnetycznego sterowania przetwarzaniem przez sieć mikrotubul sygnałów lub informacji. Spekuluje się już przecież o możliwości skonstruowania "interfejsu" albo układu sprzęgającego mózg ludzki z jakimś komputerem przyszłej generacji.¹¹⁶ Interfejs taki to nie tylko problem technologiczny z wykorzystaniem pogranicza fizyki, chemii, biologii, cybernetyki etc., ale i filozoficzny, bowiem geneza informacji biologicznej jest jednym z filozoficznych problemów pochodzenia życia.¹¹⁷ W przekonaniu autora zagadnienie elektromagnetycznego sterowania przetwarzaniem sygnałów i/lub informacji w mikrotubulach może mieć istotne znaczenie w badaniach, mających na celu rekonstrukcję zarówno pochodzenia życia jak i wczesnych etapów jego ewolucji.

4.2.4. Biogeneza jako proces informacyjny a katalityczne własności kwasów rybonukleinowych

Jak wspomniano powyżej, w klasycznym ujęciu filozoficznym problematyka powstania życia, a w związku z tym i pochodzenia enzymów, jest uważana za drugorzędną. Nie jest tak natomiast w ujęciu systemowo-informacyjnym. W tym drugim ujęciu bowiem do wyjaśnienia istoty życia konieczna jest również rekonstrukcja jego genezy, w gruncie rzeczy genezy informacji biologicznej.¹¹⁸ Prace te rozwijane są w zgodzie przede wszystkim z dwoma zasadniczymi podejściami poznawczo-strategiczno-badawczymi:

- 1) interpretacją fizykalistyczno-redukcjonistyczną, i
- 2) interpretacją organizmalno-teleologiczną.¹¹⁹

Pierwsza z nich opowiada się za tezą, iż współczesna fizyka i chemia wystarcza całkowicie do opisu i wyjaśnienia zjawisk życiowych oraz procesów

¹¹⁵ Sedlak 1979a s. 480 i 485.

¹¹⁶ McAlear & Wehrung 1987 s. 623.

¹¹⁷ np. Küppers 1991.

¹¹⁸ zob. np. Küppers 1991, Ślaga 1995 s. 59.

¹¹⁹ Ślaga 1995 s. 59.

i mechanizmów prowadzących do powstania życia. Takim przykładem podejścia fizykalistyczno-redukcyjnego jest, obejmujący również kwestię pochodzenia enzymów i katalizy enzymatycznej, Eigena model hipercykli.¹²⁰ Podejście to wynikało z przekonania, iż powstawanie życia, jako tworzenie się informacji i jej nośników, odbywało się głównie na poziomie molekularnym, stąd więc stosowana tam fizykochemiczna strategia badawcza.

Druga interpretacja, często traktowana jako opozycyjna do pierwszej, stwierdza, że informacja biologiczna powstała w wyniku urzeczywistnienia się jakichś specyficznych prawidłowości przekształcających materię nieożywioną w ożywioną oraz, że prawidłowości tych nie sposób sprowadzić do znanych dotychczas praw fizyki i chemii. Interpretacja ta może być równie dobrze traktowana jako komplementarna do poprzedniej,¹²¹ co wydaje się bardziej adekwatne i słuszne. Między tymi dwoma podejściami badawczymi nie ma bowiem opozycji logicznej, zwłaszcza, że sam teleologizm¹²² obejmuje niejedną wersję.

Istnieje również możliwość unifikacji tych rozbieżnych stanowisk, aktualnie bowiem, w ramach ujęć integratywno-kompozycjonistycznych, wyraża się bardziej kompromisową postawę komplementarnego wyjaśniania zjawisk życiowych poprzez stosowanie zarówno metod analitycznych, jak i całościowo-systemowych.¹²³ Zbieżna z tym nurtem poznania jest na przykład bioelektronika, w której ramach kwantowa teoria życia, z metodologicznego punktu widzenia, posiada charakter komplementarny, czyli redukcyjno-antyredukcyjny (integracyjny, syntetyczny).¹²⁴

Jedną z podstawowych propozycji teoretycznych bioelektroniki jest W. Sedlaka idea istnienia w organizmach żywych sprzężenia chemiczno-elektronicznego, które nazywa on kwantowym szwem życia.¹²⁵ Byłby to, według jednego z zaproponowanych określeń, najmniejszy element funkcjonalny materii ożywionej, który zespala fotonami autogennymi reakcje chemiczne z procesami elektronicznymi w ośrodku półprzewodników organicznych.¹²⁶ Uwzględnienie zatem submolekularnego poziomu organizacji bioukładów pozwala postulować, że początek życia był równoznaczny z zaistnieniem wspomnianego sprzężenia pomiędzy reakcjami chemicznymi a procesami elektronicznymi w

¹²⁰ Zob. np. Ślaga 1979 s. 121, Kloskowski 1985 s. 257.

¹²¹ np. Muir 1982 s. 122.

¹²² zob. np. Ślaga 1991 s. 65.

¹²³ Ślaga 1995 s. 59.

¹²⁴ Kajta 1991 s. 223-229, por. także Zięba 1982 s. 81.

¹²⁵ np. Sedlak 1984 s. 81-91, Sedlak 1987 s. 38-41, Sedlak 1988a s. 49-53; zob. także Wnuk 1991-1992 s. 103.

¹²⁶ Sedlak 1988a s. 130.

półprzewodnikach glinokrzemianowych środowiska prebiotycznego.¹²⁷ Otóż jedną z funkcji tego sprzężenia, oprócz funkcji sterowniczych, generowania stanu plazmowego itd., jest funkcja katalityczna.¹²⁸ Czy owo sprzężenie realizuje się dopiero na poziomie komórkowym (współcześnie komórka uważana jest przecież za najmniejszą jednostkę życia), czy też może na poziomie niektórych organelli lub wirusów, nie wiadomo. Niezależnie od odpowiedzi na to pytanie można przyjąć, że dzisiejsze systemy enzymatyczne są jednym z elementów tego "sprzężenia". Układ "kwasy nukleinowe - białka" (czyli nośnik informacji genetycznej i katalizatory białkowe), rozpatrywany w niektórych teoriach biogenezy jako samoinicjujący, musiałby zapewne dysponować takim sprzężeniem.

Pokrewne z koncepcjami bioelektronicznymi¹²⁹ idee, że biosystemy są również kwantowymi układami kolektywnymi¹³⁰ poszerzono o modele obejmujące materiał genetyczny i procesy ewolucyjne.¹³¹ Na przykład w modelu "harf wodorowych"¹³² DNA i RNA (a także białka) traktowane są jako oscylatory, w których protony wiązań wodorowych oscylują z częstotliwościami rzędu 10^{11} - 10^{12} Hz, emitując lub absorbując fotony.¹³³ Biomolekuły te tworzą wewnątrzkomórkowy system komunikacji elektromagnetycznej, o charakterystykach tak specyficznych, jak charakterystyczny jest skład jakiejś orkiestry złożonej z harf. Trzeba w tym kontekście podkreślić, że promieniowanie elektromagnetyczne jest formą energii zawierającą (przynajmniej potencjalnie) także bogaty komponent informacyjny. Przykładem może tu być wiązka światła koherentnego, która zawiera o wiele więcej informacji, niż wiązka światła niekoherentnego o równej zawartości energii.¹³⁴ W biomolekułach tych więc, któ-

¹²⁷ Wnuk 1987 s. 187, Wnuk 1996.

¹²⁸ W. Sedlak postuluje bowiem, że: "[...] kwantowy rozrusznik życia. Używając języka chemicznego stanowiłby [...] uniwersalny katalizator procesu życiowego" (Sedlak 1984 s. 85); "Sztuką przyrody było tylko kwantowomechanicznie zszyć te dwa procesy z własnym napędem energetycznym. Mamy coś w rodzaju autokatalizy, tylko nie chemicznej, a 'kwantowej', może elektromagnetycznej?" (Sedlak 1987 s. 40). Inne funkcje tego kwantowego szwu życia to detekcja promieniowania elektromagnetycznego i funkcja wzmacniania strumienia fotonów (zob. Wnuk 1991-1992 s. 103). Wszystkie te funkcje mają najprawdopodobniej znaczenie decydujące o organizacji materii żywej i w związku z tym "szew" ten musi być systemem przetwarzającym nie tylko energię, ale i informację.

¹²⁹ zob. np. Zon 1990 s. 11, Waszczyk 1994, Waszczyk 1996 s. 145.

¹³⁰ np. Urbański 1988 s. 21, Urbański 1990 s. 65, Miller 1992 s. 361; zob. także Koruga 1992 s. 5, Bailly i in. 1993 s. 3.

¹³¹ Chela-Flores 1985b s. 107, Chela-Flores 1985a, Chela-Flores 1987 s. 127, Popp 1992b s. 249.

¹³² Bistolfi 1990 s. 4, Bistolfi 1991 s. 83-90.

¹³³ Podobnie jak w harfie struny o różnej długości są konieczne do wygenerowania rozmaitych tonów i melodii.

¹³⁴ Stonier 1990 s. 76. Rozmaite formy energii odzwierciedlają naturę i ilość informacji zawartej

re jako systemy zorganizowane wykazują rozmaite zjawiska rezonansowe, te ostatnie prowadzą do różnych oscylacji reprezentujących cykle czasowe, podczas których mogą być wprowadzane jakieś zmiany. Takie zmiany mogą tłumić lub wzmacniać istniejące oscylacje, stwarzać nowe rezonanse i wzbudzać nowe zbiory oscylacji. Im bardziej złożony system, tym większe byłoby prawdopodobieństwo wprowadzania zmian do systemu podczas danego cyklu. Wzajemnej zamianie w nim jednej formy energii w drugą, również by towarzyszył przekaz informacji. To tłumaczyłoby wykładniczy wzrost ilości informacji¹³⁵ w układach podlegających ewolucji. Co więcej, w takim ujęciu ewolucja układów żywych pociągałaby za sobą stały wzrost zawartości informacji w tych systemach. Jeżeli natomiast chodzi o uporządkowanie, byłyby one podobne do kryształów nieorganicznych o temperaturze bliskiej zera absolutnego (Stonier 1990 s. 65). Warto w związku z tym zauważyć, iż rozwijające się organizmy traktowane są również jako samo-organizujące się pola fizyczne.¹³⁶

Nie jest też bez znaczenia fakt, iż zmieniła się gruntownie wiedza dotycząca fizykochemicznych własności kwasów rybonukleinowych w ciągu ostatniego dziesięciolecia. Panujący bowiem do początku lat 80-tych utrwalony pogląd, że wszystkie enzymy są białkami został poważnie zachwiany i w końcu obalony przez odkrycie katalitycznych właściwości kwasów rybonukleinowych (rybozomy).¹³⁷ Fakt ten istotnie zmienił także wyobrażenia na temat znaczenia kwasów nukleinowych (jako nośników informacji biologicznej) i procesów katalitycznych w problematyce zarówno genezy życia,¹³⁸ jak i jego ewolucji.¹³⁹ Również kryteria uznawania niektórych współczesnych organizmów za najbardziej prymitywne ulegają przewartościowaniu.¹⁴⁰ Wspomniane wyżej odkrycie RNA posiadającego własności katalityczne pozwoliło na wysuwanie nowych hipotez pochodzenia i ewolucji kodu genetycznego.¹⁴¹ To nadzwyczaj zaska-

w ich obrębie. Wyrażana jest (Stonier 1990 s. 76) potrzeba wynalezienia instrumentów, które mogłyby precyzyjnie mierzyć zawartość informacyjną rozmaitych form energii.

¹³⁵ Stonier 1990 s. 70.

¹³⁶ np. Goodwin 1987 s. 167.

¹³⁷ Uhonorowane zresztą nagrodą Nobla w 1989 r. (zob. np. Kuropatwa 1990 s. 163); np. Cech & Bass 1986 s. 599, Cech i in. 1993 s. 91, Fu i in. 1994 s. 4591, Gesteland & Atkins 1993, Illangasekare i in. 1995 s. 643, Symons 1994 s. 322, Yang i in. 1994a s. 77, Yarus 1993 s. 31.

¹³⁸ np. Cech 1993 s. 33, Ferris 1993 s. 307, Joyce 1989 s. 217, Kanavarioti 1994 s. 479, Lahav 1993 s. 329, Orgel 1986b s. 127, Orgel & Crick 1993 s. 238, Pace & Marsch 1985 s. 97, Robertson & Miller 1995 s. 702, Schwartz 1995 s. 161, Gesteland & Atkins 1993.

¹³⁹ Dick & Schamel 1995 s. 1, Edwards 1989 s. 69, Ellington 1993 s. 646, Lahav 1991 s. 531, Lazcano & Miller 1994 s. 546, Olsen & Woese 1993 s. 113, Pace & Brown 1995 s. 1919, Trevors 1995 s. 315, Gesteland & Atkins 1993.

¹⁴⁰ Forterre 1995 s. 167.

¹⁴¹ np. Baumann & Oro 1993 s. 133, Eigen 1993 s. 37, Hartman 1995 s. 541, Kuhn & Waser 1994 s. 259, Lamond & Gibson 1990 s. 145, Szathmary 1993 s. 9916, Visser 1984 s. 291, Visser

kujące stwierdzenie współistnienia w tej samej klasie biomolekuł zarówno funkcji katalitycznych jak i genetycznych zrodziło przypuszczenie, że RNA mógł we wczesnych etapach życia funkcjonować równocześnie jako genotyp i fenotyp. Genotypem byłaby sekwencja zasad, a fenotypem przestrzenna struktura RNA. RNA lub molekuly pokrewne poprzedzałyby zatem enzymy białkowe w ewolucji. RNA katalizowałyby najpierw syntezę samego RNA, potem białek, wreszcie DNA, który magazynował informacje z RNA poprzez proces odwrotnej transkrypcji. W kontekście tych hipotez współczesne wirusy posiadające RNA jako swój materiał genetyczny, są rozpatrywane jako skamieniałości molekularne pochodzące ze "świata RNA".¹⁴² Katalityczne właściwości RNA są więc nie tylko bardzo intrygującym fenomenem życia na jego molekularnym poziomie organizacji, ale także pociągającym za sobą niewątpliwie nowe ważne implikacje poznawcze.

* * *

Problematyka katalizy jest transdyscyplinarna i bardzo złożona. Przede wszystkim podejmują ją chemicy i fizycy, ale nie tylko oni. Wykazują nią zainteresowanie także filozofowie przyrody.¹⁴³ Niniejszy podrozdział miał za zadanie przedstawienie jej z punktu widzenia filozofii. Okazuje się, że znaczenie pełniejszego poznania istoty katalizy enzymatycznej jest ogromne i wykraczające daleko poza utylitarne zastosowania enzymów w biotechnologii, elektronice biomolekularnej czy medycynie. Dosięga ono bowiem również fundamentalnych i niezmiernie trudnych problemów dotyczących istoty i pochodzenia życia. W tych ostatnich kwestiach, poznawczo znacznie ważniejszych od na przykład kwestii mechanizmów funkcjonowania samych katalizatorów i ich wykorzystania w przemyśle, ujęcie systemowo-informacyjne umożliwia sformułowanie następujących hipotez:

1) życie jako forma informacji na nośniku elektromagnetycznym mogło i może rozprzestrzeniać się dzięki indukowaniu procesów katalitycznych oraz sterowaniu nimi do przeorganizowywania systemów fermionowo-bozonowo-infonowych w samodzielne systemy bogatsze w infony i bozony;

2) systemy ożywione mogą różnić się od tzw. nieożywionych przede wszystkim jakością i ilością infonów; organizm można więc ująć jako superkondensat informacji;

3) pierwotnymi minimalnymi systemami ożywionymi na Ziemi były

1984 s. 301, Wetzel 1995 s. 545.

¹⁴² Chela-Flores 1994 s. 163, Maizels & Weiner 1993 s. 577, Ohnishi 1990 s. 147, Ohnishi 1992 s. 109.

¹⁴³ Zob. np. Niedersen 1986 s. 151, Bechtel 1984 s. 265.

prawdopodobnie rezonatory węgkowe koherentnego promieniowania elektromagnetycznego w postaci makromolekularnych katalizatorów; stąd zmienić należałoby rozumienie minimalnego systemu żywego (z komórki nawet na makromolekułę), a co za tym idzie pojęcie minimalnej złożoności biostruktur;

4) w katalitycznym pre-RNA prawdopodobnie realizowało się sprzężenie chemiczno-elektroniczne i autokatalizator ten stanowił zapewne jedną z dróg rozwojowych minimalnego systemu ożywionego;

5) klasyczne rozumienie fundamentalnych procesów życiowych (jako głównie metabolizmu) należy zmienić, przesuując akcent z katalitycznych procesów przemiany materii i energii na, przede wszystkim, procesy przetwarzania informacji; w związku z tym postulować należy istnienie "organizmów" lub mechanizmów czy systemów przetwarzających wyłącznie informację i energię (jako elementarne "jednostki życia").¹⁴⁴

Wydaje się, że ujęcie systemowo-informacyjne otwiera nowe możliwości obliczania zawartości informacyjnej enzymów z ich kompleksami oraz innych biostruktur (co umożliwiłoby dalszy progres w rekonstrukcji istoty i genezy życia). Podejście klasyczne poprzestaje zaś na stwierdzeniach zdobytych w oparciu o poznanie potoczne, a wykorzystany w tym podejściu materiał z biochemii i genetyki molekularnej dostarcza jedynie nowych egzemplifikacji na rzecz tych stwierdzeń. W odróżnieniu od niego podejście systemowo-informacyjne, uwzględniające również submolekularny poziom organizacji biosystemów, umożliwia stworzenie nowej perspektywy poznawczej w kwestiach istoty, powstania i ewolucji życia. Zasadniczo poszerza to sposób rozumienia życia o ważny jego wymiar, tj. o aspekt informacyjny procesów bioelektromagnetycznych, w którym informacja nie jest tylko epifenomenem oddziaływań energetycznych, ale jest ona istotnym i podstawowym składnikiem rzeczywistości - *Universum*. Prowadząc jeszcze dalej sięgającą ekstrapolację, w ujęciu tym, świat i życie jawią się przede wszystkim jako procesy materializacji informacji bądź informatyzacji materii i energii. W związku z tym, poniżej podjęta zostanie próba innego spojrzenia na genezę biosystemów, co będzie przedmiotem ostatniego rozdziału rozprawy.

¹⁴⁴ Postulat ten może uchodzić za sprzeczny z tzw. zdrowym rozsądkiem, nie mówiąc już o jakimkolwiek znaczeniu praktycznym. Niemniej jednak, autor niniejszej rozprawy opiera się na stwierdzeniu Lewisa Wolperta, że właśnie nieprawdopodobne hipotezy, a nie opinie zdroworozsądkowe, stanowią fundament nauki (Wolpert 1996 s. 49). Warto nadmienić, że jeszcze w nie tak odległej przeszłości, na krótko przed odkryciami Marconiego, wybitny i wszechstronny uczony angielski Karl Pearson napisał w 1892 roku, iż fale elektromagnetyczne nie posiadają żadnego praktycznego zastosowania (za Wolpert 1996 s. 47).

5. BIOSYSTEMOGENEZA W ŚWIETLE KONCEPCJI ELEKTROMAGNETYCZNEJ NATURY ŻYCIA

Spekulacje i badania dotyczące istoty życia i jego pochodzenia mają długą tradycję zarówno filozoficzną jak i naukową. Rodzaj odpowiedzi, zwłaszcza na ten pierwszy problem, wyznaczał sposoby rozumienia granicy pomiędzy bytem żywym a nieożywionym. Gdy obserwacji podlegało tylko to co jest widoczne tzw. okiem nieuzbrojonym, to najmniejsze dostrzegalne stworzenie, które się poruszało było uważane za byt ożywiony. Ta stosunkowo prosta sytuacja skomplikowała się, gdy skonstruowano (najpierw optyczny, a później elektronowy) mikroskop i użyto go do badań mikroświata.¹ Kryterium, że coś się porusza o własnych siłach i rozmnaża, stało się zawodne. Obecnie uznaje się, że komórka Prokaryota jest najmniejszym i najprymitywniejszym organizmem. Jednak przy "niewielkim poszerzeniu" tzw. kryteriów życia, za żywy może już uchodzić wirus lub nawet autokatalityczny RNA.

Wyjaśnienie sposobów powstania życia na Ziemi² jest przedmiotem wielu hipotez i teorii.³ Ale mimo to, daleko jest jeszcze do pełnej rekonstrukcji tego bardzo złożonego procesu.⁴ Poznanie go bowiem jest uwarunkowane zrozumieniem istoty nadzwyczaj złożonych zjawisk i procesów życiowych, mających miejsce zarówno we współczesnej jak i w minionej biosferze. Te

¹ Obecnie technika jest już tak zaawansowana, że przy pomocy mikroskopii tunelowej można "obserwować" pojedyncze makromolekuły.

² lub nawet w Układzie Słonecznym (np. Chyba & McDonald 1995 s. 215, Kłoskowski & Ślaga 1991 s. 109).

³ Zob. np. w tym względzie bardzo obszerny wykaz literatury w wydanej niedawno książce Włodzimierza Ługowskiego (Ługowski 1995); w minionym czasie najbardziej chyba rozpowszechnione były poglądy Aleksandra Oparina (np. Oparin 1968).

⁴ Zob. np. Ślaga 1992 s. 283.

hipotezy i teorie układają się najczęściej w dwa nurty lub podejścia poznawcze, o czym wspomniano już w poprzednim rozdziale. Pierwsze z nich, tj. podejście fizykalistyczno-redukcyjnoistyczne (z fizykochemiczną strategią badawczą), wynika z przekonania, iż powstawanie życia jako tworzenie się informacji i jej nośników dokonywało się głównie na poziomie molekularnym. Drugie - opozycyjne lub komplementarne w stosunku do pierwszego - podejście (organizmalno-teleologiczne lub całościowo-systemowe) przyjmuje, że informacja biologiczna powstała poprzez urzeczywistnienie się specyficznych prawidłowości (nie redukowalnych do praw fizyki i chemii), dzięki którym materia nieożywiona przekształciła się w ożywioną.⁵

Na przykład, w ramach pierwszego z powyższych podejść badawczych, Bernd O. Küppers w dość obszernej książce poświęconej genezie informacji biologicznej⁶ prezentuje molekularno-darwinowską strategię badawczą oraz przyjmuje założenie, że informacja genetyczna powstała w toku samoorganizacji i ewolucji makrocząsteczek biologicznych. Takie podejście pozostawia jednak wiele nowych danych i teorii, dotyczących fizykalnych podstaw procesów życiowych, poza możliwością włączenia w syntetyczną wizję. Właśnie niektóre z tego typu danych i teorii wykorzystano w niniejszym rozdziale.

Uważa się obecnie, że w wypadku badań problemów złożonych (do których przecież z całą pewnością należy całościowa interpretacja życia z jego genezą), zastosowanie analizy i ujęcia systemowego jest metodą badawczą najbardziej adekwatną.⁷ W tym też nurcie poznawczym nawiążę do jednej z nowszych (i jeszcze nie wyeksploatowanych poznawczo) idei, dotyczących tzw. natury życia (jaką jest Włodzimierza Sedlaka teoria elektromagnetycznej natury życia), którą to starałem się rozwijać w poprzednich rozdziałach rozprawy. Chociaż koncepcja ta nie zaoferowała wystarczająco rozwiniętego teoretycznie modelu biogenezy elektromagnetycznej, to ma ona jednak, w przekonaniu autora niniejszej rozprawy, obiecujące możliwości zastosowania do problemu genezy życia i w ogóle biosystemogenezy.

Dokładniej mówiąc, celem tego rozdziału jest próba poszerzenia wspomnianej koncepcji w kierunku zarysowania hipotezy biosystemogenezy elektromagnetycznej. Tezą zaś jest tu stwierdzenie, że życie na Ziemi wywodzi się z informacji, której nośnikiem było pole elektromagnetyczne.⁸ Przyjęto tu

⁵ np. Ślaga 1995 s. 59.

⁶ Küppers 1991.

⁷ np. Ślaga 1968 s. 105, Ślaga 1982 s. 119, Ślaga 1986 s. 75, Ślaga 1987 s. 174, Pakszys & Sobczyńska 1984 s. 163, Lubański & Ślaga 1980 s. 141.

⁸ Życie nie tylko jest światłem (jak stwierdza W. Sedlak), ale i pochodzi ze światła - ujęcie takie wydaje się mieć bowiem nie tylko metaforyczny, ale i niemal dosłowny sens właśnie w aspekcie kwantowej teorii pola i bioelektroniki. Warto przypomnieć, o czym była mowa w 1-szym rozdziale, że myśl iż "życie jest światłem" ma starożytne i średniowieczne antecedeny, by wymienić tu takich filozofów jak np. Plotyn, Bonawentura czy Grosseteste.

założenie filozoficzne, że informacja ta poprzedzała w aspekcie czasowym i przyczynowym zaistnienie tego, co obecnie nazywamy informacją genetyczną (a nie powstawała dopiero w czasie tzw. samoorganizacji biomakromolekuł,⁹ choć nie można wykluczać również generowania się nowej informacji w tym wypadku). Założenie takie można usprawiedliwić klasyczną tezą o tym, że skutek nie może być "większy" od przyczyny. Dla filozofów greckich przyczyna była bowiem czymś doskonalszym niż skutek. W ujęciach filozofów klasycznych przyczyna sprawcza niekiedy nie może ulegać żadnej zmianie. Nie może zatem być zdarzeniem typu energetycznego.¹⁰

5.1. Biosystemy jako układy fermionowo-bozonowo-infonowe

Jak już wcześniej wskazywano, uważa się obecnie, że wszechświat składa się z co najmniej trzech podstawowych elementów: materii (masy), energii i informacji; innymi słowy z: fermionów, bozonów i infonów.¹¹ Ten trzeci z wymienionych elementów byłby więc istotą wszechświata i życia¹² (zob. podrozdziały 1.3. i 1.4.). Wspomniane elementy są mniej lub bardziej uorganizowane w rozmaite uhierarchizowane systemy, metasystemy, metametasystemy etc., wśród których szczególnie wyróżniają się - chociażby swoją złożonością - systemy żywe. Te ostatnie są nie tylko zorganizowane (np. przestrzennie, czasowo, funkcjonalnie) w sposób hierarchiczny, ale wyróżniają się także specyficzną strukturą.

Trzeba zauważyć, że współczesne biosystemy są poznane bardziej w aspekcie struktur korpuskularnych, niż struktur energetycznych i informacyjnych. Stąd też, ujmuje się je przede wszystkim jako materię żywą, a nie tylko jako energię ożywioną. Podstawowe procesy życiowe są bowiem ujmowane jako złożone systemy reakcji chemicznych,¹³ a organizm traktowany

⁹ np. Ebeling & Feistel 1982.

¹⁰ zob. np. Kiczuk 1995 s. 165. Założenie takie nie jest bezzasadne i z innego punktu widzenia, nieakceptowalnego zapewne przez "rasowych" scjentyistów. Wystarczy tu przypomnieć chociażby Prolog Ewangelii w/g św. Jana: "*Na początku było Słowo [...] W Nim było życie, a życie było światłem [...]*" (J 1,1a.4) (zob. "*Ewangelia według św. Jana. Wstęp - przekład z oryginału - komentarz*", opracował ks. Lech Stachowiak, KUL, Pallotinum, Poznań-Warszawa 1975, s. 99-115). A więc "Słowo", to przecież przede wszystkim informacja, a życie równa się światło, czyli fragment spektrum elektromagnetycznego. Powyższy cytat niech mi wolno będzie chociaż wykorzystać jako *motto*, mając nadzieję, że krytyczny czytelnik jednak to właściwie odbierze.

¹¹ Stonier 1990 s. 116.

¹² W tym ujęciu najbardziej fundamentalnym aspektem informacji jest to, że nie jest ona konstruktem umysłu ludzkiego, ale podstawową właściwością wszechświata (Stonier 1990 s. 113, por. Lubański 1993b s. 72).

¹³ do których wyjaśnienia wystarcza w zasadzie chemia fizyczna, a w szczególności jej działy

jest - jak na przykład w wypadku teorii chemotonu¹⁴ - jako automat miękkiej, którego funkcjonowanie opiera się właśnie na reakcjach chemicznych.¹⁵ Według T. Gantiego teorii chemotonu u podstaw procesów życiowych i stabilności systemów żywych leżą więc cykliczne procesy chemiczne lub zamknięte sieci reakcji jako ich wyższe formy. Istotą organizacji biosystemów stanowią zatem tory wymuszone (polegające na przemianach chemicznych) w systemach zdolnych do wykonywania pracy w roztworach, jej regulacji i sterowania.

Tak więc w teorii chemotonu za najniższy poziom organizacji przyjmuje się poziom biochemiczny (podobnie zresztą czyni się to powszechnie w całej biologii¹⁶). Z punktu widzenia biochemii zaś, regulacja procesów przebiegających w organizmach dokonuje się poprzez transport masy, w szczególności mediatorów i jonów (np. mechanizmy hormonalne i neuronalne), które są cząstkami rozróżnialnymi. Z kolei własności biomolekuł są wyjaśniane w oparciu o mechanikę kwantową przy założeniu, że nieokreśloność położenia i długość koherencji dla cząstek, z których składają się owe molekuly biologiczne, nie przekracza rozmiarów tych molekuł. W rezultacie uważa się, że wszelkie oddziaływania pomiędzy biomolekułami mają naturę klasyczną, a nie kwantową (tzn. związaną z nierozróżnialnością cząstek). W konsekwencji biochemia (jak również klasyczna biofizyka) nie jest w stanie opisać na przykład nietermicznego oddziaływania fal elektromagnetycznych na organizmy, czy wpływu na nie pola magnetycznego. Wspomniane dyscypliny także ignorują niektóre bardzo interesujące problemy,

dotyczące kinetyki chemicznej i katalizy.

¹⁴ Ganti 1979.

¹⁵ Warto przypomnieć, że w teorii tej wyróżniono 9 kryteriów życia (Ganti 1979 s. 21-22) definiujących systemy żywe. Sześć z tych kryteriów (A) musi być zachowane dla wszystkich systemów żywych w każdym czasie, ponieważ kryteria te są konieczne dla indywidualnego życia; trzy pozostałe (B) - nie są kryteriami życia indywidualnego, ale są niezbędne dla istnienia świata żywego. Oto one:

A. Istotne (realne) kryteria życia:

- 1) inherentna niepodzielność,
- 2) przemiana materii,
- 3) stabilność inherentna,
- 4) program regulacji w czasie,
- 5) podsystem niosący informację,
- 6) sterowanie programem współdziałania substancji genetycznej i podsystemu homeostatycznego,

B. Potencjalne kryteria życia:

- 7) wzrost i reprodukcja,
- 8) zdolność do zmian dziedzicznych
- 9) zdolność do ewolucji.

Zob. również książkę (o charakterze popularno-naukowym) Tibora Gantiego pt. "Podstawy życia" (tł. z j. węgierskiego), Warszawa 1986.

¹⁶ np. Adams & Gahan 1994 s. 46.

takie jak selektywne pobieranie przez organizmy izotopów danego pierwiastka ze środowiska,¹⁷ czy odbieranie pola biograwitacyjnego.¹⁸

Nie wykluczone, że opis tego typu procesów¹⁹ wymagałby uwzględnienia oddziaływań kwantowych w skali całego organizmu, a co za tym idzie zastosowania kwantowej teorii wielu ciał do organizmu jako całości. Teoria taka nie jest jeszcze stworzona, co zresztą podkreśla bioelektronika.²⁰ Interesującą próbą w tym kierunku jest zapoczątkowana przez H. Umezawę aplikacja kwantowej teorii pola²¹ do wyjaśniania zachowania się biosystemów,²² np. dynamiki działania mózgu.²³

W ramach bioelektroniki²⁴ W. Sedlak zaproponował biologię falową,²⁵ zgodnie z którą organizacja układu żywego jest możliwa dzięki oddziaływaniom elektromagnetycznym, a czynnikiem wiążącym te oddziaływania i chemiczne procesy metaboliczne jest bioplazma (analogon plazmy fizycznej).²⁶ Za organizację tę odpowiedzialne są specyficzne kwantowe wzbudzenia kolektywne, tj. biobozony (biony), a więc zasadą organizacji procesów życiowych jest kondensacja Bose'go bionów.²⁷ Niezależnie od bioelektronicznych propozycji Sedlaka wysuwano już rozmaite hipotezy dotyczące biologicznych funkcji biobozonów, np.:

- organizowanie i regulacja metabolizmu (plazmony, fonony, ekscytony),
- regulowanie podziału komórki (fotony),

¹⁷ np. Ernst 1974 s. 1, użyto w tym kontekście nazwy biologia subatomowa. Dodać trzeba, że nie tak dawno jeszcze kwestionowano nawet istnienie biofizyki submolekularnej (Klonowski & Klonowska 1986 s. 21).

¹⁸ np. Dubrov 1974 s. 311.

¹⁹ traktowanych czasami jako artefakty,

²⁰ zob. np. Urbański 1990 s. 65.

²¹ np. Umezawa i in. 1982.

²² Del Giudice i in. 1985 s. 375, Del Giudice i in. 1986a s. 263, Del Giudice i in. 1986b s. 185, Del Giudice 1986 s. 197.

²³ Zob. np. Jibu & Yasue 1993a s. 123, Jibu i in. 1994 s. 195, Jibu & Yasue 1993b s. 1, Jibu & Yasue 1992 s. 797, por. Wolf 1986.

²⁴ zob. np. Szent-Györgyi 1968a, Sedlak 1988a, Bone & Zaba 1992, Wnuk & Zon 1986 s. 88, Zon 1990 s. 11, Ślaga 1980 s. 199; zob. także Zon & Wnuk 1996, Waszczyk 1994, Waszczyk 1996 s. 145.

²⁵ Sedlak 1979a s. 469.

²⁶ Zob. np. Sedlak 1976b, Sedlak i in. 1988.

²⁷ np. Wu & Austin 1977 s. 151, Wu & Austin 1978b s. 74, Wu & Austin 1978a s. 209, Wu & Austin 1979 s. 266, Fröhlich 1975 s. 21, Bhaumik i in. 1976b s. 145, Bhaumik i in. 1976a s. 77, Mishra i in. 1979 s. 691, Mishra & Bhoumik 1983 s. 1579, Del Giudice i in. 1983 s. 508, Del Giudice i in. 1986a s. 263, Vitiello i in. 1984 s. 469, Marshall 1989 s. 73, Urbański 1988 s. 21, Urbański 1990 s. 65, Miller 1991 s. 341, Miller 1992 s. 361, Vasconcellos & Luzzi 1993 s. 2246, Mesquita i in. 1993 s. 4049, Wallace 1993 s. 614.

- kod genetyczny (pary Coopera elektronów),
- zaangażowanie w transport aktywny w błonach biologicznych (fonony),
- oddziaływania międzykomórkowe (fonony, plazmony, fotony),
- skurcz mięśni (ekscytony, solitony),
- ewolucja (Coopera pary fononów),
- pamięć (bozony Goldstonowskie),
- świadomość (fotony) etc.²⁸

Formalnymi analogiami kwantowymi fermionów i bozonów są dwie zaproponowane niedawno kategorie jednostek biologicznych, które nazywane są odpowiednio: organami i biolonami. Analogie te są w zasadzie związane ze specyficznymi rolami przypisywanymi tym jednostkom w jakimś systemie biologicznym, mianowicie organy dotyczyłyby materii-energii, zaś biolony - informacji.²⁹ Do biobozonów należą na przykład magazynowane w organizmach żywych fotony,³⁰ których fundamentalne znaczenie implikuje omawiana tutaj koncepcja elektromagnetycznej natury życia.

Istotnym elementem organizmów żywych jest również informacja. Rozróżniono wiele jej rodzajów i nośników. Najlepiej rozpoznane są: genetyczna, strukturalna, immunologiczna, ekologiczna oraz wyższy jej rodzaj jakim jest komunikacja.³¹ Z kolei, biorąc tylko pod uwagę komórkowy poziom organizacji i pomijając wyższe piętra organizacji systemów żywych, z nośników informacji biologicznej najlepiej poznany jest nośnik natury korpuskularnej (np. sekwencje nukleotydów, aminokwasów), zaś nośniki energetyczne jak biofonony, biofotony etc. - stosunkowo słabo.³² Poniżej wypadnie zwrócić uwagę na nośniki energetyczne, jako od innych nośników bardziej istotne i podstawowe.

Właśnie dzięki takiemu przesunięciu akcentów poznawczych organizm może być ujmowany jako kwantowy generator informacji elektromagnetycznej i akustycznej, co W. Sedlak postulował już blisko 20 lat temu.³³ Pozwala to

²⁸ zob. art. przegl. np.: Urbański 1988 s. 21, Miller 1992 s. 361.

²⁹ Bailly i in. 1993 s. 3.

³⁰ np. Popp i in. 1979, Ho i in. 1994, Popp i in. 1992. Popularne omówienie termodynamicznego modelu magazynowania fotonów w układach żywych zob. Popp 1992a s. 87-89.

³¹ zob. np. Latawiec 1983 s. 151-259.

³² np. Ho i in. 1994, Bistolfi 1991 s. 83-101, Bistolfi 1990 s. 4.

³³ Sedlak 1977a s. 439. W książce *"Wprowadzenie w bioelektronikę"* (Sedlak 1988a), którą można potraktować jako zwięzłe ujęcie dorobku jej autora w zakresie bioelektroniki, pisanej z dojrzałej perspektywy i pewnego dystansu czasowego, Sedlak podaje dwie definicje informacji: (1) **"Informacja biologiczna - kolektywne nadawanie i odbiór elektromagnetycznego sygnału generowanego i modulowanego przez zmienne stany ożywionej materii"**, (2) **"Informacja kwantowa - przenoszenie przez pola elektromagnetyczne w organizmie oddziaływań foton-foton, foton-fonon, foton-elektron, elektron-elektron, fonon-fonon"** (Sedlak 1988a s. 130). Choć definicje te mogą pozostawiać wiele do życzenia z punktu widzenia metodologicznego, to jednak odzwierciedlają ciekawe intuicje dotyczące specyfiki rzeczywistości biologicznej.

traktować życie jako formę istnienia informacji elektromagnetycznej.³⁴ Współcześnie organizmy można bowiem ujmować jako złożone systemy fermionowo-bozonowo-infonowe.³⁵ Badania mające na celu rekonstrukcję procesów powstania życia można więc prowadzić w co najmniej trzech aspektach, odpowiadających w uproszczeniu materialno-energetyczno-informacyjnej strukturze organizmów, a mianowicie z punktu widzenia:

- powstawania biosystemów fermionowych (czyli struktur korpuskularnych),
- powstawania biosystemów bozonowych (czyli systemów bioenergetycznych) oraz
- powstawania biosystemów infonowych (czyli systemów bioinformacyjnych).

W tej też kolejności zostanie poniżej omówiona tak właśnie ujęta biosystemogeneza. Jak już zaznaczono we wstępie, w przekonaniu autora **bioinformacja poprzedza powstanie biosystemów materialno-energetycznych**. Założenie takie jest ponadto zgodne ze współczesną fizyką i kosmologią, w których przyjmuje się tezę o elektromagnetycznym pochodzeniu masy, a cząstki korpuskularne są uważane za elektromagnetyczne wnęki sferyczne.³⁶ Nie rozstrzygając kwestii statusu metodologiczno-epistemologicznego tego rodzaju idei, można zapewne uznać za poznawczo interesujący i stymulujący sam fakt takiego właśnie podejścia do problematyki biosystemogenezy. Wydaje się bowiem, że tego rodzaju podejścia i koncepcje są zasadniczo nowe (przynajmniej w naukach biologicznych), heurystycznie wartościowe i teoretycznie niebezzasadne. Wystarczająco to więc usprawiedliwia uwzględnienie ich w rozpatrywanych tu kwestiach dotyczących biosystemogenezy.

5.2. Powstawanie biosystemów fermionowych

Koncepcja elektromagnetycznej natury życia nie jest jeszcze na tyle zaawansowana i umocowana we współczesnej nauce, ażeby mogła już teraz zaferować model pochodzenia życia, który byłby konkurencyjny wobec dotychczasowych modeli lub teorii, rozwijanych przecież od dawna w ramach klasycznego paradygmatu w naukach o życiu. Niemniej, postulowane przez nią

³⁴ Wnuk 1995b s. 105.

³⁵ Takie ujęcie jest być może zaskakujące dla biologów, niemniej jednak należy zwrócić uwagę, że w kontekście kwantowej teorii wielu światów i problematyki przetwarzania informacji kwantowej w komputerach kwantowych użyto nadzwyczaj intrygującego stwierdzenia: "*Consequently, the underlying structure of Many-Worlds abstract life forms should be fundamentally similar to that of boson photon-graviton life forms and fermion matter life forms."* (Tony Smith, "*Many-Worlds Quantum Theory*", zob. Internet: <http://www.gatech.edu/tsmith/ManyWorlds.html#RMW>). Na temat infonów zob. podrozdz. 1.4 niniejszej rozprawy.

³⁶ Zob. np. Molski 1991 s. 5063, Molski 1994 s. 361, Molski 1994 s. 99, Molski 1993 s. 143.

możliwe kierunki poznawcze sugerują nowe, zasadniczo odmienne od dotychczasowych, horyzonty badawcze.

Do fermionów mających istotne znaczenie w budowie i funkcjonowaniu biosystemów należą przede wszystkim zdelokalizowane elektrony i protony.³⁷ Stanowią one cząstki bioplazmy, a zarazem dynamiczny element przebudowy biostruktur molekularnych. Istnienie endokomórkowych strumieni elektronów i protonów³⁸ ma zapewne swoją genezę w tzw. mineralnych ich początkach, tj. w półprzewodnictwie glinokrzemianów, wodorotlenków żelaza i glinu oraz innych minerałów protośrodowiska.³⁹ Obecność półprzewodników protonowych w błonach biologicznych współczesnych organizmów, gdzie "aktywne protony" są fundamentalnymi centrami transdukcji energii⁴⁰ i informacji⁴¹ również świadczy o submolekularnym pochodzeniu procesów bioenergetycznych. Submolekularny poziom organizacji procesów życiowych, którego istnienie postulowano już dość dawno temu⁴² nie jest jednak dostatecznie spenetrowany i teoretycznie rozwinięty.

Jeżeli chodzi o badania genezy systemów molekularnych i supramolekularnych (ewolucja chemiczna i biochemiczna) wchodzących w skład hipotetycznej protokomórki żywej, to dominuje nadal monoschematyzm biochemiczny w poglądach na istotę i pochodzenie życia; w przeciwieństwie przecież do założeń i poglądów przyjmowanych tutaj. Rozpatruje się bowiem obecnie ewentualność, że pierwotnymi biosystemami mogły być, na przykład, molekuly RNA-podobne. Chodzi zwłaszcza o hipotezę tak zwanego świata RNA,⁴³ która opiera się między innymi na wspomnianym wyżej nadzwyczaj interesującym fakcie autokatalitycznych właściwości niektórych kwasów rybonukleinowych, mogących z tej racji uchodzić za model biosystemu będącego zarazem genotypem i fenotypem. Hipoteza ta ma już coraz więcej wspierających ją badań doświadczalnych.⁴⁴

Koncepcja elektromagnetycznej natury życia przyjmuje natomiast, że nie związki węglowe, lecz glinokrzemiany były wyjściowym substratem organizmów pierwotnych. Koncepcja ta bowiem zakłada słuszność teorii tzw. krzemowych początków życia (a nie węglowych),⁴⁵ zresztą teorii opartej na

³⁷ Zob. np. Lipinski 1982, Pietrow 1984, Marino 1988.

³⁸ zob. np. Bistolfi 1991 s. 67.

³⁹ np. Shuey 1975.

⁴⁰ np. Morowitz 1978 s. R99.

⁴¹ np. Conrad 1990 s. 159.

⁴² Szent-Györgyi 1968b.

⁴³ np. Gesteland & Atkins 1993, Kanavarioti 1994 s. 479, Lahav 1993 s. 329, Schwartz 1995 s. 161.

⁴⁴ np. Gesteland & Atkins 1993, Ellington 1993 s. 646.

⁴⁵ Sedlak 1959 s. 69, Sedlak 1967d, Sedlak 1985c, Sedlak 1985a s. 115; zob. także Piękoś 1982

przesłankach całkiem odmiennych i niezależnych, z teoretycznego i doświadczalnego punktu widzenia. Teoria ta jest ponadto zbieżna z bogato udokumentowaną teorią Cairns-Smitha wywodzącą praprzodka układów żywych z kryształów gliny.⁴⁶ Interesujące w tym kontekście są badania doświadczalne, z których wynika możliwość tworzenia się prebiotycznego RNA w obecności monmorylonitu jako katalizatora,⁴⁷ czy spekulacje wywodzące pochodzenie kodu genetycznego od tego glinokrzemianu.⁴⁸ Okazuje się ponadto, że takie glinokrzemiany jak zeolity wykazują podobieństwa strukturalne i funkcjonalne do naturalnych enzymów (np. cytochromów *P-450*, ale i także hemoglobiny). Pozwala to spekulować nie tylko o możliwych krzemowych formach życia, ale i o nowych możliwościach w zakresie technologii komputerów optycznych, np. wytwarzania tranzystorów optycznych, modulatorów światła i innych systemów półprzewodnikowych.⁴⁹

Promieniowaniu elektromagnetycznemu środowiska pierwotnego Ziemi przypisuje się istotne znaczenie. Czynnikiem ten mógł być nie tylko energetycznym czynnikiem inicjującym syntezy związków organicznych, ale i nośnikiem informacji.⁵⁰ Obecna atmosfera naszej planety przepuszcza to promieniowanie przede wszystkim w następujących pasmach: (a) $3 \times 10^{-7} - 2 \times 10^{-6}$ m (tzw. okno optyczne, przy czym jego środek przypada na $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$), (b) $8 \times 10^{-6} - 1,3 \times 10^{-5}$ m i (c) ok. $1 \times 10^{-3} - 2 \times 10^1$ m (tzw. okno radiowe, którego środek wypada na $\lambda = 0,5$ m). Ważną cechą docierających do powierzchni Ziemi fotonów okna optycznego jest widmowa gęstość mocy, która jest dużo wyższa niż w wypadku promieniowania termicznego dla temperatury 290 K.⁵¹ Właśnie dzięki temu mogły zachodzić procesy zarówno pompowania biolaserów, jak i odbioru informacji zawartej w promieniowaniu słonecznym.⁵² Rola tego zakresu widma promieniowania okazać się mogła nader istotna skoro: (a) energia fotonów optycznych odpowiada mniej więcej energii procesów biochemicznych, (b) promieniowanie optyczne w gruncie rzeczy napędza metabolizm komórek roślinnych i - pośrednio - zwierzęcych (długość fali tego promieniowania λ odpowiada przecież rozmiarom typowych komórek bakteryjnych od $0,1 \mu\text{m}$ do $5 \mu\text{m}$). Ponadto światło słoneczne padające na bardzo małą powierzchnię na Ziemi okazuje się być całkowicie

s. 27, Piękoś 1986 s. 121, Ślaga 1984 s. 13.

⁴⁶ Cairns-Smith 1971, Cairns-Smith 1982, Cairns-Smith i in. 1983.

⁴⁷ np. Ferris 1993 s. 307, Ferris & Ertem 1993 s. 12270.

⁴⁸ Hartman 1995 s. 541.

⁴⁹ Herron 1989 s. 542, Herron 1989 s. 141.

⁵⁰ Theodoridis & Stark 1971 s. 377 (za Theodoridis i in. 1996 s. 61).

⁵¹ tj. w zależności od poziomu aktywności Słońca od 10^2 do 10^4 razy; tłumienie szumów 20-40 dB.

⁵² Urbański & Hołownia 1994 s. 33.

spójne. Powierzchnia ta wynosi ok. $4 \times 10^{-10} \text{ m}^2$, co odpowiada w przybliżeniu powierzchni komórki żywej.⁵³

Podobnie jest w wypadku okna radiowego. I chociaż odstęp od poziomu szumów termicznych promieniowania radiowego jest dość mały (tłumienie szumów 20 dB), to jednak przenoszenie informacji biologicznej w paśmie radiowym jest możliwe.⁵⁴ Informacja ta powinna dotyczyć struktury całego organizmu, z uwagi na to, że promieniowanie to ma długości fal (λ) w zakresie odpowiadającym rozmiarom organizmów wielokomórkowych (tj. od 1 mm do 20 m).

Można więc uznać za interesującą hipotezę, że struktura komórki została ukształtowana prawdopodobnie pod wpływem promieniowania Słońca zakresu optycznego, natomiast struktura organizmu wielokomórkowego (czyli system komórek) - przez promieniowanie radiowe naszej gwiazdy.⁵⁵ Co więcej, właśnie za pośrednictwem pól elektromagnetycznych istnieje obecnie ścisły związek pomiędzy istotami żywymi a ich środowiskiem.⁵⁶ Prawidłowe funkcjonowanie biostruktur zależy bowiem od środowiskowych pól elektromagnetycznych, a w szczególności zakresu ekstremalnie niskich częstotliwości (ELF). Wiele przemawia za tym, że regulacja cykli biologicznych⁵⁷ wszystkich organizmów dokonuje się w oparciu o informacje czerpane z mikropulsacji ziemskiego pola elektromagnetycznego, generowanych przez elektrodynamiczną wnękę rezonansową jaką stanowi układ: powierzchnia Ziemi - jonosfera (główna częstotliwość ich wynosi ok. 10 Hz).⁵⁸ Nie przypadkowo w EEG wielu zwierząt dominuje również częstotliwość 10-hercowa.⁵⁹ Wspomniane wyżej mikropulsacje sterują w konsekwencji procesami biochemicznymi.⁶⁰

Od pól elektromagnetycznych zależy więc sterowanie egzogenne; również morfogeneza uzależniona jest od fotonów, chociaż endogennych.

⁵³ Popp 1992a s. 152.

⁵⁴ Urbański & Hołownia 1994 s. 33.

⁵⁵ Urbański & Hołownia 1994 s. 33.

⁵⁶ Kaznaczejew & Michajłowa 1985, Sidjakin & Tiemur'janc 1985, Sierdjuk 1977. Zob. także np. materiały z sympozjum nt. "Kosmofizycznych korelacji w procesach biologicznych i fizykochemicznych" (Puszczino, 26.09-1.10.1993) (Biofizyka, 1995, tom 40, wyp. 4).

⁵⁷ np. Lloyd & Rossi 1993 s. 563.

⁵⁸ Wspominano o tym w podrozdziałach 4.2.3. i 4.2.4.

⁵⁹ Direnfeld 1983 s. 111.

⁶⁰ Przykładem tego może być reakcja neuronów na słabe pola ELF i pola impulsowe, których częstotliwość pulsacji jest zgodna z częstotliwością fal mózgowych (p. podrozdział 4.2.3.). Skoro zatem polami elektromagnetycznymi można selektywnie oddziaływać na pracę mózgu, to elektromagnetyczne "śmiecie" współczesnego środowiska są nie mniej niebezpieczne od "śmieci" chemicznych (Wnuk 1994 s. 99).

Wprawdzie podstawowa masa biologiczna pochodzi od reakcji biochemicznych, to jednak energia elektromagnetyczna aktywuje przebieg tych reakcji, powoduje transport masy i spełnia rolę czynnika, który koordynuje całość procesów życiowych.⁶¹ Istnieje też możliwość elektromagnetycznego sterowania procesami komórkowymi.⁶² Jeśli procesy tego typu mają miejsce w obecnej biosferze, to i zapewne istniały w przeszłości.⁶³ Systemy żywe są więc najprawdopodobniej nieuniknioną konsekwencją pola elektromagnetycznego. Co więcej rozwój biologiczny jest przestrzenno-czasową manifestacją kompleksu pola elektromagnetycznego, który jest zakonserwowany genetycznie (rekapitulacja elektromagnetyczna).⁶⁴

5.3. Powstawanie biosystemów energetycznych (biobozony)

Z przyjęcia hipotezy o tzw. krzemowych początkach życia wynika dość interesująca konsekwencja, która może mieć duże znaczenie dla badań genezy życia na Ziemi. Dotyczy ona półprzewodnikowych własności glinokrzemianów jako wyjściowego substratu organizmów pierwotnych. Własność ta ma fundamentalne znaczenie, gdyż zdaniem Sedlaka powstające życie musiało oprzeć się na układzie dającym możliwość subtelnego odbioru minimalnych bodźców polowych i optymalnego odbioru informacyjnego, tj. właśnie na układzie półprzewodnikowym.⁶⁵ A taki właśnie układ był rozpowszechniony w protośrodkowisku. Modelem takiego fizykalnego podłoża życia byłby glinokrzemianowy koloid amfoteryczny, gdzie układ "cząstka koloidalna / woda" można potraktować jako złącze *p-n* znane z elektroniki.⁶⁶ Złącze to można by więc uznać za redoksoowy oscylator elektromagnetyczny. Taki modelowy system, wykazujący funkcje elektromagnetyczne jest przez Sedlaka uważany za "minimum życia",⁶⁷ tj. minimalną jednostkę życia, analogiczną do wspomnianego już wyżej chemotonu T. Gantiego.

Kolejne założenie Sedlaka stwierdza, że nawet najbardziej skomplikowaną funkcję życia można rozłożyć na proste działanie układów

⁶¹ Sedlak 1974 s. 513.

⁶² np. Popp 1983b s. 60, Sławiński 1982 s. 59.

⁶³ Zob. np. Cole & Graf 1975 s. 243.

⁶⁴ Liboff 1994 s. 73.

⁶⁵ Sedlak 1969a s. 165.

⁶⁶ Obecnie jest już rozwijana elektronika układów koloidalnych o rozmiarach nanometrowych (np. Henglein 1995 s. 903), a więc zbliżonych prawdopodobnie do rozmiarów systemów protożywych (choć jest to robione przede wszystkim z nadzieją na uzyskanie dobrych komponentów do technicznych systemów konwersji energii słonecznej).

⁶⁷ Sedlak 1970c s. 101.

elektronicznych, na przykład procesy bioenergetyczne i bioinformacyjne sprowadzić można do kwantowych wzbudzeń kolektywnych w plazmie fizycznej biopółprzewodników. Biosystemy (przynajmniej niektóre) można więc traktować jako wzmacniacze kwantowe, np. lasery półprzewodnikowe.⁶⁸

Do współczesnych naturalnych biolaserów należą kwasy deoksyrybonukleinowe.⁶⁹ Są one bardzo wydajnymi pułapkami fotonów w szerokim zakresie widma oraz zarówno odbiornikiem, przekaźnikiem jak i emiternem promieniowania głównie zakresu optycznego. Transkrypcja i replikacja DNA oraz ekspresja genów są pod kontrolą endogenego środowiska biofotonowego. Także, o czym już była mowa w podrozdziale 2.5., wszechobecna w organizmach woda może być laserem na swobodnych dipolach elektrycznych;⁷⁰ oraz enzymy można najprawdopodobniej potraktować jako biolasy lub biomasery (podrozdz. 2.5.).

Przykładem biosystemu energetycznego, w którym zachodzi przekazywanie rozmaitych sygnałów (przede wszystkim elektromagnetycznych i mechanicznych: promieniowanie optyczne, cząstki naładowane, fale wzbudzeń i polaryzacji, solitony itd.), a także transdukcja różnych form energii (np. piezoelektryczna, piroelektryczna) jest tzw. bioprzewodzący system połączeń.⁷¹ Biosystem taki jest tylko bardziej rozwiniętym tego typu biosystemem wewnątrzkomórkowym, a jego pochodzenie nie daje się wyjaśnić w oparciu o kinetykę chemiczną.⁷² Wyjaśnienia genezy szukać więc należałoby w oparciu o, na przykład wspomnianą wyżej, kwantową teorię pola czy termodynamikę kwantową.⁷³

⁶⁸ Sedlak 1970b s. 143, Sedlak 1972a s. 533, Sedlak 1972b s. 125. *"Wszystko wskazuje, że wyjściowy substrat był półprzewodnikiem, a istota życia polega na ustawicznej zmianie stanu elektrycznego z towarzyszącym efektem pola elektromagnetycznego. Wytworzenie autogenego pola stanowiło istotny element w funkcjonalnej organizacji życia jako nośnika informacji wewnątrz układu i czynnika sterującego, przy tym była to elektromagnetyczna pompa aktywująca nieustannie półprzewodnikowy substrat [...]"* (Sedlak 1969a s. 165).

⁶⁹ np. Popp 1979 s. 123.

⁷⁰ Del Giudice i in. 1988 s. 1085.

⁷¹ System ten (duży układ kooperatywny komunikacji wewnątrzkomórkowej i międzykomórkowej, którego struktury są zdolne do przetwarzania i przekazu sygnałów endo- i egzogennych) składa się z czterech grup biostruktur: (1) cytoszkieletu (mikrotubule, retikulum mikrobeczkowe, mikrofilamenty aktynowe, filamenty pośredniczące), (2) złącz komórkowych (desmosomy, filamenty keratynowe, złącza szczelne, złącza szczelinowe), (3) matriksu pozakomórkowej, utworzonej z szeregu makromolekuł filamentowych: kolagenów, kwasu hialuronowego, proteoglikanów, fibronektyny, lamininy (tkanka łączna, błona podstawowa), i (4) integryn (receptory błonowe z komponentami wewnątrz- i poza-komórkowymi) (Bistolfi 1990a s. 10, Bistolfi 1991 s. 53).

⁷² która wystarcza w teorii chemotonu Gantiego, gdzie zupełnie ignoruje się istnienie takiego biosystemu energetycznego, jak i w ogóle submolekularnego poziomu organizacji życia.

⁷³ Zob. np. Lumry 1995 s. 1, Muschik 1994 s. 76, Partovi 1989 s. 440, Pokorny & Fiala 1992 s. 729, Rhodes 1991 s. 10246.

Inny przykład biosystemu energetycznego proponuje koncepcja subtelnej biologicznej struktury bioplazmy.⁷⁴ Doświadczalne badania tej struktury prowadzone są dzięki istnieniu biolaserowej aktywności komórek. Są to kwantowe i falowe struktury organizmów żywych, urzeczywistniające przestrzenną organizację procesów wewnątrzkomórkowych (biohologramy).

5.4. Powstawanie biosystemów informacyjnych (bioinfony)

Już w jednej z pierwszych prac Sedlaka dotyczących bezpośrednio elektromagnetycznej natury życia⁷⁵ jest poruszany problem ewolucji bioinformacji, a układ biologiczny jest traktowany jako cybernetyczny zespół magazynujący informację elektromagnetyczną w strukturze związków organicznych i procesach fizykochemicznych. Problemu tego dotyka ten autor nawet wcześniej, mianowicie przy okazji analizowania fizycznych podstaw genetyki i ewolucji świadomości.⁷⁶ Według niego odbiór informacji jest cechą ogólną materii i już na poziomie nieorganicznym materia wykazuje szeroką skalę odbioru informacji elektromagnetycznej, zwłaszcza w dielektrykach i półprzewodnikach.⁷⁷ Ponadto Sedlak przyjmuje, zresztą nie bezzasadnie, że o ile w układzie półprzewodnikowym jakiegokolwiek przejawy "reagowania" dokonują się pod wpływem informacji od zewnątrz (przy całkowitej zależności od środowiska), to podstawową cechą układu żywego jest stopniowe wyzwalamie się od czynników środowiskowych przez wzrost autonomii wobec nich.⁷⁸ Następnie podkreśla, że układ ożywiony (i to od najpierwotniejszych grup systematycznych począwszy) rozwinął transformację wszelkiej informacji na elektryczne efekty, a więc ogólną cechą półprzewodników (np. fotoelektryczne własności chlorofili). Rozwinięcie to miało charakter wybiórczy - jakościowy i ilościowy. Informacja była bowiem czynnikiem, który zmuszał układ biologiczny do, ogólnie mówiąc, ustawicznej pulsacji stanu elektrycznego.

Przebudowa strukturalna z udziałem procesów autokatalitycznych to

⁷⁴ np. Iniuszyn i in. 1992.

⁷⁵ Sedlak 1970c s. 101.

⁷⁶ Sedlak 1968 s. 161, Sedlak 1969b s. 125.

⁷⁷ Sedlak 1968 s. 161.

⁷⁸ "[...] pierwszym krokiem ku życiu albo też krokiem samego życia było nie tyle pogłębienie zależności, ile raczej stopniowe wzrastanie autonomii układu. Wyzwalanie się spod determinizmu środowiskowej informacji jest cechą całej filogenezy do szczytowego efektu - refleksyjnej świadomości. Wzrost autonomii i progresja świadomości to sprzężone cechy rozwojowe życia przy tym samym ciągłym uwarunkowaniu informacją środowiskową. Życie wyzwala się, a wyzwalamie nabiera coraz większej świadomości" (Sedlak 1968 s. 161).

również wpływ tej informacji.⁷⁹ Start życia zaczął się od półprzewodników nieorganicznych, a ewolucja życia jest w gruncie rzeczy ewolucją informacji na wymiernym podłożu od wspomnianych półprzewodników nieorganicznych do obecnych białek. Życie bowiem powstało jako system zdolny do maksymalnego i wybiórczego odbioru informacji. W konsekwencji Sedlak dochodzi do wniosku, że układy żywe są specyficzną formą gromadzenia informacji, która właściwa już jest dla takiej materii nieorganicznej jak półprzewodniki.⁸⁰ Chodzi tu przede wszystkim o informację w postaci fali emitowanej przez oscylator elektromagnetyczny. To właśnie nośnik elektromagnetyczny informacji (i kwantowo-akustyczny,⁸¹) był pierwotniejszy aniżeli tzw. chemiczny (tj. od sekwencji nukleotydów w kwasach nukleinowych). Interesujące, że idea ta jest zbieżna ze wspomnianą koncepcją Poppa, w której DNA jest uważany za "zamrażarkę" fotonów i rezonator wnikowy fal elektromagnetycznych (cechujący się bardzo wysoką dobrocią), które sterują transkrypcją i replikacją własnego DNA.

Przedstawiając ideę biolaseru, Sedlak przyjmuje, że promieniowanie wymuszone zależy od chemicznych i strukturalnych własności półprzewodnikowego substratu z jednej strony, z drugiej zaś działa ono kształtując na materialne podłoże lasera. Informacja wewnętrzna systemu biolaserowego dokonuje się połowo. Co więcej, oprócz bezpośredniego przekazywania sygnału sterowanie wewnętrzne reguluje (dzięki sprzężeniom zwrotnym) wahania donorowo-akceptorowe makromolekuł, a także charakter i tempo metabolizmu. Sprzężenia te mogą umożliwić: wzmocnienie sygnałów, poszerzenie pasma, selekcję odbioru, subtelność odbioru zminimalizowanie bezwładności detektora itd.⁸² Dzięki tego typu procesom informacja mogła być przenoszona na wielu częstotliwościach. Przykładem takiego biosystemu z "drugiego końca" filogenezy jest mózg ludzki, którego emisja promieniowania dokonuje się w paśmie o szerokim zakresie od długości fal rzędu centymetrów do wielu kilometrów. Szerokopasmowość biologicznego pola elektromagnetycznego jest bowiem rezultatem złożoności układu drgającego i jego zintegrowania w zróżnicowaną całość.⁸³

Warto tu też podkreślić znaczenie hipotezy elektrostaty⁸⁴ dla Sedlaka koncepcji elektromagnetycznej natury życia. Otóż elektrostatyka (czyli

⁷⁹ Sedlak 1968 s. 161.

⁸⁰ Sedlak 1969b s. 125.

⁸¹ Sedlak 1977b s. 149.

⁸² W przekonaniu Sedlaka, życie wytworzyło substancje o nadzwyczaj wysokiej przenikalności dielektrycznej ponieważ działają one jak soczewka skupiająca informację elektromagnetyczną (Sedlak 1970c s. 101).

⁸³ Sedlak 1970c s. 101.

⁸⁴ Sedlak 1967a s. 31.

powierzchniowe zagęszczenie ładunków elektrycznych, a zarazem polowo rozmyta granica biosystemu), pełniąc rolę czynnika integrującego i homeostazy elektrycznej, funkcjonuje jako filtr energetyczny i informacyjny wobec środowiska zarówno zewnętrznego, jak i wewnętrznego.

W aspekcie elektromagnetycznym rozwój biosystemów dokonywał się, według Sedlaka, w dwóch zasadniczych kierunkach, a mianowicie polegał na poszerzaniu pasma w kierunku ultrafioletu (w wypadku procesów różnicowania) i - podczerwieni (w wypadku procesów integracyjnych).⁸⁵ Zbieżna z tym jest Poppa idea ewolucji pojętej jako ekspansja stanów koherentnych.⁸⁶ Ekspansja ich polegałaby na wchłanianiu fal (tj. "porządku" w postaci periodycznych ciągów fal) i wydzielaniu cząstek (przyjmując, że "fala" równa się "spójność", a "cząstka" = "niespójność"). Jako zasadę ewolucji Popp uznaje kondensację Bose'go fotonów, tj. gromadzenie się fal elektromagnetycznych w dokładnie tym samym stanie przestrzeni fazowej (kondensacja spójna). Umożliwia to materii żywej optymalne wykorzystywanie "informacyjnych" impulsów ze środowiska do autostabilizacji i wydobywania się z bezładu kąpieli cieplnej (podlegającego statystyce Boltzmanna). Materia biologiczna, jako logiczne następstwo informacji dopływającej nieustannie z Wszechświata i Ziemi, "wrasta" dynamicznie w pole elektromagnetyczne, przy czym w wyniku sprzężenia pola i materii powstają stany fizycznie spójne. Stanowi zatem pewien specyficzny "odcisk" informacji z otoczenia, będący systemem, który wchłania impulsy elektromagnetyczne, magazynuje je i wykorzystuje do tworzenia trwałych struktur.⁸⁷

Istnienie biosystemów przetwarzających informacje przenoszone na nośniku, którym są fotony lub inne bozony (ale także i elektrony) znalazło swoje niezależne "potwierdzenie" w hipotezach ujmujących te biosystemy jako komputery lub ich istotne elementy (np. mikrotubule uważane są za mikroprocesory,⁸⁸ neurony jako mikroprocesory⁸⁹). Interesująca również w tej

⁸⁵ Sedlak 1970c s. 101.

⁸⁶ Popp 1992b s. 249, por. też Chela-Flores 1985b s. 107, Chela-Flores 1987 s. 127. Stan koherentny (spójny) pola elektromagnetycznego definiuje się jako wektor własny operatora anihilacji (Allen i in. 1981 s. 183). Oto niektóre jego niezwykle właściwości: (a) struktura tych stanów nie ulega zmianie przy emisji fotonów ("anihilacji" fotonów w układzie), (b) nie są to ani cząstki, ani fale, lecz coś pośredniego, (c) są dość trwałe, bowiem pakiet falowy stanowiący taki stan nie ulega praktycznie zmianie nawet, gdy się porusza, (d) prowadzą do minimum efekt zasady nieoznaczoności (iloczyn nieoznaczoności miejsca i pędu jest równy $h/2$ dla tych stanów), (e) magazynują i koncentrują fotony (Popp 1992a s. 154). Na temat wzbudzeń koherentnych w układach biologicznych zob. głównie prace H. Fröhlicha (Fröhlich 1981 s. 213, Fröhlich 1982 s. 105, Fröhlich 1983 s. 1589, Fröhlich & Kremer 1983, Fröhlich 1984 s. 491, Fröhlich 1986 s. 241).

⁸⁷ Popp 1992a s. 147-148.

⁸⁸ np. Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243, Hameroff & Watt 1982a s. 549, Hameroff & Watt 1982b s. 341, Jibu i in. 1994 s. 195, Lahoz-Beltra i in. 1993 s. 1.

problematyce może być Libermana koncepcja biomolekularnych komputerów kwantowych,⁹⁰ zresztą będąca jedną z wielu prac tego autora dotyczących komórki żywej jako komputera. Ciekawy jest również Bistolfigo model harf wodorowych,⁹¹ tłumaczący komunikację wewnątrzkomórkową i zakładający istnienie drugiego kodu genetycznego, ale nie opartego na sekwencjach nukleotydów.

Nieźmiernie ważną w kontekście problematyki biosystemogenezy jest Sedlaka idea istnienia sprzężenia chemiczno-elektronicznego w organizmach (tzw. kwantowego szwu życia).⁹² Z licznych i niestety niejasnych czasami określeń tego pojęcia zdaje się wynikać, że jest to **optymalny termodynamicznie, kwantowy system otwarty procesów chemicznych i elektronicznych współlistniejących dzięki informacji elektromagnetycznej, wykazujący: samosynchronizację, metastabilny stan energetyczny oraz stale i niezależne od ewolucji właściwości**. Sedlak nie określa bliżej na czym ta "stałość" i "niezależność" polegałyby. Zaistnienie tego "sprzężenia" miało charakter zdeterminowany. Wydaje się, że tzw. kwantowy szew życia Sedlaka (sprzężenie chemiczno-elektroniczne) byłby jakąś specyficzną relacją informacyjną pomiędzy biobozonami i biofermionami. Być może należałoby go raczej nazwać **sprzężeniem fermionowo-bozonowo-infonowym** lub **systemem fermiono-bozonowo-infonowym**.

O odbiorze (lub nadaniu) informacji przez biosystem, rozumiany jako nieliniowy oscylator elektromagnetyczny, świadczy stopień synchronizacji częstotliwości drgań tego oscylatora z częstotliwością innego układu oscylującego, emitującego (lub absorbującego) falę elektromagnetyczną.⁹³ Z kolei rozmaite oscylacje reprezentują cykle czasowe, podczas których mogą być wprowadzane zmiany. Prawdopodobieństwo wprowadzenia zmian do systemu podczas danego cyklu jest tym większe, im bardziej złożony jest ten system. **Zmiany te mogą nie tylko tłumić lub wzmacniać istniejące oscylacje, ale i wzbudzać nowe zbiory oscylacji oraz stwarzać nowe rezonanse. Wzajemnej zamianie form energii w danym cyklu towarzyszy również przekaz informacji, której ilość wzrasta wykładniczo w systemach podlegających ewolucji.**⁹⁴

⁸⁹ Matsumoto & Iijima 1989 s. 213.

⁹⁰ Liberman 1989 s. 913.

⁹¹ Bistolfi 1990b s. 4, Bistolfi 1991 s. 83.

⁹² np. Sedlak 1984 s. 81, Sedlak 1988a s. 49, por. Wnuk 1991-1992 s. 103. W. Sedlak podaje wiele określeń, m. in. i następującą definicję: "*Kwantowy szew życia - najmniejszy element funkcjonalny ożywionej materii zespalający autogennymi fotonami reakcje chemiczne z procesami elektronicznymi w ośrodku organicznych półprzewodników*" (Sedlak 1988a s. 130). Zob. próbę analizy tej idei (Wnuk 1991-1992 s. 103).

⁹³ Sedlak 1988a s. 122.

⁹⁴ Stonier 1990 s. 70.

Na szczególną uwagę zasługuje relacja pomiędzy informacją a promieniowaniem elektromagnetycznym jako jej nośnikiem, zwłaszcza w odniesieniu do organizmów żywych. W tym kontekście nadzwyczaj interesująca jest Stoniera koncepcja infonu,⁹⁵ wspomniana w podrozdziale 1.4. Infon jest to hipotetyczny kwant informacji, nie posiadający ani masy, ani energii. Koncepcja ta postuluje, że infon jest rodzajem fotonu, którego długość fali jest nieskończenie duża; i na odwrót, foton ten jest infonem poruszającym się z prędkością światła (c).⁹⁶ Jeśli więc istnieje tak ścisły związek pomiędzy informacją a promieniowaniem elektromagnetycznym (a także takimi kwazicząstkami jak: fonony, ekscytony, dziury etc.,⁹⁷ ze wzajemną ich zamienialnością), to rzeczywiście genezy życia należałoby poszukiwać w informacji przenoszonej na nośniku elektromagnetycznym.

Nie wykluczone, że istotną może się tu okazać fizykalna teoria znaczenia informacji. Okazuje się bowiem, że jednym z głównych wyzwań dla nauki o informacji jest problem naturalizacji zawartości semantycznej informacji, rozważany w kontekście koherencji i koordynacji sił fizycznych, które konstytuują stan żywy. Sądzi się, iż raczej termodynamika nierównowagowa i dynamika nieliniowa, a nie semiotyka i cybernetyka, są w tym względzie odpowiednie.⁹⁸ Fizykalna teoria znaczenia informacji usiłuje identyfikować biofunkcje z uogólnionymi oscylatorami nieliniowymi i towarzyszącymi im atraktorami fazowo-przestrzennymi. Postuluje także istnienie, w obrębie wszystkich takich oscylatorów, pewnego komponentu, mogącego koordynować nisko-energetyczne oddziaływania wzajemne z odpowiednimi warunkami środowiskowymi podtrzymującymi stabilność dynamiczną danego oscylatora. Znaczenie informacji jest tu więc interpretowane jako "*przepowiednia udanego działania funkcjonalnego*".⁹⁹ Zagadnienie elektromagnetycznego oscylatora, jakim jest wspomniany wyżej "kwantowy szew życia", powinno zatem być nadzwyczaj ważne dla rekonstrukcji biosystemogenezy informacyjnej.

5.5. Biosystemy elektroniczne a pierwotne środowisko życia

⁹⁵ Stonier 1990 s. 126-130.

⁹⁶ Analogicznie do fotonów byłyby w przypadku tachionów (hipotetycznych cząstek, których prędkość jest większa od c , a masa ma wartość ujemną), z tą jednak różnicą, że na tachionach informacja podróżowałaby z prędkościami większymi niż prędkość światła (Stonier 1990 s. 130). Nie wykluczone, że istnieje możliwość wykorzystywania przez procesy życiowe infonów przenoszonych przez tachiony (Wnuk 1995b s. 105); zob. podrozdz. 1.4.

⁹⁷ Stonier 1990 s. 132.

⁹⁸ Barham 1996 s. 235.

⁹⁹ Barham 1996 s. 235.

W problematyce abiogenezy pojęcie środowiska prebiotycznego obejmuje na ogół te czynniki fizyczne i chemiczne, które mogły mieć znaczący wpływ na syntezę abiotyczną rozmaitych związków chemicznych (typu np. biopolimerów) oraz na powstawanie układów protożywych i ich wczesną ewolucję (np. temperatura, pH, skład atmosfery redukującej, promieniowanie UV itd.). Przez układy protożywe rozumie się systemy chemiczne (przede wszystkim białkowo-nukleinowe) zdolne do przemiany materii i replikacji. Sposób rozumienia pojęcia "środowisko" jest również uwarunkowany koncepcją organizmu żywego. Stąd też pojęcie środowiska ma już swoją długą historię,¹⁰⁰ podobnie jak i organizmu.

Niniejszy podrozdział ma na celu zasygnalizowanie możliwości oryginalnego podejścia do badania modelowych relacji protobiont - środowisko prebiotyczne i rekonstrukcji wczesnych etapów ewolucji życia. Polegałoby ono na wykorzystaniu koncepcji bioelektronicznych, traktujących biosystemy jako urządzenia elektroniczne, do reinterpretacji zarówno dotychczasowych modeli abiogenezy jak i danych, na których je oparto. Próba idącą w tym właśnie kierunku jest poruszony tutaj problem minimalnego systemu bioelektronicznego. Za taki system przyjąć można "kwantowy szew życia". Przedstawiona zostanie próba porównania koncepcji Sedlaka "kwantowego szwu życia" z koncepcją Gantiego "chemotonu", jako "najmniejszej jednostki życia". Z kolei poczynione zostaną pewne sugestie dotyczące możliwości rozwijania bioelektronicznego modelu abiogenezy.

5.5.1. Systemy bioelektroniczne - interakcje energetyczno-informacyjne

W ramach ogólnej teorii systemów¹⁰¹ model organizmu jako systemu otwartego jest bardzo użyteczny w wyjaśnianiu i matematycznym ujmowaniu wielu zjawisk i procesów życiowych. Jednakże teoria ta nie miała jeszcze, jak się wydaje, aplikacji w odniesieniu do submolekularnego poziomu organizacji materii żywej i relacji "elektromagnetycznej" pomiędzy bioukładem a jego środowiskiem. Tutaj sygnalizuje się właśnie tę lukę poznawczą.

Największym systemem bioelektronicznym (lub bioekosystemem elektronicznym) zdaje się być biosfera, gdyż jest zbiorem organizmów jako oscylatorów elektromagnetycznych, przenikających się wzajemnie swoimi polami biologicznymi, których istotną składową są pola bioelektromagnetyczne. W kontekście jednak problematyki powstania życia należałoby zwrócić uwagę raczej na tzw. minimalny system bioelektroniczny.

Wewnątrzorganizmalnym systemem bioelektronicznym można nazwać uporządkowany zbiór nośników ładunku (np. elektrony, protony),

¹⁰⁰ Trepl 1992 s. 386.

¹⁰¹ np. Bertalanffy 1984.

kwazicząstek (np. fonony, plazmony, polarony) i fotonów poruszających się w fazie skondensowanej (ciało stałe, płyn, ciekły kryształ etc.). Jest to z pewnością system dynamiczny (system miękki lub automat miękki według terminologii Johna von Neumanna).

System minimalny jest natomiast "ostateczną" elementarną jednostką życia i prawdopodobnie najbardziej podstawowym pojęciem ścisłej biologii teoretycznej. Według na przykład Gantiego jest nim chemoton,¹⁰² tj. model teoretycznie najprostszego systemu ożywionego, który spełnia absolutne kryteria życia.¹⁰³ Podstawę procesów życiowych i zarazem stabilności systemów żywych stanowią, według tego autora, cykliczne procesy chemiczne zachodzące w organizmach żywych lub też ich wyższe formy: zamknięte sieci reakcji. Stąd zatem należy szukać istoty i organizacji torów wymuszonych w systemach, polegających na zmianach chemicznych i zdolnych do wykonywania pracy w roztworach, jej regulacji i sterowania. Model chemotonu jest pozbawiony jednakże elektronicznych czy elektromagnetycznych aspektów funkcjonowania procesów życiowych, ograniczając się w zasadzie do kinetyki chemicznej.

Czy można wspomnianą wyżej "elementarną jednostkę życia" utożsamiać z minimalnym systemem bioelektronicznym? Co będzie modelem tego systemu: procesor, wzmacniacz kwantowy (np. laser półprzewodnikowy), obwód rezonansowy, czy jeszcze coś innego? Brak jest w tym względzie uzasadnionych hipotez. Autor niniejszej pracy proponował by taki system nazwać "mikroprocesorem fotonicznym" lub "mikrorobotem optoelektronicznym",¹⁰⁴ poprzestając jednakże na ogólnej sugestii, która czeka na swe rozwinięcie i uzasadnienie. Według Sedlaka natomiast, systemem minimalnym jest "kwantowy szew życia" (inne określenia często używane przez niego to: "sprzężenie chemiczno-elektroniczne", "kwant życia").

"Sprzężeniu chemiczno-elektronicznemu" przypisywane są przez W. Sedlaka następujące właściwości i funkcje:¹⁰⁵

- jest kwantowym układem otwartym,
- jest to najniższy i najwrażliwszy element funkcjonalny,
- jest termodynamicznie optymalne,
- wydajność pracy ma maksymalną,
- posiada stałe właściwości, niezależne zupełnie od ewolucji,
- wykazuje metastabilny stan energetyczny,
- dolną granicą temperaturą jego funkcjonowania jest nawet zero bezwzględne,

¹⁰² Ganti 1979.

¹⁰³ jakimi są (postulowane przez T. Gantiego): inherentna niepodzielność, przemiana materii, inherentna stabilność, podsystem niosący informację i sterowanie (p. podrozdz. 5.1.).

¹⁰⁴ Wnuk 1991-1992 s. 103.

¹⁰⁵ zob. Wnuk 1991-1992 s. 103.

- wzajemnie uzależnione współistnienie procesów chemicznych i elektronicznych realizuje się dzięki "zszyciu" przez "elektromagnetyczny ścieg",
- wykazuje maksymalne złożenie dwóch procesów - chemicznego i elektronicznego,
- pracuje na znacznie niższych energiach wzbudzenia niż energia potrzebna dla zmiany orbitali wiążących,
- generuje stan plazmowy,
- steruje procesami biochemicznymi, a w szczególności rytmiką anaboliczno-kataboliczną,
- pełni funkcję wzmacniania strumienia fotonów.

Zgodnie z poglądami W. Sedlaka przyczyną powstania sprzężenia chemiczno-elektronicznego (przyczyną nadrzędną) jest przyroda i zaistnienie jego miało charakter zdeterminowany, mimo wielokrotnych prób dokonywanych przez tę przyrodę.

Wstępne porównanie "konceptu chemotonu" z "konceptem kwantowego szwu życia" zdaje się prowadzić do następujących wniosków:

1) W obu wypadkach minimalny system żywy musi być inherentną całością. Wiadomo przecież, że podstawowym warunkiem istnienia każdego systemu jest, by odległość między jego elementami była mniejsza niż maksymalny zasięg oddziaływań organizujących te elementy w system. W wypadku systemów miękkich występuje więc oddzielny warunek bliskości przestrzennej elementów. Podobnie w bioplazmie, której składową jest plazma fizyczna, gdzie warunek jej istnienia mówi, że: średnia odległość między cząstkami musi być dużo mniejsza niż promień Debye'a, a ten z kolei dużo mniejszy niż rozmiar liniowy plazmy. W wypadku zaś biologicznego nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego korelacja ruchu elektronów zachodziłaby w skali makroskopowej.

2) O ile według Gantiego w minimalnym systemie ożywionym (chemotonie) musi zachodzić przemiana materii, to w wypadku kwantowego szwu życia prawdopodobnie nie musi, gdyż może on być pompowany elektromagnetycznie; zachodzić zatem musi nie tyle przemiana masy, lecz przemiana energii i informacji!

3) W obu wypadkach, system żywy (chemoton i kwantowy szew życia) musi być inherentnie stabilny, tj. powinien wykazywać specyficzne uorganizowanie wewnętrznych procesów systemu, które umożliwia stałość mimo jego nieustannego działania i zmian środowiska.

4) Oba modele wskazują na to, że system żywy musi dysponować podsystemem, który przechowuje informacje:

- według Gantiego, użyteczne dla całego systemu ożywionego informacje (na nośniku chemicznym, zawarte w sekwencjach makrocząsteczek) dotyczą nie tylko samego podsystemu, ale nawet świata poza systemem.
- według Sedlaka zaś, informacje są na nośniku elektromagnetycznym lub na

nośniku stanowiącym specyficzny kształt tzw. powierzchni Fermiego¹⁰⁶, na wyższych piętrach organizacji biosystemów nośnikiem może być np. biohologram. Konsekwentnie zatem, zdaniem autora niniejszej rozprawy, powstanie informacji biologicznej to nie powstanie odpowiednich sekwencji nukleotydów lub aminokwasów, ale najprawdopodobniej wcześniejsze powstanie odpowiednich oscylacji elektromagnetycznych systemu elektronicznego!

5) W obu wypadkach musi zachodzić regulacja i sterowanie procesów w systemach żywych, z tym, że według Sedlaka pierwotniejsze jest sterowanie elektromagnetyczne i kwantowo-akustyczne.

6) Jeżeli natomiast chodzi o potencjalne kryteria życia,¹⁰⁷ zwróćmy uwagę na kryterium śmiertelności. Według Gantiego systemy żywe muszą być śmiertelne. W wypadku zaś bioelektroniki Sedlaka - najprawdopodobniej nie muszą! Mogłyby bowiem czerpać masę i energię do tworzenia struktur wyłącznie spoza biosystemów (wykorzystując materiały abiotyczne i energię elektromagnetyczną) i tylko spoza nich, czyli z zewnątrz.

Warto w tym kontekście wspomnieć, że elektromagnetyczna teoria życia implikuje możliwość istnienia energetyczno-informacyjnego charakteru "świadomości" biosystemu jako pola fotonowego o strukturze uporządkowanej, determinującej zawartą w nim informację o tym bioukładzie. Jeśliby wraz z tzw. śmiercią biosystemu (np. mózgu) nie następował wzrost entropii degradujący energię i informację do poziomu szumów, lecz emisja "elektromagnetycznego pola świadomości" w przestrzeń, to powstałby problem istnienia świadomości w czaso-przestrzeni,¹⁰⁸ zaś system żywy nie musiałby być "śmiertelny".

Inne potencjalne kryteria życia, jak zdolność systemu żywego do wzrostu i rozmnażania się, można zreinterpretować posługując się relacjami wyrażającymi warunek istnienia stanu plazmowego.¹⁰⁹ Otóż z przeprowadzonych oszacowań zdaje się wynikać teza, iż układ żywy, ażeby zachować optymalne warunki istnienia w nim plazmy powinien, a nawet musi, powiększać gęstość swobodnych nośników ładunku (n_0) (np. poprzez katabolizm, absorpcję promieniowania) lub zwiększać swoje rozmiary (L), bowiem przy większych L optymalna gęstość (n_0) może być mniejsza (czyli poprzez anabolizm, syntetyzując swoją masę biologiczną); może także zwiększać na przykład częstość plazmową (ω_p). Z uwagi na wzajemne powiązanie wspomnianych wyżej parametrów istnieje niewielki margines ich zmian. Czynniki zewnętrznego środowiska mogą ponadto zaburzać ten stan,

¹⁰⁶ tzn. powierzchni ekwipotencjalnej w przestrzeni fazowej wektora falowego k .

¹⁰⁷ tj. wzrost, reprodukcja, zdolność do zmian dziedzicznych i ewolucji.

¹⁰⁸ Sławiński 1984 s. 27.

¹⁰⁹ Wnuk 1987 s. 206-216.

układ żywy może jednak również adaptować się do środowiska, które nie destabilizuje mu tych parametrów. Powiększanie jednak n_0 , aczkolwiek "bezpieczniejsze" dla istnienia układu plazmowego (a tym samym organizmu), nie może zachodzić dowolnie wysoko, gdyż układ odbiega od optymalnych parametrów. Podobnie powiększanie rozmiaru, umożliwia co prawda biosystemowi zmniejszanie gęstości n_0 , ale przez to następuje zbliżanie się do granicy istnienia plazmy kwantowej, a więc bioukład ten "ratując" swoje istnienie może się podzielić na mniejsze systemy.

Minimalny system bioelektroniczny byłby układem, w którym zachowany jest warunek istnienia stanu plazmowego; byłby zatem bioplazmową strukturą dyssypatywną. Stan ten bowiem stanowi istotne medium i podstawę przemian energetycznych i informacyjnych.

5.5.2. Bioelektroniczny model abiogenezy a środowisko elektroniczne układów protożywych

Bioelektroniczny model abiogenezy¹¹⁰ uwzględnia submolekularny poziom organizacji biosystemów i przyjmuje założenie, że początek życia był jednoznaczny z zaistnieniem sprzężenia pomiędzy reakcjami chemicznymi a procesami elektronicznymi w półprzewodniku glinokrzemianowym. Sprzężenie to dokonało się dzięki określonym bodźcom elektromagnetycznym środowiska i było początkowo podtrzymywane energią chemiczną protośrodowiska oraz kwantami promieniowania elektromagnetycznego, dając w rezultacie stan materii permanentnie wzbudzony. Idea sprzężenia chemiczno-elektronicznego jest, jak na razie, zupełnie obca na terenie klasycznych badań nad powstaniem życia i wczesną jego ewolucją.¹¹¹ Nie wykluczone, że dane dotyczące submolekularnego poziomu organizacji procesów w organizmach będą przybywać i umożliwią większe teoretyczne zaawansowanie elektronicznego modelu życia i abiogenezy.

Wydaje się jednak, że teorie glinokrzemianowego pochodzenia życia¹¹² są właściwym tłem, na którym należy zbudować bioelektronikę układów protożywych. Co będzie w tym kontekście najlepszym modelem, nie wiadomo. Może będzie to coś w rodzaju wzbudzonego i samopodtrzymującego się oscylatora kwantowego na bazie glinokrzemianowej (glinokrzemian jako zamrażarka fotonów, plazmonów - analogicznie do "DNA jako zamrażarki fotonów" w koncepcji F. Poppa); a być może zeolitowy generator kwantowy promieniowania spójnego. Zainicjowanie akcji laserowej w tego typu strukturach jest dość prawdopodobne, zważywszy, że światło słoneczne

¹¹⁰ zob. np. Sedlak 1988a s. 111; Ślaga 1984 s. 13; Wnuk 1987 s. 187.

¹¹¹ zob. np. niezwykle bogate w bibliografię książki W. Ługowskiego: (1995) i (1985).

¹¹² zob. np. Cairns-Smith 1982, Cairns-Smith i in. 1986, Sedlak 1967d, Sedlak 1985c.

docierające do Ziemi (okno optyczne) i padające na bardzo małą jej powierzchnię (rzędu 10^{-10} m²) jest w gruncie rzeczy spójne, o czym już wspomniano powyżej. Powierzchnia ta jest w przybliżeniu równa powierzchni komórki żywej, a minimalny system bioelektroniczny może być przecież jeszcze mniejszy. Stąd na przykład układ enzymatyczny czy system protoenzymatyczny w środowisku pierwotnym również byłby otoczony promieniowaniem spójnym. Wiele naturalnych glinokrzemianów ma przecież własności katalityczne, a zawarte w nich na przykład lantanowce - własności laserowe. Być może, że tu (tj. w elektromagnetycznym środowisku półprzewodników glinokrzemianowych) należy szukać genezy ewolucyjnej laserów biologicznych.

Mając na celu rozwijanie modelu minimalnego biosystemu elektronicznego prawdopodobnie należałoby rozważyć warunki istnienia plazmy fizycznej w glinokrzemianach (np. w montmorylonicie) i innych minerałach. Wydaje się, iż koniecznym warunkiem do uwzględnienia jest to, że model taki powinien implikować istnienie systemu kierującego się zasadą maksymalnego zmniejszania entropii mieszania,¹¹³ bowiem podstawowym zadaniem dowolnego bioukładu jest proces rozdzielania, w trakcie którego układ pozostawia na własny użytek najcenniejszy produkt (np. zawierający największą ilość energii swobodnej) lub przekazuje go potomstwu, natomiast "odpadki" wydziela na zewnątrz. O tym, co w konkretnym wypadku jest produktem (energia, substancja, informacja o środowisku etc.), a co odpadem, decyduje charakter i rola tego procesu. Nie wykluczone, że takimi systemami rozdzielającymi (np. fotony niosące informację od innych fotonów) mogą być pierścieniowe układy elektronowej plazmy nadprzewodzącej (np. π -elektrony pierścienia porfirynowego czy jakichś struktur glinokrzemianowych).

Twierdzi się,¹¹⁴ że właściwym bodźcem wywołującym samoorganizację materii jest periodyczność i heterogeniczność (niejednorodność) środowiska. W odpowiednich, specyficznych jego warunkach periodyczność warunkuje występowanie na przemian zjawisk powielania i doboru, natomiast heterogeniczność środowiska jest przyczyną wielokształtności i ukierunkowanej ewolucji ku strukturom coraz bardziej złożonym. Bioukłady odtwarzają "w pewnym sensie" strukturyzację otoczenia. W tym kontekście okazuje się być istotne takie rozumienie środowiska, w którym nieporównanie ważniejsze są takie jego czynniki jak: lokalne pole geomagnetyczne, geoelektryczne, oscylacje elektromagnetyczne we wnęce rezonansowej jonosfera-litosfera, półprzewodnictwo minerałów (np. niektórych glinokrzemianów) itd. Geochemiczne i geofizyczne tezy na temat klasycznych, biologicznie ważnych parametrów środowiskowych i ich ewolucji we

¹¹³ np. Czernawski i in. 1979 s. 327.

¹¹⁴ Kuhn 1988 s. 37.

wczesnym prekambry, są wysoce hipotetyczne¹¹⁵ i nie wykluczają innych wymienionych powyżej czynników. Zresztą wspomniana hipotetyczność dotyczy również paleomagnetyzmu, paleogeoelektryczności itd.¹¹⁶

Uwzględnienie tych wspomnianych powyżej "nowych" czynników może również pozwolić na badanie genezy systemów bioelektronicznych, obecnych we współczesnych organizmach (np. bioprzewodzącego systemu złączeniowego,¹¹⁷ mikrotubul,¹¹⁸ enzymów¹¹⁹) polegające na poszukiwaniu zmienności ich form, a mechanizmów tych zmian w relacjach pomiędzy organizmem a środowiskiem,¹²⁰ a w szczególności pomiędzy biosystemem elektronicznym a środowiskiem polowym, głównie elektromagnetycznym.

Jako dynamiczny układ samodzielny, biosystem elektroniczny byłby elektronicznym homeostatem cybernetycznym, którego elektrostaza byłaby wypadkową oddziaływania środowiska polowego.

Niezależnie od bioelektroniki, stawia się od niedawna kwestię genezy życia jako powstawanie samoorganizujących się molekularnych urządzeń elektronicznych.¹²¹ Współczesna technologia umożliwia już wytwarzanie struktur na skalę nanometrowych rozmiarów.¹²² Nanotechnologia ta może być przydatna w laboratoryjnych badaniach nad modelowymi minimalnymi systemami bioelektronicznymi i przyczynić się do testowania bioelektronicznego modelu życia. Wcześniej jednak "nanotechnologiem" mogła być przecież przyroda.

5.6. Bioinfonika jako teoretyczna podstawa biosystemogenezy elektromagnetycznej

Niezwykle inspirującą koncepcję elektromagnetycznej natury życia rozwijać można w różnych kierunkach i aspektach. Jednym z możliwych i zarazem intrygujących jest poznanie biosystemogenezy elektromagnetycznej. W oparciu o współczesne hipotezy, teorie i dane doświadczalne usiłowano powyżej przedstawić możliwy kierunek rekonstrukcji pochodzenia

¹¹⁵ np. Walker i in. 1983 s. 260.

¹¹⁶ zob. np. Runcorn 1970.

¹¹⁷ Bistolfi 1990a s. 10, Bistolfi 1991 s. 53-60.

¹¹⁸ Hameroff & Rasmussen 1989a s. 243; Hameroff & Watt 1982b s. 341.

¹¹⁹ Wnuk 1995a s. 127.

¹²⁰ Wnuk 1994 s. 99.

¹²¹ Kuhn 1987 s. 411.

¹²² np. Connolly 1994 s. 123, Fahy 1993 s. 2011, Luscombe 1992 s. 357, Randal i in. 1989 s. 1398.

biosystemów, ujmowanych jako układy fermionowo-bozonowo-infonowe. Zgromadzone informacje uprawdopodobniają postawioną na wstępie tezę, iż życie na Ziemi wywodzi się z informacji, której nośnikiem było pole elektromagnetyczne. Tego rodzaju rekonstrukcja jest dopiero zapoczątkowana i ma obiecujące, jak się wydaje, możliwości poznawcze. Możliwości te będą się znacznie powiększały w miarę przybywania nowych danych empirycznych (dotyczących tych właśnie aspektów biosystemów) stanowiących potencjalną podstawę rekonstrukcji.¹²³ W szczególności potrzebne tu byłyby dane do ujmowania: biosystemów jako komputerów fonicznych i elektronicznych, najmniejszej jednostki życia jako nanoprocessora infonów, organizmów jako systemów procesorów informacji elektromagnetycznej i kwantowoakustycznej, paleośrodowiska fizycznego etc. Interesujące jest w tym kontekście, że w Portelliego teorii pochodzenia życia (nie uznającej, że życie na Ziemi mogło rozwinąć się samo, na mocy wewnętrznych przyczyn i przyjmującej konieczność wcześniejszego istnienia informacji, pochodzącej z poprzedniego cyklu rozwojowego wszechświata), właśnie kwanty świetlne najprawdopodobniej przekazały niezbędną informację do naszego cyklu rozwojowego wszechświata.¹²⁴

Na szczególną uwagę zasługują tacy autorzy jak np. F. A. Popp, F. Bistolfi i D. H. Bulkley, których wkład poznawczy jest w dużej mierze zbliżony ze znacznie wcześniejszymi, niektórymi pracami bioelektronicznymi W. Sedlaka; a zwłaszcza T. Stonier, którego nadzwyczaj intrygująca hipoteza infonu może mieć duże znaczenie dla dalszego rozwoju koncepcji elektromagnetycznej natury życia. Informacja jest kategorią filozoficzną¹²⁵ i zapewne hipoteza ta ma jakieś interesujące implikacje.

Nie wykluczone jest powstanie w przyszłości **bioinfoniki** jako nowej dziedziny komplementarnej do bioelektroniki i biofotoniki; oraz - **infodynamiki** jako analogonu elektrodynamiki i termodynamiki. Bioinfonika (wraz z infodynamiką) bowiem stanowić może teoretyczną podstawę biosystemogenezy elektromagnetycznej.

* * *

Piąty rozdział niniejszej rozprawy miał na celu próbę przedstawienia biosystemogenezy w świetle koncepcji elektromagnetycznej natury życia. Ogólną konkluzję wyrazić można w prostym stwierdzeniu, że **życie pochodzi ze światła, tj. z informacji elektromagnetycznej**. Teza ta nie jest aż tak

¹²³ Na przykład biorąc pod uwagę enzymy jako generatory kwantowe podjęto problem pochodzenia minimalnego biosystemu elektronicznego (Wnuk 1996).

¹²⁴ Portelli 1979 s. 19 za Ługowski 1995 s. 58.

¹²⁵ np. Lubański 1975, Lubański 1992 s. 13.

oderwana od rzeczywistości jak w pierwszej chwili mogłoby się wydawać. Informację tę można odkrywać przede wszystkim na submolekularnym poziomie organizacji biostruktur, jak na przykład w emisji biofotonowej DNA, enzymów etc. Pytania o pochodzenie tej informacji i ewentualne odpowiedzi implikują, jak się wydaje, rozstrzygnięcia metafizyczne. Jeśli stanie się na stanowisku, że informacja jest tylko jakąś formą materii, to przyjmie się stanowisko materialistyczne. Jeśli zaś uzna się informację za coś niematerialnego, wówczas przyjmie się dualizm lub pluralizm bytowy. Kwestie te wykraczają poza temat rozprawy i należą już do teorii bytu, gdzie funkcjonuje pojęcie "formy", które zapewne obejmuje "informację".¹²⁶

Na koniec warto zauważyć, iż w niniejszym rozdziale skupiono się raczej na rozwijaniu koncepcji elektromagnetycznej natury życia w odniesieniu do biogenezy, a nie na polemice z pewnymi dotychczasowymi koncepcjami biogenezy. Są one bardzo liczne¹²⁷ i ewentualne ustosunkowanie się do przynajmniej najważniejszych z nich byłoby odrębnym stosunkowo poważnym zamierzeniem badawczym.

¹²⁶ Filozoficzne uwarunkowania rozmaitych hipotez i teorii genezy życia rzadko są przedmiotem badań. Praca W. Ługowskiego pt. *"Filozoficzne podstawy protobiologii"* jest jedyną bodajże książką w literaturze światowej, a więc ewenementem w tym względzie.

¹²⁷ W latach 1957-93, tj. pomiędzy I-szą a X-tą konferencją międzynarodową na temat powstania życia, pojawiło się ponad 120-cia dość całościowych koncepcji biogenezy, ugruntowanych doświadczalnie i teoretycznie (Ługowski 1995 s. 9 i 11).

ZAKOŃCZENIE

Niniejsza rozprawa miała na celu przegląd i eksplorację poznawczą nowego aspektu natury życia, dokonaną w nurcie filozofii systemowo-informacyjnej. Przedmiotem szczególnego zainteresowania były dwie klasy niezwykle ważnych procesów życiowych, jakimi są kataliza enzymatyczna i biosystemogeneza. Na ich przykładzie zaprezentowano, możliwe i oryginalne miejmy nadzieję, ujęcie istoty procesów życiowych, w którym jest ono przedstawione jako forma istnienia, przetwarzania i generowania informacji elektromagnetycznej. W świetle uwzględnionych tutaj (a nie wykorzystywanych w dotychczasowych badaniach nad istotą, powstaniem i ewolucją życia) danych doświadczalnych oraz ujęć teoretycznych (dotyczących przede wszystkim submolekularnego poziomu organizacji życia) biosystemy można, a nawet być może należy, ujmować jako układy fermionowo-bozonowo-infonowe, będące szczególnymi kondensatami informacji. W tym względzie zaproponowano określenie, zgodnie z którym **życie jest specyficzną informacją elektromagnetyczną, która organizuje nośnik korpuskularny, znajdujący się w metastabilnym stanie wzbudzonym, dzięki czemu jest on zdolny do zainicjowania akcji laserowej. Rezultatem tego jest przenoszenie informacji na inne nośniki, natury niekoniecznie elektromagnetycznej.** Wydaje się, że w kontekście współczesnej wiedzy przyrodniczo-filozoficznej o zjawiskach życiowych takie ujęcie jest daleko bardziej adekwatne od ujęcia, na przykład *"życia jako formy istnienia ciał białkowych"*.

Główny nurt współczesnych badań nad biogenezą przyjmuje ideę ewolucji chemicznej, u której podstaw leży założenie, iż życie powstało z systemów podlegających prawom fizyki i chemii. W przedstawionej rozprawie usiłowano pójść dalej. Mianowicie, przyjmuje się za bardziej podstawową, ideę ewolucji informacji. Życie powstałoby z systemów podlegających prawom tej

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

ewolucji. Ewolucji tej podlegałyby również systemy fizyko-chemiczne, które stały się nośnikami elektromagnetycznej informacji biologicznej takie jak, np. glinokrzemianowe autokatalityczne systemy plazmowe, których odległymi następcami stały się współczesne autokatalityczne RNA i enzymy białkowe.

Zgodnie z zaproponowanym bioelektromagnetycznym modelem katalizy enzymatycznej biokatalizatory są nie tylko generatorami kwantowymi biofotonów, ale również nanoprocessorami informacji, zaś fundamentalne mechanizmy katalizy dokonują się za pośrednictwem plazmy fizycznej lub bioplazmy. Propozycja ta rozszerza koncepcję elektromagnetycznej natury życia w kierunku energetyczno-informacyjnym.

Model ten opracowano w dwóch aspektach mających istotne znaczenie filozoficzne. Z jednej strony bowiem, znaczenie filozoficzne ujawnionego tutaj aspektu bioelektronicznego polega na tym, że dotyczy on najniższego poziomu uorganizowania procesów życiowych, jaki obecnie jest w zasięgu metod empirycznych oraz związanych z nimi teorii fizykochemicznych i elektronicznych. Z drugiej zaś strony, filozoficzne znaczenie wyeksponowanego w pracy aspektu bioplazmowego polega na tym, że bioplazma jest uważana za stan materii znamiennej tylko dla organizmów żywych. Pomimo znacznego zbliżenia się do możliwości badania go metodami "standartowej" biofizyki i biochemii ten nowy stan materii nie jest jeszcze w tak bezpośrednim zasięgu empirii, na jaki pozwalają już obecnie metody wspomnianych nauk. Okazało się więc, że znaczenie poszerzonego (z jednoczesnym pogłębieniem) poznania istoty katalizy enzymatycznej jest ogromne i daleko wykracza poza zastosowania enzymów w biotechnologii, elektronice biomolekularnej czy nawet medycynie. Dosięga ono bowiem również fundamentalnych i niezmiernie trudnych problemów dotyczących istoty oraz pochodzenia życia.

W tych ostatnich kwestiach (poznawczo znacznie ważniejszych od - na przykład - kwestii mechanizmów funkcjonowania samych katalizatorów i ich wykorzystania w przemyśle) ujęcie systemowo-informacyjne pozwoliło na wysunięcie następujących wniosków:

1) Życie jako specyficzny rodzaj informacji na nośniku elektromagnetycznym może rozprzestrzeniać się dzięki indukowaniu procesów katalitycznych i sterowaniu nimi w taki sposób, iż następuje przeorganizowywanie systemów fermionowo-bozonowo-infonowych w samodzielne systemy jeszcze bogatsze w infony i bozony.

2) Systemy ożywione różnią się od tzw. nieożywionych¹ przede wszystkim jakością i ilością infonów; organizm można więc uważać za superkondensat, przetwornik i generator informacji.

¹ Nie chodzi tu o twierdzenie, że z zasady nie ma różnicy między żywym a nieożywionym, lecz o problem wyznaczenia uchwytnej i jednoznacznej granicy pomiędzy tymi dwoma stanami.

3) Życie na Ziemi wywodzi się z informacji, której nośnikiem było pole elektromagnetyczne, a pierwotnymi minimalnymi systemami ożywionymi były prawdopodobnie rezonatory węgłowe koherentnego promieniowania elektromagnetycznego w postaci makromolekularnych katalizatorów. Wynika stąd, że należałoby zmienić dotychczasowe rozumienie minimalnego systemu żywego (z komórki na układ o niższym stopniu złożoności - nawet makromolekułę), a co za tym idzie - pojęcie minimalnej złożoności biostruktur.

4) Prawdopodobne jest, że w cząsteczce katalitycznego pre-RNA realizowało się sprzężenie chemiczno-elektroniczne. Autokatalizator ten stanowił zapewne jeden z istotnych etapów na drodze rozwojowej minimalnego systemu ożywionego, będą jego istotnym elementem strukturalno-funkcjonalnym.

5) Klasyczne rozumienie fundamentalnych procesów życiowych (określane zbiorczym mianem metabolizmu) należałoby zmienić, przesuując akcent z katalitycznych procesów przemiany masy i energii na przede wszystkim procesy przetwarzania informacji. W związku z tym przewidywać należy istnienie "organizmów", mechanizmów czy też systemów przetwarzających wyłącznie informację i energię (ergo-informację).

6) Rekonstrukcja biosystemogenezy elektromagnetycznej uwarunkowana będzie uzyskaniem nowych danych empirycznych umożliwiających dalszą confirmację nowych koncepcji, hipotez i teorii,² dotyczących możliwości istnienia i działania takich systemów (lub ich składowych), jak np.: biosystemy jako komputery fotoniczne i elektroniczne, najbardziej fundamentalne elementy (najmniejsze jednostki życia) jako nanoprocесory infonów, czy całe organizmy jako systemy procesorów informacji elektromagnetycznej i kwantowoakustycznej, a także dane o paleo-środowisku fizycznym na naszej planecie etc.

7) W związku z powyższym postulować należy podjęcie wysiłków w celu stworzenia w przyszłości **bioinfoniki** jako nowej dziedziny komplementarnej do bioelektroniki i biofotoniki; oraz - **infodynamiki** jako analogonu elektrodynamiki i termodynamiki.

8) Bioelektromagnetyczny model katalizy enzymatycznej umożliwia pewne osłabienie antagonizmów pomiędzy mechanicyzmem a witalizmem w ich skrajnych postaciach. Z jednej strony bowiem przeciwko mechanicyzmowi świadczy ujęcie życia jako procesu informacyjnego, z wszystkimi implikacjami tego ujęcia. Z drugiej strony zaś, przeciwko poglądom witalistycznym

² Między tymi elementami strukturalnymi nauki istnieje oczywiście istotne i znaczne różnicowanie metodologiczne co do ich statusu epistemologicznego, zwłaszcza gdy chodzi o ich stopień confirmacji i testowalność (choć nie tylko te cechy o tym decydują).

przemawia bioplazmowy aspekt katalizy. Oba te opozycyjne (zwłaszcza w swych wersjach ekstremalnych) stanowiska filozoficzne mogą być w sposób spójny teoretycznie połączone na gruncie bioplazmowego oraz elektromagnetyczno-informacyjnego podejścia badawczego.

Wydaje się, że ujęcie systemowo-informacyjne, dzięki temu, że uwzględnia otwierające się nowe możliwości obliczania zawartości informacyjnej enzymów i ich kompleksów oraz innych biostruktur, umożliwi dokonanie znaczących postępów w rekonstrukcji istoty i genezy życia. Poszerza bowiem zasadniczo sposób rozumienia życia o ważny jego wymiar, tj. o aspekt informacyjny procesów bioelektromagnetycznych, w którym informacja³ jest istotnym i podstawowym składnikiem rzeczywistości - *Universum*, a nie tylko jakimś epifenomenem oddziaływań energetycznych.

W sposób nieoczekiwany dla autora zaproponowane w niniejszej rozprawie ujęcia okazały się atrakcyjnym punktem widzenia i dostarczyły nowego narzędzia, które daje nadzieję podjęcia ambitnej próby zmierzającej w kierunku przewycięzania starego dylematu: czy powstanie życia stanowi emergencję czegoś całkowicie nowego, czy też jest ono stopniowym przekształcaniem się czegoś już istniejącego. Należy więc wyrazić nadzieję, że ujęcia te mogą również poszerzyć dotychczas istniejące horyzonty poznawcze i dać szanse ujawnienia się nowych, nie tylko w zakresie przyrodniczych nauk o życiu, ale i filozofii przyrody jako ważnej dziedziny przyrodoznawstwa.

Wykorzystane w niniejszej pracy rozmaite elementy strukturalne nauki są oczywiście zróżnicowane pod względem metodologiczno-epistemologicznym, a ich status uwarunkowany jest zakresem oraz stopniem confirmacji, zależnym od aktualnego stanu wiedzy w danej dziedzinie i możliwościami technologicznymi. Zazwyczaj ów status metodologiczno-epistemologiczny ma charakter temporalny.⁴ Dlatego też najlepiej empirycznie i najpełniej teoretycznie uzasadnione są "stare" koncepcje lub teorie, stanowiące często "trzon" tzw. poglądów naukowych w jakimś danym okresie. Natomiast zasadniczo nowe hipotezy i teorie (lub tylko koncepcje) są pod tym

³ W mającej się odbyć 11-15 czerwca 1996 r. (Wiedeń) drugiej międzynarodowej konferencji poświęconej podstawom tzw. *information science* zapowiedziano szereg interesujących referatów dotyczących przede wszystkim natury informacji oraz przetwarzania informacji w przyrodzie i społeczeństwie, np. "Information - neither matter nor mind" (K. Fuchs-Kittowski), "A unifying typology of information" (B. A. Banathy), "System as information - information as system" (K. Kornwachs), "The rise of information in an evolutionary universe" (E. J. Chaisson), "Quantum information in an evolutionary perspective" (G. Grössing), "Consciousness as an autopoietic information system" (A. Combs) etc.

⁴ Zob. np. Hajduk 1995.

względem w znacznie gorszej sytuacji.⁵ Zdarza się przecież, że nie są one nawet wystarczająco usprawiedliwione empirycznie co do samego faktu ich postawienia (nie mówiąc już o zadowalającej ich confirmacji), zaś jedynymi przesłankami ewentualnej ich akceptacji⁶ jest niesprzeczność z jakąś daną ważną klasą zjawisk (faktów) lub tylko sama wewnętrzna spójność logiczna.⁷ W naukach biologicznych do takich zaliczyć można właśnie Sedlaka koncepcje bioplazmy i elektromagnetycznej natury życia (w chwili ich powstawania), które w niniejszej rozprawie zostały zreferowane i wykorzystane koncepcyjnie. Taki charakter mają również zaczerpnięte tu ze współczesnej fizyki np. Stoniera idea fononu, czy Lyrego kwantowa teoria ur-objektów.

Niemniej jednak dotychczasowa historia nauki oraz współczesna teoria nauki i wiedzy zdają się świadczyć, iż to właśnie te nowe koncepcje, hipotezy lub teorie (niedostatecznie przecież usankcjonowane empirycznie i/lub teoretycznie) istotnie przyczyniały się do zasadniczego postępu wiedzy i nauki.⁸ Tego rodzaju koncepcje, hipotezy i teorie (nawet błędne) umożliwiały czasem lepsze, bardziej dokładne uświadomienie i sprecyzowanie samego problemu lub nowe nań spojrzenie oraz skonstruowanie nowych metod, programów, a nawet strategii badawczych. Niekiedy było to tylko włączenie w nowy sposób danego systemu teoretycznego do aktualnego całokształtu wiedzy naukowej lub nawet powstanie (faktyczne lub jedynie postulowane) nowej nauki czy dziedziny naukowej.

Podobny charakter mają koncepcje bioelektroniczne W. Sedlaka, stanowiące nie tylko próbę włączenia niektórych działów fizyki do biologii teoretycznej, ale również coś więcej, mianowicie próbę włączenia nauk o życiu w całościowy obraz nauk przyrodniczych. Biologia bowiem miała stanowić (w zamierzeniach tego autora) integralną składową tych nauk, umożliwiając spójną logicznie wizję przyrodniczą świata, włącznie z człowiekiem. Stąd wydaje się można wysunąć ostrożne przypuszczenie, iż sedlakowska

⁵ Nierzadko bowiem, z trudem muszą się one przebijać nawet do świadomości ludzi nauki, nie mówiąc o tzw. powszechnej świadomości społecznej. Niełatwo jest przecież przewyciężyć tzw. skostniałe schematy i utrwalone tradycją nawyki myślowe, przeciwstawiać się tkwiącym w nich przesądom poznawczym, walczyć z dotychczasowymi paradygmatami oraz tym wszystkim, co stanowi tzw. zdrowy rozsądek (por. Wolpert 1996).

⁶ Na temat akceptacji teorii przyrodniczych zob. np. Hajduk 1984.

⁷ Wiele przykładów może dostarczyć współczesna fizyka teoretyczna wraz z kosmologią. Do tego rodzaju teorii należą tu tzw. teorie wielkich unifikacji (GUT), czy tzw. teorie wszystkiego (TOE).

⁸ Co więcej, nawet błędne hipotezy lub teorie również przyczyniały się do tego rozwoju (np. teoria flogistonu, teoria eteru, a w biologii teoria samoródtwa), gdyż inspirowały one nowe badania.

bioelektronika jako jeden z kierunków biologii teoretycznej, jest nie tylko nową dyscypliną w ramach nauk o życiu, ale również jest ona nową filozofią biologii,⁹ bazującą na szeroko pojętej wiedzy przyrodniczej, obejmującą wiele dziedzin nauki.¹⁰ Biologia teoretyczna w tej wersji niewątpliwie posiada znamiona nowej syntezy (zawierającej elementy inter-, trans- i meta-dyscyplinarne) w naukach o życiu.

W świetle powyższego, gdyby podjąć próbę metateoretycznej charakterystyki niniejszej pracy, to (zdaniem autora) mieści się ona w takich kompleksach zagadnień jak "filozofia w nauce" i "filozofia dla nauki". Nie podpada natomiast zupełnie pod trzecie rozumienie filozofii nauki (p. przypis powyżej), zwłaszcza z implikacjami metafizycznymi. Znaczy to, że autor tej rozprawy przyjmuje w sposób arbitralny (bez specjalnych uzasadnień) koncepcję filozofii i filozofowania "w kontekście nauki" i "w związku z nauką", przede wszystkim przyrodniczą. Należy zaznaczyć, że jest to stanowisko zbliżone do sedlakowskiego, ale istotnie różne od koncepcji filozofii w pozytywizmie, a szczególnie u neopozytywistów, gdyż nie zgadza się ono z poglądem, iż filozofia jest tylko prostym uogólnieniem i syntezą wiedzy naukowej (pozytywizm) lub, że filozofia jest pozbawiona sensu i nie posiada walorów poznawczych (neopozytywizm). Przeciwnie, usiłowano wskazać filozoficzne problemy, przynajmniej potencjalnie tkwiące w biologii, a związane z takimi złożonymi zagadnieniami jak: biosystemogeneza, kwestia tzw. minimum życia, czy minimalna jednostka życia, rola informacji w zjawiskach biotycznych i w przyrodniczym obrazie świata etc. W ramach zaś

⁹ Wprawdzie Sedlak deklaratywnie (w słowach) zdecydowanie się odcinał od filozofii, ale chodziło raczej nie o filozofię w ogóle, lecz o pewien typ filozofii lub filozofowania określony mianem filozofii spekulatywnej, całkowicie oderwanej od nauki i wszelkiej wiedzy empirycznej. Jego biologia teoretyczna zawiera (obok naukowej) znaczącą składową filozoficzną. Przebadanie tego zagadnienia i ustalenie proporcji między tymi składowymi czeka jeszcze na realizację.

¹⁰ Można wspomnieć tu jeszcze uwagę Sedlaka poczynioną, przy jakiejś okazji, na jednym z jego wykładów w ramach biologii teoretycznej, że skoro można było zbudować (w przeszłości) filozofię w oparciu o poznanie (doświadczenie) potoczne i takąż wiedzę, to nie ma żadnych powodów (ani merytorycznych, ani logicznych), dla których niemożliwe byłoby tworzenie filozofii i filozofowanie na bazie doświadczenia naukowego oraz wiedzy naukowej, niekoniecznie w stylu pozytywistycznym lub neopozytywizmu. Obecnie mówi się raczej o "filozofowaniu w kontekście nauki" (por. Heller i in. 1987), rozróżniając kwestie: filozofii w nauce (filozoficzne problemy tkwiące w nauce), filozofii dla potrzeb nauki (filozoficzne analizy, zwłaszcza językowe na użytek nauki) oraz filozofię nauki (jako pewien system metateoretyczny podejmujący zagadnienia tego typu jak: czym jest nauka? jaki jest jej status epistemologiczny? jakie są warunki i prawa jej rozwoju? itp.) (zob. Heller 1995, Życiński 1996). Tradycyjnie do filozofii nauki włączano także problematykę meta-filozoficzną dotyczącą różnych koncepcji i typów filozofii nauki, kryteriów i sposobów jej podziału lub uprawiania etc.

hasła "filozofii dla nauki" zasygnalizowano możliwość pogodzenia, w oparciu o filozofię systemowo-informacyjną i biosystemogenezę, mechanicyzmu z witalizmem, emergentyzmu z procesualizmem, czy zaproponowano określenie życia jako formy istnienia specyficznej informacji na nośniku elektromagnetycznym. Wysłunięto też sugestię i sformułowano postulat teoretycznej możliwości, a nawet poznawczej przydatności powstania dwu nowych dyscyplin naukowych, tj. bioinfoniki i infodynamiki. Wiele zaś innych, bardziej szczegółowych kwestii zasygnalizowano przy okazji omawiania konkretnych hipotez i teorii w postaci różnego rodzaju wtrętów metateoretycznych lub wniosków. Do takich można zaliczyć najnowsze poglądy na katalizę enzymatyczną i jej rolę w biosystemogenezie, analogie między enzymami i katalizą a nanoprocessorami i przetwarzaniem energo-informacji, a zwłaszcza rolę informacji w ontycznej strukturze świata etc.

Wszystko to razem nie stanowi jeszcze jakiejś zasadniczo nowej filozofii lub jej koncepcji, choć być może jest załączkiem takiej filozofii. Nie było to przecież zamiarem, ani celem niniejszej rozprawy.¹¹

Zgodnie z metodologiczną zasadą współmierności wniosek nie może być mocniejszy od przesłanek, na których jest oparty. Znaczy to, że jeśli przesłanki mają charakter hipotetyczny, to konkluzja nie może być zdaniem kategorycznym, lecz tylko hipotezą, przypuszczeniem lub zdaniem prawdopodobieństwowym albo możliwościowo-postulatywnym. Jest to ważna

¹¹ Nie było też intencją jej autora wchodzenie pod żadnym pozorem (wprost lub pośrednio) w jakąś problematykę teologiczną, ani mieszanie jej z kwestiami przyrodniczymi (pomimo odpowiednio dobranych cytatów z Biblii i powoływanie się na św. Augustyna, św. Bonawenturę, czy Grosseteste'go, co zawiera I-szy rozdział pracy). Zarówno bowiem cytaty z Biblii, jak i wypowiedzi wymienionych powyżej filozofów i innych autorów (np. Al-Gazālī) na temat światła, a także cała symbolika światła w innych wielkich religiach oraz tzw. metafizyka światła (co razem stanowi część treści I-go rozdziału) - wszystko to miało na celu konstatację bardzo ciekawego faktu historyczno-kulturowego i nic ponadto. Doszukiwanie się zaś implikacji lub podtekstów teologicznych, zarzuty mieszania problemów filozoficzno-teologicznych z przyrodniczymi byłoby nieporozumieniem. Niewłaściwe byłoby również dopatrywanie się jakichś tendencji naturalistycznych i monizujących jako przesłanek dla teologii lub co gorsza New Age'owskiego kamuflażu. Wszelkie tego rodzaju konkluzje stanowiłyby formalnie i merytorycznie niedozwoloną nadinterpretację przedstawianego tu materiału badawczego oraz bezpośrednio wynikających stąd wniosków, czego autor zdecydowanie chciał uniknąć. Wprawdzie niektóre z najnowszych hipotez i teorii, bardzo "egzotycznych" dla biologów wąsko wyspecjalizowanych (np. Stoniera teoria infonów czy Lyrego kwantowa teoria ur-objektów) mogą u kogoś budzić skojarzenia metafizyczne, a nawet teologiczne - nie było to jednak zamiarem, ani celem autora. Sama już bowiem problematyka przyrodnicza jest wystarczająco bogata i fascynująca. Nie znaczy to jednak, że autor jest scjentyistą, bezkrytycznie wierzącym w naukę lub gnostykiem przekonanym, że sama wiedza wystarczy do zbawienia. Uwagi powyższe nie miały na celu podejrzewanie czytelnika, że tego rodzaju nieporozumienia mogłyby być skutkiem złej woli, bądź nawet ignorancji.

dyrektywa metodologiczna w metodzie hipotetyczno-dedukcyjnej, której odmianę (analogiczną) zastosowano w niniejszej rozprawie. Dlatego też zarówno bioinformatyka, jak i infodynamika (które byłyby odpowiednikami bioelektroniki i elektrodynamiki) mają charakter możliwościowo-postulatywny, gdyż ich przesłankami są bardzo ogólne i teoretycznie wyrafinowane hipotezy, którymi są wspomniana wyżej Stoniera idea infonu jako "kwantu informacji" i Lyrego kwantowa teoria ur-objektów jako teoria informacji. Te ostatnie nie są jednak tylko czczymi spekulacjami, posiadają one bowiem wystarczająco mocne usprawiedliwienie zarówno teoretyczne (zwłaszcza w fizyce) jak i empiryczne (również na terenie fizyki) choć relatywnie słabsze. Nie można zatem wprost przypisywać im statusu koncepcji lub teorii metafizycznych, choć niewątpliwie zawierają w sobie pewną składową filozoficzną. Są one bowiem na tyle ogólne i teoretycznie rozwinięte, iż mogłyby stanowić wystarczającą podstawę dla nowej syntezy w naukach o życiu.¹² Ten właśnie aspekt syntezy usiłowano wyakcentować również w niniejszej rozprawie.

¹² Potrzeba takiej syntezy w tych naukach (i w ogóle w nauce) nie podlega dyskusji zarówno z powodów czysto teoretycznych, jak i praktycznych, a to z uwagi na ważne i liczne funkcje jakie nauka pełni w życiu społeczeństw. Na potrzebę i wartość syntezy oraz syntetycznego myślenia w nauce już znacznie wcześniej zwracały uwagę takie autorytety jak: Max Planck, Albert Einstein, Werner Heisenberg, Carl F. von Weizsäcker (w fizyce); w biologii zaś: Ludwig von Bertalanffy, Albert Szent-Györgyi, Włodzimierz Sedlak i inni, nie mówiąc już o filozofach i teoretykach nauki (np. Stefan Amsterdamski, Michał Heller, Józef Życiński, Szczepan Ślaga, Mieczysław Lubański etc.). Jako charakterystyczną w tym względzie można przytoczyć tu opinię twórcy teorii kwantów Maxa Plancka (por. Planck 1970), którego zdaniem należy wyróżnić dwa formalnie równoprawne, choć aksjologicznie nierównoważne (cenił on bowiem syntezę wyżej) typy umysłowości tzw. analityczną i syntetyczną. Obie są bardzo ważne w nauce, choć syntetyczna - występuje znacznie rzadziej. Stąd nie można traktować ich alternatywnie. Często jednak w praktyce badawczej można spotkać się z poglądem i odpowiadającym mu stanowiskiem, że jedynie pełnoprawnym stylem uprawiania nauki, zwłaszcza przyrodniczej, jest podejście i myślenie analityczne. Należałoby więc w imię tolerancji (tak modnym dziś hasłem) postulować praktyczne, a nie tylko teoretyczne, docenianie walorów działalności umysłów syntetycznych i myślenia syntetyzującego w naukach, również przyrodniczych.

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

BIBLIOGRAFIA

- Achimowicz J. **1982**. Quantum solid state mechanisms of biological effects of electromagnetic radiation with emphasis on local superconductivity. *Radio Sci.* 17 (5S): 23S-27S.
- Achimowicz J., A. Cader, L. Pannert i E. Wojcik. **1977a**. Quantum cooperative mechanism of enzymatic activity. *Phys. Lett. A* 60A (4): 383-385.
- Achimowicz J., A. Cader i K. Wójcik. **1977b**. Lokalne nadprzewodnictwo jako kooperatywny mechanizm katalizy enzymatycznej a efekty bioelektromagnetyczne. W: I Ogólnopolskie Sympozjum nt. Efekty biomagnetyczne i bioelektryczne, Łódź, 8-9 września 1977 r.
- Adams D. H. i P. B. Gahan. **1994**. Mechanisms involved in living systems organisation, especially the programming necessary to enable the construct of individuals in three dimensions. *Medical Hypotheses* 43: 46-54.
- Adey W. R. **1983**. Biological effects of low energy electromagnetic fields on the central nervous systems. *NATO Adv. Study Inst. Ser., Ser. A* A49 (Biol. Eff. Dosim. Nonioniz. Radiat.): 359-391.
- . **1988**. The cellular microenvironment and signaling through cell membranes. W: *Electromagnetic Fields and Neurobehavioral Function*. (Eds.) M. E. Oconnor i R. H. Lovelley, 81-106. New York: Alan R. Liss Inc.
- . **1989**. The extracellular space and energetic hierarchies in electrochemical signaling between cells. W: *Charge and Field Effects in Biosystems - 2*. (Eds.) M. J. Allen, S. F. Cleary i F. M. Hawkrigde, 263-290. New York: Plenum Publ. Corp.
- Adey W. R. i A. R. Sheppard. **1987**. Cell surface ionic phenomena in transmembrane signaling to intracellular enzyme systems. W: *Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems*. (Eds.) M. Blank i E. Findl, 365-387. New York: Plenum Publ. Corp.
- Ahmed N. A. G., J. H. Calderwood, H. Fröhlich i C. W. Smith. **1975**. Evidence for collective magnetic effects in an enzyme. Likelihood of room temperature superconductive regions. *Phys. Lett. A* 53A (2): 129-130.
- Ahmed N. A. G. i C. W. Smith. **1978**. Further investigations of anomalous effects in lysozyme. *Collective Phenomena* 3: 25-33.
- Ahmed N. A. G., C. W. Smith i J. H. Calderwood. **1976**. Electric and magnetic

- properties of lysozyme and other biomolecules. *Collective Phenomena* 2: 155-166.
- Aizawa M. **1984**. Introduction to bioelectronics (w jap.). *Kagaku Gijutsushi MOL* 22 (7): 33-36 (CA 101: 64140g).
- 1985**. Proceedings of the International Symposium on Future Electron Devices - Bioelectronic and Molecular Electronic Devices, (Ed.) **M. Aizawa**, Tokyo: Research and Development Association for Future Electron Devices.
- Aizawa M. **1987**. Bioelectronics and enzymes. *Bio Ind.* 4 (7): 586-591 (CA 107: 232330p).
- . **1988**. Hybrid biomaterials with electronic function (w jap.). *Bio Ind.* 5 (7): 551-556 (CA 109: 196954a).
- . **1989**. Bioelectronics (w jap.). *Kagaku Kogyo* 40 (2): 146-152 (CA 110: 169472f).
- . **1990a**. Bioelectronics of biomolecules and cells (w jap.). *Denki Kagaku oyobi Kogyo Butsuri Kagaku* 58 (7): 608-613 (CA 113: 167455r).
- . **1990b**. Current progress in bioelectronics (w jap.). *Kino Zairyo* 10 (4): 5-12 (CA 113: 103248t).
- . **1991a**. Frontier of bioelectronics (w jap.). *Kagaku to Kogyo (Tokyo)* 44 (9): 1472-1475 (CA 115: 273526r).
- . **1991b**. Prospects of bioelectronics (w jap.). *Bio Ind.* 8 (7): 440-444 (CA 116: 37152r).
- . **1992**. Development of bioelectronics (w jap.). *Suri Kagaku* 344: 5-10 (CA 117: 43674z).
- Aizawa M., T. Haruyama, G. F. Khan, E. Kobatake i Y. Ikariyama. **1994**. Electronically modulated biological functions of molecular interfaced enzymes and living cells. *Biosensors & Bioelectronics* 9 (9-10): 601-610.
- Aizawa M., G. F. Khan, H. Shinohara i Y. Ikariyama. **1992**. Molecular wire and interface for bioelectronic molecular devices. *AIP Conf. Proc.* 262 (Mol. Electr.: Sci. Technol.): 139-147 (CA 117: 162054g).
- Aizawa M., S. Yabuki i H. Shinohara. **1989**. Biomolecular interface. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. T. Hong, 269-275. New York: Plenum Press.
- Akaike T. **1987**. Bioelectronic polymers (w jap.). *BME* 1 (2): 86-93 (CA 107: 12697y).
- . **1989**. Surface chemistry of bioelectronic materials. Approach to artificial mitochondria and highly functional artificial organ devices (w jap.). *Hyomen Kagaku* 10 (2): 102-108 (CA 111: 45091g).
- Albe K. R., M. H. Butler i B. E. Wright. **1990**. Cellular concentrations of enzymes and their substrates. *J. Theoret. Biol.* 143 (2): 163-195.
- Al-Gazālī A. H. **1990**. *Nisza światel (tł. z arab.)*. Biblioteka Klasyków Filozofii, Warszawa: PWN.
- Allen L., J. H. Eberly i K. Rzażewski. **1981**. *Rezonans optyczny*. Warszawa: PWN.
- Allen M. J. i G. Geffert. **1989**. The electronic properties of dystrophic muscle membrane systems. W: *Charge and Field Effects in Biosystems*. Eds. M. J. Allen, S. F. Cleary i F. M. Hawkrige, 115-127. New York: Plenum Press.
- Alvarez-Icaza M., H. M. Kalisz, H. J. Hecht, K. D. Aumann, D. Schomburg i R. D. Schmid. **1995**. The design of enzyme sensors based on the enzyme structure. *Biosensors & Bioelectronics* 10 (8): 735-742.
- Anderson L. E. **1986**. Light/dark modulation of enzyme activity in plants. *Adv. Bot.*

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

Res. 12: 1-46.

- Antropov V. P., O. Gunnarsson i A. I. Liechtenstein. **1993**. Phonons, electron-phonon, and electron-plasmon coupling in C60 compounds. *Phys. Rev. B - Condensed Matter* 48 (10): 7651-7664.
- Arney L. H. (Jr.) **9 May 1989**. Pyroelectric enzyme detector. *Patent: U.S. US 4,829,003 (Cl. 435-288; C12M1/40)* Appl. 901,428, 28 Aug 1986: 7pp. (CA 111: 111982b).
- Ascarelli G. **1977**. Experimental detection of collective modes in a polar liquid: application to the case of the solvated electron in H₂O and NH₃. *Can. J. Chem.* 55 (11): 1916-1919.
- Athenstaedt H. **1985**. Biological systems as pyroelectric detectors and transducers. *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1* 24 (Suppl. 24-2, Proc. Int. Meet. Ferroelectr., 6th): 103-106.
- . **1987**. Spontaneous polarization and pyroelectric behavior of organisms. *Ferroelectrics* 73 (3-4): 455-466.
- 1989**. *Molecular Electronics - Science and technology*. (Ed.) **A. Aviram**, New York: United Engineering Trustees.
- 1992**. *Molecular Electronics - Science and technology*, (Ed.) **A. Aviram**, St. Thomas Virgin Islands, 1991. New York: AIP.
- Aviram A. **1993**. A view of the future of molecular electronics. *Mol. Cryst. & Liq. Cryst. Sci. & Technol. Sect. A - Mol. Cryst. & Liq. Cryst.* 234: 13-28.
- Bacha S., A. Bergel i M. Comtat. **1995**. Transient response of multilayer electroenzymatic biosensors. *Anal. Chem.* 67 (10): 1669-1678.
- Bailly F., F. Gaill i R. Mosseri. **1993**. Orgons and biolons in theoretical biology: Phenomenological analysis and quantum analogies. *Acta Biotheoretica* 41 (1-2): 3-11.
- Bakhshi A. K. **1994**. Investigation of electronic conduction in proteins and DNA. *Prog. Biophys. & Molec. Biol.* 61 (3): 187-253.
- Bakyrđzjiewa N. T. **1981**. Rol' ionow metaliow w ewolucii fiermientnych sistem i regulacji mietabolizma. W: Selfregulation of Plant Metabolism. Dedicated to the 1300 Anniversary of the Foundation of the Bulgarian State, (Eds.) G. Kh. Georgiev, N. T. Bakurdzhieva i S. T. Koleva, 19-35. Sofia, Bulg.: Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Plant Physiology "M. Popov", Sofia University "Kliment Okhridsky", Faculty of Biology, Union of the Scientific Workers in Bulgaria.
- Ball P. **1993a**. Nanosystems - Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation, by K.E. Drexler. *Nature* 362 (6416): 123.
- . **1993b**. Nanotechnology - Research and Perspectives, by B.C. Crandall, J. Lewis. *Nature* 362 (6416): 123.
- Banville M., A. Caillé i M. J. Zuckermann. **1977**. Surface dipolar plasmons in a polar liquid. *J. Chem. Phys.* 67 (5): 2143-2145.
- Barański S. i P. Czernski. **1976**. *Biological Effects of Microwaves*. Stroudsburg (Penn., USA): Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.
- Baross J. A. i J. W. Deming. **1983**. Growth of 'black smoker' bacteria at temperatures of at least 250°C. *Nature* 303 (5916): 423-426.
- Barham J. **1996**. A dynamical model of the meaning of information. *BioSystems* 38 (2-3): 235-241.

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

- Bartlett P. N. i P. R. Birkin. **1994**. A microelectrochemical enzyme transistor responsive to glucose. *Anal. Chem.* 66 (9): 1552-1559.
- Bartlett P. N. i K. F. E. Pratt. **1993**. Modelling of processes in enzyme electrodes. *Biosensors & Bioelectronics* 8 (9-10): 451-462.
- Barton G. i C. Eberlein. **1991**. Plasma spectroscopy proposed for C60 and C70. *J. Chem. Phys.* 95 (3): 1512-1517.
- Baru W. G. i F. F. Wolkenstejn. **1978**. *Wlijanije oblučenja na povrchnostnyje swojstva poluprowodnikow*. Moskwa: izd. "Nauka".
- Bass F. G. i Ju. G. Guriewicz. **1975**. *Goriaczyje elektrony i silnyje elektromagnitnyje wołny w plazmie poluprowodnikow i gazowogo razriada*. Moskwa: izd. "Nauka".
- Bass F. G. i S. I. Khankina. **1984**. Soliton formed from an envelope of electromagnetic waves in a semiconductor plasma. *Sov. Phys. - Semicond. (USA)* 18 (2): 220-221 (PA 87(1243)84: 98659).
- Basset C. A. L. **1968**. Biologic significance of piezoelectricity. *Calc. Tiss. Res.* 1: 252-272.
- Baumann U. i J. Oro. **1993**. Three stages in the evolution of the genetic code. *BioSystems* 29 (2-3): 133-141.
- Bawin S. M., A. R. Shepard i W. R. Adey. **1978**. Possible mechanisms of weak electromagnetic field coupling in brain tissue. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 5: 67-76 (za Adey 1983 s. 359, 1988 s. 81).
- Bechtel W. **1984**. Reconceptualization and interfield connections: the discovery of the link between vitamins and coenzymes. *Philos. Sci.* 51 (2): 265-292.
- Becker R. O. **1982**. Electrical control systems and regenerative growth. *J. Bioelectricity* 1: 239-264.
- . **1984**. Electromagnetic controls over biological growth processes. *J. Bioelectricity* 3 (1-2): 105-118.
- Begley T. P. **1994**. Photoenzymes: A novel class of biological catalysts. *Acc. Chem. Res.* 27 (12): 394-401.
- Berg H. **1995**. Possibilities and problems of low frequency weak electromagnetic fields in cell biology. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 38 (1): 153-159.
- Bernhardt R., V. Beckert, H. Uhlmann i S. G. Sligar. **1994**. Studies on electron transfer pathways in cytochrome P450 systems. W: *Cytochrome P450*. (Ed.) M. C. Lechner, 387-394. Montrouge/France: John Libbey Eurotext Ltd.
- Bertalanffy L. von **1984**. *Ogólna teoria systemów. Podstawy, rozwój, zastosowania (tl. z ang.)*. Warszawa: PWN.
- Bertsch G. F., A. Bulgac, D. Tomanek i Y. Wang. **1991**. Collective plasmon excitation in C60 clusters. *Phys. Rev. Lett.* 67 (19): 2690-2693.
- Bhaumik D., K. Bhaumik i B. Dutta-Roy. **1976a**. A microscopic approach to the Fröhlich model of Bose condensation of phonons in biological systems. *Phys. Lett. A* 59A (1): 77-80.
- . **1976b**. On the possibility of 'Bose condensation' in the excitation of coherent modes in biological systems. *Phys. Lett. A* 56A (2): 145-148.
- Biczó G. **1995**. The future of MEBC: Panel discussion. *BioSystems* 35 (2-3): 233-237.
- Bielecki N. N., A. A. Bułgakow, S. I. Chankina i W. M. Jakowienko. **1984**. *Plazmiennyje nieustojczivosti i nieliniejnyje jawlenija w poluprowodnikach*. Kijew: izd. Naukowa Dumka".

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

- Bistolfi F. **1990a**. The bioelectronic connectional system (BCS): A therapeutic target for non ionizing radiation. *Panminerva Med.* 32 (1): 10-18.
- . **1990b**. A hydrogen-harps model for intracellular communication and its implications for the second genetic code. *Panminerva Med.* 32: 4-9.
- . **1991**. *Biostructures and Radiation. Order Disorder*. Torino: Edizioni Minerva Medica.
- Black S. **1970**. Pre-cell evolution and the origin of enzymes. *Nature* 226 (5247): 754-755.
- Blackman C. F., J. A. Elder, C. M. Weil i in. **1979**. Induction of calcium ion efflux from brain tissue by radio frequency radiation; effects of modulation frequency and field strength. *Radio Sci.* 14: 93 (za Adey 1983 s. 359 i 1988 s. 81).
- Blank M. **1993**. Biological effects of electromagnetic fields. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 32 (3): 203-210.
- . **1995**. Biological effects of environmental electromagnetic fields: Molecular mechanisms. *BioSystems* 35 (2-3): 175-178.
- Bloor D. **1991**. Molecular electronics - Totally organic transistors. *Nature* 349 (6312): 738-740.
- . **1992**. Molecular scale electronics: science fiction or science fact? *Springer Ser. Solid-State Sci.* 107 (Electron. Prop. Polym.): 437-442.
- Bockris J. O. i S. U. M. Khan. **1983**. Fermi levels in solution. *Appl. Phys. Lett.* 42 (1): 124-125.
- Boczar M. **1980**. Sens i znaczenie kosmogonii światła w oksfordzkim środowisku umysłowym w początkach XIII wieku. *Studia Filozoficzne* 14 (z. 6): 135-149.
- . **1981**. Roberta Grosseteste'a traktat "O świetle" w perspektywie inspiracji umysłowych łacińskiego Zachodu na przełomie XII i XIII wieku (wraz z przekładem traktatu "O świetle"). *Studia Filozoficzne* 15 (11(192)): 7-22.
- . **1981**. "Scientiae mediae" w ujęciu Roberta Grosseteste. *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki* 26 (1): 23-38.
- . **1986**. Światło jako zasada poznania u Roberta Grosseteste'a. *Studia Filozoficzne* 20 (4(245)): 145-158.
- Bogusławski Ł. I. **1978**. *Bioelektrochemiczkie jawlenija i granica razdiela faz*. Moskwa: izd. "Nauka".
- Bojarski W. W. **1984**. *Podstawy analizy i inżynierii systemów*. Warszawa: PWN.
- Bolognani L., F. Causa, M. Costato i M. Milani. **1995**. The electromagnetic interaction in the enzyme activity involving ATP. *Nuovo Cimento Della Societa Italiana di Fisica D - Cond. Matter At. Mol. Chem. Phys. Fluids Plasmas Biophys.* 17 (3): 235-251.
- Bone S. i B. Zaba. **1992**. *Bioelectronics*. Chichester New York Brisbane Toronto Singapore: John Wiley & Sons.
- Bonifacio R. i H. Morawitz. **1976**. Cooperative emission of an excited molecular monolayer into surface plasmons. *Phys. Rev. Lett.* 36 (26): 1559-1562.
- Borgers M. i A. Verheyen. **1985**. Enzyme cytochemistry. *Int. Rev. Cytol.* 95: 163-227.
- Bova B. **1988**. *The Beauty of Light*. New York Chichester Brisbane Toronto Singapore: John Wiley & Sons, Inc.
- Böhner P. i E. Gilson. **1962**. *Historia filozofii chrześcijańskiej. Od Justyna do Mikołaja Kuzańczyka (tł. z niem.)*. Warszawa: IW PAX.

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

- Bray D. **1995**. Protein molecules as computational elements in living cells. *Nature* 376 (6538): 307-312.
- Bresnev L. A., L. M. Blinov i E. I. Kovshev. **1982**. On possible ferroelectricity in biomembranes. *Dokl. Biophys. (USA)* 265-267: 111-114.
- Bright A. A., A. F. Garito i A. J. Heeger. **1973**. Optical properties of (TTF)(TCNQ) in the visible and infrared. *Solid State Commun.* 13 (7): 943-948.
- . **1974**. Optical conductivity studies in a one-dimensional organic metal: Tetrathiofulvalene tetracyanoquinodimethan (TTF)(TCNQ). *Phys. Rev. B* 10 (4): 1328-1342.
- Brosens F. i J. T. Devreese. **1978**. Exchange effects in the plasmon dispersion of one-dimensional systems. *Solid State Commun.* 27 (4): 445-446 (PA 81(1101)78: 91628).
- Brown A. R., D. M. de Leeuw, E. J. Lous i E. E. Havinga. **1994**. Organic n-type field-effect transistor. *Synthetic Metals* 66: 257-261.
- Brunori M. i M. T. Wilson. **1995**. Electron transfer and proton pumping in cytochrome oxidase. *Biochimie* 77 (7-8): 668-676.
- Bulanda W. **1977**. Przewodnictwo elektronowe związków organicznych i jego znaczenie w biologii. *Zagadnienia Biofizyki Współczesnej* 2: 15-42.
- . **1979-1980**. Piezoelectric properties of organic compounds and tissues. *Annales Univ. Mariae-Curie-Skłodowska Lublin* 34-35 (1): 1-15.
- . **1986**. Własności piezoelektryczne tkanek. *Zagadnienia Biofizyki Współczesnej* 11: 27-73.
- Bulkley D. H. **1989**. An electromagnetic theory of life. *Medical Hypotheses* 30: 281-285.
- . **1991**. Micro-structures, electromagnetic micro-mechanisms and the physics of life. *Speculations on The Electromagnetics of Life*. The Seattle Institute for the Life Sciences, 6519 - 40th. Ave. Seattle. WA 98115, Seattle. EM Series 10, 20 pp.
- . **1992a**. Cell chemistry triggered by EM signals. Experimental evidence of basic electromagnetics of life. *Speculations on The Electromagnetics of Life*. The Seattle Institute for the Life Sciences, Seattle. EM Series 18, 8 pp.
- . **1992b**. The electromagnetic order that underlies the chemistry of life. *Speculations on The Electromagnetics of Life*. The Seattle Institute for the Life Sciences, Seattle. EM Series 16, 16 pp.
- . **1992c**. An electromagnetic theory of life - II: Testing. *Medical Hypotheses* 38: 305-310.
- Burr H. S. **1947**. Field theory in biology. *Scientific Monthly* 64 (3): 217-225.
- Burr H. S. i F. S. Northrop. **1935**. The electrodynamic theory of life. *Quart. Rev. Biol.* 10: 322-333.
- Burr H. S. i F. S. C. Northrop. **1939**. Evidence for the existence of an electro-dynamic field in living organisms. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 25: 285-288.
- Bursill L. A., P. A. Stadelmann, J. L. Peng i S. Praver. **1994**. Surface plasmon observed for carbon nanotubes. *Phys. Rev. B* 49 (4): 2882-2887.
- Buvet R. **1977**. A simple analogical model for the selection of optical activity and of the most efficient catalysis in the course of molecular evolution. *Origins Life* 8: 267-270.
- Bystrov V. S. **1992**. Ferroelectric phason model of sodium channels in biomembranes.

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

- Ferroelectrics Lett. Sect.* 13 (6): 127-136.
- Bystrov V. S., V. D. Lakhno i A. M. Molchanov. **1993**. *Ferroactive models of ion channel in biomembranes*. Pushchino: The Russian Acad. Sci., Pushchino Res. Ctr., Inst. Math. Problems of Biol., 32 pp. (Preprint).
- Bystrov V. S., V. D. Lakhno i M. Molchanov. **1994a**. Ferroelectric active models of ion channels in biomembranes. *J. Theoret. Biol.* 168 (4): 383-393.
- Bystrov V. S. i H. R. Leuchtag. **1994b**. Bioferroelectricity: Modeling the transitions of the sodium channel. *Ferroelectrics* 155: 19-24.
- Cairns-Smith A. G. **1971**. *The Life Puzzle. On Crystals and Organisms and on the Possibility of a Crystal as an Ancestor*. Edinburgh: Oliver and Boyd.
- . **1982**. *Genetic Takeover and the Mineral Origins of Life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- 1986**. Clay Minerals and the Origin of Life. Workshop on Clays and the Origin of Life, (Eds.) A. G. Cairns-Smith i H. Hartman, Glasgow Univ., Glasgow, Scotland, July 18-24, 1983. Cambridge: Cambridge Univ. Press Cambridge.
- Callahan P. S. **1984**. Nonlinear maserlike radiation in biological systems. W: *Insect Neurochemistry and Neurophysiology*. (Eds.) A. B. Borkovec i T. J. Kelly, 337-339. New York: Plenum Publ. Corp.
- . **1986**. The possible detection of magnetic monopoles and monopole tachyons. *Speculat. Sci. Technol.* 9 (1): 51-60.
- 1969**. *Robert Grosseteste. Scholar and Bishop - Essays in Commemoration of the Seventh Centenary of his Death*. (Ed.) D. A. Callus, Oxford at the Clarendon Press: Oxford University Press.
- Canthers G. W. i C. Dennison. **1995**. Biological electron transfer: Structural and mechanistic studies. *Biochimie* 77 (7-8): 506-515.
- Canthers G. W. i G. van Pouderoyen. **1994**. Engineering of electron transfer properties of metallo-proteins. *Biosensors & Bioelectronics* 9 (9-10): 637-645.
- Caputi L. S., G. Chiarello, A. Santaniello, E. Colavita i L. Papagno. **1986**. Secondary-electron emission and electron-energy-loss results on graphite single crystals. *Phys. Rev. B* 34 (9): 6080-6084.
- Caras S. i J. Janata. **1988**. Enzymatically sensitive field effect transistors. W: *Immobilized Enzymes and Cells*. Part D. (Ed.) K. Mosbach, 247-255. Methods in Enzymology, 137. San Diego: Acad. Press Inc.
- Cardenas M. L. **1991**. Are the transistory enzyme-enzyme complexes found in vitro also transistory in vivo? If so, are they physiologically important. *J. Theoret. Biol.* 152 (1): 111-113 (CA 115: 226236m).
- 1982**. *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, New York & Basel: Marcel Dekker, Inc.
- Carter F. L. **1984a**. The molecular device computer: point of departure for large scale cellular automata. *Physica* 10D: 175-194.
- . **1984b**. Molecular electronic devices, today's dream - tomorrow's reality. *World Biotech. Rep.* 2: 127-138 Online Publ.: Pinner, UK (CA 104: 120548x).
- . **1984c**. Molecular electronics: an opportunity for a biotechnical synergism. W: *Nonlinear Electrodynamics in Biological Systems*. (Eds.) W. R. Adey i A. F. Lawrence, 243-273. New York: Plenum Press.
- . **1985**. Molecular level fabrication techniques and molecular electronic devices. W: *Nanometer Struct. Electron., Proc. Int Symp.*, (Eds.) Y. Yamamura, T.

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

- Fujisawa i S. Namba, 11-24 1984. Tokyo: Ohmska. (CA 103: 225043m).
- 1987.** *Molecular Electronic Devices II.* (Ed.) **F. L. Carter**, New York & Basel: Marcel Dekker, Inc.
- Carter F. L. i R. E. Siatkowski. **1989.** Molecular electronic devices. W: *From Atoms to Polymers: Isoelectronic Analogies. Molecular Structure and Energetics.* (Eds.) J. F. Liebman i A. Greenberg, 307-392 New York: VCH Publishers. (CA 112: 28558t).
- 1988.** *Molecular Electronic Devices.* (Eds.) **F. L. Carter, R. E. Siatkowski i H. Wohltjen**, Amsterdam New York Oxford Tokyo: Elsevier Sci. Publ. B. V. (North-Holland).
- Carvalho-Rodrigues F. i J. Dockery. **1996.** Defining systems based on information exchange: Structure from dynamics. *BioSystems* 38 (2-3): 229-234.
- Caserta G. i T. Cervigni. **1973.** A piezoelectric transducer model for phosphorylation in photosynthetic membranes. *J. Theoret. Biol.* 41: 127-142 (za Caserta i in. 1974 s. 4421).
- . **1974.** Piezoelectric theory of enzymic catalysis as inferred from the electromechanochemical principles of bioenergetics. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 71 (11): 4421-4424.
- Cavelier G. **1995.** Short note: Are electron-transport and electron-transfer involved in intracellular signaling? *Medical Hypotheses* 44 (4): 261-262.
- Cech T. R. **1993.** The efficiency and versatility of catalytic RNA - Implications for an RNA world. *Gene* 135 (1-2): 33-36.
- Cech T. R. i B. L. Bass. **1986.** Biological catalysis by RNA. *Annu. Rev. Biochem.* 55: 599-629.
- Cech T. R., P. C. Bevilacqua, J. A. Doudna, T. S. McConnell, Strobel S. A. i L. B. Weinstein. **1993.** Mechanism and structure of a catalytic RNA molecule. W: Proceedings of The Robert A. Welch Foundation 37th Conference on Chemical Research. 40 Years of the DNA Double Helix, 91-110. Houston, Texas, October 25-26, 1993.
- Chapeau-Blondeau F. **1995.** Information processing in neural networks by means of controlled dynamic regimes. *Acta Biotheoretica* 43 (1-2): 155-167.
- Chauvet G. A. i R. Costalat. **1995.** On the functional organization in a biological structure: The example of enzyme organization. *Compt. Rend. Acad. Sci. Ser. III - Life Sci.* 318 (5): 529-535.
- Chela-Flores J. **1985a.** The collective biology of the gene: Towards genetic dynamics engineering. International Atomic Energy Agency and United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, International Centre for Theoretical Physics, IC/85/277, 42 pp., Trieste.
- . **1985b.** Evolution as a collective phenomenon. *J. Theoret. Biol.* 117: 107-118.
- . **1987.** Towards a collective biology of the gene. *J. Theoret. Biol.* 126 (2): 127-136.
- . **1994.** Are viroids molecular fossils of the RNA world? *J. Theoret. Biol.* 166 (2): 163-166.
- Chiabrera A., E. Di Zitti i G. M. Bisio. **1991.** Molecular information processing and physical constraints on computation. *Chemtronics* 5: 17-22.
- Chiabrera A., E. Di Zitti, F. Costa i G. M. Bisio. **1989.** Physical limits of integration and information processing in molecular systems. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 22: 1571-1579.

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

- Chiabrera A., E. Di Zitti i D. Ricci. **1993**. Biological paradigms of molecular electronics. *Cytotechnology* 11 (Suppl. 1): 77-79.
- 1985**. *Interactions between Electromagnetic Fields and Cells*. (Eds.) **Chiabrera A., C. Nicolini i H. P. Schwan**, New York & London: Plenum Press.
- Chiang H. Y. **1986**. Sensing device of biocomputers (w chiń.). *K'o Hsueh Yueh K'an* 17 (5): 346-349.
- Chołodow Ju. A. **1982**. *Mozg w elektromagnitnych polach*. Moskwa: izd. "Nauka".
- 1988**. *Problemy elektromagnitnoj nejrobiologii*. (Red.) **Ju. A. Cholodow i N. N. Lebediewa**, Moskwa: izd. "Nauka".
- Chyba C. F. i G. D. McDonald. **1995**. The origin of life in the solar system: Current issues. *Annu. Rev. Earth & Planetary Sci.* 23: 215-249.
- Clark A. D. i L. J. Dunne. **1979**. Search for superconducting regions in lysozyme. *Physiol. Chem. Phys.* 11 (6): 535-536.
- Clark P. **1994**. Cell behaviour on micropatterned surfaces. *Biosensors & Bioelectronics* 9 (9-10): 657-661.
- 1964**. *Dynamika plazmy (tł. pol. z j. ang.: Symposium of Plasma Dynamics, F. H. Clauser (Ed.), Addison-Wesley Publ. Comp., Inc. Reading, Mass. 1960)*. (Red.) **F. H. Clauser**, Warszawa:
- Cohen H., E. Kolodney, A. F. Hebard, T. Maniv i M. Folman. **1994**. Plasmon fine structures in multiple inelastic electron scattering off C-60 crystallites. *Europhys. Lett.* 27 (7): 519-524.
- Cole F. E. i E. R. Graf. **1975**. Precambrian ELF and abiogenesis. W: *ELF and VLF Electromagnetic Field Effects*. (Ed.) M. A. Persinger, 243-274. New York and London: Plenum Press.
- Cole G. H. A. **1986**. Information, cosmology and life. *Specul. Sci. Technol.* 9 (4): 259-263.
- Connolly P. **1994**. Bioelectronic interfacing: Micro- and nanofabrication techniques for generating predetermined molecular arrays. *Trends Biotechnol.* 12 (4): 123-127.
- Connolly P., J. Cooper, G. R. Moores, J. Shien i G. Thompson. **1991**. Development of molecular patterning and immobilization techniques for scanning tunnelling microscopy and atomic force microscopy. *Nanotechnology* 2: 160-163.
- Conrad M. **1972**. Information processing in molecular systems. *BioSystems* 5 (1): 1-14.
- . **1979**. Unstable electron pairing and the energy loan model of enzyme catalysis. *J. Theoret. Biol.* 79: 137-156.
- . **1985**. On design principles for a molecular computer. *Communications of the ACM* 28 (5): 464-480.
- . **1988a**. Neuromolecular computing: Mechanisms and architectures. W: Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1015-1016. New Orleans, Louisiana, November 4-7, 1988.
- . **1988b**. Quantum mechanics and molecular computing: mutual implications. *Int. J. Quantum Chem.: Quantum Biol. Symp.* 15: 287-301.
- . **1989a**. Force, measurement, and life. W: *Newton to Aristotle: Toward a theory of models for living systems*. (Eds.) J. L. Casti i A. Karlqvist, 121-200. Birkhäuser Boston, Inc.
- . **1989b**. Physics and biology: Towards a unified model. *App. Math. Comput.* 32 (2-

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

- 3): 75-102.
- . **1989c.** Self-assembly as a mechanism of molecular computing. W: Proceedings of the 11th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 1354-1355. 1989.
 - . **1989d.** Towards the molecular computer factory. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers.* (Ed.) F. T. Hong, 385-395. New York: Plenum Press.
 - . **1990.** Energy loan: A physical basis for molecular and neuromolecular computing. W: Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Proceedings of the Twelfth Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 12(4), 1776-1777. Philadelphia, Pennsylvania, November 1-4, 1990.
 - . **1990.** Superinformation processing: The feasibility of proton superflow in the living state. W: *Molecular and Biological Physics of Living Systems.* (Ed.) R. K. Mishra, 159-174. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Acad. Publ.
 - . **1992a.** Molecular computing: The lock-key paradigm. *Computer* (November): 11-20.
 - . **1992b.** Quantum molecular computing - The self-assembly model. *Int. J. Quantum Chem.* (Suppl. 19): 125-143.
 - . **1992c.** The seed germination model of enzyme catalysis. *BioSystems* 27 (4): 223-233.
 - . **1993a.** Biophysicalism. *Appl. Math. & Computation* 56 (2-3): 103-109.
 - . **1993b.** The fluctuon model of force, life, and computation - A constructive analysis. *Appl. Math. & Computation* 56 (2-3): 203-259.
 - . **1995a.** Cross-scale interactions in biomolecular information processing. *BioSystems* 35 (2-3): 157-160.
 - . **1995b.** Scaling of efficiency in programmable and non-programmable systems. *BioSystems* 35 (2-3): 161-166.
- Cook N. D. **1984.** The transmission of information in natural systems. *J. Theoret. Biol.* 108 (3): 349-368.
- 1989.** *The Enzyme Catalysis Process: Energetics Mechanism, and Dynamics.* (Eds.) **A. Cooper, J. L. Houben i L. C. Chien**, NATO ASI Ser., Ser. A: Life Sciences, 178. New York: Plenum.
- Cooper J. M., J. R. Barker, J. V. Magill, W. Monaghan, M. Robertson, C. D. W. Wilkinson, A. S. G. Curtis i G. R. Moores. **1993.** A review of research in bioelectronics at Glasgow-University. *Biosensors & Bioelectronics* 8 (3-4): R22-R30.
- Cope F. W. **1963.** A kinetic theory of enzymatic oxidation-reduction reactions based on a postulate of electron conduction in a macromolecular enzyme with an applications to active to active transport of small ions across biological membranes. *Bull. Math. Biophys.* 25: 165-176 (za Cope 1965 s. 237).
- . **1963.** A theory of enzyme kinetics based on electron conduction through the enzymatic particles, with applications to cytochrome oxidases and to free radical decay in melanin. *Arch. Biochem. Biophys.* 103: 352-365.
 - . **1964.** A kinetic theory of electron and ion transport in particulate and membranous systems, with applications to the cytochrome oxidase, melanin free radical, and pyruvate carboxylase reactions; and to controll of enzymes by hormones

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

and radiation. W: *Oxidase and Related Redox Systems*. (Eds.) T. E. King, H. S. Mason i M. Morrison, New York: J. Wiley and Sons. (za Cope 1979 s. 261 i Cope 1973 s. 519).

- . **1965**. A generalized theory of particulate electron conduction enzymes applied to cytochrome oxidase. A theory of coupled electron and/or ion transport applied to pyruvate carboxylase. *Bull. Math. Biophys.* 27: 237-252.
- . **1965**. A theory of ion transport across cell surfaces by a process analogous to electron transport across liquid-solid interfaces. *Bull. Math. Biophys.* 25: 99- (za Cope 1973 s. 416).
- . **1969**. Theory of the effect of externally applied voltage on membrane oxidation kinetics. *Bull. Math. Biophys.* 31: 519-528.
- . **1970**. The solid state physics of electron and ion transport in biology. *Adv. Biol. Med. Phys.* 13: 1-42 (za Cope 1973 s. 627).
- . **1971**. Evidence from activation energies for superconductive tunneling in biological systems at physiological temperatures. *Physiol. Chem. Phys.* 3: 403-410.
- . **1971**. The solid state physical theory of cytochrome oxidase kinetics. Inhibition of second order rate constant, and second to first order kinetic shift with increasing oxygen, predicted from electron injection and trapping. *Bull. Math. Biophys.* 33: 579-588.
- . **1973a**. Biological sensitivity to weak magnetic fields due to biological superconductive Josephson junctions. *Physiol. Chem. Phys.* 5: 173-176.
- . **1973b**. Electron-phonon (trapped photon) coupling and infrared coaxial transmission line theory of energy transport in mitochondria and nerve. *Bull. Math. Biol.* 35: 627-644.
- . **1973c**. Supramolecular biology: a solid state physical approach to ion and electron transport. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 204: 416-433.
- . **1974**. Enhancement by high electric fields of superconduction in organic and biological solids at room temperature and a role in nerve conduction? *Physiol. Chem. Phys.* 6: 405-410.
- . **1974**. Solid state physical mechanisms of biological energy transduction. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 227: 636-640.
- . **1975**. A review of the applications of solid state physics concepts to biological systems. *J. Biol. Phys.* 3 (1): 1-41.
- . **1976a**. A primer of water structuring and cation association in cells. I. Introduction: the big picture. *Physiol. Chem. Phys.* 8 (6): 479-483.
- . **1976b**. A primer of water structuring and cation association in cells. II. Historical notes, present status, and future directions. *Physiol. Chem. Phys.* 8 (6): 569-574.
- . **1976c**. Superconductivity - A possible mechanism for non-thermal biological effects of microwaves. *J. Microwave Powers* 11 (3): 267-270.
- . **1977**. Solid state theory of competitive diffusion of associated Na^+ and K^+ in cells by free cation and vacancy (hole) mechanisms, with application to nerve. *Physiol. Chem. Phys.* 9 (4-5): 389-398.
- . **1978a**. Discontinuous magnetic field effects (Barkhausen noise) in nucleic acids as evidence for room temperature organic superconduction. *Physiol. Chem. Phys.* 10 (3): 233-246.

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

- . **1978b**. Man in a gas of tachyon magnetoelectric dipoles - a new hypothesis. Part I. A summary of some real but unexplained biocosmic phenomena. *Physiol. Chem. Phys.* 10: 535-540.
- . **1978c**. Man in a gas of tachyon magnetoelectric dipoles - a new hypothesis. Part II. Introduction to the theory. *Physiol. Chem. Phys.* 10: 541-545.
- . **1978d**. Man in a gas of tachyon magnetoelectric dipoles - a new hypothesis. Part III. Development of the physics of the theory, and experimental correlations: cosmic radiation detectable by man, auras of magnets and man, dowsers' grid lines of Earth, mediation of interaction of electromagnetic waves with man, interactions with solids, and calculation of magnetic moment. *Physiol. Chem. Phys.* 10: 547-555.
- . **1979a**. Man in a gas of tachyon magnetoelectric dipoles - a new hypothesis. Part IV. Beta rays may add to magnetoelectric dipoles in accord with Schwinger condition to yield toxic products observed in reich oranur experiment. A possible mechanism for toxic air ion effects. *Physiol. Chem. Phys.* 11: 87-91.
- . **1979b**. Delocalized clouds (wavefunctions) of polymerized tachyon magnetoelectric monopoles - A possible cause of large periodic (in space) auras around solids and liquids, detected by sensitive persons (dowsers). *Physiol. Chem. Phys.* 11 (2): 175-180.
- . **1979c**. Remnant magnetization in biological materials and systems as evidence for possible superconduction at room temperature: a preliminary survey. *Physiol. Chem. Phys.* 11: 65-69.
- . **1979d**. Semiconduction as the mechanism of the cytochrome oxidase reaction. Low activation energy of semiconduction measured for cytochrome oxidase protein. Solid state theory of cytochrome oxidase predicts observed kinetic peculiarities. *Physiol. Chem. Phys.* 11 (3): 261-262.
- . **1980a**. An extended (slow or fast) theory of relativity as the basis of superfluidity, superconductivity, and amorphous semiconductor switching and as a possible alternative to tachyon theories. A relativity theory with a change of scale or with a non-measurable value of c . *Physiol. Chem. Phys.* 12 (3): 255-260.
- . **1980b**. Overvoltage and solid state kinetics of reactions at biological interfaces. Cytochrome oxidase, photobiology, and cation transport. Therapy of heart disease and cancer. W: *Bioelectrochemistry*. (Eds.) H. Keyzer i F. Gutmann, 297-329. New York: Plenum Press.
- . **1982**. Biological and organic superconduction at physiological temperatures. W: *Electronic Conduction and Mechano-electrical Transduction in Biological Materials*. (Ed.) B. Lipinski, 99-124. New York: M. Dekker.
- Cope F. W. i K. D. Straub. **1969**. Calculation and measurement of semiconduction activation energy and electron mobility in cytochrome oxidase, with evidence that charge carriers are polarons, which may couple oxidation to phosphorylation. *Bull. Math. Biophys.* 31: 761-774.
- Cornish-Bowden A. **1984**. Enzyme specificity: its meaning in the general case. *J. Theoret. Biol.* 108 (3): 451-457.
- Czarnocka M. **1986**. *Kryteria istnienia w naukach przyrodniczych*. Wrocław Warszawa Kraków Gdańsk Łódź: Zakład Narodowy Imienia Ossolińskich, Wyd. PAN.
- Czernawski D. S., J. M. Romanowski i N. W. Stiepanowa. **1979**. *Modelowanie matematyczne w biofizyce (tł. z ros.)*. Warszawa: PWN.

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

- Czjzek M., F. Payan i R. Haser. **1994**. Molecular and structural basis of electron transfer in tetra- and octa-heme cytochromes. *Biochimie* 76 (6): 546-553.
- Czyrkow M. M. **1974**. Izmienienija aktywnosti niekatorych fiernientow pod wlijanijem energii EMP. W: *Krow' i elektromagnitnyje kolebanija nizkoj czastoty*. t. 80, 34-39 Woronież: (za Łazarowicz 1978 s. 84).
- Damaskin B. B. i O. A. Pietrij. **1975**. *Wwiedienije w elektrochimizeskiju kinietiku*. Moskwa: izd. "Wysszaja Szkoła".
- Danielsson B. **1991**. Enzyme thermistor devices. *Bioprocess Technol.* 15 (Biosens. Princ. Appl.): 83-105 (CA 116: 2955c).
- . **1994**. Enzyme Thermistors for Food Analysis. W: *Food Biosensor Analysis*. (Eds.) G. Wagner i G. G. Guilbault, 173-190. Food Science and Technology: A Series of Monographs, Textbooks, and Reference Books, 60. New York: Marcel Dekker.
- Danielsson B. i K. Mosbach. **1988a**. Enzyme thermistors. W: *Immobilized Enzymes and Cells*. Part D. (Ed.) K. Mosbach, 181-197. Methods in Enzymology, 137. San Diego: Acad. Press Inc.
- Danielsson B., K. Mosbach, F. Winquist i I. Lundstroem. **1988b**. Biosensors based on thermistors and semiconductors and their bioanalytical applications. *Sens. Actuators* 13 (2): 139-146 (CA 108: 91136m).
- Day P. **1990**. Future molecular electronics. *Chem. Brit.* 26 (1): 52-54.
- Dayhoff J., S. Hameroff, R. Lahoz-Beltra i C. E. Swenberg. **1994**. Cytoskeletal involvement in neuronal learning: A review. *Eur. Biophys. J.* 23 (2): 79-93.
- De Loof A. i J. V. Broeck. **1995**. Communication: The key to defining <<life>>, <<death>> and the force driving evolution. <<Organic chemistry-based->> versus <<artificial>> life. *Belgian J. Zool.* 125 (1): 5-28.
- 1984**. *Enzyme Catalysis and Control*. (Eds.) M. De Luca, H. Lardy i R. L. Cross, Current Topics in Cellular Regulation, 24. Orlando, Fla.: Academic Press, Inc.
- De Rosa M., A. Morana, A. Riccio, A. Gambacorta, A. Trincone i O. Incani. **1994**. Lipids of the Archaea: A new tool for bioelectronics. *Biosensors & Bioelectronics* 9 (9-10): 669-675.
- Del Giudice E., S. Doglia, M. Milani i G. Vitiello. **1983**. Spontaneous symmetry breakdown and boson condensation in biology. *Phys. Lett. A* 95A (9): 508-510.
- . **1985**. A quantum field theoretical approach to the collective behaviour of biological systems. *Nuclear Phys.* B251 (FS13): 375-400.
- . **1986a**. Collective properties of biological systems. Solitons and coherent electric waves in a quantum field theoretical approach. W: *Modern Bioelectrochemistry*. (Eds.) F. Gutmann i H. Keyzer, 263-287. New York: Plenum Publ. Corp.
- . **1986b**. Electromagnetic field and spontaneous symmetry breaking in biological matter. *Nuclear Phys.* B275 (FS17): 185-199.
- . **1986c**. Spontaneous broken symmetry and dissipative structures. W: *Disequilibrium and Self-Organisation*. (Ed.) C. W. Kilmister, 197-205. Dordrecht: D. Reidel Publ. Comp.
- Del Giudice E., G. Preparata i G. Vitiello. **1988**. Water as a free electric dipole laser. *Phys. Rev. Lett.* 61 (9): 1085-1088.
- Derosnay J. **1992**. Molecular information processing and molecular electronic devices.

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

Thin Solid Films 210 (1-2): 1-3.

- Dewar M. J. S. **1986**. New ideas about enzyme reactions. *Enzyme* 36 (1-2): 8-20.
- Dick T. P. i W. W. A. Schamel. **1995**. Molecular evolution of transfer RNA from two precursor hairpins: Implications for the origin of protein synthesis. *J. Mol. Evol.* 41 (1): 1-9.
- Diel B. N., T. Inabe, J. W. Lyding, K. F. (.). Schoh, C. R. Kannewurf i T. J. Marks. **1983**. Cofacial assembly of partially oxidized metallomacrocycles as an approach to controlling lattice architecture in low-dimensional molecular solids. Chemical, structural, oxidation state, transport, magnetic, and optical properties of halogen-doped $[M(\text{phthalocyaninato})O]_n$ macromolecules, where $M = \text{Si, Ge, and Sn}$. *J. Am. Chem. Soc.* 105 (6): 1551-1567.
- 1982**. *Fiermięty (tl. ros. z ang.)*. (Red.) **M. Dikson i E. Uebb**, Moskwa: izd. "Mir".
- Direnfeld L. K. **1983**. The genesis of the EEG and its relation to electromagnetic radiation. *J. Bioelectricity* 2 (2-3): 111-121.
- Dodo T. **1983**. Solitary wave in electrolyte plasma (w jap.). *Kaku Yugo Kenkyu* 50 (6): 715-718.
- Dołęga J. M. **1991**. *Znak - język - symbol. Z podstawowych zagadnień komunikacji*. Warszawa: ATK.
- . **1994**. Problematyka informacji w ujęciu systemowym. *Studia Philosophiae Christianae* 30 (2): 65-72.
- Dose K. **1976**. Ordering processes and the evolution of the first enzymes. W: *Protein Structure and Evolution*, [Int. Union Biochem. Symp. 1975], (Eds.) J. L. Fox, Z. Deyl i A. Blazej, 149-184. New York: Dekker.
- Drechsler S. L. i M. Bobeth. **1985a**. Dielectric properties of trans-polyacetylene. I. The macroscopic longitudinal dielectric function of a Peierls-Fröhlich semiconductor of commensurability 2 within RPA. *Phys. Status Solidi B* 131 (1): 267-278.
- . **1985b**. On π -plasmons in polyacetylene. *Solid State Commun.* 56 (3): 261-264.
- Drexler K. E. **1987**. Molecular machinery and molecular electronic devices. W: *Molecular Electronic Devices II*. (Ed.) F. L. Carter, 549-572. New York: Dekker.
- . **1994**. Molecular nanomachines: Physical principles and implementation strategies. *Annu. Rev. Biophys. Biomol. Struct.* 23: 377-405.
- Dreyer J. L. **1984**. Electron transfer in biological systems: an overview. *Experientia* 40 (7): 653-675.
- Dubrov A. P. **1974**. Biogravitation and psychotronics. *Impact Sci. Soc.* 24: 311-319.
- Dutta S. K., M. Verma i C. F. Blackman. **1994**. Frequency-dependent alterations in enolase activity in *Escherichia coli* caused by exposure to electric and magnetic fields. *Bioelectromagnetics* 15 (5): 377-383.
- Dutton P. L. i C. C. Mosser. **1994**. Quantum biomechanics of long-range electron transfer in protein: Hydrogen bonds and reorganization energies. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 10247-10250.
- Dyc R. **1989**. Nowa wizja życia według Włodzimierza Sedlaka (Praca magisterska z filozofii pisana pod kierunkiem Ks. prof. dr. hab. Ludwika Wciórki). 87 ss. Papieski Wydział Teologiczny w Poznaniu, Poznań.
- Ebeling W. Von i R. Feistel. **1982**. *Physik der Selbstorganisation und Evolution*. Berlin: Akademie-Verlag.

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

- Ebeling W. i R. Feistel. **1992**. Theory of selforganization and evolution - The role of entropy, value and information. *J. Non-Equilibr. Thermodyn.* 17 (4): 303-332.
- Edwards M. R. **1989**. A possible origin of RNA catalysis in multienzyme complexes. *Origins Life Evol. Biosphere* 19 (1): 69-72.
- Egami F. **1975**. Origin and early evolution of transition element enzymes. *J. Biochem.* 77: 1165-1169.
- Egri I. **1985**. Excitons and plasmons in metals, semiconductors and insulators: a unified approach. *Physics Reports (Rev. Sec. Phys. Lett.)* 119 (6): 363-402.
- . **1985**. Trends in the plasmon dispersion of insulators and semiconductors. *J. Phys. C: Solid State Phys.* 18 (6): 1191-1196.
- Eigen M. **1976**. How does information originate? Principles of self-organisation in biology. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 80 (11): 1059-1081 (PA 80(1063) 1977: 32868).
- . **1993**. The origin of genetic information - viruses as models. *Gene* 135 (1-2): 37-47.
- Einarsdóttir O., K. E. Georgiadis i A. Sucheta. **1995**. Intramolecular electron transfer and conformational changes in cytochrome c oxidase. *Biochemistry* 34 (2): 496-508.
- Eisenberg R. S. **1990**. Channels as enzymes. *J. Membr. Biol.* 115 (1): 1-12.
- Elber R. **1989**. Fractal analysis of proteins. W: *Fractal Approach to Heterogeneous Chemistry. Surfaces, Colloids, Polymers.* (Ed.) D. Avnir, 407-423. Chichester: J. Wiley & Sons Ltd.
- Eley D. D. **1989**. Studies of organic semiconductors for 40 years. 1. The mobile π -electron - 40 years on. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 171: 1-21.
- Eley D. D., R. J. Mayer i R. Pethig. **1973**. *Bioenergetics* 4: 187- (za Simionescu i in. 1978 s. 151).
- Elitzur A. C. **1994**. Let there be life. Thermodynamic reflections on biogenesis and evolution. *J. Theoret. Biol.* 168 (4): 429-459.
- Ellington A. D. **1993**. Experimental testing of theories of an early RNA world. W: *Molecular Evolution: Producing the Biochemical Data.* (Eds.) E. A. Zimmer, T. J. White, R. L. Cann i A. C. Wilson, 646-664. Methods in Enzymology, 224. San Diego: Academic Press Inc.
- Engelborghs Y. **1992**. Dynamic aspects of the conformational states of tubulin and microtubules. *Nanobiology* 1 (1): 97-105.
- . **1994**. Microtubules: Dissipative structures formed by self-assembly. *Biosensors & Bioelectronics* 9 (9-10): 685-689.
- Engelhardt W. A. **1984**. *Poznanije jawlenij žizni*. Moskwa: izd. "Nauka".
- Ernst J. **1974**. Subatomic biology. Electron biology and biological semiconduction. (w węg.) *Magy. Tud. Akad. Biol. Tud. Oszt. Kozl.* 17 (1): 1-11.
- Esperidiao A. S., A. R. Vasconcellos i R. Luzzi. **1995**. On the formation of dissipative spatial patterns of charge carriers in biosystems. *Nuovo Cimento Della Societa Italiana di Fisica D - Cond. Matter At. Mol. & Chem. Phys. Fluids Plasmas Biophys.* 17 (6): 569-585.
- Érdi P. **1996**. The brain as a hermeneutic device. *BioSystems* 38 (2-3): 179-189.
- Fahy G. M. **1993**. Molecular nanotechnology. *Clin. Chem.* 39 (9): 2011-2016.
- Ferreira R. i M. A. F. Gomes. **1982**. Electronic aspects of enzymatic catalysis. *Int. J. Quantum Chem.* 22 (3): 537-545.

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

- Ferris J. P. **1993**. Catalysis and prebiotic RNA synthesis. *Origins Life Evol. Biosphere* 23 (5-6): 307-315.
- Ferris J. P. i G. Ertem. **1993**. Montmorillonite catalysis of RNA oligomer formation in aqueous solution. A model for the prebiotic formation of RNA. *J. Am. Chem. Soc.* 115 (26): 12270-12275.
- Fink J. **1987**. Electronic structure of conduction polymers: investigation of oriented samples by electron energy-loss spectroscopy. *Synthetic Metals* 21 (1): 87-94 (CA 107: 199334t).
- Fisun O. I. **1993**. 2D Plasmon excitation and nonthermal effects of microwaves on biological membranes. *Bioelectromagnetics* 14 (1): 57-66.
- Fleissner P. i W. Hofkirchner. **1996**. Emergent information. Towards a unified information theory. *BioSystems* 38 (2-3): 243-248.
- Fong P. **1973**. Thermodynamic and statistical theory of life: An outline. W: *Biogenesis Evolution Homeostasis*. (Ed.) A. Locker, 93-106. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.
- Forstner D. **1990**. *Świat symboliki chrześcijańskiej (tł. z niem.)*. Warszawa: IW PAX.
- Forterre P. **1995**. Looking for the most "primitive" organism(s) on Earth today: The state of the art. *Planetary & Space Sci.* 43 (1-2): 167-177.
- Fox J. L. **1984**. Evolution and enzymes. W: *Molecular Evolution and Protobiology*. (Eds.) K. Matsuno, K. Dose, K. Harada i D. L. Rohlfsing, 331-338. New York: Plenum.
- Fox S. W. **1974**. Origins of biological information and the genetic code. *Mol. Cell. Biochem.* 3 (2): 129-142 (BA 59(5) 1975: 25098).
- 1967**. *O istocie życia*. (tł. z ros.) (Red.) **G. M. Frank, A. M. Kuzin, I. W. Kuzniecowa, N. N. Liwshyc i M. F. Wiedienow**, Warszawa: KiW.
- 1986**. Mechanisms of Enzymatic Reactions: Stereochemistry. [Proceedings of the 15th Steenbock Symposium], (Ed.) P. A. Frey, Madison, Wis., June 30th - July 3rd 1985. New York: Elsevier. (CA 105: 168030v).
- Fridrich P. **1986**. *Fiermienty: czwartwartyczna struktura i nadmolekularnyje kompleksy (tł. ros. z ang.)*. Moskwa: izd. "Mir".
- Friesner R. A. **1994**. Comparison of theory and experiment for electron transfer in proteins: where's the beef? *Structure* 2 (5): 339-343.
- 1976**. *Filozofia i współczesna biologia (tł. z ros.)*. (Red.) **I. T. Frołow**, Warszawa: KiW.
- Fröhlich H. **1968**. Long-range coherence and energy storage in biological systems. *Int. J. Quantum Chem.* 2 (5): 641-649 (CA 70: 8884g).
- . **1973**. Low frequency vibrations of macro molecules. *Phys. Lett. A* 44A (6): 385.
- . **1975**. Evidence for Bose condensation-like excitation of coherent modes in biological systems. *Phys. Lett. A* 51A: 21-22.
- . **1975**. The extraordinary dielectric properties of biological materials and the action of enzymes. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 72 (11): 4211-4215.
- . **1981**. Coherent processes in biological systems. *ACS Symp. Ser.* 157 (Biol. Eff. Nonioniz. Radiat.): 213-218.
- . **1982**. Conditions for coherent excitations in biological systems. *Phys. Lett. A* 93A (2): 105-106 (PA 86(1203)83: 24676).
- . **1983**. Evidence for coherent excitations in biological systems. *Int. J. Quantum Chem.* 23: 1589-1595.

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

- . **1984.** General theory of coherent excitations on biological systems. W: *Nonlinear Electrodynamics in Biological Systems*. (Eds.) W. R. Adey i A. F. Lawrence, 491-496. New York: Plenum Press.
- . **1986.** Coherence and the action of enzymes. W: *The Fluctuating Enzyme*. (Ed.) G. R. Welch, 421-449. New York: J. Wiley & Sons.
- . **1986.** Coherent excitation in active biological systems. W: *Modern Bioelectrochemistry*. (Eds.) F. Gutmann i H. Keyzer, 241-261. New York: Plenum Press.
- 1983.** *Coherent Excitations in Biological Systems*. (Eds.) **H. Fröhlich i F. Kremer**, Berlin: Springer-Verlag.
- Fu D.-J., F. Benseler i L. W. McLaughlin. **1994.** Hammerhead ribozymes containing non-nucleoside linkers are active RNA catalysts. *J. Am. Chem. Soc.* 116 (11): 4591-4598.
- Fukada E. **1982.** Piezoelectricity of biological materials. W: *Electronic Conduction and Mechanoelectrical Transduction in Biological Materials*. (Ed.) B. Lipinski, 125-155. New York: M. Dekker.
- . **1983.** Piezoelectric properties of biological polymers. *Quarterly Rev. Biophys.* 16 (1): 59-87.
- . **1984.** Piezoelectricity of natural biomaterials. *Ferroelectrics* 60 (1-4): 285-296.
- . **1992.** Bioelectrets and biopiezoelectricity. *IEEE Trans. Electr. Insul.* 27 (4): 813-819 (CA 117: 208309z).
- 1984.** Proceedings of the First International Symposium on Piezoelectricity in Biomaterials and Biomedical Devices, (Eds.) **P. M. Galletti, M. G. Broadhurst i D. De Rossi**, Pisa, Italy, June 1983. New York: Gordon & Breach Sci. Publ. (CA 101: 238871p).
- Ganti T. **1979.** *A Theory of Biochemical Supersystems and Its Application to Problems of Natural and Artificial Biogenesis*. Budapest: Akad. Kiadó.
- Garnier F. i G. Horowitz. **1987.** Organic semiconducting polymers as molecular material for electronic devices. *Synthetic Metals* 18 (1-3): 693-698.
- Gawrisz Je. G. **1983.** *Ewolucja wzajemności filozofii i biologii*. Charkow: izd. pri Charkowskom gosudarstwiennom uniwersitietie izdatielskogo ob'jednienija <<Wiszcza szkoła>>.
- Georgiev G. i N. Bakardjieva. **1975.** Primary catalytic systems of biogenesis and structure-functional evolution of biocatalyzers. *Origins Life* 6 (3): 413-421.
- Gersten J. J. **1982.** Disk plasma oscillations. *J. Chem. Phys.* 77 (12): 6285-6288.
- 1993.** *The RNA World*. (Eds.) **R. F. Gesteland i J. F. Atkins**, Cold Spring Harbor Monograph Series, 24. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- Gicquel A., S. Cavadias i J. Amouroux. **1986.** Heterogeneous catalysis in low-pressure plasmas. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 19 (11): 2013-2042.
- Gieletiuk W. I. i W. N. Kazaczenko. **1990.** *Klastiernaja organizacija ionnych kanalow*. Moskwa: izd. Nauka.
- Gilmanshin R. I. **1993.** Proteins for molecular monoelectronics. W: *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, Vol. 2*. (Ed.) K. Sienicki, 1-78. Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, 2. Boca Raton: CRC Press Inc.
- Gilmanshin R. I. i P. I. Lazarev. **1987.** Protein electron-transfer systems: their peculiarities and possible applications. *Material Sci.* 13 (1-2): 71-73.

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

- . **1988**. Molecular monoelectronics. *J. Mol. Electronics* 4 (Suppl.): S83-S90.
- Gilmanszin R. I. i P. I. Łazariew. **1987a**. Biotechnologija i nowyje materiały dla elektroniki. *Biotechnologija* 3 (4): 421-432.
- . **1987b**. Biomolekularnaja elektronika: priedposyłki wozniknowienija i pierspektiwy razwitija. *Naucznyj ciontr biologiczeskich issledowanij AN SSSR, Puszczino* 9 str. (preprint).
- . **1987c**. Iskusstwiennyje ansambli bielkow-pierienoszczikow elektrona - put' k molekularnoj elektronike. *Naucznyj ciontr biologiczeskich issledowanij AN SSSR, Puszczino* 13 str. (preprint).
- Gindilis A. L., Yu. A. Baranov i A. I. Yaropolov. **1988**. Bioelectrocatalytic systems in molecular electronics. *Dokl. Akad. Nauk SSSR, [Biophys.]* 303 (1): 229-232 (CA 110: 111256x).
- Goldfein S. **1980**. Some speculation on biological superconductors, nerve electrical conduction, and retrieval and storage of information. *Specul. Sci. Technol.* 3 (2): 127-136.
- Goldsmid D. i T. Ouen. **1983**. *Poiski žizni wo Wsielelnoj. (tł z j. ang.)*. Moskwa: Mir.
- Goodwin B. C. **1987**. Developing organisms as self-organizing fields. W: *Self-Organizing Systems. The Emergence of Order*. (Eds.) F. E. Yates, A. Garfinkel, D. O. Walter i G. B. Yates, 167-180. New York: Plenum Press.
- Göpel W. **1995**. Controlled signal transduction across interfaces of "intelligent" molecular systems. *Biosensors & Bioelectronics* 10 (1-2): 35-59.
- Göpel W. i P. Heiduschka. **1994**. Introduction to bioelectronics: "Interfacing biology with electronics". *Biosensors and Bioelectronics* 9: iii-xiii.
- . **1995**. Bioelectronics: Interfacing biology with electronics. *Biosensors & Bioelectronics* 10 (1-2): U2-U3.
- Görnitz T. **1988**. Abstract quantum theory and space-time structure. I. Ur theory and Bekenstein-Hawking entropy. *Int. J. Theoret. Phys.* 27 (5): 527-542.
- Görnitz T., D. Graudenz i C. F. v. Weizsäcker. **1992**. Quantum field theory of binary alternatives. *Int. J. Theoret. Phys.* 31 (11): 1929-1959.
- Grant P. M., R. L. Greene, G. C. Wrighton i G. Castro. **1973**. Temperature dependence of the near-infrared optical properties of tetrathiofulvalinium tetracyanoquinodimethane (TTF-TCNQ). *Phys. Rev. Lett.* 31 (21): 1311-1314.
- Grattarola M. i S. Martinoia. **1994**. Coupling of living cells to solid-state microtransducers - Toward cell engineering at the molecular level. W: *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, Vol III*. (Ed.) K. Sienicki, 41-57. Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, 3. Boca Raton: CRC Press Inc.
- Gray H. B. i W. R. Ellis. **1993**. Electron transfer. W: *Bioinorganic Chemistry*. (Eds.) I. Bertini, H. B. Gray, S. J. Lippard i J. S. Valentine, 315-363. Mill Valley/CA: Univ Science Books.
- Green D. E. **1974**. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 227: 6- (za Guzelsu 1982 s. 201).
- Gritsenko O. V., D. I. Sidelnikov, A. P. Simonova i N. G. Rambidi. **1991**. Towards a biomolecular computer. 3. Information processing features of distributed biochemical systems functioning in the mode of dissipative structure formation. *J. Mol. Electronics* 7 (4): 155-166.
- Grochowski Z. **1985**. Holograficzne modele pamięci. *Przeegl. Psychol.* 28 (1): 179-190.
- Grolig G. **1980**. Investigations and speculations on the occurrence of superconductivity

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

- in biological and organic systems. A review (w niem.). *Erfahrungsheilkunde* 29 (7): 575-580 (CA 93: 162811n).
- Gronow M., C. F. M. Kingdon i D. J. Anderton. **1985**. Biosensors. *Spec. Publ. - R. Soc. Chem.* 54 (Mol. Biol. Biotechnol.): 295-324.
- Gu Q. i F. A. Popp. **1992**. Nonlinear response of biophoton emission to external perturbations. *Experientia* 48 (11-12): 1069-1082.
- . **1994**. Biophoton emission as a potential measure of organizational order. *Science in China Series B - Chem. Life Sci. & Earth Sci.* 37 (9): 1099-1112.
- Guengerich F. P. i T. L. Macdonald. **1993**. Sequential electron transfer reactions catalyzed by cytochrome-P-450 enzymes. *Advances in Electron Transfer Chemistry, Vol 3*. P. S. Mariano, 191-241. *Advances in Electron Transfer Chemistry, 3*. Greenwich/CT 06836: JAI Press Inc.
- Gutmann F. **1986**. Some aspects of charge transfer in biological systems. W: *Modern Bioelectrochemistry*. (Eds.) F. Gutmann i H. Keyzer, 177-197. New York: Plenum Press.
- Gutmann F., H. Keyzer, L. E. Lyons with a Chapter on Organic Semi-Metals by R. B. Somoano. **1983**. *Organic Semiconductors. Part B*. Malabar, Florida: R. E. Krieger Publ. Comp.
- Guzelsu N. **1982**. Mechanoelectrical effects in biological systems. W: *Electronic Conduction and Mechanoelectrical Transduction in Biological Materials*. (Ed.) B. Lipinski, 201-280. New York: M. Dekker.
- Guzelsu N. i W. R. Walsh. **1993**. Piezoelectric and electrokinetic effects in bone tissue - review. *Electro- & Magnetobiol.* 12 (1): 51-82.
- H'juz M. **1983**. *Nieorganiczna chemia biologicznych procesow (tl. ros. z ang.)*. Moskwa: izd. "Mir".
- Haase M. i M. Taut. **1989**. Plasmon dispersion in trans-polyacetylene. *Phys. Status Solidi. B-Basic Res.* 153 (1): 225-233.
- Haddon R. C. **1988**. π -electrons in three dimensions. *Acc. Chem. Res.* 21 (6): 243-249.
- Haddon R. C. i A. A. Lamola. **1985**. The molecular electronic device and the biochip computer: present status. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 82 (April): 1874-1878.
- Hajduk Z. **1984**. *O akceptacji teorii empirycznej*. Lublin: RW KUL.
- . **1985**. Metodologiczne typy filozofii przyrody a filozofia przyrodoznawstwa. *Roczniki Filozoficzne* 33 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 165-171.
- . **1994**. Współczesna postać sporów o koncepcję filozofii przyrody. *Studia Philosophiae Christianae* 30 (2): 115-134.
- . **1995**. *Temporalność nauki. Kontrowersyjne zagadnienia dynamiki nauki*. Lublin: RW KUL.
- Hall J. G. i R. K. Koehn. **1983**. The evolution of enzyme catalytic efficiency and adaptive inference from steady-state kinetic data. *Evol. Biol.* 16: 53-96.
- Halle B. **1988**. On the cyclotron resonance mechanism for magnetic field effects on transmembrane ion conductivity. *Bioelectromagnetics* 9 (4): 381-385.
- Hamann C. **1987**. Bioelektronik - perspektiven und realität. *Potsdamer Farsch. Paedagog. Hochsch. 'Karl Liebknecht' Potsdam, Naturwiss. Reihe* 51: 95-102.
- Hameroff S. R. **1987**. *Ultimate Computing: Biomolecular Consciousness and Nanotechnology*. Amsterdam: Elsevier (North-Holland).
- Hameroff S. R., J. E. Dayhoff, R. Lahoz-Beltra, A. V. Samsonovich i S. Rasmussen. **1992**. Models for molecular computation: conformational automata in the

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

- cytoskeleton. *Computer* (November): 30-39.
- Hameroff S. R. i S. Rasmussen. **1989a**. Information processing in microtubules: Biomolecular automata and nanocomputers. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. T. Hong, 243-257. New York & London: Plenum Press.
- Hameroff S. R., S. Rasmussen i B. Mansson. **1989b**. Molecular automata in microtubules: basic computational logic for the living state? W: *Artificial Life, the Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*. Vol. VI. (Ed.) C. Langton, 521-553. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Hameroff S. R., S. A. Smith i R. C. Watt. **1986**. Automaton model of dynamic organization in microtubules. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 466: 949-952.
- Hameroff S. R. i R. C. Watt. **1982a**. Information processing in microtubules. *J. Theoret. Biol.* 98: 549-561.
- . **1982b**. Microtubules: biological microprocessors? W: *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, 341-356. New York: M. Dekker, Inc.
- Hameroff S. R., R. C. Watt, J. D. Borel i G. Carlson. **1982c**. General anesthetics directly inhibit electron mobility: dipole dispersion theory of anesthetic action. *Physiol. Chem. Phys.* 14: 183-187.
- Hartman H. **1995**. Speculations on the origin of the genetic code. *J. Mol. Evol.* 40 (5): 541-544.
- 1989**. *Bioinformatics. Information Transduction and Processing Systems from Cell to Whole Body*. (Eds.) O. Hatase i J. H. Wang, Amsterdam: Elsevier. (CA 112: 114496c).
- Heinrich R., S. Schuster i H. G. Holzhütter. **1991**. Mathematical analysis of enzymic reaction systems using optimization principles. *Eur. J. Biochem.* 201 (1): 1-21.
- Heller M. **1992a**. *Filozofia nauki. Wprowadzenie*. Kraków: OBI, Wyd. Naukowe PAT w Krakowie.
- . **1992b**. *Filozofia świata. Wybrane zagadnienia i kierunki filozofii przyrody*. Kraków: Społ. Inst. Wyd. ZNAK.
- . **1995**. *Szczęście w przestrzeniach Banacha*. Kraków: Wyd. ZNAK.
- Heller M., M. Lubański i Sz. W. Ślaga. **1992**. *Zagadnienia filozoficzne współczesnej nauki. Wstęp do filozofii przyrody*, wyd. 3-cie zmienione, Warszawa: ATK.
- 1987**. *Filozofować w kontekście nauki*. (Red.) M. Heller, A. Michalik i J. Życiński, Kraków: PTT.
- Henglein A. **1995**. Electronics of colloidal nanometer particles. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem. Chem. Phys.* 99 (7): 903-913.
- Herron N. **1989**. Toward silicon-based life: zeolites as enzyme mimics. *CHEMTECH* 19 (9): 542-548.
- . **1989**. Zeolite catalysts as enzyme mimics. Toward silicon-based life? *ACS Symp. Ser.* 392 (Biocatal. Biomimetics): 141-154.
- Hertel I. V., H. Steger, J. de Vries, B. Weisser, C. Menzel, B. Kamke i W. Kamke. **1992**. Giant plasmon excitation in free C60 and C70 molecules studied by photoionization. *Phys. Rev. Lett.* 68 (6): 784-787.
- Higazi A. **1985**. The exchange of energy between the medium and the active site. *J. Theoret. Biol.* 117: 609-619.
- Higuchi Y., S. Bando, M. Kusunoki, Y. Matsuura, N. Yasuoka, M. Kakudo, T.

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

- Yamanaka, T. Yagi i H. Inokuchi. **1981**. The structure of cytochrome c3 from *Desulfovibrio vulgaris* Miyazaki at 2.5 Å resolution. *J. Biochem.* 89: 1659-1662.
- Higuchi Y., M. Kusunoki, Y. Matura, N. Yasuoka i M. Kakudo. **1984**. Refined structure of cytochrome c3 at 1.8 Å resolution. *J. Mol. Biol.* 172 (1): 109-140.
- Hindman J. C., R. Kugel, A. Svirnickas i J. J. Katz. **1977**. Chlorophyll lasers: stimulated light emission by chlorophylls and Mg-free chlorophyll derivatives. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 74 (1): 5-9.
- 1994**. *Bioelectrodynamics and Biocommunication*. (Eds.) **M. Ho, F. A. Popp i U. Warnke**, Singapore-New Jersey-London-Hong Kong-Bangalore: World Sci. Publ. Co.
- Hoffman A., M. Elbaum i R. Brener. **1993**. Experimental study of the role of plasmon excitation on the appearance of the secondary-electron-emission structure in graphite. *Phys. Rev. B* 48 (21): 16078-16080.
- Holcombe M. i R. Paton. **1993**. Computational models of cellular information processing. *preprint* 19 pp.
- Hollenberg C. P. i E. Di Mauro. **7 February 1991**. The use of DNA and RNA technology for the construction of networks for use in chip construction and production (DNA chips). Patent: *Ger. Offen. DE 3,924,454 (Cl. H01L29/28)* Appl. 24 Jul 1989;: 5 pp. (CA 115: 245694a).
- Hołownia J. **1990**. Promieniowanie elektromagnetyczne w naturze i jego znaczenie dla organizmów żywych. W: Bioelektronika. Materiały VI Sympozjum, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 75-87. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- Hommel H. **1987**. Electromagnetic smog - a damage and stress factor? *Bioelectrochem. Bioenerg.* 17 (3): 441-456.
- 1989**. *Molecular Electronics: Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) **F. Hong**, New York & London: Plenum Press.
- Hong F. T. **1992**. Intelligent materials and intelligent microstructures in photobiology. *Nanobiology* 1 (1): 39-60.
- . **1992**. Do biomolecules process information differently than synthetic organic molecules. *BioSystems* 27 (4): 189-194.
- . **1995**. Fundamentals of photoelectric effects in molecular electronic thin film devices: Applications to bacteriorhodopsin-based devices. *BioSystems* 35 (2-3): 117-121.
- Honig B. **1982**. Special added commentary: Visual pigments: A new type of molecular switching device. W: *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, 137-139. New York: M. Dekker, Inc.
- Hopfield J. J. **1991**. Physics, computation, and biology. *Springer Proc. Phys.* 57 (Evol. Trends Phys. Sci.): 217-224.
- . **1994**. Physics, computation, and why biology looks so different. *J. Theoret. Biol.* 171 (1): 53-60.
- Hotani H., R. Lahoz-Beltra, B. Combs, S. Hameroff i S. Rasmussen. **1992**. Microtubule dynamics, liposomes and artificial cells: in vitro observation and cellular automata simulation of microtubule assembly/disassembly and membrane morphogenesis. *Nanobiology* 1 (1): 61-74.

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

- Huang K., J. Tang, Y. Liu i L. Xu. **1995**. Interference of electromagnetic waves in dynamic metabolism. *Science in China Series B - Chem. Life Sci. & Earth Sci.* 38 (11): 1355-1360.
- Hug D. H. i J. K. Hunter. **1991**. Photomodulation of enzymes. *J. Photochem. Photobiol., B-Biol.* 10 (1-2): 3-22.
- Hung S. W. i C. C. Ma. **1986**. Functional elements of biocomputers - logic and memory principles of biological elements (w chiń.). *K'o Hsueh Yueh K'an* 17 (5): 334-345.
- Huth G. C., J. D. Bond i P. A. Tove. **1984**. Nonlinear tunneling barriers at high frequencies and their possible logic processing function in biological membrane. W: *Nonlinear Electrodynamics in Biological Systems*. (Eds.) W. R. Adey i A. F. Lawrence, 227-241. New York: Plenum Press.
- Ichimura K., K. Kimura, Y. Nakahara, T. Yagi i H. Inokuchi. **1982**. Tetrahemoprotein, cytochrome c3 as an organic conductive material. *Chem. Lett.* (1): 19-22.
- Ichinose S. i T. Minato. **1993**. The catalytic role of proteins in the electron transport process of biological systems. *J. Phys. - Condensed Matter* 5 (49): 9145-9156.
- Iguchi N., E. Ri i H. Kimura. **4 October 1991**. Hemoprotein membranes with memory and external stimulant-induced switch action for biochips. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 03,225,872 [91,225,872]* (Cl. H01L29/28) Appl. 90/19,217, 31 Jan 1990: 5pp. (CA 116: 55080v).
- Ikeda T., K. Matsuyama, D. Kobayashi i F. Matsushita. **1992**. Whole-cell enzyme electrodes based on mediated bioelectrocatalysis. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 56 (8): 1359-1360.
- Illangasekare M., G. Sanchez, T. Nickles i M. Yarus. **1995**. Aminoacyl-RNA synthesis catalyzed by an RNA. *Science* 267 (5198): 643-647.
- Ingarden R. S. **1979**. Witelo w dziejach fizyki. W: *Witelo - Matematyk, Fizyk, Filozof*. (Red.) J. Trzynałowski, 7-17. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, Seria A, Nr 206. Wrocław: Zakład Narodowy im. Ossolińskich - Wydawnictwo.
- Iniuszyn W. M., G. U. Iljasow i I. A. Niepomniaszczych. **1992**. *Bioenergietii- czeskiye struktury - tieorija i praktika*. Alma-Ata: izd. <<Kazachstan>>.
- Inokuchi H. **1983**. Cytochrome c3: Electron carrier in biological system. W: *Biomimetic Chemistry, Proc. 2nd Intern. Conf. Kyoto Conf. on New Aspects of Org. Chem.*, 101-114. Kondasha, Tokyo,
- Isied S. S. **1984**. Long-range electron transfer in peptides and proteins. *Prog. Inorg. Chem.* 32: 443-517.
- Isihara A. i Y. Nakane. **1985**. Elementary excitations and energy dispersion in TTF-TCNQ. *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 120 (1-4): 85-88 (CA 102: 154969j).
- Isoda S. **1991**. Flavin-porphyrin molecular hetrojunction devices. Bioelectronic devices based on biological electron transfer (w jap.). *Bio Ind.* 8 (7): 465-477 (CA 116: 37156v).
- Isojima Y., T. Isoshima, K. Nagai, K. Kikuchi i H. Nakagawa. **1995**. Ultraweak biochemiluminescence detected from rat hippocampal slices. *Neuroreport* 6 (4): 658-660.
- Jacobsen C. S., K. Bechgaard i J. R. Andersen. **1977**. Optical properties of hexamethylene-tetraselenafulvalinium tetracyanoquinodimethanide (HMTSF-TCNQ). W: *Proceedings of the International Conference on Organic*

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

- Conductors and Semiconductors, 349-359 Siofok, Hungary, 30 Aug. - 3 Sept. 1976. Siofok, Hungary: Springer-Verlag. (PA 81 (1080)78: 6690).
- Jacobsen C. S., D. B. Tanner i K. Bechgaard. **1981**. Dimensionality crossover in the organic superconductor tetramethyltetraselenafulvalene hexafluorophosphate [(TMTSF)₂PF₆]. *Phys. Rev. Lett.* 46 (17): 1142-1145.
- Jadczyk A. **1990**. Bioelektronika w oczach fizyka teoretyka. W: Bioelektronika. Materiały VI Sympozjum, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 45-56. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- Jahn T. L. **1962**. A theory of electronic conduction through membranes, and of active transport of ions, based on redox transmembrane potentials. *J. Theoret. Biol.* 2: 129-138 (za Cope 1969 s. 519).
- Janowski T. M. **1978**. Pole elektryczne człowieka. *Zesz. Naukowe Stow. PAX* (3(20)): 92-97.
- . **1990**. Pola elektryczne człowieka i zwierząt oraz ich egzo- i endogenne zależności. W: Bioelektronika. Materiały VI Krajowego Sympozjum, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 97-106. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- Jasuda H. **1988**. *Polimierzacja w plazmie (tl. ros. z ang.)*. Moskwa: izd. "Mir".
- Jeleński A. **1976**. Plazma w półprzewodnikach i jej zastosowania. W: *Mikrofalowa elektronika ciała stałego*. (Red.) A. Jeleński, 471-488. Warszawa: PWN.
- Jibu M., S. Hagan, S. R. Hameroff, K. H. Pribram i K. Yasue. **1994**. Quantum optical coherence in cytoskeletal microtubules: Implications for brain function. *BioSystems* 32 (3): 195-209.
- Jibu M. i K. Yasue. **1992**. A physical picture of Umezawa's quantum brain dynamics. W: Cybernetics and Systems Research'92, Vol. 1, Proceedings of the Eleventh European Meeting on Cybernetics and Systems Research, (Ed.) R. Trappl, 797-804. Austrian Society for Cybernetic Studies, University of Vienna, Austria, 21-24 April 1992. Singapore New Jersey London Hong Kong: World Scientific.
- . **1993a**. The basics of quantum brain dynamics. W: *Rethinking Neural Networks: Quantum Fields and Biological Data*. (Ed.) K. H. Pribram, 123-145. Hillsdale, New Jersey Hove and London: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- . **1993b**. Intracellular quantum signal transfer in Umezawa's quantum brain dynamics. *Cybernet. & Systems: Int. J.* 24: 1-7.
- . **1993c**. Introduction to quantum brain dynamics. W: *Nature, Cognition, and Systems III*. (Ed.) M. E. Carvallo, 15 pp. London: Kluwer Academic.
- . **1994**. Is brain a biological photonic computer with subneuronal optical networks? W: Recent Publications on QBD, May 18th, 1994, ss. 59-66. Research Institute for Informatics and Science, Notre Dame Seishin University, 2-16-9 Ifuku-cho, Okayama, 700 Japan.
- Jost M. B., N. Troulier, D. M. Poirier, J. L. Martins, J. H. Weaver, L. P. F. Chibante i R. E. Smalley. **1991**. Band dispersion and empty electronic states in solid carbon (C60) inverse photoemission and theory. *Phys. Rev. B* 44 (4): 1966-1969.
- Joyce G. F. **1989**. RNA evolution and the origins of life. *Nature* 338 (6212): 217-224.
- Ju N. J., A. Bulgac i J. W. Keller. **1993**. Excitation of collective plasmon states in

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

- fullerenes. *Phys. Rev. B* 48 (12): 9071-9079.
- Jugaj G. A. **1976**. *Filosofskie problemy teoreticzeskoj biologii*. Moskwa: izd. 'Mysl'.
- . **1985**. *Obszczaja teorija žizni (dialektika formirovanija)*. Moskwa: izd. 'Mysl'.
- Juszczak H. **1993**. Problem stymulującego wpływu małych dawek promieniowania jonizującego na organizmy żywe. (Praca magisterska pisana pod kierunkiem dr. Józefa Zona). 48 ss. Katedra Biologii Teoretycznej, KUL, Lublin.
- Kacsér H. i R. Beeby. **1984**. Evolution of catalytic proteins or on the origin of enzyme species by means of natural selection. *J. Mol. Evol.* 20 (1): 38-51.
- Kaehler T. **1994**. Nanotechnology: Basic concepts and definitions. *Clin. Chem.* 40 (9): 1797-1799.
- Kahn L. M., J. Ruvalds i R. Hastings. **1978**. Plasmon spectrum of tetrathiafulvalene-tetracyanoquinodimethane (TTF-TCNQ). *Phys. Rev. B* 17 (12): 4600-4606.
- Kajta S. **1991**. Włodzimierza Sedlaka kwantowa teoria życia. W: *Z Zagadnień Filozofii Przyrodznawstwa i Filozofii Przyrody*. Tom 12. (Red.) M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 11-283. Warszawa: ATK.
- Kalisz J. **1981**. Droga do kwantowej antropologii. Rozwój myśli antropologicznej u prof. Włodzimierza Sedlaka. *Biul. Kwart. Radomskiego Tow. Nauk.* 18 (2-4): 17-20.
- . **1982**. Miejsce ewolucji człowieka w bioelektronicznej wizji życia. *Roczniki Filozoficzne* 30 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 67-79.
- Kamat P. V. **1991**. Photophysics, photochemistry, and photocatalytic aspects of semiconductor clusters and colloids. W: *Kinetics and Catalysis in Microheterogeneous Systems*. (Eds.) M. Gratzel i K. Kalyanasundaram, 375-436. New York: M. Dekker.
- 1985**. *Biochemical Elements and Bio-Computer: Technical Problems and Research Strategy (w jap.)*. (Ed.) T. Kaminuma, Tokyo: Science Forum Inc.: Tokyo, Japan. (CA 105: 57453r).
- Kamiyama T., S. Isoda i A. Ogura. **27 January 1988**. A monolithic circuit device using biological materials. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,853 [88 19,853] (Cl. H01 L29/28)* Appl. 86/164,186, 11 Jul 1986: 6pp. (CA 109: 30997s).
- Kampfner R. R. **1995**. Integrating molecular and digital computing: An information systems design perspective. *BioSystems* 35 (2-3): 229-232.
- Kampis G. i V. Csanyi. **1991**. Life, self-reproduction and information - beyond the machine metaphor. *J. Theoret. Biol.* 148 (1): 17-32.
- Kanavarioti A. **1994**. Template-directed chemistry and the origins of the RNA world. *Origins Life Evol. Biosphere* 24 (6): 479-494.
- 1984**. *Pierienos elektronow w twierdych tielach. Elektrieskije swojstwa organiczeskich poluprowodnikow (tl. ros. z j. ang.)*. t. 1. K. Kao i W. Huang, Moskwa: izd. "Mir".
- 1984**. *Pierienos elektronow w twierdych tielach. Elektrieskije swojstwa organiczeskich poluprowodnikow (tl. ros. z j. ang.)*. t. 2. K. Kao i W. Huang, Moskwa: izd. "Mir".
- Karube I. **1985**. Biosensor (w jap.). *Keiso* 28 (1): 22-26 (CA 104: 64938k).
- . **1986**. *Future of Biological Science, 4: Biosensors. (Mirai no Seibutsu Kagaku Shirizu, 4: Baiosensa) (w jap.)*. Tokyo: Kyoritsu Shuppan Co., Ltd. (CA 105: 75397e).

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

- . **1992**. Current technical trends in bioelectronics (w jap.). *Denshi Zairyo* 31 (6): 63-68 (CA 117: 247864w).
- Karube I. i T. Morizumi. **1988**. Microenzyme sensors. W: *Immobilized Enzymes and Cells*. (Ed.) K. Mosbach, 255-260. Methods in Enzymology, 137. San Diego: Acad. Press Inc.
- Kaznaczejew W. P. i L. P. Michajłowa. **1985**. *Bioinformacjonna funkcja jestwiestwiennych elektromagnitnych polej*. Nowosibirsk: Nauka. sibirskoje Otdielenie.
- Keleti T. i G. R. Welch. **1984**. The evolution of enzyme kinetic power. *Biochem. J.* 223 (2): 299-303.
- Kell D. B. **1982**. Enzymes as energy "funnels"? *Trends Biochem. Sci.* 7: 349.
- Kellershohn N. i J. Ricard. **1994**. Coordination of catalytic activities within enzyme complexes. *Eur. J. Biochem.* 220 (3): 955-961.
- Keyes R. W. **1988**. Physical limits in information processing. W: *Advances in Electronics and Electron Physics*. (Ed.) P. W. Hawkes, 159-214. San Diego: Academic Press Inc.
- Kholodov Yu. A. **1988**. Basic problems of electromagnetic biology. W: *Electromagnetic Fields and Biomembranes*. (Eds.) M. Markov i M. Blank, 109-116. New York: Plenum Press.
- Kiczuk S. **1995**. *Związek przyczynowy a logika przyczynowości*. Lublin: RW KUL.
- Kietis B. P. **1984**. Piezoelektriczeskij mechanizm aktywnego transporta zarjadów w purpurnych membranach *Halobacterium halobium*. *Biol. Membr.* 1 (12): 1307-1310.
- Kimura K. i H. Inokuchi. **1982**. Percolative conduction in biological conductor: Cytochrome c3, anhydrous film of *Desulfovibrio vulgaris*, Miyazaki strain. *J. Phys. Soc. Jpn.* 51 (7): 2218-2225.
- . **1984**. Electric conductivity of cytochrome c3 (w jap.). *Kotai Butsuri* 19 (8): 474-478 (CA 104: 202638r).
- Kimura K., Y. Nakahara, T. Yagi i H. Inokuchi. **1979**. Electrical conduction of hemoprotein in the solid phase: anhydrous cytochrome c3 film. *J. Chem. Phys.* 70 (7): 3317-3323.
- King G. A. M. **1980**. Evolution of the coenzymes. *BioSystems* 13: 23-45.
- Kisielew W. F. **1990**. Molekularna elektronika i kataliz. *Kinet. Katal.* 31 (2): 273-283.
- Kisielew W. F. i O. W. Kryłow. **1979**. *Elektronnyje jawlenija w adsorbccii i katalizie na poluprowodnikach i dielektrikach*. Moskwa: izd. "Nauka".
- Klissurski D. i V. Rives. **1994**. High-temperature superconductors in catalysis. *Appl. Catal. A* 109 (1): 1-44.
- Klonowski W. i M. T. Klonowska. **1986**. Czy istnieje biofizyka submolekularna. *Zagadnienia Biofizyki Współczesnej* 11: 21-26.
- Kloskowski K. **1985**. Hipercykl jako model abiogenezy. W: *Z Zagadnień Filozofii Przyrodznawstwa i Filozofii Przyrody*. Tom 7. (Red.) M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 257-280. Warszawa: ATK.
- Kloskowski K. i Sz. W. Ślaga. **1991**. Neopanspermia alternatywą abiogenezy? W: *Z Zagadnień Filozofii Przyrodznawstwa i Filozofii Przyrody*. Tom 13. (Red.) M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 109-156. Warszawa: ATK.
- Kłósak K. **1980**. *Z teorii i metodologii filozofii przyrody*. Poznań: Księgarnia św.

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

Wojciecha.

- Kobayashi M., O. Sato, Y. Tanaka i A. Hasegawa. **1994**. Plasma oscillations of a cylindrical electron gas. *J. Phys. Soc. Jpn.* 63 (5): 2010-2011.
- Kohn M. i S. Bedrosian. **1985**. Information flow and complexity in large-scale metabolic systems. W: *Information Processing in Biological Systems*. (Eds.) S. L. Mintz i A. Perlmutter, 55-67. New York: Plenum Press.
- Kołodziej N. N., J. V. Bielik i J. T. Terlecka. **1978**. Połuprowodnikowyje i segnietoelektriczieskije swoistwa mielinowej miembrany i jej niekatoryje wozmożnyje funkcii. W: *Molekularnaja gienetika i biofizika*. wyp. 3. 51-60. Kijew: izd. "Wissza Szkoła".
- Koncki R., G. J. Mohr i O. S. Wolfbeis. **1995**. Enzyme biosensor for urea based on a novel pH bulk optode membrane. *Biosensors & Bioelectronics* 10 (8): 653-659.
- Koruga D. **1989**. Microtubules: possible application to computer technologies. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. T. Hong, 231-241. New York: Plenum Press.
- . **1992**. Neuromolecular computing. *Nanobiology* 1 (1): 5-24.
- Koruga D. i J. Simic-Krstic. **1990**. Semiconductor and crystal symmetry assessment of microtubule proteins as molecular machines. *J. Mol. Electronics* 6 (3): 167-173 (CA 114: 116953q).
- Koryta J. **1986**. Electrochemical sensors based on biological principles. *Electrochim. Acta* 31 (5): 515-520.
- Koty A. **1992**. Biomembranes as catalysts of mass, energy and information transfer. *J. Radioanal. & Nuclear Chem.* 163 (1): 37-45.
- Kowalczyk E. **1981**. *O istocie informacji*. Warszawa: Wyd. Komunikacji i Łączności.
- Koyano T., M. Saito, M. Kato, K. Umibe i H. Miyamoto. **25 July 1991**. Manufacture of biochips for use in biocomputers for information processing. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 03,171,686 [91,171686]* (Cl. HO 1L49/00) Appl. 89/310,444, 29 Nov 1989: 8pp. (CA 115: 275226s).
- Koyano T., M. Saito, H. Miyamoto, K. Umibe i M. Kato. **10 January 1992**. Bioelement having biological photoinformation processing function for use in computer. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 04 06,446 [92 06,446]* (Cl.G01N21/80) Appl. 90/107,352, 25 Apr. 1990: 5pp. (CA 116: 190666f).
- König H. L. **1977**. *Unsichtbare Umwelt. Der Mensch im Spielfeld Elektromagnetischer Kräfte*. München: Eigenverlag Herbert L. König.
- König H. L., A. P. Krueger, S. Lang i W. Sönning. **1981**. *Biologic Effects of Environmental Electromagnetism*. New York Heidelberg Berlin: Springer-Verlag.
- Kresin V. V. i V. Z. Kresin. **1994**. Conduction-band plasmons in cluster-type compounds - application to fullerides and quantum-dot arrays. *Phys. Rev. B* 49 (4): 2715-2720.
- Krieger Y. G. **1993**. Molecular electronics - current state and future trends. *J. Struct. Chem.* 34 (6): 896-904.
- Kryszewski M. **1968**. *Półprzewodniki wielkocząsteczkowe*. Warszawa: PWN.
- . **1980**. *Semiconducting Polymers*. Warszawa: PWN-Polish Scientific Publishers.
- Kucia T. **1981**. *Filozofia biogenezy*. London: Veritas Foundation Publication Centre.
- Kuhn H. **1976**. Evolution of biological information (w niem.). *Ber. Bunsenges. Phys.*

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

- Chem.* 80 (11): 1209-1223 (CA 86: 38650a).
- . **1987.** Self-organizing molecular electronic devices? W: *Molecular Electronic Devices II*. (Ed.) F. L. Carter, 411-426. New York: M. Dekker, Inc.
- . **1988.** Origin of life and physics: diversified microstructure - Inducement to form information - Carrying and knowledge - Accumulating systems. *IBM J. Res. Dev.* 32 (1): 37-46.
- Kuhn H. i J. Waser. **1994.** On the origin of the genetic code. *FEBS Lett.* 352 (3): 259-264.
- Kulin Je. T. **1980.** *Bioelektrični efekt*. Minsk: izd. 'Nauka i tehnika'.
- Kunicki-Goldfinger W. J. H. **1995.** Rola informacji w układach biologicznych. *Studia Philosophiae Christianae* 31 (1): 49-57.
- Kuriyama T., T. Kawana i Y. Kawana. **6 May 1986a.** Biosensor transistors. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 61 88,135 [86, 88,135] (Cl. G01 N27/30)* Appl. 84/209,165, 05 Oct 1984: 4pp. (CA 105: 186708b).
- Kuriyama T., J. Kimura i Y. Kawana. **6 May 1986b.** Biosensor transistors. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 61 88,136 [86, 88,136] (Cl. G01 N27/30)* Appl. 84/209,166, 05 Oct 1984: 4pp. (CA 105: 186707a).
- Kuropatwa J. **1990.** Nobel '89 w dziedzinie chemii - odkrycie nowych, niezwykłych właściwości RNA. *Chemia w Szkole* (4): 163-171.
- Kurzyński M. **1994.** Protein-machine model of enzymatic catalysis. *Biophys. Chem.* (preprint).
- Kuzniecowa D. A. **1979.** O możliwości wzbudzenia gidromagnitnych wołn w fizjologicznym wodnym roztworze. *Biofizika* 24: 865-868.
- Kuzuo R., M. Terauchi, M. Tanaka i Y. Saito. **1994.** Electron energy-loss spectra of single-shell carbon nanotubes. *Jpn. J. Appl. Phys. Part 2 - Letters* 33 (9B): L1316-L1319.
- Küppers B. O. **1991.** *Geneza informacji biologicznej. Filozoficzne problemy powstania życia (tł. z j. niem.)*. Warszawa: PWN.
- Lahav N. **1991.** Prebiotic co-evolution of self-replication and translation or RNA world? *J. Theoret. Biol.* 151 (4): 531-539.
- . **1993.** The RNA-world and co-evolution hypotheses and the origin of Life - Implications, research strategies and perspectives. *Origins Life Evol. Biosphere* 23 (5-6): 329-344.
- Lahoz-Beltra R., S. R. Hameroff i J. E. Dayhoff. **1993.** Cytoskeletal logic: A model for molecular computation via Boolean operations in microtubules and microtubule-associated proteins. *BioSystems* 29 (1): 1-23.
- Lakhovsky G. **1929.** *Le secret de la vie*. Paris: Gauthiers-Villars.
- Lambert G. R. **1984.** Enzymic editing mechanisms and the origin of biological information transfer. *J. Theoret. Biol.* 107 (3): 387-403.
- Lamond A. I. i T. J. Gibson. **1990.** Catalytic RNA and the origin of genetic systems. *Trends Genet.* 6 (5): 145-149.
- Lang S. B. **1988.** Bioelectric pyroelectricity. W: *Modern Bioelectricity*. Ed. A. A. Marino, 243-280. New York-Basel: M. Dekker.
- Larsson S. **1988.** Distance dependence in biological electron transfer. Theoretical aspects. *Chem. Scr.* 28A: 15-20.
- Larsson S., A. Broo, B. Källénbring i A. Volosov. **1988.** Long distance electron transfer. *Int. J. Quantum Chem.* 15 (Suppl.): 1-22.

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

- Laszlo E. **1978**. *Systemowy obraz świata (tł. z ang.)*. Warszawa: PIW.
- Latawiec A. M. **1982**. Pojęcie informacji biologicznej. W: *Z Zagadnień Filozofii Przyrodznawstwa i Filozofii Przyrody*. Tom 4. (Red.) K. Kłósak, M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 213-229. Warszawa: ATK.
- . **1983**. Koncepcja informacji biologicznej. W: *Z Zagadnień Filozofii Przyrodznawstwa i Filozofii Przyrody*. Tom 5. (Red.) K. Kłósak, M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 151-259. Warszawa: ATK.
- . **1995**. Od informacji do sztucznej inteligencji. *Studia Philosophiae Christianae* 31 (1): 33-47.
- Lawrence A. F. **1987**. How do we talk to molecular level circuitry? W: *Molecular Electronic Devices II*. (Ed.) F. L. Carter, 253-268. New York: M. Dekker, Inc.
- Lawrence A. F. i R. R. Birge. **1984**. Communication with submicron structures: perspectives in the application of biomolecules to computer technology. W: *Nonlinear Electrodynamics in Biological Systems*. (Eds.) W. R. Adey i A. F. Lawrence, 207-218. New York: Plenum Press.
- . **1989**. Mathematical problems arising in molecular electronics: Global geometry and dynamics of the double-well potential. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. T. Hong, 407-424. New York: Plenum Press.
- 1991**. *Molecular Electronics: Materials and Methods*. (Ed.) P. I. Lazarev, Topics in Molecular Organization and Engineering, 7. Dordrecht, Neth.: Kluwer. (CA 117: 38221v).
- Lazcano A. i S. L. Miller. **1994**. How long did it take for life to begin and evolve to cyanobacteria? *J. Mol. Evol.* 39 (6): 546-554.
- Le Gall J. **1974**. Cytochrome C3, a biological condenser. *Recherche* (5(50)): 987-989 (CA 82: 134091g).
- 1987**. *Structure, Biogenesis, and Assembly of Energy Transducing Enzyme Systems*. (Ed.) C. P. Lee, Current Topics in Bioenergetics, 15. San Diego: Academic. (CA 108: 163625v).
- Leibniz G. W. **1969**. *Wyznanie wiary filozofa. Rozprawa metafizyczna. Monadologia. Zasady natury i łaski oraz inne pisma filozoficzne*. Warszawa: PWN.
- Lenartowicz P. **1986**. *Elementy filozofii zjawiska biologicznego*. Kraków: WAM.
- Leuchtag H. R. **1987a**. Indications of the existence of ferroelectric units in excitable - membrane channels. *J. Theoret. Biol.* 127 (3): 321-340.
- . **1987b**. Phase transitions and ion currents in a model ferroelectric channel unit. *J. Theoret. Biol.* 127 (3): 341-359.
- . **1989**. Conductivity disconductivity at ferroelectric phase transitions as possible source of channel unitary conductance changes. *Biophys. J.* 55: 402.
- . **1991**. Mechanism of the voltage-induced conductance change in the Na channel. W: Proceedings of 1991 IEEE Northeast Bioengineering Conference, 169-174. Piscataway, NJ: IEEE.
- . **1992**. Does the Na channel conduct ions through a water-filled pore or a condensed-state pathway? *Biophys. J.* 62: 22-24.
- . **1994**. Long-range interactions, voltage sensitivity, and ion conduction in S4 segments of excitable channels. *Biophys. J.* 66 (January): 217-224.
- . **1995**. Fit of the dielectric anomaly of squid axon membrane near heat-block temperature to the ferroelectric Curie-Weiss law. *Biophys. Chem.* 53: 197-

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

205.

- Liberman Je. A. **1972**. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki (MWM). 1. Obszczije soobrazenija i gipotezy. *Biofizika* 17 (5): 932-943.
- . **1974a**. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki (MWM). IV. <<Ciena diejstwija>> - wieliczina, charakterizujuszczaja <trudnost'>> rieszenija zadaczi dla wycislitel'nogo ustroistwa. *Biofizika* 19 (1): 148-150.
- . **1974b**. Molekularnaja wycislitel'naja maszina (MWM) kletki. V. O miechanizmie pieriekodirowanija signalow, postupajuszczich na sinapsy, w kody MWM. *Biofizika* 19 (2): 361-362.
- . **1974c**. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki. VI. Ob odnom sposobie izuczenija roli odinocznoj nierwnoj kletki i nierwnoj sieti w rabotie mozga. *Biofizika* 19 (6): 1101-1102.
- . **1975a**. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki. VII. Biofizika kletki i rialisticzeskaja ili informacionnaja fizika (I). *Biofizika* 20 (3): 432-436.
- . **1975b**. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki (MWM). VIII. Wozmoznaja konstrukcija molekularnoj pamiaty w biologiczeskich miembranach i princip minimalnych zatrat swobodnoj enierгии na zapis' informacii. *Biofizika* 20 (4): 624-627.
- . **1983**. Priedielnyj molekularnyj kwantowyj riegulator. *Biofizika* 28 (1): 183-185.
- . **1989**. Molekularnyje kwantowyje komp'jutiery. *Biofizika* 34 (5): 913-925.
- Liberman E. A. i S. V. Minina. **1995**. Molecular quantum computer of neuron. *BioSystems* 35 (2-3): 203-207.
- . **1996**. Cell molecular computers and biological information as the foundation of nature's laws. *BioSystems* 38 (2-3): 173-177.
- Liberman Je. A., S. W. Minina i N. Je. Szklowski. **1978**. Depolarizacija miembrany nejronow pod diejstwijem cikliczeskogo 3', 5'-adenozinmonofosfata i jeje wozmoznaja rol w rabotie molekularnoj wycislitel'noj masziny (MWM) nejrona. *Biofizika* 23 (2): 305-311.
- Liberman Je. A. i N. Je. Szklowski. **1973**. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki (MWM). III. O wozmoznosti konstrukcii <<ideal'nogo>> wycislitel'nogo ustroistwa w zidkoi miembranie. *Biofizika* 18 (6): 1121.
- Libet B. **1996**. Conscious mind as a field. *J. Theoret. Biol.* 178 (2): 223-224.
- Liboff A. R. **1985a**. Cyclotron resonance in membrane transport. W: *Interactions between Electromagnetic Fields and Cells*. (Eds.) A. Chiabrera, C. Nicolini i H. P. Schwan, 281-296. NATO ASI Series, Series A, Life Sciences, 97. New York: Plenum Press.
- . **1985b**. Geomagnetic cyclotron resonance in living cells. *J. Biol. Phys.* 13: 99-102.
- . **1994**. The electromagnetic field as a biological variable. W: *On the Nature of Electromagnetic Field Interaction with Biological Systems*. (Eds.) A. H. Frey, 73-82. R. G. Landes Company, Medical Intelligence Unit.
- Liboff A. R., R. J. Rozek, M. L. Sherman, B. R. McLeod i S. D. Smith. **1987**. Ca²⁺-45 cyclotron resonance in human lymphocytes. *J. Bioelectricity* 6: 13-22 (za Halle 1988 s. 381).
- Liboff R. L. **1984**. Criteria for physical domains in laboratory and solid-state plasmas. *J. Appl. Phys.* 56 (9): 2530-2535.
- 1988**. *Mechanistic Principles of Enzyme Activity*. (Eds.) **J. F. Liebman i A. Greenberg**, Molecular Structures and Energetics, 9. Weinheim, Fed. Rep.

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

Ger.: VCH. (CA 110: 208497q).

- Lifszyc W. A., A. I. Rubinsztejn i A. N. Kuzniecowa. **1983**. O niemożności wzbudzenia plazmopodobnych magnitodrinamiczeskich woiw w fizjologiczeskom wodnom rastworie. *Biofizika* 28 (3): 524-526.
- Likharev K. K. i V. K. Semenov. **1987**. W: Extended Abstracts of International Superconductivity Electronics Conference, 182-185. Tokyo, August 1987. (za Gilmanshin i in. 1988 s. S83).
- 1988**. *Interactions of Electromagnetic Waves with Biological Systems*. (Ed.) J. C. Lin, New York: Plenum Press.
- Lin M. F. i K. W. K. Shung. **1994**. Plasmons and optical properties of carbon nanotubes. *Phys. Rev. B* 50 (23): 17744-17747.
- Lin-Chung P. J. i A. K. Rajagopal. **1994a**. Magnetoplasma oscillations in nanoscale tubules with helical symmetry. *Phys. Rev. B* 49 (12): 8454-8463.
- Lin-Chung P. J. i A. K. Rajagopal. **1994b**. Electronic excitations in nanoscale systems with helical symmetry. *J. Phys. - Condensed Matter* 6 (20): 3697-3706.
- Lindahl B. I. B. i P. Århem. **1994**. Mind as a force field: Comments on a new interactionistic hypothesis. *J. Theoret. Biol.* 171 (1): 111-122.
- . **1996**. The mental force field hypothesis: a reply to Libet. *J. Theoret. Biol.* 178 (2): 225-226.
- 1982**. *Electronic Conduction and Mechanoelectrical Transduction in Biological Materials*. (Ed.) B. Lipinski, New York: M. Dekker.
- Lipscomb W. N. **1981**. How do enzymes work? *Colloq. Ges. Biol. Chem.* 32 (Struct. Funct. Aspects Enzyme Catal.): 17-23.
- . **1982**. Acceleration of reactions by enzymes. *Acc. Chem. Res.* 15: 232-238.
- Litwin F. F. i W. I. Zwalinski. **1971**. Połuprowodimost' fotosintieticzeskich struktur i jeje swiazj' s fotosintiezom. *Biofizika* 16 (3): 420-430.
- Lloyd D. i E. L. Rossi. **1993**. Biological rhythms as organization and information. *Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc.* 68 (4): 563-577.
- Lobo R., J. E. Robinson i S. Rodriguez. **1973**. High frequency dielectric response of dipolar liquids. *J. Chem. Phys.* 59 (11): 5992-6008.
- Locker A. **1973**. Systemogenesis as a paradigm for biogenesis. W: *Biogenesis Evolution Homeostasis*. (Ed.) A. Locker, 1-8. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag.
- Lotan N., G. Ashkenazi, S. Tuchman, S. Nehamkin i S. Sideman. **1993**. Molecular bioelectronics biomaterials. *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. Technol. Sect. A - Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 234: 635-644.
- Lowe C. R. i M. J. Goldfinch. **1988**. Solid-phase optoelectronic biosensors. W: *Immobilized Enzymes and Cells*. (Ed.) K. Mosbach, 338-348. Methods in Enzymology, 137. San Diego: Acad. Press Inc.
- Lubański M. **1975**. *Filozoficzne zagadnienia teorii informacji*. Warszawa: ATK.
- . **1991**. Życie w ujęciu bioelektroniki i teorii regulonów. W: *Z Zagadnień Filozofii Przyrodznawstwa i Filozofii Przyrody*. Tom 13. (Red.) M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 91-108. Warszawa: ATK.
- . **1991**. Metafizyka światła a bioelektronika. W: *Rzeźbiarz światła - twórca polskiej bioelektroniki*. (wstęp i opracowanie) T. Purtak, 55-68. Zeszyty Monograficzne, Nr 4. Warszawa-Radom: Ośrodek Działalności Kulturalnej i Edukacji Narodowej, Stowarzyszenie PAX w Warszawie, Ośrodek Promocji

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

Kultury Regionalnej w Radomiu.

- . **1992**. Informacja - system. W: *Zagadnienia filozoficzne współczesnej nauki. Wstęp do filozofii przyrody*, wydanie trzecie zmienione, M. Heller, M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 13-153. Warszawa: ATK.
- . **1993a**. Heurystyczna rola analogii. W: VI Ogólnopolskie Konwersatorium nt. "Sztuczna Inteligencja i Cybernetyka Rozwoju" - CIR'93 (cybernetyka - inteligencja - rozwój), 17-22. Siedlce, 28-29.09.1993. Siedlce-Warszawa: Wyd. Uczelniane WSRP w Siedlcach.
- . **1993b**. Wszechświat informacyjny. W: *Jaki światopogląd odpowiada rzeczywistości?* (Red.) J. J. Knappik, 72-84. Katowice: Księgarnia św. Jacka.
- . **1994**. Autoreferat o heurystycznej roli analogii. *Studia Philosophiae Christianae* 30 (1): 177-178.
- Lubański M. i Sz. W. Ślaga. **1980**. Proces badawczy w aspekcie systemowym. *Studia Philosophiae Christianae* 16 (1): 141-154.
- Lucas A. A., L. Henrard i P. Lambin. **1995**. Plasmons on spherical carbon shells. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B - Beam Interactions with Materials and Atoms* 96 (3-4): 470-477.
- Luckey T. D. **1982**. Physiological benefits from low levels of ionizing radiation. *Health Phys.* 43 (6): 771-789.
- . **1985**. Beneficial physiologic effects of ionizing radiation. W: *Die Hypothesen im Strahlenschutz. Strahlenschutz in Forschung und Praxis. Band XXV.* (Eds.) W. Leppin, J. Meißner, W. Börner i O. Messerschmidt, 184-196. Stuttgart: G. Thieme Verlag.
- Lumry R. **1995**. The New Paradigm for Protein Research. W: *Protein - Solvent Interactions.* (Ed.) R. B. Gregory, 1-141. New York: Marcel Dekker.
- Lumry R. i R. B. Gregory. **1986**. Free-energy management in protein reactions: concepts, complications, and compensation. W: *The Fluctuating Enzyme.* (Ed.) G. R. Welch, 1-190. New York: J. Wiley & Sons.
- Lund E. J. **1928a**. Relation between continuous bio-electric currents and cell respiration. II. *J. Exp. Zool.* 51: 265-290 (za Cope 1969 s. 519).
- . **1928b**. Relation between continuous bioelectric currents and cell respiration. V. The quantitative relation between E_p and cell oxidation as shown by the effects of cyanide and oxygen. *J. Exp. Zool.* 51: 327-337 (za Zon 1983 s. 165).
- Luscombe J. H. **1992**. Nanoelectronic modeling. W: *Nanostruct. Mesosc. Syst., Proc. Int. Symp.,* (Eds.) W. P. Kirk i M. A. Reed, 357-367. 1991. San Diego: Academic.
- Lyre H. **1995**. Quantum theory of ur-objects as a theory of information. *Int. J. Theoret. Phys.* 34 (8): 1541-1552.
- Łazarowicz W. G. **1978**. *Wlijanije elektromagnitnych polej na obmien wieszczestw w organizmie.* Lwow: izd. pri Lwowskom gosudarstwiennom uniwersitietie izdatielskogo objedinienija "Wiszcza Szkoła".
- Ługowski W. **1985**. *Kategoria zmiany jakościowej a biogeneza.* Wrocław Warszawa Kraków Gdańsk Łódź: Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wyd. PAN.
- . **1995**. *Filozoficzne podstawy protobiologii.* Warszawa: Wyd. IFiS PAN.
- Maddox J. **1987**. Quantum information storage. *Nature* 327 (14 May): 97.
- Madey T. E., J. T. Yates (Jr.), D. R. Sandstrom i R. J. H. Voorhoeve. **1976**. Catalysis by solid surfaces. W: *Treatise on Solid State Chemistry.* (Ed.) N. B. Hannay,

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

- 1-124. New York: Plenum Publ. Corp.
- 1996.** *Molecular Electronics. Properties, Dynamics, and Applications.* (Eds.) **G. Mahler, V. May i M. Schreiber**, New York & Basel: Marcel Dekker, Inc.
- Mahler G. i K. Obermayer. **1987.** Towards the quantum computer: information processing with single electrons. W: International Symposium on Synergetics: Computational Systems, (Ed.) H. Haken, Elmau, 1987. Springer. 12 pp. (preprint).
- Maizels N. i A. M. Weiner. **1993.** The genomic tag hypothesis: Modern viruses as molecular fossils of ancient strategies for genomic replication. W: *The RNA World.* (Eds.) R. F. Gesteland i J. F. Atkins, 577-601. Cold Spring Harbor Monographs Series, 24. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
- March N. H. **1985a.** Effect of exchange and Coulomb interactions on the π -electron assembly in polyacetylene. *Phys. Lett. A* 108A (7): 368-370.
- . **1985b.** Electron correlation and electron momenta in polyacetylene. *Int. J. Quantum Chem., Quantum Chem. Symp.* 19 (Proc. Int. Symp. At., Mol. Solid-State Theory, Scattering Probl., Many Body Phenom., Comput. Quantum Chem., 1985): 719-727. (CA 105: 30281w).
- Marcus R. A. i N. Sutin. **1985.** Electron transfers in chemistry and biology. *Biochim. Biophys. Acta* 811 (3): 265-322.
- Marcz N. i M. Parinello. **1986.** *Kollektiwne efekty w twierdych ciałach i ciekłościach.* (tł. ros. z ang.) Moskwa: izd. "Mir".
- Marijuán P. C. **1991.** Enzymes and theoretical biology: sketch of an informational perspective of the cell. *BioSystems* 25 (4): 259-274.
- . **1995.** Enzymes, artificial cells and the nature of biological information. *BioSystems* 35 (2-3): 167-170.
- . **1996.** First conference on foundations of information science: From computers and quantum physics to cells, nervous systems, and societies. *BioSystems* 38 (2-3): 87-96.
- . **1996.** 'Gloom in the society of enzymes': On the nature of biological information. *BioSystems* 38 (2-3): 163-171.
- Marijuán P. C. i J. Westley. **1992.** Enzymes as molecular automata - A reflection on some numerical and philosophical aspects of the hypothesis. *BioSystems* 27 (2): 97-113.
- 1988.** *Modern Bioelectricity.* (Ed.) **A. A. Marino**, New York & Basel: Marcel Dekker, Inc.
- Markin V. S., D. Liu, M. D. Rosenberg i Y. Y. Tsong. **1992.** Resonance transduction of low level periodic signals by an enzyme: an oscillatory activation barrier model. *Biophys. J.* 61 (4): 1045-1049 (CA 116: 210146s).
- Markov M. S. **1988.** Electromagnetic fields - a new ecological factor. W: *Electromagnetic Fields and Biomembranes.* (Eds.) M. Markov i M. Blanck, 135-140. New York London: Plenum Press.
- 1988.** *Electromagnetic Fields and Biomembranes.* (Eds.) **M. Markov i M. Blank**, New York & London: Plenum Press.
- Marshall I. N. **1989.** Consciousness and Bose-Einstein condensates. *New Ideas Psychol.* 7: 73-83.
- Martin A. H. i G. C. Moses. **1995.** Effectiveness of noise in blocking electromagnetic effects on enzyme activity in the chick embryo. *Biochem. Mol. Biol. Int.* 36

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

(1): 87-94.

- Mascarenhas S. **1980**. Bioelectrets: electrets in biomaterials and biopolymers. *Top. Appl. Phys.* 33 (Electrets): 321-346.
- . **1987**. Bioelectrets - electrets in biomaterials and biopolymers. W: *Electrets*, 2nd enlarged edition (Ed.) G. M. Sessler, 321-346. Topics in Applied Physics, 33. Berlin: Springer-Verlag.
- Mathews F. S. i S. White. **1993**. Electron Transfer Proteins/Enzymes. *Curr. Opinion Struct. Biol.* 3 (6): 902-911.
- Matsumoto G. i T. Iijima. **1989**. Neurons as microprocessors with a kind of memory function. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. T. Hong, 213-222. New York: Plenum Press.
- Matsuno K. **1984**. Is matter inanimate?: Protobiological information from within. *Origins Life* 14 (1-4): 489-496.
- . **1995**. Quantum and biological computation. *BioSystems* 35 (2-3): 209-212.
- Maurel M. C. **1991**. Primitive evolution: early information transfer and catalysis by purines. *Lect. Notes Phys.* 390 (Bioastronomy): 93-98 (CA 117: 126622g).
- May V. **1989**. Bioelectronics and electron transfer in proteins. *Studia Biophys.* 132 (1-2): 35-46.
- Mazierski S. **1969**. *Prolegomena do filozofii przyrody inspiracji arystotelesowsko-tomistycznej*. Lublin: Wyd. TN KUL.
- Mazur M. **1966**. *Cybernetyczna teoria układów samodzielnych*. Warszawa: PWN.
- . **1970**. *Jakościowa teoria informacji*. Warszawa: WNT.
- McAlear J. H. i J. M. Wehrung. **1982**. Biotechnical electron devices. W: *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, 175-179. New York: M. Dekker, Inc.
- . **1987**. The biochip: now, 2,000 A.D., and beyond. W: *Molecular Electronic Devices II*. (Ed.) F. L. Carter, 623-633. New York: M. Dekker, Inc.
- McDonald J. A. **1993**. Neurocomputing - Bridging the real world and the world of computers. *Biosensors & Bioelectronics* 8 (5): R21-R25.
- McEvoy J. **1982**. *The Philosophy of Robert Grosseteste*. Oxford: Clarendon Press.
- McGlade J. i P. Allen. **1986**. Evolution of multifunctionalism in enzymes: specialist versus generalist strategies. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43 (5): 1052-1058.
- McLeod B. R. i A. R. Liboff. **1986**. Dynamic characteristics of membrane ions in multifield configurations of low-frequency electromagnetic radiation. *Bioelectromagnetics* 7 (2): 177-189.
- McLeod B. R., A. R. Liboff i S. D. Smith. **1992**. Electromagnetic gating in ion channels. *J. Theoret. Biol.* 158 (1): 15-31.
- McLeod B. R., S. D. Smith, K. E. Cooksey i A. R. Liboff. **1987**. Ion cyclotron resonance frequencies enhance Ca⁺⁺-dependent mobility in diatoms. *J. Bioelectricity* 6 (1): 1-12.
- McNeil C. J., D. Athey i W. O. Ho. **1995**. Direct electron transfer bioelectronic interfaces: Application to clinical analysis. *Biosensors & Bioelectronics* 10 (1-2): 75-83.
- Meier H. **1974**. *Organic Semiconductors. Dark- and Photoconductivity of Organic Solids*. Weinheim: Verlag Chemie.
- Meijer P. H. E. i A. van Roggen. **1988**. Polymer electronic devices. *J. Mol. Electronics* 4 (2): 119-124.
- Mesquita M. V., A. R. Vasconcellos i R. Luzzi. **1993**. Amplification of coherent polar

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

- vibrations in biopolymers - Fröhlich condensate. *Phys. Rev. E* 48 (5): 4049-4059.
- Meyer A. Y. **1986**. The size molecules. *Chem. Soc. Rev.* 15 (4): 449-474.
- Mikołajczyk H. **1990**. Działanie pól i promieniowania elektromagnetycznego na obiekty biologiczne. W: *Biospektroskopia*. Tom 5. (Red.) J. Twardowski, 153-234. Warszawa.
- Milani M., E. Del Giudice, S. Doglia, G. Vitiello i C. W. Smith. **1991**. Superconductive and Josephson-like behaviour of cells. *Radiol. Med.* 81 (Suppl. 1 al N. 4): 51-55.
- Miller D. A. **1991**. Useful perspective on the relation between biological and physical descriptions of phenomena. *J. Theoret. Biol.* 152 (3): 341-356.
- . **1992**. Agency as a quantum-theoretic parameter-synthetic and descriptive utility for theoretical biology. *Nanobiology* 1: 361-371.
- Mintmire J. W. i C. T. White. **1983**. Theoretical treatment of the dielectric response of all-transpolyacetylene. *Phys. Rev. B* 27 (2): 1447-1449.
- 1985**. *Information Processing in Biological Systems*. (Eds.) S. L. Mintz i A. Perlmutter, New York: Plenum Press.
- Mishra R. K., K. Bhaumik, S. C. Mathur i S. Mitra. **1979**. Excitons and Bose-Einstein condensation in living systems. *Int. J. Quantum Chem.* 16 (4): 691-706 (CA 92: 1712v).
- Mishra R. K. i K. Bhaumik. **1983**. Theory of living state. VII. Bose-Einstein-like ordering in temperature and time domain. *Int. J. Quantum Chem.* 23 (4): 1579-1587.
- Misner C. W. **1987**. Niematerialne składowe obiektów fizycznych. W: *Filozofować w kontekście nauki*. (Red.) M. Heller, A. Michalik i J. Życiński, 164-169. Kraków: PTT.
- Molski M. **1991**. Extended wave-particle description of longitudinal photons. *J. Phys. A: Math. Gen.* 24: 5063-5075.
- . **1993**. Ancient cosmological tachyons in the present-day world. *Hadronic J.* 16: 207-215.
- . **1993**. An electromagnetic approach to special relativity and quantum mechanics. *Physics Essays* 6 (1): 143-146.
- . **1993**. Tachyonic properties of space- and time-trapped electromagnetic fields. *J. Phys. A: Math. Gen.* 26: 1765-1774.
- . **1994**. Electromagnetic model of extended spin-0 particles. *Annales de la Fondation Louis de Broglie* 19 (4): 361-372.
- . **1994**. Possibility of massive luminal-type objects. *Phys. Essays* 7 (1): 99-102.
- Morawitz H. **1978**. Surface plasmon effects on molecular decay processes near metallic interfaces. W: *Coherence in Spectroscopy and Modern Physics*. (Eds.) F. T. Arecchi, R. Bonifacio i M. O. Scully, 261-300. NATO Adv. Study Inst. Ser., Ser. B, New York: Plenum Publ. Corp.
- Morawitz H. i M. R. Philpott. **1974**. Coupling of an excited molecule to surface plasmons. *Phys. Rev. B* 10 (12): 4863-4868.
- Moriizumi T. **1987**. *Bioelectronics. (Baioerekutoronikkusu) (w jap.)*. Tokyo: Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd. (CA 106: 94510y).
- Moriya T. **1984**. A view of biocomputer from the standpoint of molecular electronics (w jap.). *Denshi Tsushin Gakkaishi* 67 (5): 569-572.

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

- Morowitz H. J. **1978**. Proton semiconductors and energy transduction in biological systems. *Am. J. Physiol.* 235 (3): R99-R114.
- Moseley H. i D. Allan. **1987**. Intensity of the flash associated with laser-induced plasma in the eye. *Phys. Med. Biol.* 32 (9): 1159-1166.
- Moser C. C., C. C. Page, R. Farid i P. L. Dutton. **1995**. Biological electron transfer. *J. Bioenerg. Biomembr.* 27 (3): 263-274.
- Moskwa W. **1988**. Hipotezy alternatywne wobec koncepcji bioplazmy. W: Bioplazma. Materiały II Konferencji nt. bioplazmy, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 139-157. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 18 XII 1985. Lublin: RW KUL.
- Mountain D. C. i A. E. Hubbard. **1994**. A piezoelectric model of outer hair cell function. *J. Acoust. Soc. Am.* 95 (1): 350-354.
- Mroziewicz B., M. Bugajski i W. Nakwaski. **1985**. *Lasery półprzewodnikowe*. Warszawa: PWN.
- Muir A. **1982**. Holism and reductionism are compatible. W: *Against Biological Determinism. The Dialectics of Biology Group*. (Ed.) S. Rose, 122-135. London - New York: Allison & Busby.
- Muller A. W. J. **1983**. Thermoelectric energy conversion could be an energy source of living organisms. *Phys. Lett. A* 96A (6): 319-321.
- Munn R. W. **1992**. Molecules as electronic components. *BioSystems* 27 (4): 207-211.
- Muschik W. i M. Kaufmann. **1994**. Quantum-thermodynamical description of discrete non-equilibrium systems. *J. Non-Equibr. Thermodyn.* 19 (1): 76-94.
- Nagayama K. **1992**. Protein array: an emergent technology from biosystems. *Nanobiology* 1 (1): 25-37.
- Nakahara Y., K. Kimura, H. Inokuchi i T. Yagi. **1979**. Electrical conductivity of solid state proteins: simple proteins and cytochrome c3 as anhydrous film. *Chem. Lett.* : 877-880.
- Nazar A. S. M. I. i S. K. Dutta. **1994**. Effect of ELF magnetic fields on enolase activity. *Electro- & Magnetobiol.* 13 (3): 175-181.
- Neshev N. N. i E. I. Kirilova. **1995**. Synchronization of functioning in enzyme reactions by amplitude-modulated electromagnetic field. *Electro- & Magnetobiol.* 14 (1): 17-21.
- Nicolini C. **1995**. From neural chip and engineered biomolecules to bioelectronic devices: An overview. *Biosensors & Bioelectronics* 10 (1-2): 105-127.
- Nicolis J. S. **1987**. Chaotic dynamics in biological information processing: a heuristic outline. *Nuovo Cimento D - Cond. Matt. At.* 9 (11): 1359-1388.
- Niedersen U. **1986**. Alwin Mittasch - Katalysechemiker, Katalysehistoriker und Katalysephilosoph. *Wiss. Z. Univ. Halle* 35 (5): 151-158.
- Niki K. **1991**. Electronic functions of cytochrome c3 for electronic devices (w jap.). *Kino Zairyo* 11 (7): 5-17 (CA 116: 53746t).
- Niki K., T. Yagi i H. Inokuchi. **1982**. Electrochemical studies of cytochrome c3 of *Desulfovibrio vulgaris*. *Adv. Chem. Ser.* 201 (Electrochem. Spectrochem. Stud. Biol. Redox Compon.): 199-218.
- Nordenström B. E. W. **1992**. Link between external electromagnetic field and biological matter. *Int. J. Environmental Studies* 41: 233-250.
- 1988**. *Electromagnetic Fields and Neurobehavioral Function*. (Eds.) M. E. Oconnor i R. H. Lovely, New York: A. R. Liss, Inc.
- Ogura A. i S. Isoda. **27 January 1988a**. A bioelectric device with an electron-

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

- transporting protein. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,855 [88 19,855] (Cl.H01 L29/28)* Appl. 86/164,188, 11 Jul 1986: 17pp. (CA 109: 30996r).
- . **27 January 1988b**. A rectifying or switching bioelectric device with an electron-transporting protein. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,857 [88 19,857] (Cl.H01 L29/28)* Appl. 86/164,190, 11 Jul 1986: 4pp. (CA 109: 30994p).
- Ogura A., T. Kamiyama i S. Isoda. **27 January 1988c**. A bioelectric device with an electron-transporting protein. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,856 [88 19,856] (Cl.H01 L29/28)* Appl. 86/164,189, 11 Jul 1986: 13pp. (CA 109: 30995q).
- Ohnishi K. **1990**. Evolutionary meanings of the primary and secondary structures of the 'UR-RNA', a primitive possibly self-replicating ribo-organism commonly ancestral to tRNAs, 5S-rRNA and virusoids. W: *Symmetries Sci.* 4 [Proc. Symp. 1989], (Eds.) B. Gruber i J. H. Yopp, 147-176. New York: Plenum.
- . **1992**. Selfish origin of virusoids from M1 RNA-like ribozyme homologous to the *E. coli* *rrnD* operon, as viewed from the origin and evolution of tRNA. *Endocytobiosis Cell Res.* 8 (2/3): 109-120.
- Okamoto M. i K. Hayashi. **1986**. Dynamic characteristics of enzymatic cyclic reaction systems role of the biochemical switching circuit. *Seibutsu Butsuri* 26 (1): 1-10 (CA 106: 46088v).
- Okamoto M., T. Sakai i K. Hayashi. **1987**. Switching mechanism of a cyclic enzyme system: role as a 'chemical diode'. *BioSystems* 21 (1): 1-11.
- Okamoto M. i M. Wada. **1984**. Biochips (biochemical electronic devices) (w jap.). *Kagaku to Kogyo (Tokyo)* 37 (3): 170-172.
- Olsen G. J. i C. R. Woese. **1993**. Ribosomal RNA: A key to phylogeny. *FASEB J.* 7 (1): 113-123.
- Oparin A. I. **1968**. *Powstanie życia na Ziemi (tl. z ros.)*. Warszawa: PWN.
- Orgel L. E. **1986a**. Molecular replication and the origins of life. W: *The Lesson of Quantum Theory*. (Eds.) J. de Boer, E. Dal i O. Ulfbeck, 283-294. Amsterdam: Elsevier Sci. Publ.
- . **1986b**. RNA catalysis and the origins of life. *J. Theoret. Biol.* 123 (2): 127-149.
- Orgel L. E. i F. H. C. Crick. **1993**. Anticipating an RNA world - Some past speculations on the origin of life - where are they today. *FASEB J.* 7 (1): 238-239.
- Östling D., P. Apell i A. Rosen. **1993**. Surface Plasmons of C60. *Zeitschrift Fur Physik D - Atoms Molecules and Clusters* 26 (Suppl.): S282-S284.
- Pace N. R. i J. W. Brown. **1995**. Evolutionary perspective on the structure and function of ribonuclease P, a ribozyme. *J. Bacteriol.* 177 (8): 1919-1928.
- Pace N. R. i T. L. Marsch. **1985**. RNA catalysis and the origin of life. *Origins Life* 16 (2): 97-116.
- Pacold M. E., L. E. Anderson, D. Li i F. J. Stevens. **1995**. Redox sensitivity and light modulation of enzyme activity in the rhodophytes *Gracilaria tikvahiae* and *Chondrus crispus*. *J. Phycol.* 31 (2): 297-301.
- 1987**. *Enzyme Mechanisms*. (Eds.) **M. I. Page i A. Williams**, London, UK: Royal Society of Chemistry. (CA 108: 52014a).
- Paine D. A. i W. L. Pensinger. **1979**. A dynamical theory describing superconductor

- DNA. *Int. J. Quant. Chem.* 15: 333-341.
- Pakszys E. i D. Sobczyńska. **1984.** Od ewolucji chemicznej ku biologicznej. Próba analizy systemowej. *Studia Filozoficzne* 5 (222): 163-194.
- Palacz R. **1979.** Witelo jako filozof. W: *Witelo - Matematyk, Fizyk, Filozof.* (Red.) J. Trzynadłowski, 51-68. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, Seria A, Nr 206. Wrocław: Zakład Narodowy im. Ossolińskich - Wydawnictwo.
- Pang X.-F. **1995.** A molecular dynamical theory of ultraweak bio-photon emission in the living systems and its properties (1). *Chinese J. Atomic & Mol. Phys.* 12 (4): 411-419.
- . **1996.** A molecular dynamical theory of ultraweak bio-photon emission in the living systems and its properties (II). *Chinese J. Atomic & Mol. Phys.* 13 (1): 70-78.
- Partovi M. H. **1989.** Quantum thermodynamics. *Phys. Lett. A* 137 (9): 440-444.
- Paton R. C. **1992.** Towards a metaphorical biology. *Biology & Philosophy* 7: 279-294.
- . **1993.** Some computational models at the cellular level. *BioSystems* 29 (2-3): 63-75.
- Paton R. **1996.** Metaphors, models and bioinformation. *BioSystems* 38 (2-3): 155-162.
- Paton R. C., H. S. Nwana, M. J. R. Shave i T. J. M. Benchcapon. **1994.** An examination of some metaphorical contexts for biologically motivated computing. *Brit. J. Philos. Sci.* 45 (2): 505-525.
- Pattee H. H. **1987.** Instabilities and information in biological self-organization. W: *Self-Organizing Systems. The Emergence of Order.* (Eds.) F. E. Yates, A. Garfinkel, D. O. Walter i Yates. G. B., 325-338. New York: Plenum Press.
- Penrose R. **1995.** *Nowy umysł cesarza. O komputerach, umyśle i prawach fizyki (tl. z ang.).* Warszawa: Wyd. Naukowe PWN.
- Pethig R. **1979.** *Dielectric and Electronic Properties of Biological Materials.* Chichester: J. Wiley & Sons.
- . **1982.** Electronic conduction in biopolymers. W: *Electronic Conduction and Mechanoelectrical Transduction in Biological Materials.* (Ed.) B. Lipinski, 1-98. New York: M. Dekker.
- . **1982.** A review of some present molecular and submolecular physical concepts in biology. *J. Biol. Phys.* 10 (4): 201-218.
- Pethig R. i A. Szent-Györgyi. **1980.** Bioelectrochemistry, the living state, and electronic conduction in proteins. W: *Bioelectrochemistry* [Proc. U.S. - Aust. Jt. Semin.], (Eds.) H. Keyzer i F. Gutmann, 227-252. 1979. New York: Plenum Publ. Corp.
- Pethrick R. A. **1987.** Molecular electronics - Electronic applications of organic molecules and polymers. *Interdisciplin. Sci. Rev.* 12 (3): 278-284.
- Phadke R. S. **1995a.** Immobilization of enzymes/coenzymes for molecular electronics applications. *BioSystems* 35 (2-3): 179-182.
- . **1995b.** Molecular electronics. *Indian J. Pure & Appl. Phys.* 33 (9): 583-586.
- Phadke R. S., H. M. Sonawat i G. Govil. **1988.** Biomolecular electronics using coenzymes immobilized on solid supports. *J. Mol. Electronics* 4 (Suppl.): S67-S74.
- . **7 September 1991.** Preparation of solid support containing immobilized coenzymes in biomolecular electronics or biobatteries. Patent: *Indian IN 169,121 (Cl. C12N11/00)* Appl. 87/DE222 (17 Mar 1987): 18 pp. (CA 119: 176671j).
- Philpott M. R. **1978.** Optical spectroscopy of surface excitations in molecular crystals

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

- and monomolecular layers. W: *Topics in Surface Chemistry*. (Eds.) E. Kay i P. S. Bagus, 329-372. New York: Plenum Publ. Corp.
- Pietrow E. G. **1984**. *Fizika pierienosa zariadow w biosystemach*. Kijew: Naukowa Dumka.
- Piękoś R. **1982**. Krzemowe tło życia. *Roczniki Filozoficzne* 30 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 27-46.
- . **1986**. Silicydalna teoria życia profesora Sedlaka. *Biul. Kwart. Radomskiego Tow. Nauk.* 23 (3-4): 121-132.
- Pilla A. A., R. E. Schmukler, J. J. Kaufman i G. Rein. **1985**. Electromagnetic modulation of biological processes: consideration of cell - waveform interactions. W: *Interactions between Electromagnetic Fields and Cells*. (Eds.) A. Chiabrera, C. Nicolini i H. P. Schwan, 423-435. NATO ASI Series, Series A, Life Sciences, 97. New York: Plenum Press.
- Planck M. **1970**. *Jedność fizycznego obrazu świata. Wybór pism filozoficznych*. Warszawa: KiW.
- Platcman F. i P. Wolf. **1975**. *Wolny i wzajemodziejstwa w plazmie twierdowo tiela*. (tł. ros. z ang.). Moskwa: izd. "Mir".
- Podbielski T. i S. Grabiec. **1978**. Informacyjna rola pola elektrycznego w biologii. *Zesz. Nauk. Stow. PAX* (3(20)): 98-112.
- Pokorny J. i J. Fiala. **1992**. Heat bath coupling effects in coherent vibration systems. *Europhys. Lett.* 19 (8): 729-734.
- Pollo I. **1990**. Powstawanie w plazmach systemów molekularnych o wysokim poziomie energii swobodnej. W: *Bioelektronika. Materiały VI Sympozjum*, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 115-125. Katolicki Uniwersytet Lubelski, Lublin, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- Popławski R. P. **1981**. *Termodinamika informacyjnych procesów*. Moskwa: izd. Nauka.
- Popp F. A. **1979**. Photon storage in biological systems. W: *Electromagnetic Bio-Information. Proceedings of the Symposium*, (Eds.) F. A. Popp, G. Becker, H. L. König i W. Peschka, 123-149. Marburg, 5 September 1977. München: Urban & Schwarzenberg.
- . **1983a**. Photons, and their importance to biology. W: *Proceedings of International Symposium on Wave Therapeutics Interaction of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation with Living Systems*, (Ed.) Z. W. Wolkowski, 43-59. Versailles, May 19-20, 1979. Paris.
- . **1983b**. Electromagnetic control of cell processes. W: *Proceedings of International Symposium on Wave Therapeutics. Interaction of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation with Living Systems*, (Ed.) Z. W. Wolkowski, 60-94. Versailles, May 19-20, 1979. Paris.
- . **1992a**. *Biologia światła (tł. z niem.)*. Warszawa: WP.
- . **1992b**. Evolution as expansion of coherent states. W: *The Interrelationship Between Mind and Matter. Proceedings of a Conference Hosted by the Center for Frontier Sciences*, (Ed.) B. Rubik, 249-281. Temple University Sugarloaf Conference Center, Philadelphia, PA, May 1989. Philadelphia, PA: The Center for Frontier Sciences, Temple University, Philadelphia, Pennsylvania.
- 1979**. *Electromagnetic Bio-Information. Proceedings of the Symposium*, (Eds.) F. A. Popp, G. Becker, H. L. König i W. Peschka, Marburg, 5 September 1977.

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

München: Urban & Schwarzenberg.

- 1992.** *Recent Advances in Biophoton Research and Its Applications.* (Eds.) **F. A. Popp, K. H. Li i Q. Gu**, London: World Scientific Publishing Co.
- Popp F. A., K. H. Li, W. P. Mei, M. Galle i R. Neurohr. **1988.** Physical aspects of biophotons. *Experientia* 44 (7): 576-585.
- Popper K. R., B. I. B. Lindahl i P. Århem. **1993.** A discussion of the mind-brain problem. *Theor. Med.* 14: 167-180.
- Portelli C. **1979.** The origin of life. A cybernetic and informational process. *Acta Biotheoretica* 28 (1): 19-47.
- Potember R. S., R. C. Hoffman, H. S. Hu, J. E. Cocchiario, C. A. Viands, R. A. Murphy i T. O. Poehler. **1987a.** Conducting organics and polymers for electronic and optical devices. *Polymer* 28 (April (Conference issue)): 574-580.
- Potember R. S., R. C. Hoffman, H. S. Hu, J. E. Cocchiario, C. A. Viands i T. O. Poehler. **1987b.** Electronic devices from conducting organics and polymers. *Polym. J. (Tokyo)* 19 (1): 147-156.
- Potember R. S., R. C. Hoffman, H. S. Hu i K. R. Speck. **1988.** Molecular devices for optical computing. W: *Molecular Electronic Devices, Proc. 3rd Int. Symp. on Molecular Electronic Devices*, (Eds.) F. L. Carter, R. E. Siatkowski i H. Wohltjen, 663-677. Arlington, Virginia, 6-8 October 1986. Amsterdam: North-Holland.
- Potember R. S., R. C. Hoffman i T. O. Poehler. **1986.** Molecular electronics. *Johns Hopkins APL Tech. Dig.* 7 (2): 129-141 (CA 105: 106333n).
- 1985.** *Elektronnyje prociessy w organiczeskich kristallach. Tom 1. (tl. ros. z ang.).* (Red.) **M. Poup i Cz. Swienberg**, Moskwa: izd. "Mir".
- 1985.** *Elektronnyje prociessy w organiczeskich kristallach. Tom 2. (tl. ros. z ang.).* (Red.) **M. Poup i Cz. Swienberg**, Moskwa: izd. "Mir".
- Powers L. **1989.** Biomolecular electronics: Structure - function relationship. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers.* (Ed.) F. T. Hong, 115-123. New York: Plenum Press.
- . **1994.** Biomolecular materials and design. W: *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, Vol. III.* (Ed.) K. Sienicki, 211-222. *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices*, 3. Boca Raton: CRC Press Inc.
- Pożęła J. M. **1977.** *Plazma i tokowyje nieustojczywosti w poluprowodnikach.* Moskwa: izd. "Nauka".
- Pratt J. M. **1986.** Metalloenzymes as molecular switches: the role of conformation changes in controlling activity. *J. Inorg. Biochem.* 28 (2-3): 145-153 (CA 106: 80652j).
- Presman A. S. **1971.** *Pola elektromagnetyczne z żywa przyroda (tl. z ros.).* Warszawa.
- Przybylski A. **1974.** Aspekt energetyczny i informacyjny bodźca biologicznego i jego implikacje ewolucyjne. W: *Ewolucja biologiczna. Szkice teoretyczne i metodologiczne.* (Red.) C. Nowiński, 159-207. Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk: Zakład Narodowy im. Ossoliskich, Wyd. PAN.
- . **1976.** Jakość i wartość informacji w układzie żywym. W: *Ewolucja biologiczna. Problemy informacji i rozwoju. Szkice teoretyczne i metodologiczne.* (Red.) C. Nowiński, 37-81. Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk: Zakład Narodowy im. Ossoliskich, Wyd. PAN.
- . **1979.** Koherencja informacyjno-energetyczna układu żywego. W: *Bioelektronika.*

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

- Materiały I Krajowego Sympozjum nt. bioelektroniki, (Red.) W. Sedlak, 177-184. KUL, Lublin, 14-15 V 1975. Lublin: Wyd. TN KUL.
- Pullman B. **1972**. Electronic factors in biochemical evolution. W: *Exobiology*. (Ed.) C. Ponnamperna, 136-169. Amsterdam: North-Holland Publ. Comp.
- Pullman B. i A. Pullman. **1962**. Electronic delocalization and biochemical evolution. *Nature* 196 (4860): 1137-1142.
- Quickenden T. I. i S. S. Que Hee. **1981**. On the existence of mitogenetic radiation. *Specul. Sci. Technol.* 4 (5): 453-464.
- Quickenden T. I. i R. N. Tilbury. **1986**. A critical examination of the bioplasma hypothesis. *Physiol. Chem. Phys. Med. NMR* 18 (2): 89-101.
- Rachimow M. W. **1986**. Biologiczeskije mikroustrojstwa s fiermientnym usilienijem. *Biofizika* 31 (4): 704-710.
- Rajfur Z. **1994**. Photon emission from chemically perturbed yeast cells. *J. Bioluminescence & Chemiluminescence* 9 (2): 59-63.
- Raković D., D. Koruga, D. Djaković, Z. Martinović, V. Desimirović i D. Minić. **1989**. Ultralow frequency 'optical' biocomputers: Biophysical arguments. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. T. Hong, 397-405. New York: Plenum Press.
- Raković D., D. Koruga, Z. Martinović i G. Stanojević. **1989**. On biophysical structure of brain-like biocomputers. W: Proc. 2nd Int. Conf. Mol. Electr. & Biocomp., Moscow, 11-15 September 1989. Kluwer Publ. 8 pp. (preprint).
- Rambidi N. G. **1992**. Towards a biomolecular computer. *BioSystems* 27 (4): 219-222.
- . **1993**. Non-discrete biomolecular computing - an approach to computational complexity. *BioSystems* 31 (1): 3-13.
- . **1994**. Biomolecular computing: From the brain-machine disanalogy to the brain-machine analogy. *BioSystems* 33 (1): 45-54.
- . **1995**. Practical approach to implementation of neural nets at the molecular level. *BioSystems* 35 (2-3): 195-198.
- Rambidi N. G. i D. S. Chernavskii. **1991**. Towards a biomolecular computer. 2. Information-processing and computing devices based on biochemical non-linear dynamic systems. *J. Mol. Electronics* 7 (3): 115-125.
- Rambidi N. G., D. S. Chernavskii i V. I. Krinsky. **1993**. Information processing and computing devices based on biomolecular nonlinear dynamic systems. W: *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, Vol 1*. (Ed.) K. Sienicki, 85-153. Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, 1. Boca Raton: CRC Press Inc.
- Rambidi N. G., D. S. Chernavskii i Y. M. Sandler. **1991**. Towards a biomolecular computer. 1. Ways, means, objectives. *J. Mol. Electronics* 7 (3): 105-114.
- Rambidi N. G. i A. V. Maximychev. **1995**. Molecular neural network devices based on non-linear dynamic media: Basic primitive information processing operations. *BioSystems* 36 (2): 87-99.
- Rambidi N. G., A. V. Maximychev i A. V. Usatov. **1994**. Molecular neural network devices based on non-linear dynamic media. *BioSystems* 33 (2): 125-137.
- Rambidi N. G. i V. M. Zamalin. **1986**. Molecular microelectronics: physical premises and possible ways of development. *Poverkhnost* (8): 5-30 (CA 105: 124898e).
- Ramsden J. J., R. Tóth-Bocanadi i L. Keszthelyi. **1988**. Electron transfer at the semiconductor-protein interface. *J. Mol. Electronics* 4 (Suppl.): S91-S97.

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

- Randall J. N., M. A. Reed i G. A. Frazier. **1989**. Nanoelectronics: fanciful physics or real devices? *J. Vac. Sci. Technol., B* 7 (6): 1398-1404.
- Rao N. N. i P. Natarajan. **1994**. Particulate models in heterogeneous photocatalysis. *Current Science* 66 (10): 742-752.
- Rasmussen S., H. Karampurwala, R. Vaidyanath, K. S. Jensen i S. Hameroff. **1990**. Computational connectionism within neurons: A model of cytoskeletal automata subserving neural networks. *Physica D* 42: 428-449.
- Renneberg R., F. Schubert i F. Scheller. **1986**. Coupled enzyme reactions for novel biosensors. *Trends Biochem. Sci. (Pers. Ed.)* 11 (5): 216-220.
- Ressler N. **1982**. Electronic aspects of enzyme catalysis. Proton-electron density displacements. *J. Theoret. Biol.* 97: 195-225.
- Rhodes W. **1991**. Quantum thermodynamics - The microscopic basis of entropy and linear thermodynamic relations. *J. Phys. Chem.* 95 (25): 10246-10252.
- Ricard J. **1985**. Organized polymeric enzyme systems: catalytic properties. W: *Organized Multienzyme Systems*. (Ed.) G. R. Welch, 177-240. Orlando, Fla.: Academic Press.
- . **1989**. Modulation of enzyme catalysis in organized biological systems: a physico-chemical approach. *Catal. Today* 5 (3): 275-384 (CA 111: 111048b).
- Ritsko J. J. **1982**. Momentum-dependent dielectric function of polyacetylene. *Phys. Rev. B* 26 (4): 2192-2198.
- Ritsko J. J., G. Creelius i J. Fink. **1983**. Electron-energy-loss spectroscopy of polydiacetylenes. *Phys. Rev. B* 27 (8): 4902-4908.
- Ritsko J. J., E. J. Mele, A. J. Heeger, A. G. MacDiarmid i M. Ozaki. **1980**. Momentum dependence of electronic excitations in polyacetylene. *Phys. Rev. Lett.* 44 (20): 1351-1354.
- Ritsko J. J., D. J. Sandman, P. C. Gibbons, S. E. Schnatterly i J. Fields. **1975**. Direct measurement of one-dimensional plasmon dispersion and damping. *Phys. Rev. Lett.* 34 (21): 1330-1333.
- Roberts G. G. **1984**. Molecular electronics using Langmuir-Blodgett films. W: *Technol. Chem. Mater. Electron.* (Ed.) E. R. Howells, 149-162. Chichester, UK: Horwood. (CA 102: 177081c).
- . **1985**. An applied science perspective of Langmuir-Blodgett films. *Adv. Phys.* 34 (4): 475-512.
- Robertson M. P. i S. L. Miller. **1995**. Prebiotic synthesis of 5-substituted uracils: A bridge between the RNA world and the DNA-protein world. *Science* 268 (5211): 702-705.
- Robinson B. H. i N. C. Seeman. **1987**. The design of a biochip: a self-assembling molecular-scale memory device. *Protein Eng.* 1 (4): 295-300 (CA 107: 227418u).
- Roffey L. E. i J. L. Oschman. **1994**. The bioelectronic basis for 'healing energies'; charge and field effects as a basis for complementary medical techniques. W: International Symposium for Charge and Field Effects, Virginia Commonwealth University, June 1994. 27 pp. (preprint).
- Rosiński T. **1967**. Próby wprowadzenia pojęcia pola do biologii teoretycznej. *Roczniki Filozoficzne* 15 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 89-99.
- Rossi E. L. **1996**. The psychobiology of mind-body communication: The complex, self-organizing field of information transduction. *BioSystems* 38 (2-3): 199-

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

206.

- Roth S., G. Mahler, Y. Shen i F. Coter. **1989**. Molecular electronics of conducting polymers. *Synthetic Metals* 28 (1-2): C815-C822.
- Rubin A. B. i W. P. Szynkariew. **1984**. *Transport elektronow w biologiczesczych systiemach*. Moskwa: izd. "Mir".
- Rubio A., J. A. Alonso, J. M. Lopez i M. J. Stott. **1993**. Surface plasmon excitations in C60, C60K and C60H clusters. *Physica B* 183 (3): 247-263.
- Rudenko A. P. **1969**. *Teorija samorazwitija otkrytych kataliticeskich systiem*. Moskwa: izd. Moskowskogo Uniwiersitieta.
- 1970**. *Palaeogeophysics*. (Ed.) S. K. Runcorn, London and New York: Academic Press.
- Rusanow W. D. i A. A. Fridman. **1984**. *Fizika chemiczeski aktywnej plazmy*. Moskwa: izd. "Nauka".
- Ruth B. **1979**. Experimental investigations on ultraweak photon emission. W: *Electromagnetic Bio-Information. Proceedings of the Symposium*, (Eds.) F. A. Popp, G. Becker, H. L. König i W. Peschka, 107-122. Marburg, 5 September 1977. München: Urban & Schwarzenberg.
- Rybalczenko W. K. i M. D. Kurski. **1977**. *Molekularnaja organizacija i fiermentatiwnaja aktivnost' biologiczesczych miembran*. Kijew: izd. "Naukowa Dumka".
- Rybnikow W. I. **1975**. K woprosu o wlijanii mikrowoła na katalaznuju aktivnost' *Solmonella ovis* i *Staphylococcus aureus* 209P. W: *Wlijanije magnitnych polej na biologiczesczije objekty*, 66. Kaliningrad. (za Łazarowicz 1978k s. 86).
- Rylska T. **1973**. O życiu biologicznym. W: *Z zagadnień kultury chrześcijańskiej*. (Komitet Redakcyjny) K. Wojtyła, P. Kałwa, E. Materski, B. Pylak, W. Wójcik, M. A. Krapiec, A. Słomkowski, J. Iwanicki, M. Rechowicz, W. Granat, W. Poplatek, J. Rybczyk, S. Kamiński, J. Kłoczowski i S. Sawicki, 651-664. Lublin: Wyd. TN KUL.
- Sachtler W. M. H. **1995**. Heterogeneous catalysis at an atomic scale. *Ber. Bunsen Gesellschaft Phys. Chem. Chem. Phys.* 99 (11): 1295-1305.
- Saito M., T. Koyano, H. Miyamoto, K. Umibe i M. Kato. **20 February 1992**. Manufacture of biochips for computer. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 04 52,527 [9252,527] (Cl.G01J1/00)* Appl. 90/161,890, 20 Jun 1990: 6pp. (CA 117: 22864w).
- Saito M., K. Umibe, M. Kato, H. Miyamoto i T. Koyano. **15 July 1991a**. Manufacture of biochips for computer. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 03,163,887 [91,163,887] (Cl. HO1 L49/00)* Appl. 89/303,547, 22 Nov 1989: 9pp. (CA 116: 210708b).
- Saito Y., H. Shinohara i A. Ohshita. **1991b**. Bulk plasmons in solid carbon C60. *Jpn J. Appl. Phys., Part 2* 30 (6A): L1068-L1070.
- Samogyi B. i S. Damjanovich. **1986**. A microenvironmental approach to enzyme dynamics. W: *The Fluctuating Enzyme*. (Ed.) G. R. Welch, 341-368. New York: J. Wiley & Sons.
- Sandweiss J. **1990**. On the cyclotron resonance model of ion transport. *Bioelectromagnetics* 11 (2): 203-205.
- Sasabe H. **1988**. Elucidation of biological function and its application to new

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

- biomaterials (w jap.). *Zairyo Kagaku* 25 (2): 69-76 (CA 110: 160264g).
- Sasabe H., T. Furuno, K. Kobayashi, Y. Kobayashi i T. Nagamune. **1994**. Cytochrome b(562): Electroactive protein for bioelectronics. *Mol. Cryst. Liq. Cryst. Sci. & Technol. Sect. A - Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 255: 271-278.
- Sasabe H., T. Furuno, J. Otomo, A. Sato, T. Nagamune i K. M. Ulmer. **1991**. Control of two-dimensional array of protein molecules for bioelectronics. *New. J. Chem.* 15 (2-3): 149-152 (CA 114: 225136w).
- Sasaki N. **1988**. Electric conduction of cytochrome c3 (w jap.). *Nippon Shika Daigaku Kiyo, Ippan Kyoiku-kei* 17: 75-83 (CA 109: 206777m).
- Satoh I. **1987**. New development of enzyme thermistors (w jap.). *Kagaku Kogyo* 38 (11): 933-939 (CA 108: 90257q).
- Sattler R. **1986**. *Biophilosophy. Analytic and Holistic Perspectives*. Berlin Heidelberg New York Tokyo: Springer-Verlag.
- Saxena A. i J. D. Gunton. **1986**. Quasi-one-dimensional devices utilizing two conducting polymers. *Synthetic Metals* 15 (1): 23-48.
- Saxena V. K. i L. L. Van Zandt. **1992**. Plasmon interpretation of 25 cm⁻¹ mode in DNA. *J. Biomol. Struct. & Dynamics* 10 (1): 227-237.
- Saxena V. K., L. L. Van Zandt i W. K. Schroll. **1989**. Effective field approach for long-range dissolved DNA polymer dynamics. *Phys. Rev. A* 39 (3): 1474-1481.
- Scheller F. W., F. Schubert, R. Renneberg i D. Kirstein. **1984**. Trends in biosensor development. *World Biotech. Rep.* 1: 367-378, (Online Publ. Ltd.: Pinner, UK) (CA 104: 84522y).
- Scheller F. W., F. Schubert, R. Renneberg, H.-G. Müller, M. Jänchen i H. Weise. **1985**. Biosensors: Trends and commercialization. *Biosensors* 1 (2): 135-160.
- Schmid R. D. i I. Karube. **1988**. Biosensors and bioelectronics. W: *Biotechnology*. (Eds.) H.-J. Rehm i G. Reed, 317-365. Weinheim, Fed. Rep. Ger.: VCH.
- Schmidt H.-L. i R. Kittsteiner-Eberle. **1986**. Biosensoren. *Naturwissenschaften* 73: 314-321.
- Schneider B. H. **1987**. Biosensor and bioelectrocatalysis studies of enzymes immobilized on graphite electrode materials. Ph.D. diss., Cranfield Inst. Technol., UK. (CA 110: 71842b).
- Schneider T. D. **1991**. Theory of molecular machines. 1. Channel capacity of molecular machines. *J. Theoret. Biol.* 148 (1): 83-123.
- . **1991**. Theory of molecular machines. 2. Energy dissipation from molecular machines. *J. Theoret. Biol.* 148 (1): 125-137.
- Schuhmann W. **1995**. Electron-transfer pathways in amperometric biosensors. Ferrocene-modified enzymes entrapped in conducting-polymer layers. *Biosensors & Bioelectronics* 10 (1-2): 181-193.
- Schuster S. i R. Heinrich. **1987**. Time hierarchy in enzymatic reaction chains resulting from optimality principles. *J. Theoret. Biol.* 129 (2): 189-209.
- Schwartz A. W. **1995**. The RNA world and its origins. *Planetary & Space Sci.* 43 (1-2): 161-165.
- Scolari E. G. **1956**. Biosynthesis of porphyrins and hems. *Ress. dermatol. e sofiolog.* 9: 174-183 (CA 51: 16633e).
- Sedlak W. **1959**. Ewolucja biochemiczna i teoria silicydów. *Roczniki Filozoficzne* 7 (z. 3 (Prace z zakresu filozofii przyrody)): 69-112.

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

- . **1967a.** Elektrostaza i ewolucja organiczna. *Roczniki Filozoficzne* 15 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 31-58.
- . **1967b.** Model układu emitującego pole biologiczne i elektrostaza. *Kosmos, Ser. A: Biologia* 16 (2): 151-159.
- . **1967c.** Pole biologiczne a nowa wizja życia. *Zeszyty Naukowe KUL* 10 (1(37)): 39-54.
- . **1967d.** *Rola krzemu w ewolucji biochemicznej życia.* Warszawa: PWN.
- . **1968.** Podstawy ewolucji świadomości. *Kosmos, Ser. A: Biologia* 17 (2): 161-169.
- . **1969a.** ABC elektromagnetycznej teorii życia. *Kosmos, Ser. A: Biologia* 18 (2(97)): 165-174.
- . **1969b.** Biofizyczne podstawy świadomości. *Roczniki Filozoficzne* 17 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 125-155.
- . **1970a.** Biofizyczne aspekty ekologii. *Wiadomości Ekologiczne* 16 (1): 43-53.
- . **1970b.** Plazma fizyczna i laserowe efekty w układach biologicznych. *Kosmos, Ser. A: Biologia* 19 (2(103)): 143-154.
- . **1970c.** Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia. *Roczniki Filozoficzne* 18 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 101-126.
- . **1971.** Magnetohydrodynamika biologiczna w zarysie. *Kosmos, Ser. A: Biologia* 20 (3(110)): 191-201.
- . **1972a.** Laserowe procesy biologiczne. *Kosmos, Ser. A: Biologia* 21 (5(118)): 533-545.
- . **1972b.** Plazma fizyczna jako podstawa bioenergetyki. *Roczniki Filozoficzne* 20 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 125-148.
- . **1973.** Ochrona środowiska człowieka w zakresie niejonizującego promieniowania. *Wiadomości Ekologiczne* 19 (3): 223-237.
- . **1974.** Wprowadzenie w fotodynamikę strukturalną układów biologicznych. *Kosmos, Ser. A: Biologia* 23 (5(130)): 513-527.
- . **1975a.** The electromagnetic nature of life. W: Second International Congress of Psychotronic Research, 77-83. Monte Carlo, 30 June - 4 July, 1975. Monaco: The International Association for Psychotronic Research.
- . **1975b.** Ewolucja bioplazmy. *Roczniki Filozoficzne* 23 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 95-116.
- . **1975c.** Dynamika bioplazmy i metabolizm. *Kosmos, Ser. A: Biologia* 24 (3): 261-272.
- . **1976a.** Bioelektronika - bioplazma - antropologia przyszłości. *Zeszyty Naukowe KUL* 19 (1): 3-10.
- 1976b.** Bioplazma. Materiały I Konferencji poświęconej bioplazmie, (Red.) W. Sedlak, Katolicki Uniwersytet Lubelski, 9 V 1973. Lublin: RW KUL.
- Sedlak W. **1976c.** Bioplazma - nowy stan materii. W: Bioplazma. Materiały I Konferencji poświęconej bioplazmie, (Red.) W. Sedlak, 13-30. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 9 V 1973. Lublin: RW KUL.
- . **1976d.** Is life an electromagnetic phenomenon? W: Bioplazma. Materiały z I Konferencji poświęconej bioplazmie, (Red.) W. Sedlak, 73-81. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 9 V 1973. Lublin: RW KUL.
- . **1977a.** The fundamentals of quantum information in living systems. W: Third International Congress on Psychotronic Research, 439-442. Vol. 2. Tokyo.
- . **1977b.** Piezoelektryczność związków organicznych i kwantowo-akustyczne

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

- podstawy informacji biologicznej. *Roczniki Filozoficzne* 25 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 149-170.
- . **1978a.** Elektromagnetyczna przemiana energii w żywym ustroju. *Summarium (za 1974)*. 16-21. Lublin: Wyd. TN KUL.
- . **1978b.** Życie jest światłem. Bioelektronika i możliwości nowej antropologii. *Studia Filozoficzne* (10(155)): 91-101.
- . **1979a.** *Bioelektronika 1967-1977*. Warszawa: IW PAX.
- . **1979b.** Metabolizm - bioelektronika - plazma biologiczna. W: Bioelektronika. Materiały I Krajowego Sympozjum nt. bioelektroniki, (Red.) W. Sedlak, 23-31. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 14-15 V 1975. Lublin: Wyd. TN KUL.
- . **1980a.** *Homo electronicus*. Warszawa: PIW.
- . **1980b.** Podstawy kwantowej paleobiofizyki. *Roczniki Filozoficzne* 28 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 119-145.
- . **1980c.** Wpływ degradacji elektromagnetycznego środowiska geofizycznego na organizm ludzki. *Zesz. Nauk. AWF w Krakowie* (22): 128-130.
- . **1981a.** Problemy planetarnej ochrony elektromagnetycznego środowiska w odniesieniu do populacji ludzkiej. W: Pola elektromagnetyczne. Materiały III konferencji nt. pomiarów i oceny działania pól elektromagnetycznych, 55-65. Łódź, 4-6 V 1981. Łódź: Instytut Medycyny Pracy w Przemysle Włókienniczym i Chemicznym.
- . **1981b.** Stresujący czynnik elektromagnetycznego środowiska urbanistycznego. *Biul. Kwart. Radomskiego Tow. Nauk.* 18 (2-4): 41-48.
- . **1983.** Natura ludzkiej świadomości w świetle bioelektroniki. *Roczniki Filozoficzne* 31 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 83-91.
- . **1984.** *Postępy fizyki życia*. Warszawa: IW PAX.
- . **1985a.** Ćwierćwiecze krzemowej teorii życia. *Roczniki Filozoficzne* 33 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 115-133.
- . **1985b.** *Życie jest światłem*. Warszawa: IW PAX.
- . **1985c.** *Kierunek - początek życia. Narodziny paleobiochemii krzemu*. Lublin: RW KUL.
- . **1986.** *Na początku było jednak światło*. Warszawa: PIW.
- . **1987.** *Wykłady o bioelektronice*. Warszawa: Studencka Oficyna Wydawnicza ZSP "Alma-Press" O/W-wa.
- . **1988a.** *Wprowadzenie w bioelektronikę*. Wrocław Warszawa Kraków Gdańsk Łódź: Zakład Narodowy im. Ossolińskich - Wydawnictwo.
- 1988.** Bioplazma. Materiały II Krajowej Konferencji nt. bioplazmy, (Red.) **W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk**, Katolicki Uniwersytet Lubelski, 18 XII 1985. Lublin: RW KUL.
- 1990.** Bioelektronika. Materiały VI Krajowego Sympozjum, (Red.) **W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk**, Katolicki Uniwersytet Lubelski, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- Senczyk D. 1980. *Fizyka ciała stałego*. Poznań: Wyd. Politechniki Poznańskiej.
- Senda M. i T. Ikeda. **1991.** Bioelectrocatalysis at enzyme-modified electrodes. W: *Macromolecular Complexes. Dynamic Interactions and Electronic Processes*. (Ed.) E. Tsuchida, 229-250. New York: V.C.H.Publishers.
- Seto Y. J. i S. T. Hsieh. **1976.** Electromagnetic induced kinetic effects on charged substrates in localized enzyme systems. *Biotechnol. Bioengn.* 18: 813-837.

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

- Shaya S. Y. i C. W. Smith. **1976**. *J. Collective Phen.* 2: 215 (za Pethig 1979k s. 341).
- Sheldrake R. **1981**. *A New Science of Life. The Hypothesis of Formative Causation*. Los Angeles: J. P. Tarcher, Inc.
- Shimomura M. **1991**. Electronic communications between molecular associates and enzymes (w jap.). *Kagaku (Kyoto)* 46 (8): 571.
- Shinagawa Y. **1987a**. Biocomputer and molecular electronic devices (w jap.). *Tanpakushitsu Kakusan Koso* 32 (4): 318-326 (CA 106: 225134d).
- . **1987b**. *Biocomputer. (Baikonpyuta) (w jap.)*. Tokyo: Kyoritsu Shuppan Co., Ltd. (CA 106: 116114b).
- Shipman L. L. **1982a**. Primary events of photosynthesis. W: *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, 311-322. New York & Basel: M. Dekker.
- . **1982b**. Two-electron gates in photosynthesis. W: *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, 51- New York: M. Dekker.
- Shiragami T., S. Fukami, Y. J. Wada i S. Yanagida. **1993**. Semiconductor photocatalysis: effect of light intensity on nanoscale CdS-catalyzed photolysis of organic substrates. *J. Phys. Chem.* 97 (49): 12882-12887.
- Shuey R. T. **1975**. *Semiconducting Ore Minerals*. Amsterdam - Oxford - New York: Elsevier Publ. Comp.
- Shung K. W.-K. **1986**. Dielectric function and plasmon structure of stage-1 intercalated graphite. *Phys. Rev. B* 34 (2): 979-993.
- Sidjakin W. G. **1986**. *Wlijanije globalnych ekologicheskikh faktorow na nierwnuju sistemu*. Kijew: izd. "Naukowa Dumka".
- Sidjakin W. G., N. A. Tiemur'janc, Makiejew W. B. i B. M. Władimirski. **1985**. *Kosmiczeskaja ekologija*. Kijew: Naukowa Dumka.
- 1993**. *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices*. Vol. II. (Ed.) K. Sienicki, Boca Raton Ann Arbor London Tokyo: CRC Press.
- Sierdjuk A. M. **1977**. *Wzaimodiejstwije organizma s elektromagnitnymi polami kak s faktorom okružajuszczej sriedy*. Kijew: Naukowa Dumka.
- 1990**. *The Enzymes*. 3rd Ed. (Eds.) D. S. Sigman i P. D. Bouer, Vol. 19: Mechanisms of Catalysis, San Diego, Calif.: Academic Press, Inc.
- Simionescu C., S. Dumitrescu i V. Percec. **1978**. Semiconducting biopolymers and their part in biochemical phenomena. W: *Topics in Bioelectrochemistry and Bioenergetics*. Vol. 2. (Ed.) G. Milazzo, 151-204. Chichester: J. Wiley & Sons.
- Sławińska D. i J. Sławiński. **1985**. Low-level luminescence from biological objects. W: *Chemi- and Bioluminescence*. (Ed.) J. G. Burr, 495-531. New York: M. Dekker, Inc.
- Sławiński J. **1982**. Stany wzbudzone i fotony jako możliwe czynniki informacyjno-kontrolne procesów życiowych. *Post. Fiz. Med.* 17 (3-4): 59-68.
- . **1984**. Generowanie i emisja fotonów w układach biologicznych. W: *Perspektywy bioelektroniki*. (Red.) J. Zon i M. Wnuk, 27-41. Lublin: RW KUL.
- . **1990**. Obieg fotonów w układach biologicznych. W: *Bioelektronika. Materiały VI Sympozjum*, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 189-191. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- Smirnowa N. A. **1980**. *Metody termodynamiki statystycznej w chemii fizycznej (tl. z ros.)*. Warszawa: PWN.
- Smith S. D., B. R. McLeod i A. R. Liboff. **1995**. Testing the ion cyclotron resonance

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

- theory of electromagnetic field interaction with odd and even harmonic tuning for cations. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 38 (1): 161-167.
- Smith S. D., B. R. McLeod, A. R. Liboff i K. Cooksey. **1987**. Calcium cyclotron resonance and diatom mobility. *Bioelectromagnetics* 8 (3): 215-227.
- Smith S. A., R. C. Watt i S. R. Hameroff. **1984**. Cellular automata in cytoskeletal lattices. *Physica D* 10: 168-174.
- Snita D. i M. Marek. **1989**. Electromagnetic field in enzyme reaction systems and pH effect. *Sb. Vys. Sk. Chem. - Technol. Praze, K: Chem. Inz.* 22: 139-180 (CA 116: 126944t).
- Somogyi B. i S. Damjanovich. **1986**. A microenvironmental approach to enzyme dynamics. W: *The Fluctuating Enzyme*. (Ed.) G. R. Welch, 341-368. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Somogyi B., G. R. Welch i S. Damjanovich. **1984**. The dynamic base of energy transduction in enzymes. *Biochim. Biophys. Acta* 768 (2): 81-112.
- Sorensen C. M., F. R. Fickett, R. C. Mockler, W. J. O'Sullivan i J. F. Scott. **1976**. On lysozyme as a possible high-temperature superconductor. *J. Phys. C* 9 (5): L251-L254.
- Sorochinskii V. i B. I. Kurganov. **1988**. Enzyme electrodes (w ros.). *Itogi Nauki Tekh., Ser.: Biotekhnol.* 13: 208 pp. (CA 109: 145475n).
- Sosic R. i R. R. Johnson. **1995**. Computational properties of self-reproducing growing automata. *BioSystems* 36 (1): 7-17.
- Southern R. W. **1988**. *Robert Grosseteste. The Growth of an English Mind in Medieval Europe*. Oxford: Clarendon Press.
- Srivastava D. K. i S. A. Bernhard. **1986**. Enzyme-enzyme interactions and the regulation of metabolic reaction pathways. *Curr. Top. Cell. Regul.* 28: 1-68.
- Starodub N. F., G. M. Riekun i I. M. Szur'jan. **1976**. *Radiacjonnoje porazjenije giemoglobina*. Kijew: izd. "Naukowa Dumka".
- Stonier T. **1990**. *Information and the Internal Structure of the Universe: An Exploration into Information Physics*. London New York: Springer-Verlag.
- . **1996**. Information as a basic property of the universe. *BioSystems* 38 (2-3): 135-140.
- Straub K. D. **1967**. Semiconduction in certain proteins. Ph.D. diss., Biochem. Dept., Duke Univ., Durham, North Carolina. (za Cope i in. 1969 s. 761).
- Subramanyam S. V. **1994**. Molecular electronics. *Current Sci.* 67 (11): 844-852.
- Sucheta A., B. A. C. Ackrell, B. Cochran i F. A. Armstrong. **1992**. Diode-like behaviour of a mitochondrial electron-transport enzyme. *Nature* 356 (6367): 361-362.
- Sugahara M., W. Takano, K. Niki, N. Haneji, N. Yoshikawa i K. Irie. **1986**. Possibility of N-superconductivity in cytochrome-c3 2-dimensional system. *Trans. Inst. Electron. Commun. Eng. Jpn., Sect. E* 69 (4): 423-424 (CA 105: 70952x).
- Sugi M. **1985**. Langmuir-Blodgett films - a course towards molecular electronics: a review. *J. Mol. Electronics* 1 (1): 3-17.
- Suhr H. **1983**. Application of nonequilibrium plasmas in organic chemistry. *Plasma Chem. Plasma Process.* 3 (1): 1-61.
- Suleiman A. A. i G. G. Guilbault. **1994**. Biosensors - Current and future prospects. W: *Food Biosensor Analysis*. (Eds.) G. Wagner i G. G. Guilbault, 1-12. Food Science and Technology : A Series of Monographs, Textbooks, and Reference

- Books, 60. New York: Marcel Dekker.
- Suzuki T., K. Yamamoto, Y. Tanaka, T. Daiko i T. Akaike. **1989**. Design of bioelectronic device using cytochrome c - mediation of electron transfer by cytochrome c immobilized on electrode (w jap.). *Maku* 14 (5): 319-328 (CA 112: 154542w).
- Swieżawski S. **1960**. Robert Grosseteste filozof przyrody i uczoney. W: *Charisteria. Rozprawy filozoficzne złożone w darze Władysławowi Tatarkiewiczowi w siedemdziesiątą rocznicę urodzin*. 251-291. Warszawa.
- Symons R. H. **1994**. Ribozymes. *Curr. Opinion Struct. Biol.* 4 (3): 322-330.
- Szamosi J. **1986**. Chemical amplification through competitive autocatalysis. *Origins Life* 16 (2): 165-167.
- Szasz A., D. van Noort, A. Scheller i F. Douwes. **1994**. Water states in living systems. I. Structural aspects. *Physiol. Chem. Physics Med. NMR* 26 (4): 299-322.
- Szathmary E. **1993**. Coding coenzyme handles - A hypothesis for the origin of the genetic code. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 90 (21): 9916-9920.
- Szefiłd D. **1978**. *Rassiejanije elektromagnitnogo izluczenija w plazmie (tł. ros. z ang.)*. Moskwa: izd. Atomizdat.
- Szent-Györgyi A. **1968a**. *Bioelectronics. A Study in Cellular Regulations, Defense, and Cancer*. New York London: Academic Press.
- . **1968b**. *Wstęp do biologii submolekularnej (tł. z ang.)*. Warszawa: PWN.
- Szent-Györgyi A. i J. A. McLaughlin. **1978**. The living state. *Int. J. Quantum Chem.: Quantum Biol. Symp.* 5: 137-141.
- Szewczyk K. **1983**. Elektroniczny świat profesora Sedlaka. *Studia Filozoficzne* (11-12): 267-282.
- . **1986**. Od wizji do pseudonauki. *Studia Filozoficzne* (7): 141-150.
- Szram F. R. **1980**. O relatywistko-kwantowo-mechaniczskom podchodzie k ewolucii. *Żur. Obszcz. Biol.* 41 (4): 557-573.
- Ścibor-Rylska T. **1974**. *Porządek i organizacja w przyrodzie*. Problemy życia i organizacji, Warszawa: IW PAX.
- Ścibor-Rylska T. **1986**. *Tajemnice uorganizowania żywej komórki*. Warszawa: IW PAX.
- Ślaga Sz. W. **1968**. Charakterystyka koncepcji organizmalnej. *Roczniki Filozoficzne* 16 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 105-125.
- . **1974**. Próba uściślenia Tomaszowego określenia istoty życia. *Studia Philosophiae Christianae* 10 (2): 67-99.
- . **1979**. Eigena fizykalny model ewolucji prebiotycznej. W: *Z Zagadnień Filozofii Przyrodoznawstwa i Filozofii Przyrody*. Tom 3. (Red.) K. Kłóśak, 121-152. Warszawa: ATK.
- . **1980**. Wokół bioelektroniki i jej twórcy. *Studia Philosophiae Christianae* 16 (2): 199-207.
- . **1982**. Ontologia systemowa a filozofia przyrody. *Roczniki Filozoficzne* 30 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 119-128.
- . **1984**. Bioelektroniczny model abiogenezy. W: *Perspektywy bioelektroniki*. (Red.) J. Zon i M. Wnuk, 13-26. Lublin: RW KUL.
- . **1986**. Wokół problematyki genezy życia. W: *Z Zagadnień Filozofii Przyrodoznawstwa i Filozofii Przyrody*. Tom 8. (Red.) M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 75-83. Warszawa: ATK.

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

- . **1987.** U podstaw biosystemogenezy. W: *W poszukiwaniu prawdy. Pamięci profesora Kazimierza Klósaka.* (Red.) M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 174-201. Warszawa: ATK.
- . **1991.** Teleonomia organizacji biosystemów. *Studia Philosophiae Christianae* 27 (2): 65-81.
- . **1992.** Życie - ewolucja. W: *Zagadnienia filozoficzne współczesnej nauki. Wstęp do filozofii przyrody*, wydanie trzecie zmienione, M. Heller, M. Lubański i Sz. W. Ślaga, 283-411. Warszawa: ATK.
- . **1995.** Dwie interpretacje genetyki informacji biologicznej. *Studia Philosophiae Christianae* 31 (1): 59-81.
- Tan M. Q. **1988.** Prospects for biochips (w chiń.). *Shengwu Gongcheng Xuebao* 4 (2): 87-90.
- Tanaka K., T. Sato, T. Yamabe, K. Okahara, K. Uchida, M. Yumura, H. Niino, S. Ohshima, Y. Kuriki, K. Yase i F. Ikazaki. **1994.** Electronic properties of carbon nanotube. *Chem. Phys. Lett.* 223 (1-2): 65-68.
- Tapuchi E. **1991.** Molecular electronics - a new interdisciplinary field of research. *Interdiscipl. Sci. Rev.* 16 (1): 45-60.
- Tarasiewicz M. R. i K. A. RADIUSZKINA. **1982.** *Kataliz i elektrokataliz mietalloporyrinami.* Moskwa: izd. "Nauka".
- Tenforde T. S. i W. T. Kaune. **1987.** Interaction of extremely low frequency electric and magnetic fields with humans. *Health Phys.* 53 (6): 585-606.
- Theodoridis G. C., A. Anné i L. Stark. **1996.** On evolutive systems and the initial evolution of structure and function. *J. Theoret. Biol.* 178 (1): 61-88.
- Theodoridis G. C. i L. Stark. **1971.** Central role of solar information flow in pregenetic evolution. *J. Theoret. Biol.* 31: 377-388.
- Tien H. T. **1974.** Biology and semiconduction. W: *Solid State Chemistry and Physics.* (Ed.) P. F. Weller, 847-903. New York: Dekker.
- . **1988.** Bilayer lipid membranes (BLM) in aqueous media: biomolecular electronic devices. *Biop. Membr. Transp.* 9 (2): 171-241 (CA 111: 149689z).
- Tien H. T., Z. Salamon, J. Kutnik, P. Kryszynski, J. Kotowski, D. Lederman i T. Janas. **1988a.** Bilayer lipid membranes (BLM): Biomolecular electronic devices. W: Ninth School on Biophysics of Membrane Transport, □ School Proceedings, (Eds.) J. Kuczera i S. Przestalski, 171-241. Polanica Zdrój, Poland, May 4-13, 1988. Wrocław, Pol.: Agricultural University of Wrocław.
- Tien H. T., Z. Salamon, J. Kutnik, P. Kryszynski, J. Kotowski, D. Ledermann i T. Janas. **1988b.** Bilayer lipid membranes (BLM): an experimental system for biomolecular electronic device development. *J. Mol. Electronics* 4 (Supp.): S1-S30 (CA 11: 20611t).
- Tien H. T., Z. Salamon i A. Ottova. **1990.** Lipid bilayer-based sensors and biomolecular electronics. *Biophys. Membr. Transp.* 10 (2): 157-193 (CA 116: 37181z).
- . **1991.** Lipid bilayer-based sensors and biomolecular electronics. *Crit. Rev. Biomed. Engr.* 18 (5): 323-340.
- Todd M. D., R. H. Todd i K. V. Mikkelsen. **1994.** Proton transfer-based molecular devices: Theory and review. *Theochem - J. Mol. Struct.* 120 (1-2): 49-71.
- Tofani S. i G. Damore. **1991.** Extremely-low-frequency and very-low-frequency magnetic fields emitted by video display units. *Bioelectromagnetics* 12 (1):

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

35-45.

- Tokuda T. i S. Isoda. **27 January 1988**. A protein static memory device. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,850 [88 19,850] (Cl. H01L29/28)* Appl. 86/164,183, 11 Jul 1986: 6pp. (CA 109: 30993n).
- Tomizawa O. i S. Isoda. **27 January 1988**. A protein memory circuit. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,849 [88 19,849] (Cl. H01 L29/28)* Appl. 86/164,182, 11 Jul 1986: 5pp. (CA 109: 30998t).
- Tomkiewicz Y., B. Welber, P. E. Seiden i R. Schumaker. **1977**. Electron-electron interactions in the fulvalene family of organic metals. *Solid State Commun.* 23 (7): 471-475.
- Traut T. W. **1986**. What determines the size of enzymes? *Trends Biochem. Sci. (Pers. Ed.)* 11 (12): 508.
- Trent J. D., R. A. Chastain i A. A. Yaynos. **1984**. Possible artefactual basis for apparent bacterial growth at 250°C. *Nature* 307 (5953): 737-740.
- Trepl L. **1992**. Zur Geschichte des Umweltbegriffs. *Naturwissenschaften* 79 (9): 386-392.
- Treumann R. A. **1993**. Evolution of the information in the Universe. *Astrophys. Space Sci.* 201 (1): 135-147.
- Trevors J. T. **1995**. Molecular evolution in bacteria. *A. Van Leeuwenhoek Int. J. General Mol. Microbiol.* 67 (4): 315-324.
- Tributsch H. i L. Pohlmann. **1993**. Co-operative electron transfer - superconduction in biomolecular structures? *J. Theoret. Biol.* 165 (2): 225-250.
- Triffet T. i H. S. Green. **1980**. Information and energy flow in a simple nervous system. *J. Theoret. Biol.* 86 (1): 3-44.
- . **1988**. Information transfer by electromagnetic waves in cortex layers. *J. Theoret. Biol.* 131 (2): 199-222.
- Trincher K. **1980**. Der Informationsgehalt des Intrazellularwassers und die Informations-Speicherung in der Embryo- und Phylogenese. *Biol. Cybern.* 39 (1): 1-10.
- Trinczer K. S. **1964**. *Biologija i informacija*. Moskwa: izd. Nauka.
- 1979**. *Witelo - Matematyk, Fizyk, Filozof*. (Red.) J. Trzynadlowski, Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, Seria A, Nr 206. Wrocław: Zakład Narodowy im. Ossolińskich - Wydawnictwo.
- Tsong T. Y. **1989a**. Deciphering the language of cells. *Trends Biochem. Sci. (Pers. Ed.)* 14 (3): 89-92.
- . **1989b**. Electroconformational coupling: A fundamental process of biomolecular electronics for signal transductions. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. T. Hong, 83-95. New York: Plenum Press.
- Tsong T. Y. i R. D. Astumian. **1988**. Electroconformational coupling: how membrane-bound ATPase transduces energy from dynamic electric fields. *Annu. Rev. Physiol.* 50: 273-290.
- Tsong T. Y., D. S. Liu, F. Chauvin, A. Gaigalas i R. D. Astumian. **1989**. Electroconformational coupling (ECC): an electric field induced enzyme oscillation for cellular energy and signal transduction. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 21: 319-331.
- Tuchman S., S. Sideman, S. Kenig i N. Lotan. **1994**. Enzyme-based logic gates controlled by outside signals - Principles and design. W: *Molecular*

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

- Electronics and Molecular Electronic Devices, Vol III.* (Ed.) K. Sienicki, 223-238. Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, 3. Boca Raton: CRC Press Inc.
- Turek J. **1995**. *Wszechwiat dynamiczny. Rewolucja naukowa w kosmologii*. Lublin: Red. Wyd. KUL.
- Turner A. P. F., I. Karube i G. S. Wilson. **1987**. *Biosensors: Fundamentals and Applications*. New York: Oxford Univ. Press.
- Tuszyński J. A., S. Hameroff, M. V. Satarić, B. Trpisova i M. L. A. Nip. **1995**. Ferroelectric behavior in microtubule dipole lattices: Implications for information processing, signaling and assembly/disassembly. *J. Theoret. Biol.* 174 (4): 371-380.
- Uchiyama S. i G. A. Rechnitz. **1987**. Biosensors using flowers as catalytic material. *Anal. Lett.* 20 (3): 457-470.
- Ulmer K. M. **1982**. Biological assembly of molecular ultracircuits. W: *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, 213-222. New York: M. Dekker, Inc.
- Umedzawa H., H. Macumoto i M. Tatiki. **1985**. *Termopolewaja dinamika i kondensirowannyje sostojanija (tl. ros. z ang)*. Moskwa: izd. "Mir".
- Urbański M. **1988**. Kwantowe wzbudzenia kolektywne w układach żywych. W: *Bioplazma. Materiały II Konferencji nt. bioplazmy*, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 21-39. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 18 XII 1985. Lublin: RW KUL.
- . **1990**. Kwantowa teoria struktur makroskopowych (układy żywe). W: *Bioelektronika. Materiały VI Sympozjum*, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 65-73. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- Urbański M. i J. Hołownia. **1994**. Uwagi na temat roli okna radiowego w ewolucji biologicznej. W: *Wpływ czynników środowiska na organizm jako system elektroniczny. VII Sympozjum Bioelektroniki (Streszczenia prezentacji sympozjalnych)*, 33-34. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 16-17 XII 1994. Lublin: Katedra i Zakład Biologii Teoretycznej Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego oraz Fundacja Bioelektroniki im. Włodzimierza Sedlaka.
- Valleton J.-M. **1988**. Biophysico-chemical systems and information processing. *J. Mol. Electron.* 4 (Suppl.): S75-S83.
- . **1990**. Information processing in biomolecule-based biomimetic systems. From macroscopic to nanoscopic scale. *React. Polym.* 12 (2): 109-131 (CA 113: 74182j).
- Valleton J.-M. i A. Sanfeld. **1987**. The organizing role of electric fields in structured enzyme media. *J. Non-Equilibr. Thermodyn.* 12 (2): 137-145.
- Van Brunt J. **1985**. Biochips: the ultimate computer. *Bio/Technology* 3 (3): 209, 211-215 (CA 102: 200680h).
- Van Giai N. i E. Lipparini. **1993**. π plasmon modes in C60 clusters. *Z. Physik D - Atoms Molecules and Clusters* 27 (2): 193-197.
- van Opstal M. i W. P. van Bennkom. **1986**. Biosensoren: analyse op het grensvlak van biowetenschappen en elektrotechniek. *Chem. Mag. (Rijswijk, Neth.)* ((Sept.)): 542-545.
- Van Rossum M. **1993**. From microelectronics to nanoelectronics - New technology requirements. *Materials Sci. Engn. B - Solid State Materials Adv. Technol.* 20

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

- (1-2): 128-133.
- van Wijk R. i J. M. van Aken. **1992**. Photon emission in tumor biology. *Experientia* 48 (11-12): 1092-1102.
- Van Zandt L. L. i V. K. Saxena. **1988**. DNA plasmon. *Phys. Rev. Lett.* 61 (15): 1788-1790.
- . **1989**. Millimeter-microwave spectrum of DNA: six predictions for spectroscopy. *Phys. Rev. A* 39 (5): 2672-2674.
- Varfolomeev S. D. **1988**. Bioelectrocatalysis: Conductive and semiconductive matrices for immobilized enzymes. W: *Immobilized Enzymes and Cells*. (Ed.) K. Mosbach, 430-440. Methods in Enzymology, 137. San Diego: Acad. Press Inc.
- Varfolomeyev S. D. i S. O. Bachurin. **1984a**. Bioelectrocatalysis. Part I. Oxidation-reduction enzymes (hydrogenase and glucose oxidase) immobilized in polymeric semiconductors. *J. Mol. Catal.* 27 (3): 305-314.
- . **1984b**. Bioelectrocatalysis. Part II. Hydrogenase immobilized in polymeric semiconductors: the mechanism of electron transfer. *J. Mol. Catal.* 27 (3): 315-332.
- Varfolomeyev S. D., A. I. Yaropolov i A. A. Karyakin. **1993**. Bioelectrocatalysis - The electrochemical kinetics of hydrogenase action. *J. Biotechnol.* 27 (3): 331-339.
- Vasconcellos A. R. i R. Luzzi. **1993**. Vanishing thermal damping of Davydov's solitons. *Phys. Rev. E* 48 (3): 2246-2249.
- Vassilev P. i M. Kanazirska. **1985**. The role of cytoskeleton in the mechanisms of electric field effects and information transfer in cellular systems. *Medical Hypotheses* 16: 93-96.
- Vincent L. M. **1993**. Theory of data transferal - Principles of a new approach to the information concept. *Acta Biotheoretica* 41 (1-2): 139-145.
- . **1994**. Reflexions sur l'usage, en biologie, de la theorie de l'information. *Acta Biotheoretica* 42 (2-3): 167-179.
- Visser C. M. **1984a**. Evolution of biocatalysis. 1. Possible pre-genetic code RNA catalysts which are their own replicase. *Origins Life* 14 (1-4): 291-301.
- . **1984b**. Evolution of biocatalysis. 2. Nicotinamide and/or flavin-containing RNA molecules as possible pregenetic-code replicating oxido-reductases. *Origins Life* 14 (1-4): 301-306.
- . **1984c**. Evolution of biocatalysis. 3. Post-genetic-code evolution of condensation reactions. *Origins Life* 14 (1-4): 693-698.
- . **1984d**. Evolution of biocatalysis. 4. Nicotinamide, flavin and dioxygen dependent hydroxylation, origin of a non-imitable enzyme. *Origins Life* 14 (1-4): 699-706.
- Vitiello G., E. Del Giudice, S. Doglia i M. Milani. **1984**. Boson condensation in biological systems. W: *Nonlinear Electrodynamics in Biological Systems*. (Eds.) W. R. Adey i A. F. Lawrence, 469-475. New York: Plenum Press.
- Wajncwajg M. N. i Je. A. Liberman. **1973**. Molekularnaja wycislitel'naja maszina. II. Formalnoje opisanije (sistema operatorow). *Biofizika* 18 (5): 939-941.
- Walker J. C. G., C. Klein, M. Schidlowski, J. W. Schopf, D. J. Stevenson i M. R. Walter. **1983**. Environmental evolution of the Archean-early proterozoic Earth. W: *Earth's Earliest Biosphere. Its origin and evolution*. (Ed.) J. W.

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

- Schopf, 260-290. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.
- Wallace R. **1993**. Cognitive mapping and algorithmic complexity - Is there a role for quantum processes in the evolution of human consciousness. *Behavioral Brain Sci.* 16 (3): 614-615.
- Walsby A. E. **1983**. Bacteria that grow at 250°C. *Nature* 303 (5916): 381.
- Wang X. **1980**. Bioelectrical information processing. *Scientia Sinica* 23 (11): 1469-1480.
- Wang Y. Y. L. i W. K. Wang. **1979**. Membrane potential and active transport - an information theory approach. *Physiol. Chem. Phys.* 11: 77-82.
- Wangermann G. **1989**. Topical aspects of bioelectronics. *Studia Biophys.* 132 (1-2): 9-16.
- 1989**. Proceedings of the CMEA Conference on Bioelectronics, (Eds.) G. Wangermann i G. R. Ivanitzki, Frankfurt, GDR, Nov. 28 - Dec. 3, 1988. Berlin: Akademie-Verlag.
- Washburn S. **1992**. Electronics - Single atoms as transistors. *Nature* 357 (6375): 199-200.
- Wasilewski D. **1976**. Niektóre elektryczne właściwości nukleinowych kwasów i ich składników. (tł. ros. z ang.) W: *Fiziko-chemiczne właściwości nukleinowych kwasów. Elektryczne, optyczne i magnetyczne właściwości nukleinowych kwasów i ich składników*. (Red.) N. M. Emanuel, 43-76. Moskwa: wyd. "Mir".
- Waszczyk M. **1994**. Eksplicacja i prognozowanie w bioelektronice (Praca magisterska, Katedra Biologii Teoretycznej, promotor dr Józef Zon). Katolicki Uniwersytet Lubelski, Lublin.
- . **1996**. Wyjaśnianie i przewidywanie w bioelektronice. *Roczniki Filozoficzne* 44 (z. 3 (Filozofia Przyrody i Ochrona Środowiska)): 145-176 (w druku).
- Watsuji T., K. Nishi, T. Moriya i S. Maeda. **1995**. Introduction to the Bioelectronic Devices Project in Japan. *BioSystems* 35 (2-3): 101-106.
- Wąsik W. **1958**. *Historia filozofii polskiej. Tom I: Scholastyka, Renesans, Oświecenie*. Warszawa: IW PAX.
- Weinberg G. M. **1979**. *Myślenie systemowe (tł. z ang.)*. Warszawa: WNT.
- Weisbuch G. **1986**. Networks of automata and biological organization. *J. Theoret. Biol.* 121 (3): 255-268.
- Welber B., P. E. Seiden i P. M. Grant. **1978**. Pressure dependence of the Drude optical edge of tetrathiofulvalenium (TTF) and tetraselenafulvalenium (TSeF) tetracyanoquinodimethanide (TCNQ). *Phys. Rev. B* 18 (6): 2692-2700.
- Welch G. R. **1977**. On the role of organized multienzyme systems in cellular metabolism: A general synthesis. *Prog. Biophys. Molec. Biol.* 32: 103-191.
- 1985**. *Organized Multienzyme Systems: Catalytic Properties*. (Ed.) G. R. Welch, Orlando, Fla.: Academic Press, Inc.
- Welch G. R. **1993**. Bioenergetics and the cellular microenvironment. *Pure Appl. Chem.* 65 (9): 1907-1914.
- Welch G. R. **1996**. The enzymatic basis of information processing in the living cell. *BioSystems* 38 (2-3): 147-153.
- Welch G. R. i M. N. Berry. **1983**. Long-range energy continua in the living cell: Protochemical considerations. W: *Coherent Excitations in Biological Systems*. (Eds.) H. Fröhlich i F. Kremer, 95-116. Berlin: Springer-Verlag.

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

- . **1985**. Long-range energy continua and the coordination of multienzyme sequences in vivo. W *Organized Multienzyme Systems: Catalytic Properties*. (Ed.) G. R. Welch, 419-447. Orlando, Fla.: Academic Press.
- Welch G. R. i D. B. Kell. **1986**. Not just catalysts - molecular machines in bioenergetics. W: *The Fluctuating Enzyme*. (Ed.) G. R. Welch, 451-492. New York: J. Wiley & Sons.
- Werbos P. J. **1992**. The cytoskeleton: why it may be crucial to human learning and to neurocontrol. *Nanobiology* 1 (1): 75-95.
- Westerhoff H. V., F. Kamp, T. Y. Tsong i R. D. Astumian. **1987**. Interactions between enzyme catalysis and non stationary electric fields. W: *Mechanistic Approaches to Interactions of Electric and Electromagnetic Fields with Living Systems*. (Eds.) M. Blank i E. Findl, 203-215. New York: plenum Publ. Corp.
- Westerhoff H. V., T. Y. Tsong, P. B. Chock, Y. Chen i R. D. Astumian. **1986**. How enzymes can capture and transmit free energy from an oscillating electric field. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 83 (13): 4734-4738.
- Wetzel R. **1995**. Evolution of the aminoacyl-tRNA synthetases and the origin of the genetic code. *J. Mol. Evol.* 40 (5): 545-550.
- Wever R. **1968**. Einfluß schwacher elektromagnetischer Felder auf die circadiane Periodik des Menschen. *Naturwissenschaften* 55 (1): 29-32 (za Adey 1988 s.81).
- Wicken J. S. **1978**. Information transformations in molecular evolution. *J. Theoret. Biol.* 72 (1): 191-204 (BA 66(8)1978: 45532).
- Williams M. D. i J. L. Fox. **1974**. The origin and evolution of enzyme catalysis. W: *The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry*. (Eds.) K. Dose, S. W. Fox, G. A. Deborin i T. E. Pavlovskaya, 461-468. New York: Plenum Publ. Corp.
- Williams P. F. i A. N. Bloch. **1974**. Self-consistent dielectric response of a quasi-one-dimensional metal at high frequencies. *Phys. Rev. B* 10 (3): 1097-1108.
- . **1976**. Some comments on the plasmon spectrum of tetrathiafulvalene tetracyano-p-quinodimethane (TTF-TCNQ). *Phys. Rev. Lett.* 36 (1): 64-67.
- Williams R. J. P. **1993**. Are enzymes mechanical devices. *Trends Biochem. Sci.* 18 (4): 115-117.
- Willner I. i S. Rubin. **1996**. Control of the structure and functions of biomaterials by light. *Angew. Chem. - Int. Ed. Engl.* 35 (4): 367-385.
- Willner I. i B. Willner. **1994a**. Electrical communication of redox proteins by means of electron relay-tethered polymers in photochemical, electrochemical and photoelectrochemical systems. *Reactive Polymers* 22 (3): 267-279.
- Willner I. i E. Zahavy. **1994b**. Activation of glutathione reductase by light - A novel approach to design redox photo-enzymes. *Angewandte Chemie - Int. Ed. Engl.* 33 (5): 581-583.
- Wilson E. G. **1995**. Nano-molecular electronics: Ideas and experiments. *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1 - Regular Papers Short Notes & Review Papers* 34 (7B): 3775-3781.
- Wineland D. J., W. M. Itano, J. C. Berquist, S. L. Gilbert, J. J. Bollinger i F. Ascaranz. **1988**. Liquid and solid ion plasmas. *AIP Conf. Proc.*, 175 (Non-Neutral Plasma Phys.) 93-110.
- Winquist F. **1987**. Biosensors Based on Thermistors and Semiconductor Structures.

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

Linköping (Sweden): Linköping Studies in Science and Technology. Dissertations No. 158.

- Winqvist F., B. Danielsson, I. Lundstrom i K. Mosbach. **1988**. Use of hydrogen-sensitive and ammonia-sensitive semiconductor structures in analytical biochemistry: enzyme transistors. W: *Immobilized Enzymes and Cells*. (Ed.) K. Mosbach, 232-247. Methods in Enzymology, 137. San Diego: Acad. Press Inc.
- Władimirow W. W., A. F. Wołkow i Je. Z. Miejlchow. **1979**. *Plazma poluprowodnikow*. Moskwa: izd. "Atomizdat".
- Własowa R. M., A. I. Gutman, N. F. Kartienko, L. D. Roziensztiejn, L. S. Agroskin, G. W. Papajan, L. P. Rautian i A. I. Szerle. **1975**. Polarizacionnyje spiektiry otrazeniya kwaziodnomierynych kristałow Cs₂(TCNQ)₃. *Fiz. Twierd. Tiela* 17 (12): 3529-3532.
- Własowa R. M., W. A. Wojtjenko, A. N. Żiłkin, E. A. Iwanowa i W. N. Siemkin. **1986**. Rassiejaniye swieta nłazmonami w kwazidwumiernom organiczeskom mietalle α -(BEDT-TTF)₂I₃. *Fiz. Twierd. Tiela* 28 (10): 3037-3043.
- Wnuk M. **1972**. Termograwimetryczne badania sorpcji i desorpcji dwutlenku siarki na modelowanych kontaktach wanadowych. (Praca magisterska wykonana pod kierunkiem doc. dr. hab. Janusza Barcickiego w Zakładzie Technologii Chemicznej Instytutu Chemii UMCS). Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- . **1978**. Bioelektronika ewolucyjna. *Zesz. Naukowe Stow. PAX* (3(20)): 47-58.
- . **1983a**. Warunki występowania stanu plazmowego w układzie porfiryńowym. (Referat wygłoszony na IV Sympozjum Bioelektroniki, Ojrzanów k/Warszawy, 7-9 X 1983).
- . **1983b**. Rola układów porfiryńowych w ewolucji życia. Rozprawa doktorska, Katedra i Zakład Biologii Teoretycznej, Katolicki Uniwersytet Lubelski, Lublin.
- . **1987**. *Rola układów porfiryńowych w ewolucji życia*. Warszawa: ATK. (Z Zagadnień Filozofii Przyrodznawstwa i Filozofii Przyrody, Tom 9, (Red.) M. Lubański i Sz. W. Ślaga).
- . **1987-1988**. Bioelectronic aspect of enzymatic catalysis. *Roczniki Filozoficzne* 35-36 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 119-124.
- . **1988**. Możliwość udziału plazmy fizycznej w katalizie enzymatycznej. W: Bioplazma. Materiały II Krajowej Konferencji nt. bioplazmy, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 97-112. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 18 XII 1985. Lublin: RW KUL.
- . **1990**. Bioelektroniczny aspekt pochodzenia i ewolucji enzymów. W: Bioelektronika. Materiały VI Sympozjum, (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 151-155. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- . **1991-1992**. Włodzimierza Sedlaka idea sprzężenia chemiczno-elektronicznego w organizmach. *Roczniki Filozoficzne* 39-40 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 103-120.
- . **1994**. Możliwość wpływu zanieczyszczeń elektromagnetycznych środowiska na mikroprocesory biologiczne. *Roczniki Filozoficzne* 42 (z. 3 (Filozofia Przyrody i Ochrona Środowiska)): 99-113.

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

- . **1995a.** Enzymy jako nanoprocесory - perspektywa bioelektroniczna. *Roczniki Filozoficzne* 43 (z. 3 (Filozofia Przyrody i Ochrona Środowiska)): 127-154.
- . **1995b.** Życie jako forma istnienia informacji elektromagnetycznej. *Studia Philosophiae Christianae* 31 (2): 105-130.
- . **1996.** Biosystemy elektroniczne a pierwotne środowisko życia. W: VII Sympozjum Bioelektroniki nt. Wpływ czynników środowiska na organizm jako system elektroniczny, (Red.) J. Zon i M. Wnuk, Katolicki Uniwersytet Lubelski, 16-17 XII 1994. Lublin: Wyd. TN KUL (19 str., złożone do druku).
- Wnuk M. i J. Zon. **1986.** Wkład Włodzimierza Sedlaka w powstawanie bioelektroniki. *Biul. Kwart. Radomskiego Tow. Nauk.* 23 (3-4): 88-103.
- Wojciechowski K. **1979.** Witelo jako matematyk i fizyk. W: *Witelo - Matematyk, Fizyk, Filozof.* (Red.) J. Trzynadłowski, 19-29. Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, Seria A, Nr 206. Wrocław: Zakład Narodowy im. Ossolińskich - Wydawnictwo.
- Wojciechowski P. **1995.** Antropologia w pismach ks. Włodzimierza Sedlaka. (Praca magisterska pisana na seminarium teologii dogmatycznej pod kierownictwem ks. dra Jerzego Buxakowskiego). Katolicki Uniwersytet Lubelski, Lublin.
- Wolf F A. **1986.** *The Body Quantum. The New Physics of Body, Mind, and Health.* New York: MacMillan Publ. Comp.
- Wolkensztejn F. F. **1962.** *Elektronowa teoria katalizy na półprzewodnikach (tl. z ros.).* Warszawa: PWN.
- 1969.** *Elektronnyje jawlenija w adsorbции i katalizie na poluprowodnikach.* (Red.) F. F. **Wolkensztejn**, Moskwa: izd. "Mir".
- Wolkensztejn F. F. **1973.** *Fiziko-chimija powierchnosti poluprowodniow.* Moskwa: izd. "Nauka".
- . **1987.** *Elektronnyje prociesy na powierchnosti poluprowodnikow pri chemosorbции.* Moskwa: izd. "Nauka".
- 1983.** Proceeding of International Symposium on Wave Therapeutics. Interaction of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation with Living Systems, (Ed.) **Z. W. Wolkowski**, Versailles, May 19-20, 1979. Paris.
- Wolkowski Z. W., W. Sedlak, J. Zon i G. Jodkowska. **1983.** Méchanisme plasmique de la réception du rayonnement électromagnétique à basse fréquence par les systèmes vivants. W: Proceeding of International Symposium on Wave Therapeutics. Interaction of Non-Ionizing Electromagnetic Radiation with Living Systems, (Ed.) Z. W. Wolkowski, 139-158. Versailles, May 19-20, 1979. Paris.
- Wolpert L. **1996.** *Nienaturalna natura nauki. (tl. z ang)* Gdańsk: Gdańskie Wyd. Psychologiczne.
- Wright J. D., K. M. Rawson, W. O. Ho, D. Athey i C. J. McNeil. **1995.** Specific binding assay for biotin based on enzyme channelling with direct electron transfer electrochemical detection using horseradish peroxidase. *Biosensors & Bioelectronics* 10 (5): 495-500.
- Wu T. M. i S. Austin. **1977.** Bose condensation in biosystems. *Phys. Lett. A* 64A (1): 151-152.
- . **1978a.** Bose-Einstein condensation in biological systems. *J. Theoret. Biol.* 71: 209-214 (za Miller 1992 s. 361).
- . **1978b.** Cooperative behavior in biological systems. *Phys. Lett. A* 65A (1): 74-76.

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

- . **1979**. Biological Bose condensation and the time threshold for biological effects. *Phys. Lett. A* 73: 266-268 (za Miller 1992 s. 361).
- Yagi T., H. Inokuchi i K. Kimura. **1983**. Cytochrome c3, tetrahemoprotein electron carrier found in sulfate-reducing bacteria. *Acc. Chem. Res.* 16 (1): 2-7.
- Yamaji K. **1986**. Plasma frequencies and band parameters of the tetramethyltetraselenafulvalene salts. *Nippon Kagaku Kaishi* 3: 406-409.
- Yanbastiev M. I. **1984**. Main and additional problems of biophotonics. *J. Mol. Struct.* 115: 299-302.
- Yang J. H., R. Cedergren i B. Nadalginard. **1994a**. Catalytic activity of an RNA domain derived from the U6-U4 RNA complex. *Science* 263 (5143): 77-81.
- Yang Y. i A. J. Heeger. **1994b**. A new architecture for polymer transistors. *Nature* 372 (6504): 344-346.
- Yannouleas C., E. N. Bogachek i U. Landman. **1994**. Dimensionality crossovers of the σ plasmon in coaxial carbon nanotubes. *Phys. Rev. B* 50 (11): 7977-7980.
- Yarus M. **1993**. How many catalytic RNAs? Ions and the cheshire cat conjecture. *FASEB J.* 7 (1): 31-39.
- Yavorsky B. i A. Detlaf. **1980**. *Handbook of Physics, 3rd ed.* Moscow: "Mir Publishers".
- Yockey H. P. **1977**. A calculation of the probability of spontaneous biogenesis by information theory. *J. Theoret. Biol.* 67 (3): 377-398 (BA 65(2)1978: 8769).
- Yoshino K., K. Kaneto i S. Takeda. **1987**. Applications of conducting polymers as electronics and opto-electronics devices. *Synthetic Metals* 18 (1-3): 741-746.
- Zagórski K. i M. Wnuk. **1975**. Elektrochemiczne pomiary współczynników dyfuzji wodoru w Fe-, Co- i Ni-Raney. *Folia Societatis Scientiarum Lublinensis* 17 (Mat.-Fiz.-Chem. 1/2): 59-64.
- Zajonc A. **1993**. *Catching the Light: The entwined history of light and mind.* New York: Bantam Books.
- Zhadin M. N. i E. E. Fesenko. **1990**. Ionic cyclotron resonance in biomolecules. *Biomed. Sci. (London)* 1 (3): 245-250 (CA 117:146243n).
- Zięba S. **1974**. Życie jako forma istnienia ciał białkowych. *Roczniki Filozoficzne* 22 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 121-133.
- . **1976**. Istota życia w monistycznych i pluralistycznych teoriach bytu. *Roczniki Filozoficzne* 24 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 77-88.
- . **1982**. Analiza filozoficzna bioelektronicznej koncepcji życia. *Roczniki Filozoficzne* 30 (3 (Filozofia Przyrody)): 81-95.
- . **1986**. *Rozwój mechanistycznej koncepcji życia w piśmiennictwie francuskim XX wieku.* Lublin: RW KUL.
- Zon J. **1976**. Wpływ naturalnego środowiska elektromagnetycznego na człowieka. *Roczniki Filozoficzne* 29 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 89-100.
- . **1980**. Plazma fizyczna w mitochondriach i cytoplazmie (Materiały z Konferencji nt. "Perspektywy badawcze bioelektroniki", Ojrzeń k/Warszawy, 26-28 października 1979 r.). *Zesz. Naukowe Stow. PAX* (Dodatek do Nr. 3): 28-37.
- . **1983**. Electronic conductivity in biological membranes. *Roczniki Filozoficzne* 31 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 165-183.
- . **1986a**. *Plazma elektronowa w błonach biologicznych.* Lublin: RW KUL.
- . **1990**. 'Topografia' badań w dziedzinie bioelektroniki. W: *Bioelektronika. Materiały VI Sympozjum*, Red. W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, 11-34. Katolicki

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

- Uniwersytet Lubelski, Lublin, 20-21 XI 1987. Lublin: RW KUL.
- . **1991-1992**. Biomikroelektronika. Wstępna charakterystyka jej przedmiotu, metod i zadań. *Roczniki Filozoficzne* 39-40 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 151-161.
- Zon J. R. **1979**. Physical plasma in biological solids: a possible mechanism for resonant interactions between low intensity microwaves and biological systems. *Physiol. Chem. Phys.* 11 (6): 501-506.
- . **1980**. The living cell as a plasma physical system. *Physiol. Chem. Phys.* 12: 357-364.
- . **1986b**. Bioelectronics: A background area for biomicroelectronics in the science of bioelectricity. *Roczniki Filozoficzne* 34 (z. 3 (Filozofia Przyrody)): 183-201.
- . **1987**. Physical plasma may exist in biostructures: A replay to the critique by Quickenden and Tilbury. *Physiol. Chem. Phys. Med. NMR* 19 (4): 295-300.
- Zon J. i J. Szejka. **1988**. Plazmowy mechanizm recepcji statycznych i wolnozmiennych pól magnetycznych przez organizmy. W: Bioplazma. Materiały II Krajowej Konferencji nt. bioplazmy, (Red.) W. Sedlak, Zon. J. i M. Wnuk, 71-85. Katolicki Uniwersytet Lubelski, 18 XII 1985. Lublin: RW KUL.
- Zon J. R. i H. T. Tien. **1988**. Electronic properties of natural and modeled bilayer membranes. W: *Modern Bioelectricity*. (Ed.) A. A. Marino, 181-241. New York & Basel: Marcel Dekker, Inc.
- Zon J. i M. Wnuk. **1996**. Specyfika bioelektronicznego sposobu ujmowania relacji pomiędzy układem żywym a jego otoczeniem. W: VII Sympozjum Bioelektroniki nt. Wpływ czynników środowiska na organizm jako system elektroniczny, (Red.) J. Zon i M. Wnuk, Katolicki Uniwersytet Lubelski, 16-17 XII 1994. Lublin: (72 str., złożone do druku).
- Zrubec V. **1994**. Bioelectric signals in neuron structures and the Josephson effect. *Medical Hypotheses* 43 (5): 273-284.
- Zscheile H., R. Gründler, U. Dahms, J. Fröhner i G. Lehmann. **1984**. π -plasmon dispersion of trans-(CH)_x at small momentum transfer by electron energy loss spectroscopy. *Phys. Status Solidi B* 121 (2): K 161-164.
- Zs.-Nagy I. **1995**. Semiconduction of proteins as an attribute of the living state: The ideas of Albert Szent-Györgyi revisited in light of the recent knowledge regarding oxygen free radicals. *Exp. Gerontol.* 30 (3-4): 327-335.
- Żwirblis W. Je. **1982**. O wozmożnom mechanizmie swjaziej sołnce-biosfiera. W: *Wlijanije sołniecznoj aktiwnosti na biosfieru*. (Red.) M. N. Gniewyszew i I. A. Ol, 197-211. Problemy kosmiczeskoj biologii, (Red.) W. N. Czernigowski, tom 43. Moskwa: izd. "Nauka".
- Życiński J. **1996**. *Elementy filozofii nauki*. Tarnów: Wydawnictwo BIBLOS.
- Županović P., S. Barisić i A. Bjelis. **1985**. Plasmon spectra and cohesion of the mixed stack organic conductors. *J. Phys. (Les Ulis, Fr.)* 46 (10): 1751-1761.

THE ESSENCE OF LIFE PROCESSES IN THE LIGHT OF THE CONCEPT OF ELECTROMAGNETIC NATURE OF LIFE: Bioelectromagnetic model of enzymatic catalysis in view of the problems connected with biosystemogenesis ¹

S u m m a r y

The aim of this dissertation is to explore a new information-electromagnetic aspect of the nature of life in the context of the philosophy of systems and information, using the hypothetical-deductive method. Special attention is paid to two classes of the most important biological processes: enzymatic catalysis and biosystemogenesis. Taking them as examples, a new approach to the essence of life processes is proposed, in which life is seen as a form of existence, processing, and generation of electromagnetic information. In the light of results of empirical and theoretical investigations, concerned mainly with the entities and processes of the submolecular level of living systems (that so far have been omitted in the studies on the essence, origin, and evolution of life), biosystems should be considered as fermion-boson-infon systems functioning as specific condensates of information. In this context, a definition of life has been formulated according to which **life is a specific electromagnetic information that organizes its corpuscular vehicle which is permanently in the metastable excited state and able to initiate laser action. As a result of this, the biological information may be transferred to other types of vehicles, not necessarily of the electromagnetic nature.** It seems that in the context of contemporary philosophical and scientific knowledge on the living phenomena and processes, this type of approach is more satisfying than the ones according to which the life is considered e.g. *a form of existence of protein bodies*.

Most of the current investigation on biogenesis accepts the idea of chemical evolution. This idea was based on the assumption that life originated from the systems that had been ruled exclusively by the laws of physics and chemistry. In this work an attempt was made to apply the idea of the evolution of information and considered as a more fundamental one. Consequently, life should be treated as having originated from the systems governed by the laws of this evolution. Also, the physico-chemical systems should be subject to such evolution. These systems began to function as the carriers of electromagnetic,

1

see Contents pp. 8-10.

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

biologically-significant information, e.g. aluminosilicate autocatalytic physical plasma systems, which might have the distant descendants - the present autocatalytic RNA and enzymatic proteins.

According to the bioelectromagnetic model of enzymatic catalysis presented in this work, biocatalysts function not only as quantum generators of biophotons, but also as nanoprocessors of information. It has been shown that the fundamental mechanisms of enzymatic catalysis involve also bioplasma, i.e. physical plasma present in biosystems. By showing that, the concept of electromagnetic nature of life has been extended in the direction of energy-information relations.

This model was developed in two aspects. Both of them, i.e. bioelectronic and bioplasma ones, seem to be of great interest to the philosophy of nature. The importance of the bioelectronic attitude consists in taking into consideration the lowest level of the organization of living processes reached by the present empirical methods as well as physicochemical and electronic theories on which these methods have been based. The elaboration of the bioplasma aspect is of importance to philosophy because bioplasma is considered as a state of matter unique to living systems. In spite of reaching the stage when bioplasma might be studied by means of the "standard" methods of the present biophysics and biochemistry, it has not been yet investigated empirically. This established that acceptance of the knowledge on the essence of enzymatic catalysis may be of paramount significance. It goes far beyond the questions of application of the enzymes in biotechnology, biomolecular electronics or even medicine; it reaches also the area of the fundamental, yet very intricate question of the essence and origin of life.

As far as the two latter questions are concerned (which in terms of knowledge are of more importance than e.g. mechanisms of action of enzymes and their use in industry), the system-and-information approach allowed to formulate the following conclusions:

1) Life, being a specific type of information conveyed by the electromagnetic carrier, may be spread out thanks to its ability to induce catalytic processes and to control them. As a result, the fermion-boson-infon systems are re-organized into individual systems that are enhanced in infons and bosons.

2) The difference between living and the so called inanimate systems consists mainly in the quality and quantity of infons; the living organism may be considered not only a supercondensate, but also as a processor and generator of information.

3) Life on Earth originated from the information conveyed by the electromagnetic carrier, whereas the primordial living systems were probably macromolecular catalysts capable of functioning as cavity resonators of coherent electromagnetic radiation. In the context of this, it is claimed that the present understanding of the minimal living system and the minimal complexity of biostructures are not adequate. A macromolecule or a system at the sub-cellular level of organization should be considered as a minimal living unit.

4) Probably, the coupling between chemical and electronic processes was taking place in the molecule of the catalytic pre-RNA. It seems that this type of autocatalyst was an essential step in the developmental process of the minimal

living being. It played the role of an indispensable structural and functional component of that system.

5) The classical understanding of fundamental living processes, collectively labeled as metabolism, should be modified by shifting the stress from the conversions of mass and energy to the information processing. Therefore, the existence of "organisms", mechanisms or systems capable of processing information and energy exclusively (energo-information) should have been expected.

6) The reconstruction of an electromagnetic biosystemogenesis will be possible if the new data, further confirming the new concepts, hypotheses and theories concerning the feasibility of the existence of such systems (or even their components) will be obtained as, e. g.:

- biosystems as photoelectronic computers,
- the elementary (minimum) unit of life as nanoprocessor of infons,
- entire organisms as systems of processors of electromagnetic and quantum-acoustic information,
- data on the physical paleo-environment on our planet, etc.

7) In connection with the above theses (1-6), one should postulate the establishment of **bioinfonics**, a new discipline of science that would be complementary to both bioelectronics and biophotonics. The same may be said about **infodynamics** - an analogue of electro- and thermodynamics.

8) Considered from the philosophical point of view, the bioelectromagnetic model of catalysis seems to enable the alleviation the antagonisms between mechanism and vitalism in their radical formulations. On one hand, the possibility of approaching life as an information process (with all its consequences) testifies against mechanism. On the other one, the involvement of physical plasma processes in biocatalysis may be considered as an argument against vitalism. Both exclusive approaches may be made more conceptually coherent on the ground of bioplasma and electromagnetic-information research approaches.

It seems that the system-information formulation, thanks to the recently gained ability to assess the information content of enzymes and their complexes, will make possible a significant progress in learning of the essence of life and in the reconstruction of its genesis. Moreover, this kind of approach adds a very important dimension to the understanding of life. In this information aspect of bioelectromagnetic processes, information should be regarded as an essential component of reality - *Universum*, rather than an epiphenomenon of energetic interactions.

The proposed approach provides also an attractive starting point for investigation as well as a new tool to undertake an attempt to overcome the old dilemma. Namely: is the origin of life an emergence of something entirely new or, is it rather a step by step process of transformation of something that is already present.

Hopefully, this approach and the results arrived at in this work will broaden the horizons of our current knowledge. Thanks to them, the new ones will appear not only in the realm of life sciences, but also in the philosophy of nature that functions in a close cooperation with all branches of science.

