

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: epigenезy, 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 epigenезa i integracja na molekularnym poziomie organizacji życia

Poniżej przedstawione zostaną główne tezy P. Lenartowicza dotyczące epigenезy 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 samodzielnymi, 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 szkieletowo-podporowe komórki, ruchliwość, transport i pamięć.

Większość mikrotubul stanowi zespoły 13-tu podłużnych włókienek (protofilamentów), z których każda jest szeregiem dimerów tubuliny.⁴⁸ Powtarzalny sztywny geometryczny podjednostek mikrotubul nadaje im specyficzną strukturę (cylicylna 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 wspomiano 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 unieaktywiania 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.

ną), 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 ulokowanie 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 bioprocessory

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 & Czarski 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 Purkinjego 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-redukcyjną, 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 urzeczywistniania 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).