

MARIAN WNUK

Lublin

## ENZYMY JAKO NANOPROCESORY - PERSPEKTYWA BIOELEKTRONICZNA

### 1. UWAGI WSTĘPNE

Istnienie materii ożywionej, rozpatrywanej jako nadzwyczaj wydajny sposób wytwarzania i magazynowania informacji, jest bezpośrednią konsekwencją ewolucji wszechświata (52, 225). Podstawową bowiem właściwością świata ożywionego jest uorganizowanie struktur zawierających masę i energię, które są nośnikami informacji. Biostruktury są zorganizowane w hierarchię poziomów informacyjnych, w których zachodzi ciągła przemiana informacji, jej degradacja lub organizacja. Informacja ta może organizować nie tylko inną informację, jak na przykład w mózgu, ale przede wszystkim wspomnianą masę i energię. O ile przemiany tych dwu ostatnich elementów rzeczywistości biotycznej, obejmowane zbiorczym mianem metabolizmu, są dość dobrze poznane, o tyle ten pierwszy - to jeszcze w dużej mierze *terra ignota*.

Nie inaczej przedstawia się sytuacja poznawcza w odniesieniu do badanych zresztą od dawna przez biochemię, biofizykę i inne nauki, enzymów i katalizy enzymatycznej - niezmiernie ważnych elementów biostruktur i procesów życiowych. Niniejszy artykuł podejmuje więc próbę spojrzenia na te elementy w sposób odmienny od dotychczasowego. Podjęcie takiej próby jest tu usprawiedliwione istnieniem nowego, bioelektronicznego paradygmatu w naukach biologicznych. Wyraża on 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 takie problemy jak: przekazywanie energii i informacji wewnątrz biostruktur za pośrednictwem translokacji swobodnych elektronów i kwazicząstek, wewnątrzukładowego sterowania elektromagnetycznego 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 i w pewnej mierze uprawdopodobniona dzięki analogiom z molekularnymi urządzeniami elektronicznymi, jakie tworzy się w ramach elektroniki technicznej, zwłaszcza elektroniki biomolekularnej.

Niniejszy artykuł ma charakter przeglądowy. Należy go raczej traktować jako przewodnik po literaturze odnoszącej się do zagadnień pokrewnych, stanowiących tło problemowe „enzymów jako nanoprocesorów”, ale w przekonaniu autora potrzebnych do dalszych penetracji poznawczych w tym kierunku, a nie jako przedstawienia konkretnego modelu w tym względzie.

## 2. ENZYMY 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 teorii tzw. istoty życia. Struktury biochemiczne stanowią wspólny mianownik wszystkich struktur biologicznych. Na poziomie biochemicznym, w odniesieniu do enzymów i katalizy enzymatycznej, istnieją w zasadzie odpowiedniki: epigenety, integracji, konkretyzacji, hierarchizacji, fenotypu i genomu, układów funkcjonalnych i procesów rozwojowych (128 s. 285-361).

Warto przypomnieć, że enzymy są katalizatorami umożliwiającymi przebieg reakcji zazwyczaj od  $10^8$  do  $10^{14}$  razy szybciej niż odpowiednich reakcji niekatalizowanych (139-140), zaś niektóre kanały jonowe jako oligomerowe enzymy allosteryczne przyspieszają transport jonów  $10^{39}$  razy (78 s. 201). Dzięki również kompartmentalizacji enzymy działają stereoselektywnie i stereospecyficznie. Większość enzymów katalizuje reakcje pomiędzy dwoma lub więcej substratami i specyficzność enzymów jest ważniejszą ich cechą od wydajności katalizy (66). Enzymy różnią się swoją masą, zazwyczaj masa cząsteczkowa podjednostek enzymu waha się od około 10 kDa do 250 kDa (np. 224). Dane grupy enzymów są połączone razem i oddzielone od innych, co jest konsekwencją strukturalnej organizacji w metabolizmie komórkowym (np. 19, 33, 181-182, 210, 234, 244-245). W swoim mikrośrodku komórkowym (186, 246) enzymy funkcjonują w określonej hierarchii czasowej (np. 91, 193) jako wydajne przetworniki energii swobodnej (zob. np. 92, 142, 186, 209, 252). Są też niekiedy uważane za maszyny molekularne (119, 249,

por. 191-192), urządzenia elektrochemiczne takie jak biochemiczne elektrody i protody (247-248), czy też rozpatruje je się jako urządzenia mechaniczne (254).

W większości głównych koncepcji teoretycznych, usiłujących wyjaśnić katalityczne funkcjonowanie enzymów, przyjmuje się istnienie (niekiedy specyficznego) dopasowania enzymu i substratu (synheksja i symmorfia) (128 s. 292) oraz działanie enzymu prowadzące do syntopii i synchronii. Mechanizmy działania enzymów są przedmiotem wielu badań i licznych publikacji (zob. np. pozycje książkowe: (63, 70, 77, 127, 136, 165, 206, 245)).

### 3. ENZYMY A BIOELEKTRONIKA I ELEKTRONIKA BIOMOLEKULARNA

Termin bioelektronika jest tutaj 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 (zob. np. 198-201, 213, 261-263) (por. 32); (na temat elektronicznych własności układów biologicznych zob. np. (138, 148)). Z drugiej strony zaś, na określenie dziedziny techniki, zwanej również niekiedy elektroniką biomolekularną, w której wykorzystywane są biomateriały lub naśladowane jakieś struktury czy funkcje życiowe (zob. np. 41, 44, 46, 93, 102, 155, 204-205, 217-221). W tej dziedzinie pozycję niewątpliwie dominującą mają Japończycy (5-6, 8-9, 11-14, 105, 187-188).

Jeżeli chodzi o bioelektronikę w pierwszym znaczeniu, to powinna istnieć możliwość stworzenia bioelektronicznego modelu katalizy enzymatycznej, u którego podstaw muszą stać heurystyczne analogie substratowo-strukturalno-funkcjonalne pomiędzy układami enzymatycznymi a urządzeniami elektronicznymi i chemotronicznymi. W tym kontekście warto odnotować, że wysuwano już hipotezy, w których tłumaczy się działanie enzymów zaangażowaniem w układzie enzymatycznym półprzewodnictwa (np. 65), piezoelektryczności (47), nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego (1-2), a nawet udziałem plazmy fizycznej w katalizie enzymatycznej (256-258).

Bioelektronika w drugim znaczeniu, to elektronika techniczna, w której wykorzystywane są biomateriały lub nawet mikroorganizmy (np. 64, 101, 124, 126, 152, 156, 190, 240-241, 263). Dziedzina ta nazywana jest również elektroniką biomolekularną (np. 168, 171, 228), monoelektroniką molekularną (79-80) lub ogólniej elektroniką molekularną (np. 23-24, 31, 42, 69, 71-72, 216).

Zapotrzebowanie technologii elektronicznej na coraz większą złożoność i gęstość zintegrowanych obwodów, a także przekonanie, że przyszłe generacje komputerów (ażeby zwiększyć pojemność pamięci i szybkość przetwarzania informacji) wymagać będą zasadniczo nowych technologii, opartych na całkowicie odmiennych typach materiałów, wymusiły zwrócenie uwagi badaczy na organiczne półprzewodniki i metale. Związki te (np. poliacetylen, polipirol) stały się ważnymi alternatywami dla tradycyjnych substancji nieorganicznych. Lista zastosowań tego rodzaju tzw. molekularnych materiałów elektronicznych obejmuje m.in.: kondensatory, tranzystory, baterie, urządzenia pamięciowe, czujniki chemiczne, przetworniki, elektrody, elektrolity polimerowe, urządzenia optoelektroniczne itd. Trzeba podkreślić, że to zastosowanie materiałów organicznych polega na ich użyciu jako aktywnych elementów obwodów elektronicznych, a nie jak dawniej na biernym wykorzystaniu ich jako izolatorów w funkcji obudowy.

Z kolei po syntetycznych półprzewodnikach i metalach organicznych zainteresowano się biomateriałami. Poszukiwania mające na celu zastosowanie biomolekuł do urządzeń elektronicznych obejmują m.in.: bioczujniki, biobaterie i wiele funkcji komputerowych, np. w urządzeniach pamięciowych wykorzystuje się: bakteriorodopsynę, cytochromy *c* i *c<sub>3</sub>*, ferrytynę, kolagen itd.; w urządzeniach wejście/wyjście - enzymy, receptory, metaloproteiny itd.; w bramkach elektronicznych i przełącznikach - ATPazę, receptory acetylocholinowe, układy fotosyntetyczne, w/w bakteriorodopsynę itd.; w przewodach instalacji elektrycznej - antybiotyki polienowe i biopolimery przewodzące. Skonstruowano już: tranzystory enzymowe (np. 39, 255), piroelektryczne detektory enzymowe (21), termistory enzymowe (67-68, 189), tranzystory bioczujnikowe wykorzystujące enzymy (117-118) itd. Zastosowania bioelektroniczne enzymów są również przedmiotem licznych prac (np. 7, 10, 15-16, 141), (w szczególności: cytochromu *c* (17-18, 103, 160, 169, 212, 222-223), cytochromu *b* (103, 160), cytochromu *c<sub>3</sub>* (159, 161-162), cytochromu *a* (160), cytochromu *c<sub>4</sub>* (161-162), cytochromu *c<sub>7</sub>* (161-162), cytochromu *c'* (161-162), cytochromu *b<sub>2</sub>* (161-162), cytochromu *c<sub>551</sub>* (100)). Nie tylko wykorzystuje się tu biomolekuły (oprócz zarówno w/w, jak i innych białek w grę wchodzi także: DNA, RNA, pigmenty itd.) jako materiał elektroniczny (np. 42, 81, 176, 178, 231), ale również określone struktury biologiczne traktuje się jak naturalne urządzenia elektroniczne, np. pigmenty wzrokowe (typu rodopsyny) i anteny chlorofilowe jako naturalne molekularne urządzenia przełączające; mikrotubule, cytoszkielet i neurony jako mikroprocesory (np. 84-85, 88, 108, 120, 149, 180), zaś enzymy jako naturalne diody lub tranzystory (40, 163, 211).

Z tego rodzaju biotechnologii najważniejsze i najbardziej interesujące są biokomputery z bioukładami scalonymi („biochips”) (51, 57, 82, 102, 112-113, 153, 164, 183-185, 203-204, 214, 235). W tej dziedzinie jest coraz więcej patentów. Ocenia się, że będzie możliwe uzyskanie około 10 tysięcy razy większej mocy komputera na bioukładach scalonych, w wypadku trójwymiarowej sieci obwodów elektronicznych.

Chociaż idea bioukładu scalonego liczy sobie niespełna 20 lat, a pomysł obwodu zintegrowanego około 30 lat, to uważa się, że idea ta „jest bardzo stara”, być może ma ponad 4 mld lat, kiedy jakieś skomplikowane łańcuchy molekularne stały się tym, co dziś nazywane jest „kodem genetycznym” (153). Przy tej okazji warto wspomnieć, że z ideami samoorganizujących się urządzeń molekularnych próbuje się już wiązać zagadnienie powstania życia (115).

Zupełnie jakościowo odmiennych generacji komputerów należy się spodziewać od możliwości zastosowania biochipów jako urządzeń fotomolekularnych, gdzie światło przewodzone falowodem byłoby używane do przełączania innego światła (zamiast przełączania elektronów, tak jak to się dokonuje w tranzystorze). Komputer biomolekularny, w którym sygnałami byłyby solitony, jest dalszym celem. Mówi się już o biologicznych paradygmatach elektroniki molekularnej (48, 50). Należy tu podkreślić, że w bardzo skąpej literaturze na ten temat nie podaje się istotnych szczegółów, w które są z pewnością przedmiotem zastrzeżeń patentowych.

#### 4. PROCESOROWA FUNKCJA ENZYMÓW W BIOELEKTRONICE TECHNICZNEJ I W UKŁADACH ŻYWYCH

Problem istoty informacji, jej przetwarzania i magazynowania w układach żywych jest niezmiernie złożony i wieloaspektowy (zob. np. 104, 116, 122-123, 227, 238). Tutaj uwaga zostanie zwrócona na aspekt elektroniczno--molekularny.

W elektronice molekularnej i biomolekularnej, rozwiązując zagadnienia dotyczące przetwarzania informacji, sięga się po wiedzę o systemach żywych (np. 54-56, 58, 60-61, 81, 96, 99, 109, 125, 154, 172-178, 232, 243). Przepływ informacji jest tam bowiem badany w odniesieniu do rozmaitych biostruktur i biosystemów oraz jej nośników (zob. np. 62, 107, 111, 166, 237): chemicznych i fizycznych, jak swobodne elektrony, fonony, ekscytony, polarony, solitony itd., włącznie z nośnikiem elektromagnetycznym (np. 27-29, 226, 228). W rezultacie wykonuje się tranzystory zbudowane całkowicie z materiałów organicznych (30), „dochodzi się” do tranzystorów w skali

atomowej, gdzie kilkanaście atomów już wystarcza do pełnienia tego typu funkcji (242) rozważa się kwantowe magazynowanie informacji (144), a przecież przetwarzanie informacji w obrębie komputera molekularnego może się dokonywać przy wykorzystaniu zaledwie pojedynczych elektronów, pojedynczych atomów lub pojedynczych grup chemicznych (145).

Z jednej strony powstała nanoelektronika i nanotechnologia (25-26, 43, 45, 75, 143, 179, 215, 236), z drugiej natomiast zarysowuje się nanobiologia (dziedzina badań bioukładów o rozmiarach wyrażanych w skali nanometrów) (np. 95, 109, 157). Można zapewne już mówić przez analogię o „bionano-hardware” i „bionanosoftware”. Usiłuje się bowiem konstruować sztuczne nanoukłady naśladujące naturalne układy biologiczne i oparte na przetwarzaniu informacji w biomolekułach (53, 83, 232-233).

Geneza informacji przetwarzanych w organizmach żywych na poziomie molekularnym ich organizacji była już przedmiotem wielu badań (np. 73, 76, 90, 94, 111, 114, 116, 121, 150-151, 158, 167, 253, 260), uwarunkowanych w dużej mierze postępem głównie genetyki molekularnej i teorii informacji, chociaż nie tylko (np. 27-28, 170, 196-197). Niezwykle interesujące w tym kontekście są koncepcje funkcjonowania komórki żywej lub jej części jako komputera (np. 54, 58, 85-88, 129-135, 166, 180, 239). Duży wkład w te prace dała jednakże nie tyle biofizyka, ile elektronika biomolekularna. Wykazano bowiem, że takie biostruktury jak mikrotubule są procesorami informacji (74, 84, 89, 97, 108, 110, 120, 180, 237, 250) i nie jest przesadą nazywanie ich automatami biomolekularnymi i nanokomputerami (85).

Specyficzna struktura mikrotubul (cylindryczna lewoskrętna krata szachownicopodobna, istniejąca dzięki powtarzalnemu szykowi geometrycznemu podjednostek mikrotubul) może zdaniem S. R. Hameroffa być programowalną matrycą przełączającą, zdolną do ukierunkowanego transferu i zintegrowanego przetwarzania ładunków i energii biochemicznej, mechanicznej lub elektromagnetycznej (bowiem wewnątrz mikrotubuli pełnić może rolę falowodu elektromagnetycznego), a co za tym idzie do przetwarzania i magazynowania informacji.

Na procesory te mogą wpływać pola elektromagnetyczne zewnętrzne i autogenne, jak również sztuczne pola, obecne w środowisku elektromagnetycznym jako jego zanieczyszczenie źródłami pochodzenia cywilizacyjnego (259). Biosystemy mogą się komunikować dzięki transmisji i recepcji sygnałów elektromagnetycznych, za pośrednictwem receptorów błonowych i właśnie enzymów (29 s. 73-90; 228). Enzymy te są molekularnymi wskaźnikami oddziaływań pól elektromagnetycznych (np. 3-4, 251, patrz również 207), absorbują one energię pola elektrycznego (251-252) odgrywającego rolę organizującą (234) do wykonywania swojej pracy (229-230). Fotoaktywacja

i fotomodulacja aktywności enzymów są zresztą znane od dawna (np. 20, 98). Enzymy „komunikują się elektronicznie” pomiędzy sobą (202). 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 obrębie wyrafinowanego języka fizyki obejmującego kwantową naturę procesów submolekularnych (59). Będąc jakby detektorami koncentracji rozmaitych molekuł używają tej informacji, aby zmieniać swoją własną aktywność, tj. w pewnym sensie są podobne do komputerów i muszą być rozpatrywane jako „biologiczne tranzystory” (146). Enzymy są maszynami, które organizują w sensie informacyjnym całość procesów wewnątrz komórki żywej. Sieci enzymów, jako „molekularnych automatów” lub równoległych procesorów, stanowią przez to pierwotną i podstawową cechę komórki (146). 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 (147).

W kontekście elektromagnetycznej teorii życia (34-38, 194-195) nie jest to zaskakujące. Pozostaje jednak nadal problem fizycznych ograniczeń w przetwarzaniu informacji przez tak małe układy (49, 106).

## 5. UWAGI KOŃCOWE

Wydaje się, że bioelektroniczna perspektywa przyszłych badań dotyczących enzymów polegać będzie na eksploracji nie tylko aspektu termodynamicznego, ale przede wszystkim 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,

---

Jak bardzo nietrafne były prognozy niektórych uczonych na temat bioelektroniki, świadczyć może fakt, że jeszcze nie tak dawno, biolog i członek PAN, prof. Władysław J. H. Kunicki-Goldfinger kategorię stwierdzał, iż „[...] Pomysły wykorzystania makro-molekuł jako jednostek układów elektronicznych [...] należą do sfery *science-fiction* [...]”. Postępy elektroniki i cały rozwój współczesnej technologii zauroczyły 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. [...] Wykorzystanie fal elektromagnetycznych dla gromadzenia i przenoszenia informacji na poziomie subkomórkowym i molekularnym wydaje się jednak niemożliwe”, (z przedmowy Kunickiego-Goldfingera do książki T. Scibor-Rylskiej pt. *Tajemnice uorganizowania żywej komórki*. Warszawa 1986 s. 16-17. IW PAX.

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. Należałoby zatem tworzyć i rozwijać modele teoretyczne nano-procesorowej funkcji enzymów. Bioelektroniczna wizja zjawisk życiowych będzie zapewne nabierać coraz większego znaczenia nie tylko czysto poznawczego, ale i praktycznego.

#### BIBLIOGRAFIA

1. A c h i m o w i c z J.: 1982. Quantum solid state mechanisms of biological effects of electromagnetic radiation with emphasis on local superconductivity. *Radio Sci.* 17 (5S): 23S-27S.
2. A c h i m o w i c z J., C a d e r A., P a n n e r t L., W ó j c i k E.: 1977. Quantum cooperative mechanism of enzymatic activity. *Phys. Lett. A* 60A (4): 383-385.
3. A d e y W. R.: 1989. The extracellular space i 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. Plenum Publ. Corp.
4. A d e y W. R., S h e p p a r d A. R.: 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.
5. A i z a w a M.: 1984. Introduction to bioelectronics. (w jap.) *Kagaku Gijutsushi MOL* 22 (7): 33-36. (CA 101: 64140g).
6. 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.
7. A i z a w a M.: 1987. Bioelectronics and enzymes. *Bio Ind.* 4 (7): 586-591. (CA 107: 232330p).
8. A i z a w a M.: 1988. Hybrid biomaterials with electronic function. (w jap.) *Bio Ind.* 5 (7): 551-556. (CA 109: J96954a).
9. A i z a w a M.: 1989. Bioelectronics. (w jap.) *Kagaku Kogyo* 40 (2): 146-152. (CA 110: 169472f).

10. A i z a w a M.: 1990. Bioelectronics of biomolecules and cells. (w jap.) *Denki Kagaku oyobi Kogyo Butsuri Kagaku* 58 (7): 608-613. (CA 113: 167455r).
11. A i z a w a M.: 1990. Current progress in bioelectronics. (w jap.) *Kino Zairyo* 10 (4): 5-12. (CA 113: 103248t).
12. A i z a w a M.: 1991. Frontier of bioelectronics. (w jap.) *Kagaku to Kogyo (Tokyo)* 44 (9): 1472-1475. (CA 115: 273526r).
13. A i z a w a M.: 1991. Prospects of bioelectronics. (w jap.) *Bio Ind.* 8 (7): 440-444. (CA 116: 37152r).
14. A i z a w a M.: 1992. Development of bioelectronics. (w jap.) *Suri Kagaku* 344: 5-10. (CA 117:43674z).
15. A i z a w a M., K h a n G. F., S h i n o h a r a H., I k a - r i y a m a Y.: 1992. Molecular wire and interface for bioelectronic molecular devices. *AIP Conf. Proc.* 262 (Mol. Electr.: Sci. Technol.): 139-147.
16. A i z a w a M, Y a b u k i S., S h i n o h a r a H.: 1989. Biomolecular interface. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. T. Hong. 269-275. New York: Plenum Press.
17. A k a i k e T.: 1987. Bioelectronic polymers. (w jap.) *BME* 1 (2): 86-93. (CA 107: 12697y).
18. A k a i k e T.: 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).
19. A l b e K. R., B u t l e r M. H., W r i g h t B. E.: 1990. Cellular concentrations of enzymes and their substrates. */. Theoret. Biol.* 143 (2): 163-195.
20. A n d e r s o n L. E.: 1986. Light/dark modulation of enzyme activity in plants. *Adv. Bot. Res.* 12: 1-46.
21. A r n e y L. H. (Jr.): 9 May 1989. Pyroelectric enzyme detector. Patent: *U.S. US 4,829,003 (Cl. 435-288; C12M1140)* Appl. 901,428, 28 Aug 1986: 7pp.
22. 1989. *Molecular Electronics - Science and Technology*. (Ed.) A. Aviram. New York: United Engineering Trustees.
23. 1992. *Molecular Electronics - Science and Technology*. (Ed.) A. Aviram. St. Thomas Virgin Islands, 1991. New York: AIP.
24. A v i r a m A.: 1993. A view of the future of molecular electronics. *Mol. Cryst. Liquid Cryst. Sci. Technol. Sect. A - Molecular Crystals and Liquid Crystals* 234: 13-28.
25. B a l l P.: 1993. *Nanosystems - Molecular Machinery, Manufacturing, and Computation*, by K. E. Drexler. *Nature* 362 (6416): 123.

26. B a l l P.: 1993. Nanotechnology - Research and Perspectives, by B. C. Crandall, J. Lewis. *Nature* 362 (6416): 123.
27. B i s t o l f i F.: 1990. The bioelectronic connectional system (BCS): A therapeutic target for non ionizing radiation. *Panminerva Med.* 32 (1): 10-18.
28. B i s t o l f i F.: 1990. A hydrogen-harps model for intracellular communication and its implications for the second genetic code. *Panminerva Med.* 32: 4-9.
29. B i s t o l f i F.: 1991. *Biostructures and Radiation. Order Disorder.* Torino: Edizioni Minerva Medica.
30. B l o o r D.: 1991. Molecular electronics - Totally organic transistors. *Nature* 349 (6312): 738-740.
31. B l o o r D.: 1992. Molecular scale electronics: science fiction or science fact? *Springer Ser. Solid-State Sci.* 107 (Electron. Prop. Polym.): 437-442.
32. B o n e S, Z a b a B.: 1992. *Bioelectronics.* Chichester New York Brisbane Toronto Singapore: John Wiley & Sons.
33. B o r g e r s M., Verheyen A.: 1985. Enzyme cytochemistry. *Int. Rev. Cytol.* 95: 163-227.
34. B u l k l e y D. H.: 1989. An electromagnetic theory of life. *Medical Hypotheses* 30: 281 (za Bulkley 1992 s. 305).
35. B u l k l e y D. H.: 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. (20 pp.) (EM Series 10).
36. B u l k l e y D. H.: 1992. 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, 6519 - 40th. Ave. Seattle. WA 98115, Seattle. (8 pp.) (EM Series, 18).
37. B u l k l e y D. H.: 1992. The electromagnetic order that underlies the chemistry of life. *Speculations on The Electromagnetics of Life.* The Seattle Institute for the Life Sciences, 6519 - 40th. Ave. Seattle. WA 98115, Seattle. (16 pp.) (EM Series, 16).
38. B u l k l e y D. H.: 1992. An electromagnetic theory of life - II: Testing. *Medical Hypotheses* 38: 305-310.
39. C a r a s S., J a n a t a J.: 1988. Enzymatically sensitive field effect transistors. W: *Immobilized Enzymes and Cells.* (Ed.) K. Mosbach, 247-255. *Methods in Enzymology*, 137. San Diego: Acad. Press Inc.

40. C a r d e n a s M. L.: 1991. Are the transistery enzyme-enzyme complexes found *in vitro* also transistery *in vivo*? If so, are they physiologically important. *J. Theoret. Biol.* 152 (1): 111-113.
41. 1982. *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter. New York & Basel: Marcel Dekker, Inc.
42. C a r t e r F. L.: 1984. 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.
43. C a r t e r F. L.: 1985. Molecular level fabrication techniques and molecular electronic devices. W: *Nanometer Struct. Electron., Proc. Int Symp.*: (Eds.) Y. Yamamura, T. Fujisawa i S. Namba, 11-24. 1984. Tokyo: Ohmska.
44. 1987. *Molecular Electronic Devices II*. (Ed.) F. L. Carter, New York & Basel: Marcel Dekker, Inc.
45. C a r t e r F. L., Siatkowski R. E.: 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.
46. 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).
47. C a s e r t a G., C e r v i g n i T.: 1974. Piezoelectric theory of enzyme catalysis as inferred from the electromechanochemical principles of bioenergetics. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 71 (11): 4421-4424.
48. C h i a b r e r a A., D i Z i t t i E., B i s i o G. M.: 1991. Molecular information processing and physical constraints on computation. *Chemtronics* 5: 17-22.
49. C h i a b r e r a A., D i Z i t t i E., C o s t a F., B i s i o G. M.: 1989. Physical limits of integration and information processing in molecular systems. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 22: 1571-1579.
50. C h i a b r e r a A., D i Z i t t i E., R i c c i D.: 1993. Biological Paradigms of Molecular Electronics. *Cytotechnology* 11 (Suppl. 1): 77-79.
51. C h i a n g H. Y.: 1986. Sensing device of biocomputers. (w chin.) *K'o Hsueh Yueh K'an* 17 (5): 346-349.
52. C o l e G. H.: A. 1986. Information, cosmology and life. *Speculat. Sci. Technol.* 9 (4): 259-263.

53. C o n r a d M.: 1985. On design principles for a molecular computer. *Communications of the ACM* 28 (5): 464-480.
54. C o n r a d M.: 1988. Quantum mechanics and molecular computing: mutual implications. *Int. J. Quantum Chem: Quantum Biol. Symp.* 15: 287-301.
55. C o n r a d M.: 1989. 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.
56. C o n r a d M.: 1989. Physics and biology: Towards a unified model. *App. Math. Comput.* 32 (2-3): 75-102.
57. C o n r a d M.: 1989. Towards the molecular computer factory. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers.* (Ed.) F. T. Hong, 385-395. New York: Plenum Press.
58. C o n r a d M.: 1992. Quantum molecular computing - The self-assembly model. *Int. J. Quantum Chem.* (Suppl. 19): 125-143.
59. C o n r a d M.: 1992. The seed germination model of enzyme catalysis. *BioSystems* 27 (4): 223-233.
60. C o n r a d M.: 1993. Biophysicalism. *Appl. Math. Comput.* 56 (2-3): 103-109.
61. C o n r a d M.: 1993. The fluctuon model of force, life, and computation - A constructive analysis. *Appl. Math. Comput.* 56 (2-3): 203-259.
62. C o o k N. D.: 1984. The transmission of information in natural systems. *J. Theoret. Biol.* 108 (3): 349-368.
63. 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.
64. C o o p e r J. M., B a r k e r J.R., M a g i l l J. V., M o n a g h a n W., Robertson C, W i l k i n s o n D. W., C u r t i s A. S. G., M o o r e s G. R.: 1993. A Review of Research in Bioelectronics at Glasgow-University. *Biosensors & Bioelectronics* 8 (3-4): R22-R30.
65. C o p e F. W.: 1979. 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.
66. C o r n i s h - B o w d e n A.: 1984. Enzyme specificity: its meaning in the general case. *J. Theoret. Biol.* 108 (3): 451-457.

67. D a n i e l s s o n B.: 1991. Enzyme thermistor devices. *Bioprocess Technol.* 15 (Biosens. Princ. Appl.): 83-105.
68. D a n i e l s s o n B., Mosbach K.: 1988. Enzyme thermistors. W: *Immobilized Enzymes and Cells*. (Ed.) K. Mosbach, 181-197. *Methods in Enzymology*, 137. San Diego: Acad. Press Inc.
69. D a y P.: 1990. Future molecular electronics. *Chem. Brit.* 26 (1): 52-54.
70. 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.
71. D e r o s n a y J.: 1992. Molecular information processing and molecular electronic devices. *Thin Solid Films* 210 (1-2): 1-3.
72. D r e x l e r K. E.: 1987. Molecular machinery and molecular electronic devices. W: *Molecular Electronic Devices II*. (Ed.) F. L. Carter, 549-572. New York: Dekker.
73. E i g e n M.: 1976. How does information originate? Principles of self-organisation in biology. *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 80 (11): 1059-1081. (PA 80: 1063: 32868).
74. E n g e l b o r g h s Y.: 1992. Dynamic aspects of the conformational states of tubulin and microtubules. *Nanobiology* 1 (1): 97-105.
75. F a h y G. M.: 1993. Molecular nanotechnology. *Clin. Chem.* 39 (9): 2011-2016.
76. F o x S. W.: 1974. Origins of biological information and the genetic code. *Mol. Celi. Biochem.* 3 (2): 129-142.
77. 1986. *Mechanisms of Enzymatic Reactions: Stereochemistry*. [Proceedings of the 15th Steenbock Symposium], (Ed.) P. A. Frey, Madison, Wis., New York: Elsevier.
78. G i e l e t i u k W. I., K a z a c z e n k o W. N.: 1990. *Klastiernaja organizacija ionnych kanalów*. Moskwa: izd. Nauka.
79. G i l m a n s h i n R. I.: 1993. Proteins for molecular monoelectronics. W: *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices* Vol. 2. K. Sienicki, 1-78. *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices*, 2. Boca Raton: CRC Press Inc.
80. G i l m a n s h i n R. I., L a z a r e v P. L.: 1988. Molecular monoelectronics. *J. Mol. Electronics* 4 (Suppl.): S83-S90.
81. G r i t s e n k o O. V., S i d e l n i k o v D. L., S i m o n o v a A. P., R a m b i d i N. G.: 1991. Towards a Biomolecular Computer. 3. Information Processing Features of Distributed Biochemical Systems Functioning in the Mode of Dissipative Structure Formation. *J. Mol. Electronics* 1 (4): 155-166.

82. H a d d o n R. C, L a m o l a A. A.: 1985. The molecular electronic device and the biochip computer: present status. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 82 (April): 1874-1878.
83. H a m e r o f f S. R.: 1987. *Ultimate Computing: Biomolecular Consciousness and Nanotechnology*. Amsterdam: Elsevier (North-Holland).
84. H a m e r o f f S. R., D a y h o f f J. E., L a h o z - B e l t r a R., S a m s o n o v i c h A. V., R a s m u s s e n S.: 1992. Models for molecular computation: conformational automata in the cytoskeleton. *Computer* (November): 30-39.
85. H a m e r o f f S. R., R a s m u s s e n S.: 1989. 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.
86. H a m e r o f f S. R., R a s m u s s e n S., M a n s s o n B.: 1989. Molecular automata in microtubules: basic computational logic for the living state? W: *Artificial Life, the Santa Fe Institute Studies in the Sciences of Complexity*. (Ed.) C. Langton, 521-553. Reading, MA: Addison-Wesley.
87. H a m e r o f f S. R., S m i t h S. A., W a t t R. C.: 1986. Automaton model of dynamic organization in microtubules. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 466: 949-952.
88. H a m e r o f f S. R., W a t t R. C.: 1982. Information processing in microtubules. *J. Theoret. Biol.* 98: 549-561.
89. H a m e r o f f S. R., W a t t R. C.: 1982. Microtubules: biological microprocessors? W: *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, 341-356. New York: M. Dekker, Inc.
90. 1989. *Bioinformatics. Information Transduction and Processing Systems from Celi to Whole Body*. (Eds.) O. Hatase i J. H. Wang, Amsterdam: Elsevier. (CA 112: 114496c).
91. H e i n r i c h R., S c h u s t e r S., H o l z h u t t e r H. G.: 1991. Mathematical analysis of enzymie reaction systems using optimization principles. *Eur. J. Biochem.* 201 (1): 1-21.
92. H i g a z i A. 1985. The exchange of energy between the medium and the active site. *J. Theoret. Biol.* 117: 609-619.
93. 1989. *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers*. (Ed.) F. Hong. New York & London: Plenum Press.
94. H o n g F. T.: 1992. Intelligent materials and intelligent microstructures in photobiology. *Nanobiology* 1 (1): 39-60.

95. H o n g F. T.: 1992. Do biomolecules process information differently than synthetic organic molecules. *BioSystems* 27 (4): 189-194.
96. H o p f i e l d J. J.: 1991. Physics, computation, and biology. *Springer Proc. Phys.* 57 (Evol. Trends Phys. Sci.): 217-224.
97. H o t a n i H., L a b o z - B e l t r a R., C o m b s B., H a m e r r o f f S., R a s m u s s e n S.: 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.
98. H u g D. H., H u n t e r J. K.: 1991. Photomodulation of enzymes. *J. Photochem. Photobiol., B-Biol.* 10 (1-2): 3-22.
99. H u t h G. C., B o n d J. D., T o v e P. A.: 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.
100. I g u c h i N., R i E., K i m u r a H.: 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. H01L29I28)* Appl. 90/19,217, 31 Jan 1990: 5pp. (CA 116: 55080v).
101. I s o d a S.: 1991. Flavin-porphyrin molecular heterojunction devices. Bioelectronic devices based on biological electron transfer, (w jap.) *Bio Ind.* 8 (7): 465-477. (CA 116: 37156v).
102. 1985. *Biochemical Elements and Bio-Computer: Technical Problems and Research Strategy*. (w jap.) (Ed.) T. Kaminuma, 329 pp. Tokyo: Science Forum Inc.: Tokyo, Japan. (CA 105: 57433r).
103. K a m i y a m a T., I s o d a S., O g u r a A.: 27 January 1988. A monolithic circuit device using biological materials. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,853 [88 19,853] (Cl. H01 L29I28)* Appl. 86/164,186, 11 Jul 1986: 6pp. (CA 109: 30997s).
104. K a m p i s G., C s a n y i V.: 1991. Life, self-reproduction and information - beyond the machine metaphor. *J. Theoret. Biol.* 148 (1): 17-32.
105. K a r u b e I.: 1992. Current technical trends in bioelectronics. (w jap.) *Denshi Zairyo* 31 (6): 63-68. (CA 117: 247864w).
106. K e y e s 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.

107. K o h n M., B e d r o s i a n S.: 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 1H York: Plenum Press.
108. K o r u g a D.: 1989. Microtubules: possible application to computer 12( technologies. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers.* (Ed.) F. T. Hong, 231-241. New York: Plenum Press.
109. K o r u g a D.: 1992. Neuromolecular computing. *Nanobiology* 1: 5-24.
110. K o r u g a D., S i m i c – K r s t i c J.: 1990. Semiconductor and crystal symmetry assessment of microtubule proteins as molecular machines. *J. Mol. Electronics* 6 (3): 167-173.
111. K o t y k A.: 1992. Biomembranes as Catalysts of mass, energy and information transfer. / *Radioanal. Nuci. Chem.* - 163 (1): 37-45.
112. K o y a n o T., S a i t o M., K a t o M, U m i b e K, M i y a m o t o H.: 25 July 1991. Manufacture of biochips for use in bio- 123, computers for information processing. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 03,171,686 191, 171686*] (Cl. HO 1L49I00) Appl. 89/310,444, 29 Nov 1989: 8pp. (CA 115: 275226s).
113. K o y a n o T., S a i t o M., M i y a m o t o H., U m i b e K., K a t o M.: 10 January 1992. Bioelement having biological photo-information processing function for use in computer. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 04 06,446 [92 06,446]* (Cl. GOIN21/80) Appl. 90/107,352, 25 Apr. 1990: 5pp. (CA 116: 190666f).
114. K u h n H.: 1976. Evolution of biological information. (w niem.) *Ber. Bunsenges. Phys. Chem.* 80 (11): 1209-1223. (CA 86: 38650a).
115. K u h n H.: 1987. Self-organizing molecular electronic devices? W: *Molecular Electronic Devices II.* (Ed.) F. L. Carter, 411-426. New York: M. Dekker, Inc.
116. K ü p p e r s B. O.: 1991. *Geneza informacji biologicznej. Filozoficzne problemy powstania życia.* Warszawa: PWN (tłum. z j. niem.: Der Ursprung biologischer Information. Zur Naturphilosophie der Lebensentstehung, R. Piper GmbH & Co. KG, Miinchen 1986).
117. K u r i y a m a T., K a w a n a T., K a w a n a Y.: 6 May 1986. Biosensor transistors. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 61 88, 135. [86, 88,135]* (Cl. GOI N27/30) Appl. 84/209,165, 05 Oct 1984: 4pp. (CA 105: 186707a).
118. K u r i y a m a T., K i m u r a J., K a w a n a Y.: 6 May 1986. Biosensor transistors. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 61 88,136*

- 186,88,136] (*Cl. GOI N27/30*) Appl. 84/209,166. 05 Oct 1984: 4pp. (CA 105: 186707a).
119. K u r z y ń s k i M.: 1994. Protein-machine model of enzymatic catalysis. *Biophys. Chem.* (preprint).
  120. L a h o z - B e l t r a R., H a m e r o f f S. R., D a y h o f f J. E.: 1993. Cytoskeletal logic: A model for molecular computation via Boolean operations in microtubules and microtubule-associated Proteins. *BioSystems* 29 (1): 1-23.
  121. L a m b e r t G. R.: 1984. Enzymic editing mechanisms and the origin of biological information transfer. *J. Theoret. Biol.* 107 (3): 387-403.
  122. L a t a w i e c A. M.: 1982. Pojęcie informacji biologicznej. W: *Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody.* (Red.) K. Kłósak, M. Lubański i S. W. Ślaga, 213-229. Warszawa: Akademia Teologii Katolickiej.
  123. L a t a w i e c A. M.: 1983. Koncepcja informacji biologicznej. W: *Z zagadnień filozofii przyrodoznawstwa i filozofii przyrody.* (Red.) K. Kłósak, M. Lubański i S. W. Ślaga, 151-259. Warszawa: Akademia Teologii Katolickiej.
  124. L a w r e n c e 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.
  125. L a w r e n c e A. F., B i r g e R. R.: 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.
  126. 1991. *Molecular Electronics: Materials and Methods.* (Ed.) P. I. Lazarev, Topics in Molecular Organization and Engineering, 7. Dordrecht, Neth.: Kluwer.
  127. 1987. *Structure, Biogenesis, and Assembly of Energy Transducing Enzyme Systems.* (Ed.) C. P. Lee, Current Topics in Bioenergetics, 15. San Diego: Academic.
  128. L e n a r t o w i c z P.: 1986. *Elementy filozofii zjawiska biologicznego.* Kraków: Wydawnictwo Apostolstwa Modlitwy.
  129. L i b e r m a n J. A.: 1972. Molekularnaja wycislitielnaja maszina kletki (MWM). I. Obszczije soobrazenija i gipotiezy. *Biofizika* 17 (5): 932-943.
  130. L i b e r m a n J. A.: 1974. Molekularnaja wycislitielnaja maszina kletki (MWM). IV. «Ciena diejstwija» - wieliezina, charakterizuju-

- szczają «trudnost'» rieszania zadaczi dla wycislitelnoego ustroistwa. *Biofizika* 19 (1): 148-150.
131. L i b e r m a n J. A.: 1975. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki. VII. Biofizika kletki i rrealisticzeskaja iii informacionnaja fizika (I). *Biofizika* 20 (3): 432-436.
132. L i b e r m a n J. A.: 1975. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki (MWM). VIII. Wozmoznaja konstrukcija molekularnoj pamiatki w biologiczeskich miembranach i princip minimalnych zatrat swobodnoj energii na zapis informacii. *Biofizika* 20 (4): 624-627.
133. L i b e r m a n J. A.: 1983. Priedielnyj molekularnyj kwantowyj riegulator. *Biofizika* 28 (1): 183-185.
134. L i b e r m a n J. A.: 1989. Molekularnyje kwantowyje kompjutieri. *Biofizika* 34 (5): 913-925.
135. L i b e r m a n J. A., S z k l o w s k i j N. J.: 1973. Molekularnaja wycislitel'naja maszina kletki (MWM). III. O wozmoznosti konstrukcii «idealnoego» wycislitel'nogo ustrojstwa w zidkoj miembranie. *Biofizika* 18 (6): 1121.
136. 1988. *Mechanistic Principles of Enzyme Activity*. (Eds.) J. F. Liebman i A. Greenberg, Molecular Structures and Energetics, 9. Weinheim, Fed. Rep. Ger.: VCH.
137. L i n c h u n g P. J., R a j a g o p a l A. K.: 1994. Electronic excitations in nanoscale systems with helical symmetry. *J. of Phys.-Condensed Matter* 6 (20): 3697-3706.
138. 1982. *Electronic Conduction and Mechanoelectrical Transduction in Biological Materials*. (Ed.) B. Lipiński. New York: M. Dekker.
139. L i p s c o m b W. N.: 1981. How do enzymes work? *Colloq. Ges. Biol. Chem.* 32 (Struct. Funct. Aspects Enzyme Catal.): 17-23.
140. L i p s c o m b W. N.: 1982. Acceleration of reactions by enzymes. *Acc. Chem. Res.* 15: 232-238.
141. L o t a n N., A s h k e n a z i G., T u c h m a n S., N e h a m k i n S., S i d e m a n S.: 1993. Molecular bio-electronics biomaterials. *Mol. Cryst. Liquid Cryst. Sci. Technol. Sect. A – Molecular Crystals and Liquid Crystals* 234: 635-644.
142. L u m r y R., G r e g o r y R. B.: 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.
143. L u s c o m b e 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.

144. M a d d o x J.: 1987. Quantum Information storage. *Nature* 327 (14 May): 97.
145. M a h l e r G., O b e r m a y e r K.: 1987. Towards the quantum computer: information processing with single electrons. W: *International Symposium on Synergetics: Computational Systems*. (Ed.) H. Haken, Elmau, Springer. (preprint).
146. M a r i j u a n P. C.: 1991. Enzymes and theoretical biology: sketch of an informational perspective of the cell. *BioSystems* 25 (4): 259-274.
147. M a r i j u a n P. C., W e s t l e y J.: 1992. Enzymes as molecular automata - A reflection on some numerical and philosophical aspects of the hypothesis. *BioSystems* 27 (2): 97-113.
148. 1988. *Modern Bioelectricity*. (Ed.) A. A. Marino. New York & Basel: Marcel Dekker, Inc.
149. M a t s u m o t o G., I i j i m a T.: 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.
150. M a t s u n o K.: 1984. Is matter inanimate?: Protobiological information from within. *Origins Life* 14 (1-4): 489-496.
151. M a u r e l M. C.: 1991. Primitive evolution: early information transfer and catalysis by purines. *Lect. Notes Phys.* 390 (Bioastronomy): 93-98.
152. M a y V.: 1989. Bioelectronics and electron transfer in proteins. *Stud. Biophys.* 132 (1-2): 35-46.
153. M c A l e a r J. H., W e h r u n g J. M.: 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.
154. M c D o n a l d J. A.: 1993. Neurocomputing - Bridging the real world and the world of computers. *Biosensors & Bioelectronics* 8 (5): R21-R25.
155. M o r i i z u m i T.: 1987. *Bioelectronics. (Baioerekutoronikkusu)*. (w jap.) Tokyo: Kogyo Chosakai Publishing Co., Ltd. (CA 106: 945 IOy).
156. M u n n R. W.: 1992. Molecules as electronic components. *BioSystems* 27 (4): 207-211.
157. N a g a y a m a K.: 1992. Protein array: an emergent technology from biosystems. *Nanobiology* 1 (1): 25-37.
158. N i c o l i s J. S.: 1987. Chaotic dynamics in biological information processing: a heuristic outline. *Nuovo Cimento D - Cond. Matt. At.* 9 (11): 1359-1388.

159. N i k i K.: 1991. Electronic functions of cytochrome c3 for electronic devices. (w jap.) *Kino Zairyo* 11 (7): 5-17. (CA 116: 53746t).
160. O g u r a A., I s o d a S.: 27 January 1988. A bioelectric device with an electron-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).
161. O g u r a A., I s o d a S.: 27 January 1988. 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).
162. O g u r a A., K a m i y a m a T., I s o d a S.: 27 January 1988. A bioelectric device with an electron-transporting protein. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,856 [88, 19,856] (Cl. H01 L29I28)* Appl. 86/164,189, 11 Jul 1986: 13pp. (CA 109: 30995q).
163. O k a m o t o M., S a k a i T., H a y a s h i K.: 1987. Switching mechanism of a cyclic enzyme system: role as a 'Chemical diode'. *BioSystems* 21 (1): 1-11.
164. O k a m o t o M., W a d a M.: 1984. Biochips (biochemical electronic devices). (w jap.) *Kagaku to Kogyo (Tokyo)* 37 (3): 170-172.
165. 1987. *Enzyme Mechanisms*. (Eds.) M. I. Page i A. Williams, London, UK: Royal Society of Chemistry.
166. P a t o n R. C.: 1993. Some computational models at the cellular level. *BioSystems* 29 (2-3): 63-75.
167. P a t t e e 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 G. B. Yates. 325-338. New York: Plenum Press.
168. P h a d k e R. S., S o n a w a t H. M., G o v i l G.: 1988. Biomolecular electronics using coenzymes immobilized on solid supports. *J. Mol. Electronics* 4 (Suppl.): S67-S74.
169. P h a d k e R. S., S o n a w a t H. M., G o v i l G.: 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).
170. 1979. *Electromagnetic Bio-Information. Proceedings of the Symposium*, (Eds.) F. A. Popp, G. Becker, H. L. König i W. Peschka. Marburg 5 September 1977. München: Urban & Schwarzenberg.

171. P o w e r s L.: 1989. Biomolecular electronics: Structure - function relationship. W: *Molecular Electronics. Biosensors and Biocomputers.* (Ed.) F. T. Hong, 115-123. New York: Plenum Press.
172. P r a t t J. M.: 1986. Metalloenzymes as molecular switches: the role of conformation changes in controlling activity. *J. Inorg. Biochem.* 28 (2-3): 145-153.
173. R a c h i m o w M. W.: 1986. Biologiczeskije mikroustrojstwa s fiermientnym usilenijem. *Biofizika* 31 (4): 704-710.
174. R a m b i d i N. G.: 1992. Towards a biomolecular computer. *BioSystems* 27 (4): 219-222.
175. R a m b i d i N. G.: 1993. Non-discrete biomolecular computing - An approach to computational complexity. *BioSystems* 31 (1): 3-13.
176. R a m b i d i N. G., C h e r n a v s k i i D. S.: 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.
177. R a m b i d i N. G., C h e r n a v s k i i D. S., K r i n s k y V. L.: 1993. Information processing and computing devices based on biomolecular nonlinear dynamic systems. W: *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices. Vol 1.* K. Sienicki, 85-153. Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices, 1. Boca Raton: CRC Press Inc.
178. R a m b i d i N. G., C h e r n a v s k i i D. S., S a n d l e r Y. M.: 1991. Towards a biomolecular computer. 1. Ways, means, objectives. *J. Mol. Electronics* 7 (3): 105-114.
179. R a n d a l l J. N., R e e d M. A., F r a z i e r G. A.: 1989. Nanoelectronics: fanciful physics or real devices? *J. Vac. Sci. Technol., B*, 7 (6): 1398-1404.
180. R a s m u s s e n S., K a r a m p u r w a l a H., V a i d y a - n a t h R., J e n s e n K. S., H a m e r o f f S.: 1990. Computational connectionism within neurons: A model of cytoskeletal automata subserving neural networks. *Physica D* 42: 428-449.
181. R i c a r d J.: 1985. Organized polymeric enzyme systems: catalytic properties. W: *Organized Multienzyme Systems.* (Ed.) G. R. Welch, 177-240. Orlando, Fla.: Academic Press.
182. R i c a r d J.: 1989. Modulation of enzyme catalysis in organized biological systems: a physico-chemical approach. *Catal. Today* 5 (3): 275-384.

183. R o b i n s o n B. H., S e e m a n N. C.: 1987. The design of a biochip: a self-assembling molecular-scale memory device. *Protein Eng.* 1 (4): 295-300.
184. S a i t o M., K o y a n o T., M i y a m o t o H., U m i b e K., K a t o M.: 20 February 1992. Manufacture of biochips for computer. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 04 52,527 [9252,527] (Cl. G01U/00)* Appl. 90/161, 890, 20 Jun 1990: 6pp. (CA 117: 22864w).
185. S a i t o M., U m i b e K., K a t o M., M i y a m o t o H., K o y a n o T.: 15 July 1991. Manufacture of biochips for computer. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 03,163,887 [91,163,887] (Cl. H01L49/00)* Appl. 89/303,547, 22 Nov 1989: 9pp. (CA 116: 210708b).
186. S a m o g y i B., D a m j a n o v i c h S.: 1986. A microenvironmental approach to enzyme dynamics. W: *The Fluctuating Enzyme.* (Ed.) G. R. Welch, 341-368. New York: J. Wiley & Sons.
187. S a s a b e H.: 1988. Elucidation of biological function and its application to new biomaterials. (w jap.) *Zairyo Kagaku* 25 (2): 69-76. (CA 110: 160264g).
188. S a s a b e H., F u r u n o T., O t o m o J., S a t o A., N a g a m u n e T., U l m e r K. M.: 1991. Control of two-dimensional array of protein molecules for bioelectronics. *New. J. Chem.* 15 (2-3): 149-152.
189. S a t o h I.: 1987. New development of enzyme thermistors. (w jap.) *Kagaku Kogyo* 38 (11): 933-939. (CA 108: 90257q).
190. S c h m i d R. D., K a r u b e I.: 1988. Biosensors and bioelectronics. W: *Biotechnology* (Eds.) H. J. Rehm i G. Reed, 317-365. Weinheim, Fed. Rep. Ger.: VCH.
191. S c h n e i d e r T. D.: 1991. Theory of molecular machines. 1. Channel capacity of molecular machines. *J. Theoret. Biol.* 148 (1): 83-123.
192. S c h n e i d e r T. D.: 1991. Theory of molecular machines. 2. Energy dissipation from molecular machines. *J. Theoret. Biol.* 148 (1): 125-137.
193. S c h u s t e r S., H e i n r i c h R.: 1987. Time hierarchy in enzymatic reaction chains resulting from optimality principles. *J. Theoret. Biol.* 129 (2): 189-209.
194. S e d l a k W.: 1969. ABC elektromagnetycznej teorii życia. *Kosmos.* Seria A: *Biologia* 18 (2(97)): 155-174.
195. S e d l a k W.: 1970. Wstęp do elektromagnetycznej teorii życia. *Roczniki Filozoficzne* 18, z. 3 (Filozofia Przyrody): 101-126.

196. S e d l a k W.: 1977. The fundamentals of quantum information in living systems. W: *Third International Congress on Psychotronic Research*, 439-442. Tokyo.
197. S e d l a k W.: 1977. Piezoelektryczność związków organicznych i kwantowo-akustyczne podstawy informacji biologicznej. *Roczniki Filozoficzne* 25, z. 3 (Filozofia Przyrody): 149-170.
198. S e d l a k W.: 1979. *Bioelektronika 1967-1977*. Warszawa: Instytut Wydawniczy PAX.
199. S e d l a k W.: 1984. *Postępy fizyki życia*. Warszawa: Inst. Wyd. PAX.
200. S e d l a k W.: 1988. *Wprowadzenie w bioelektronikę*. Wrocław-Warszawa-Kraków-Gdańsk-Łódź: Zakład Narodowy im. Ossolińskich.
201. 1990. *Bioelektronika. Materiały VI Krajowego Sympozjum*. (Red.) W. Sedlak, J. Zon i M. Wnuk, Katolicki Uniwersytet Lubelski, 20-21 listopada 1987. Lublin: Redakcja Wydawnictw KUL.
202. S h i m o m u r a M.: 1991. Electronic Communications between molecular associates and enzymes. (w jap.) *Kagaku (Kyoto)* 46 (8): 571.
203. S h i n a g a w a Y.: 1987. Biocomputer and molecular electronic devices. (w jap.) *Tanpakushitsu Kakusan Koso* 32 (4): 318-326. (CA 106: 225134d).
204. S h i n a g a w a Y.: 1987. *Biocomputer. (Baiokonpyuta)*. (w jap.) Tokyo: Kyoritsu Shuppan Co., Ltd. (CA 106: 116114b).
205. 1993. *Molecular Electronics and Molecular Electronic Devices*. (Ed.) K. Sienicki, Boca Raton Ann Arbor London Tokyo: CRC Press.
206. 1990. *The Enzymes*. (Eds.) D. S. Sigman i P. D. Bouer, San Diego, Calif.: Academic Press, Inc.
207. S n i t a D., M a r e k M.: 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).
208. S o m o g y B., D a m j a n o v i c h S.: 1986. A microenvironmental approach to enzyme dynamics. W: *The Fluctuating Enzyme*. (Ed.) G. R. Welch, 341-368. New York: John Wiley & Sons, Inc.
209. S o m o g y i B., W e l c h G. R., D a m j a n o v i c h S.: 1984. The dynamic base of energy transduction in enzymes. *Biochim. Biophys. Acta* 768 (2): 81-112.
210. S r i v a s t a v a D. K., B e r n h a r d S. A.: 1986. Enzyme-enzyme interactions and the regulation of metabolic reaction pathways. *Curr. Top. Cell. Regul.* 28: 1-68.

211. S u c h e t a A., A c k r e l l B. A. C, Cochran B., Armstrong F. A.: 1992. Diode-like behaviour of a mitochondrial electron-transport enzyme. *Nature* 356 (6367): 361-362.
212. S u z u k i T., Y a m a m o t o K., T a n a k a Y., D a i k o T., A k a i k e T.: 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).
213. S z e n t - G y ö r g y i A.: 1968. *Bioelectronics. A Study in Regulations, Defense, and Cancer*. New York London: Academic Press.
214. T a n M. Q.: 1988. Prospects for biochips. (w chin.) *Shengwu Gongcheng Xuebao* 4 (2): 87-90.
215. T a n a k a K., S a t o T., Y a m a b e T, O k a h a r a K., Uchida K., Yumura M., N i i n o H., O h s h i m a S., K u r t k i Y., Y a s e K, I k a z a k i F.: 1994. Electronic Properties of Carbon Nanotube. *Chem. Phys. Lett.* 223 (1-2): 65-68.
216. T a p u c h i E.: 1991. Molecular electronics - a new interdisciplinary field of research. *Interdiscipl. Sci. Rev.* 16 (1): 45-60.
217. T i e n H. T.: 1988. Bilayer lipid membranes (BLM) in aqueous media: biomolecular electronic devices. *Biop. Membr. Transp.* 9 (2): 171-241.
218. T i e n H. T., S a l a m o n Z., K u t n i k J., K r y s i ń s k i P, K o t o w s k i J., L e d e r m a n n D., J o n a s T.: 1988. Bilayer lipid membranes (BLM): an experimental system for biomolecular electronic device development. *J. Mol. Electronics* 4 (Supp.): S1-S30.
219. T i e n H. T., S a l a m o n Z., K u t n i k J., K r y s i ń s k i P, K o t o w s k i J., L e d e r m a n D., J a n a s T.: 1988. Bilayer lipid membranes (BLM): Biomolecular electronic devices. W: *Ninth School on Biophysics of Membrane Transport, School Proceedings*. (Eds.) J. Kuczera i S. Przystalski, 171-241. Polanica Zdrój, Poland, 4 May 1988. Wrocław, Poi.: Agricultural University of Wrocław.
220. T i e n H. T., S a l a m o n Z., O t t o v a A.: 1990. Lipid bilayer-based sensors and biomolecular electronics. *Biophys. Membr. Transp.* 10th (2): 157-193.
221. T i e n H. T., S a l a m o n Z., O t t o v a A.: 1991. Lipid bilayer-based sensors and biomolecular electronics. *Crit. Rev. Biomed. Engn.* 18 (5): 323-340.
222. T o k u d a T., I s o d a S.: 27 January 1988. A protein static memory device. Patent: *Jpn. Kokai Tokkyo Koho JP 63 19,850 [88,*

- 19,850] (Cl. H01L29I28) Appl. 86/164, 183, 11 Jul 1986: 6pp. (CA 109: 30993n).
223. T o m i z a w a O., I s o d a S.: 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).
224. T r a u t T. W.: 1986. What determines the size of enzymes? *Trends Biochem. Sci. (Pers. Ed.)* 11 (12): 508.
225. T r e u m a n n R. A.: 1993. Evolution of the Information in the Universe. *Astrophys. Space Sci.* 201 (1): 135-147.
226. T r i f f c t T, G r e c n H. S.: 1988. Information transfer by electromagnetic waves in cortex layers. *J. Theoret. Biol.* 131 (2): 199-222.
227. T r i n c z e r K. S.: 1964. *Biologija i informacija*. Moskwa: izd. Nauka.
228. T s o n g T. Y.: 1989. Deciphering the language of cells. *Trends Biochem. Sci. (Pers. Ed.)* 14 (3): 89-92.
229. T s o n g T.: 1989. 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.
230. T s o n g T. Y., A s t u m i a n R. D.: 1988. Electroconformational coupling: how membrane-bound ATPase transduces energy from dynamic electric fields. *Annu. Rev. Physiol.* 50: 273-290.
231. U l m e r K. M.: 1982. Biological assembly of molecular ultracircuits. W: *Molecular Electronic Devices*. (Ed.) F. L. Carter, 213-222. New York: M. Dekker, Inc.
232. V a l l e t o n J. M.: 1988. Biophysico-chemical systems and information processing. *J. Mol. Electronics.* 4 (Suppl.): S75-S83.
233. V a l l e t o n J. M.: 1990. Information processing in biomolecule-based biomimetic systems. From macroscopic to nanoscopic scale. *React. Polym.* 12 (2): 109-131.
234. V a l l e t o n J. M., S a n f e l d A.: 1987. The organizing role of electric fields in structured enzyme media. *J. Non-Equilibr. Thermodyn.* 12 (2): 137-145.
235. V a n B r u n t J.: 1985. Biochips: the ultimate computer. *Bio/Technology* 3 (3): 209, 211-215. (CA 102: 200680h).
236. V a n R o s s u m M.: 1993. From microelectronics to nanoelectronics - New technology requirements. *Materials Sci. Engn. B - Solid State Materials for Advanced Technology* 20 (1-2): 128-133.

237. V a s s i l e v P., K a n a z i r s k a M.: 1985. The role of cytoskeleton in the mechanisms of electric field effects and information transfer in cellular systems. *Medical Hypotheses* 16: 93-96.
238. V i n c e n t L. M.: 1993. Theory of data transferal - Principles of a new approach to the information concept. *Acta Biotheoret.* 41 (1-2): 139-145.
239. W a j n c w a j g M. N., L i b e r m a n J. A.: 1973. Molekularnaja wycislitel'naja maszina. II. Formalnoje opisanije (sistiemaoperatorow). *Biofizika* 18 (5): 939-941.
240. W a n g e r m a n n G.: 1989. Topical aspects of bioelectronics. *Stud. Biophys.* 132 (1-2): 9-16.
241. 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.
242. W a s h b u r n S.: 1992. Electronics - single atoms as transistors. *Nature* 357 (6375): 199-200.
243. W e i s b u c h G.: 1986. Networks of automata and biological organization. *J. Theoret. Biol.* 121 (3): 255-268.
244. W e l c h G. R.: 1977. On the role of organized multienzyme systems in cellular metabolism: A general synthesis. *Próg. Biophys. Molec. Biol.* 32: 103-191.
245. 1985. *Organized Multienzyme Systems: Catalytic Properties.* (Ed.) G. R. Welch, Orlando, Fla.: Academic Press, Inc.
246. W e l c h G. R.: 1993. Bioenergetics and the cellular microenvironment. *Pure Appl. Chem.* 65 (9): 1907-1914.
247. W e l c h G. R., B e r r y M. N.: 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.
248. W e l c h G. R., B e r r y M. N.: 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.
249. W e l c h G. R., K e l l D. B.: 1986. Not just catalysts - molecular machines in bioenergetics. W: *The Fluctuating Enzyme.* (Ed.) G. R. Welch, 451-492. New York: J. Wiley & Sons.
250. W e r b o s P. J.: 1992. The cytoskeleton: why it may be crucial to human learning and to neurocontrol. *Nanobiology* 1 (1): 75-95.
251. W e s t e r h o f f H. V., K a m p F., T s o n g T. Y., A s t u m i a n R. D.: 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.
252. W e s t e r h o f f H. V., T s o n g T. Y., C h o c k P. B., C h e n V., A s t u m i a n R. D.: 1986. How enzymes can capture and transmit free energy from an oscillating electric field. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 83 (13): 4734-4738.
253. W i c k e n J. S.: 1978. Information transformations in molecular evolution. *J. Theoret. Biol.* 72 (1): 191-204. (BA 66 (8): 45532).
254. W I L L I a m s R. J. P.: 1993. Are enzymes mechanical devices. *Trends Biochem. Sci.* 18 (4): 115-117.
255. W i n q u i s t F., D a n i e l s s o n B., L u n d s t r o m L, M o s b a c h K.: 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.
256. W n u k M.: 1987-1988. Bioelektronic aspect of enzymatic catalysis. *Roczniki Filozoficzne* 35-36, z. 3 (Filozofia Przyrody): 119-124.
257. W n u k M.: 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 grudnia 1985. Lublin: Redakcja Wydawnictw KUL.
258. W n u k M.: 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 listopada 1987. Lublin: Redakcja Wydawnictw KUL.
259. W n u k M.: 1994. Możliwość wpływu zanieczyszczeń elektromagnetycznych środowiska na mikroprocesory biologiczne. *Roczniki Filozoficzne* 42, z. 3 (Filozofia Przyrody i Ochrona środowiska): (99-113).
260. Y o c k e y H. P.: 1977. A calculation of the probability of spontaneous biogenesis by information theory. *J. Theoret. Biol.* 67 (3): 377-398.
261. Z o n J. R.: 1986. Bioelectronics: A background area for biomicroelectronics in the science of bioelectricity. *Roczniki Filozoficzne* 34 z. 3 (Filozofia Przyrody): 183-201.
262. Z o n J.: 1991-1992. Biomikroelektronika. Wstępna charakterystyka jej przedmiotu, metod i zadań. *Roczniki Filozoficzne* 39-40 z. 3 (Filozofia Przyrody): 151-161.

263. Z o n J. R., T i e n T. H.: 1988. Electronic properties of natural and modeled bilayer membranes. W: *Modern Bioelectricity*. (Ed.) A. A. Marino, 181-241. New York & Basel: Marcel Dekker. Inc.

## ENZYMES AS NANOPROCESSORS: A BIOELECTRONIC PERSPECTIVE

### S u m m a r y

A review has been given of the bioelectronic perspective of the investigation concerning enzymes as information processors in living cells. Firstly, the applications of some enzymes in biomolecular electronic devices (e.g. switchers, transistors, thermistors, biosensors, electronic gates, detectors etc.) have been taken into account. Secondly, theories and hypotheses of: living systems as natural computers, neurons and microtubules as biological microprocessors, electromagnetic communications between biostructures, enzymes as molecular automata etc. have been emphasized. In this connection, the electromagnetic theory of life has been mentioned. It is suggested that nanotechnology and nanobiology will be very useful in searching of the nanoprocessor function of enzymes in living cells. (263 refs.).