

W. KOROHODA

O NIEKTÓRYCH PROBLEMACH WSPÓŁCZESNEJ BIOFIZYKI

Od około dwudziestu lat obserwujemy gwałtowny rozwój biofizyki. Przez dziesiątki lat biofizyka zajmowała się szczegółowymi zagadnieniami fizycznymi i fizyko-chemicznymi związanymi z mechanizmami funkcjonowania narządów zwierząt i roślin (Wishart, 1931; Łazariew, 1950), natomiast dopiero w ostatnich latach wyłoniła się konieczność biofizycznych badań podstawowych procesów życiowych, znajdujących się w centrum zainteresowania współczesnej biologii. Proces precyzowania się zakresu zainteresowań biofizyki oraz wyodrębniania się jej jako odrębnej dyscypliny naukowej nie jest jeszcze ukończony. Trudno byłoby zatem wybrać już dzisiaj jedno z wielu określeń biofizyki jako precyzyjną, powszechnie przyjmowaną i ostateczną jej definicję. Jednakowoż mimo trudności sformułowania takiej definicji biofizyki, w krajach o wysokim stopniu zaawansowania badań biofizycznych — w Stanach Zjednoczonych, w Związku Radzieckim i w Anglii, jest ona wykładana na wielu uniwersytetach i prace z jej zakresu prowadzone są w licznych instytutach i laboratoriach. Z tego względu wydawało się celowym podjęcie próby popularnego przedstawienia zasadniczej problematyki współczesnej biofizyki oraz czynników, które zadecydowały o jej rozwoju i wyznaczają zadania biofizyki na najbliższą przyszłość.

CZYNNIKI WPLYWAJĄCE NA ROZWÓJ BIOFIZYKI

Biofizyka często kojarzy się ze skomplikowanymi aparatami i na tej podstawie można by sądzić, że o wyodrębnieniu się nowej nauki na pograniczu biologii i fizyki zadecydowało wykorzystywanie metod fizyki w badaniach biologicznych. Pogląd ten, chociaż dosyć rozpowszechniony, jest bardzo powierzchowny. Stosowanie metod fizyki i stawianie problemów fizycznych w biologii nie jest czymś nowym, bowiem równoległe z rozwojem fizyki, od wielu lat czynione były próby wykorzystywania jej metod i koncepcji do badania i analizowania zjawisk biologicznych z punktu widzenia fizyki.

Już w XVII wieku Robert Hooke, będący z wykształcenia fizykiem i matematykiem, bezpośrednio po skonstruowaniu pierwszego mikroskopu wykorzystał go do badań biologicznych. W wieku XVIII również fizyk i matematyk, Leonard

Euler równoległe z formułowaniem praw hydromechaniki próbował stosować je do opisu krążenia krwi w organizmach zwierzęcych.

Szczególnie wielu interesujących przykładów świadczących o tym, jak szybko wprowadzano zdobycze fizyki do badań biologicznych, dostarcza historia elektrobiologii (Evers, 1947; Łukiewicz, 1962).

Mimo ciągłości powiązań biologii i fizyki, za pierwszych bezpośrednich prekursorów biofizyki uważa się grupę czterech fizjologów niemieckich, uczniów założyciela nowoczesnej szkoły fizjologii niemieckiej Johannesesa Müllera, a to: Carla Ludwiga, Ernesta von Brücke, Emila du Bois-Reymonda i Hermana von Helmholtza (Cranefield, 1959; Setlow i Pollard, 1962). Uczni ci od roku 1847 starali się wyjaśniać zjawiska zachodzące w żywych organizmach w oparciu o prawa fizyki i chemii, występując przeciwko panującym wówczas w biologii koncepcjom siły życiowej. Teoretyczne założenia, którymi kierowała się wspomniana grupa uczonych w swojej pracy, przedstawił du Bois-Reymond we wstępie do pierwszego tomu książki: «Untersuchungen über Thierische Electricität», a prace Helmholtza, du Bois-Reymonda i jego ucznia J. Bernsteina oraz Brücke'go wniosły trwałe wkład w dorobek nauki.

Rozwój badań określanych dzisiaj jako biofizyczne rozpoczął się jednak dopiero w latach dwudziestych naszego stulecia. W tym to okresie czasu niemal równocześnie A. V. Hill wystąpił ze swoimi pracami nad cieplnym i elektrycznym efektem w mięśniach, Astbury zastosował metodę dyfrakcji promieni X do badań przestrzennej struktury białek, Casperson wykorzystał absorpcję różniczkową białek i kwasów nukleinowych do określania ilościowych stosunków pomiędzy tymi składnikami w komórkach, zaś prace Adriana, Cole, Lunda, Łazariewa, Umratha i Schemińskiego przyczyniły się do postępu elektrobiologii.

Przytoczone przykłady dowodzą kilkunastulecnej ciągłości powiązań fizyki i biologii oraz wskazują, że stosowanie metod fizyki do badań biologicznych i próby interpretacji zjawisk biologicznych poprzez sprowadzanie ich wyjaśniania do prostszych zjawisk fizycznych czy też chemicznych nie są bynajmniej zdobyczą ostatnich lat. Samo stosowanie metod i koncepcji fizyki w biologii, chociaż bezsprzecznie jest jednym z czynników decydujących o rozwoju biofizyki, nie było jednak warunkiem wystarczającym do wyodrębnienia się tego typu badań w odrębną naukę.

Dalszym czynnikiem, który wpłynął na rozwój biofizyki, były zmiany, jakie w ostatnich sześćdziesięciu latach dokonały się w naukach przyrodniczych. W wieku XIX dominowały w nauce tendencje zmierzające do poszukiwania i odkrywania faktów jednostkowych, wyróżniających się spośród znanych już wcześniej zjawisk. Prowadziło to do nagromadzenia się olbrzymiego materiału faktów i w konsekwencji do wyodrębniania się licznych dyscyplin naukowych zajmujących się coraz to węższą dziedziną zjawisk i rozwijających się w coraz to większej izolacji. Obecnie jesteśmy świadkami tendencji przeciwnych — dążenia nauk przyrodniczych do poszukiwania zjawisk jak najbardziej powszechnych i do prób możliwie najgłębszego i najpełniejszego ich poznania i zrozumienia (Tumerman, 1964). Wyrazem tego jest współpraca specjalistów z różnych dziedzin nauki w badaniu i wyjaśnianiu z różnych

punktów widzenia zjawisk podstawowych, a w związku z tym narastanie zainteresowania problemami stojącymi na pograniczu odrębnych dotychczas nauk przyrodniczych oraz wzajemne przenikanie się idei i metod tych nauk. Tendencje te doprowadziły do wyodrębnienia się takich nauk, jak chemia fizyczna, biochemia, geofizyka, astrofizyka, cybernetyka, czy wreszcie omawiana tutaj biofizyka. Biofizyka nie jest zatem jakimś tworem jednostkowym, lecz należy do grupy nauk powstałych w rezultacie rozwoju nauk przyrodniczych.

Na przełomie dziewiętnastego i dwudziestego wieku główny punkt ciężkości w badaniach biologicznych przesunął się z opisu i klasyfikacji organizmów żywych na analizę zjawisk w nich zachodzących. Postęp w biologii eksperymentalnej zrodził konieczność poznania chemicznej struktury substancji budujących żywe organizmy i prześledzenia chemicznych procesów przemiany materii, co doprowadziło do połączenia wysiłków badawczych biologów i chemików oraz do wyodrębnienia się biochemii. Biochemia w ciągu lat swego rozwoju osiągnęła wspaniałe rezultaty, umożliwiając poznanie zasadniczych ciągów reakcji chemicznych w podstawowych procesach metabolizmu i wyjaśniając funkcje enzymów w tych reakcjach. «Wyniki badań biochemicznych, obejmujące ilościową i jakościową charakterystykę związków chemicznych w komórce i próby wyjaśnienia mechanizmu i istoty ich reakcji, wykazały zdumiewające podobieństwo chemicznego składu komórek drobnoustrojów, roślin i zwierząt. Udowodniły, że w przyrodzie panuje podstawowa jedność procesów przemiany materii. Główny tor produkcji energii, mechanizm biosyntezy i procesów katabolicznych jest bardzo zbliżony we wszystkich komórkach, mimo że wielokomórkowe organizmy uległy specyficznemu różnicowaniu» (Gajewski i Reifer, 1965).

Badania biochemiczne równocześnie wykazały jednak złożoność korelacji reakcji chemicznych zachodzących w żywych organizmach, ich uporządkowanie przestrzenne i czasowe. Uporządkowanie to jest zabezpieczone przez złożoną budowę żywej komórki, najmniejszej jednostki strukturalnej zdolnej do wypełniania wszystkich funkcji życiowych. W organizacji «aparatury» żywego układu i w samym jego działaniu decydującą rolę odgrywają fizyko-chemiczne własności substratu i zachodzące w nim fizyko-chemiczne procesy (Redakcja «Biofizyki», 1961). Należy podkreślić, że zjawiska zachodzące w organizmie żywym wykazują ścisłą jedność procesów chemicznych, fizycznych i specyficznie biologicznych. Opisując je należy zatem mówić raczej o fizycznych i chemicznych komponentach lub stronach procesów biologicznych niż o odrębnych zjawiskach fizycznych lub chemicznych (Kuzin, 1964). Wynika stąd konieczność jak naścisłej współpracy biologów, biochemików i biofizyków w badaniu często jednego i tego samego zjawiska z różnych punktów widzenia, przez co rezultaty uzyskane na różnych drogach powinny wzajemnie się uzupełniać dając pogłębione jego zrozumienie.

Jak już poprzednio wspomniano, zasadnicza problematyka współczesnej biologii skupia się wokół procesów elementarnych, powszechnie występujących w żywych organizmach. Termin «elementarny» nie jest tu użyty w znaczeniu «prosty». Podobnie używając terminów, «cząstki elementarne» czy «elementarne oddziaływania» mamy

na myśli cząstki i oddziaływania leżące u podstaw różnorodnych zjawisk złożonych, których opis da się sprowadzić do zjawisk podstawowych, nie koniecznie prostszych. W pewnym sensie mechanika makrocząstek jest na przykład prostsza niż mechanika kwantowa. Mówiąc zatem o elementarnych zjawiskach biologicznych myślimy o tych podstawowych, powszechnie występujących procesach, do których sprowadzamy opis różnorodnych przejawów życia (Tumerman, 1964). Elementarnymi w takim sensie są między innymi procesy przekazywania informacji genetycznej z pokolenia na pokolenie, procesy przemiany energii chemicznej w mechaniczną, oddziaływania międzycząsteczkowe prowadzące do formowania się błon lipoproteidowych stanowiących zasadniczy element strukturalny większości organeli komórkowych. Zjawiska te wymagają badań opartych na stosowaniu fizycznych i fizykochemicznych metod, a interpretacja ich jest wielokrotnie możliwa tylko w oparciu o najnowsze koncepcje chemii fizycznej i fizyki.

Osiągnięcia biochemii stanowiąc fundament, na którym można opierać badania biofizyczne, wykazały równocześnie niewystarczalność biochemicznego podejścia do wyjaśniania podstawowych zjawisk życia i zdecydowały o potrzebie badań biofizycznych (Lauffer i inni, 1959; Schmitt, 1959; Oparin, 1964; Trincher, 1964). Problemów uporządkowania przestrzennego i czasowego procesów zachodzących w żywej komórce nie da się bowiem rozwiązać ograniczając się do badań biochemicznych (Ling, 1962). Wyłonienie się w biologii problematyki, wymagającej nowego podejścia do badanych zjawisk oraz stosowania tych metod i idei, wpłynęło w sposób zasadniczy na rozwój i wyodrębnienie się biofizyki jako odrębnej dyscypliny naukowej.

ZASADNICZA PROBLEMATYKA WSPÓŁCZESNEJ BIOFIZYKI

Skoro wymieniliśmy zasadnicze czynniki warunkujące rozwój biofizyki, postaramy się z kolei bliżej określić, czym ona się zajmuje i jakie są jej specyficzne cechy.

Najpowszechniej przyjmowaną obecnie definicję biofizyki podał w roku 1956 A. V. Hill w artykule zatytułowanym «Why biophysics?». Określił on biofizykę jako: «studia nad biologicznymi funkcjami, organizacjami i strukturami przy zastosowaniu fizycznych i fizykochemicznych idei i metod». Kładąc nacisk na przedrostek «bio-» Hill podkreślał, że tak długo nie można mówić o biofizyce, jak długo nie zajmujemy się badaniem zjawisk biologicznych z punktu widzenia fizyki. Samo stosowanie nawet najbardziej skomplikowanej aparatury fizycznej do badań biologicznych nie jest czynnikiem wystarczającym do zakwalifikowania ich do zakresu biofizyki, wielokrotnie natomiast badania prowadzone przy pomocy stosunkowo prostych metod mogą być badaniami czysto biofizycznymi. Podobne stanowisko reprezentują biofizycy radzieccy, a podana przez Gurtovoya w roku 1959 definicja biofizyki, mówiąca że: «Biofizyka zajmuje się badaniem fizycznych i fizykochemicznych procesów zachodzących w żywych organizmach i leżących u podstaw życia» jest zbliżona do określenia Hilla. Pierwsza z podanych definicji wydaje się o tyle pełniejsza, że obejmuje badania nie tylko procesów zachodzących w organizmach, ale i badania struktury żywych układów. Obydwaj autorzy zgodnie pod-

kreślają, że koncepcje i metody fizyki zazwyczaj wnikają do biologii poprzez chemię fizyczną. Ta ostatnia bowiem wykorzystując aparaturę i metody fizyki, opierając się na matematyce, teoretycznej fizyce i teoretycznej chemii, znacznie więcej niż fizyka poświęca uwagi specyfice substancji budujących układy, w których zachodzą badane zjawiska. Większość metod fizyki, zanim wprowadzono je do biologii, została wcześniej rozwinięta w badaniach fizykochemicznych. Drogę taką przeszły np. metody elektroforezy, opracowane teoretycznie przez fizyków (Smoluchowskiego, Helmholtza, Sterna) w początkach naszego wieku, ale szczegółowo przystosowane do badań biologicznych przez fizykochemików: Abramsona, Kruyta, Overbeeka, Tisseliusa i innych. Podobną historię miały i inne metody biofizyki, jak wykorzystanie dyfrakcji promieni X do badań struktury makrocząsteczek, względnie badania wolnych rodników metodami rezonansu elektromagnetycznego, umożliwiające śledzenie procesów transferu energii.

Zagadnieniem wysuwającym się dzisiaj na jedno z czołowych miejsc jest określenie struktury i fizycznych własności związków wielkocząsteczkowych, a problematyka ta jest często nawet wyodrębniana w tak zwaną «biologię molekularną» (Schmitt, 1959; Kosower, 1962; Haggis i inni, 1964; Blumenfeld, 1964). Współczesna biochemia doprowadziła nasze poznanie szeregu procesów zachodzących w komórkach do stanu, w którym dalsze zrozumienie mechanizmu badanych zjawisk wymaga nie tylko określenia z atomów jakich pierwiastków czy grup atomów zbudowane są reagenty reakcji, ale nieodzowne staje się poznanie przestrzennego rozmieszczenia atomów w cząsteczkach. Zrozumienie na przykład procesu transferu energii z ATP na cząsteczkę białka kurczliwego i jej przemiany na energię mechaniczną wymaga znajomości trójwymiarowej budowy uczestniczących w reakcji komponent, a także sił działających w tych cząsteczkach i pomiędzy nimi. Podobnie głębsze zrozumienie mechanizmu funkcjonowania enzymów jako biokatalizatorów wymaga nie tylko znajomości struktury enzymu, substratu i produktów reakcji, ale także określenia elektrochemicznych własności ich powierzchni, sił między nimi oddziałujących i innych podobnych danych (Neurath, 1959; Waugh, 1959; Bangham i Dawson, 1962).

Dokładne wyjaśnienie struktury przestrzennej związków wielkocząsteczkowych stanowiących materialny substrat budujący żywe układy jest dzisiaj jednym z najpilniejszych zadań współczesnej biofizyki. Nie można jednak zapominać, że jest to tylko wstępna faza badań. Tak jak kiedyś biochemia, zanim była w stanie śledzić skomplikowane ciągi reakcji chemicznych zachodzących w żywych organizmach, musiała wyodrębnić czyste substancje chemiczne i określić ich budowę poza organizmem, podobnie postępuje dziś biofizyka. Izolując z żywych układów makrocząsteczki i ultramikroskopowe struktury komórkowe, a następnie badając ich budowę przestrzenną, stara się określić siły działające w makrocząsteczkach i pomiędzy nimi oraz wzajemne ich relacje. Ten etap badań nie jest jeszcze *sensu stricto* biofizyką, ani tym bardziej biologią molekularną, gdyż zjawiska, które nazywamy życiem są nierozdzielnie związane ze skomplikowaną strukturą komórki jako całości. Badając *in vitro* elementarne własności substancji, z których zbudowane są

żywe układy i poznając proste relacje pomiędzy poszczególnymi elementami, nie badamy jeszcze zasadniczych zjawisk życiowych, gdyż życie nie jest tylko sumą wielu reakcji chemicznych, a makrocząsteczki, niezależnie od tego jak skomplikowana jest ich budowa, nie są jeszcze tworam żywymi (Bertalanfy, 1949; Tumerman, 1964; Oparin, 1964). Poznanie tych relacji stanowi jednak warunek konieczny zrozumienia bardziej złożonych procesów zachodzących w żywych układach, a dzisiejsze osiągnięcia z zakresu fizykochemicznych badań makrocząsteczek biologicznie ważnych wskazują, jak trudne będzie to zadanie. Swego czasu Niels Bohr wyrażał nawet obawę, że możemy spotkać się ze zjawiskiem, iż każde doświadczenie, które pozwala badać zachowanie się atomów budujących żywy układ tak jak to robimy w podstawowych doświadczeniach fizyki atomowej i jądrowej wyklucza pozostawienie organizmu w stanie żywym. Nie przesądzając słuszności tych zastrzeżeń możemy stwierdzić, że cechy organizmu, które pozwalają nazwać go żywym, występują tylko w złożonym układzie, a badając pojedyncze elementy nie potrafimy jeszcze przewidzieć, w jakich granicach możliwe jest równoczesne badanie zjawisk życiowych i ich elementarnych procesów (Hill, 1956; Oparin, 1964; Stern, 1964).

Przechodząc od pojedynczych cząsteczek do coraz to bardziej złożonych układów nie tracimy kontaktu z badaniami biofizycznymi. Z potrzebą biofizycznego podejścia do badań spotykamy się studiując zjawiska zachodzące w błonach lipoproteidowych, komórkę jako całość, agregacje wielu komórek, tkanki, organy zwierzęce i roślinne, względnie całe organizmy. Spróbujmy zilustrować to na przykładach odnoszących się do różnych «pięter» badań biofizycznych.

Strukturą, z którą związane są liczne procesy życiowe, są błony lipoproteidowe. Z takich błon zbudowane są mitochondria, chloroplasty, lizosomy, retikulum endoplazmatyczne, aparat Golgiego, błona jądrowa, plazmalemma i inne specjalne organelle komórkowe stanowiące materialne podłoże procesów oddychania, fotosyntezy, syntezy białek (Lehninger, 1959; Campbell, 1960; Haggis, 1960; Porter, 1961). Błony zatem są istotnym czynnikiem w uporządkowaniu procesów przebiegających w komórkach i umożliwiają istnienie żywych komórek jako układów termodynamicznie otwartych (Ambrose, 1962; Korohoda, 1963). Aby poznać procesy w błonach tych zachodzące konieczna jest znajomość ich fizycznych i fizykochemicznych własności. Splatają się tutaj często zjawiska czysto fizyczne, jak na przykład tworzenie się dwuwarstwowej struktury zrębu lipidowego błony jako płynnego kryształu w wyniku działania pomiędzy cząsteczkami sił Londona-Wan der Waalsa, ze zjawiskami opisywanymi w terminach biologicznych jako regeneracja retikulum po podziale mitotycznym komórki (Stockmayer, 1959; Porter, 1961). Równocześnie należy pamiętać, że makrocząsteczki występujące w takich błonach mają inne własności fizykochemiczne, niż gdy znajdują się w roztworze. Po wbudowaniu cząsteczki w błonę inne stają się stosunki przestrzenne pomiędzy atomami i zmienia się moc grup zdolnych do dysocjacji, która w polielektrolitach zależy od charakteru i położenia sąsiednich cząsteczek (Rich, 1959; Seaman i Heard, 1960).

Ze strukturą i fizykochemicznymi własnościami błon związane jest uporządkowanie procesów transferu energii i zamiana jednej postaci energii w inną (Chance, 1959; Lehninger, 1960 i 1962; Green i Fleischer, 1963). Przy badaniu takich zjawisk stosowanie metod biochemii napotyka na szereg ograniczeń. Dla przykładu weźmy ciąg reakcji w procesie fotosyntezy określanym jako reakcja Hilla, stojący dzisiaj w centrum zainteresowania badaczy zajmujących się mechanizmem fotosyntezy. W przeciwieństwie do reakcji «ciemnych» znanych jako cykl Calvina, etapy tych reakcji nie są związane z powstawaniem nowych związków chemicznych, które moglibyśmy uzyskać w stanie czystym, określić ich budowę i własności. W przypadku bowiem omawianych procesów poszczególne ich etapy uwarunkowane są zmianami energetycznymi zachodzącymi w związkach budujących pęcherzyki gran, a pojawienie się nowych związków chemicznych (ATP, H_2TPN i O_2) jest końcowym produktem całego cyklu przemian. Dlatego w badaniach tych zjawisk stosuje się przede wszystkim metody fizyki i chemii fizycznej, takie jak spektroskopia różniczkowa, metody rezonansu elektronowego, względnie określanie poziomów potencjałów oksydacyjno-redukcyjnych poszczególnych reakcji (Calvin, 1959a, b; Calvin i Androes, 1962).

Innym przykładem procesów, których nie da się badać metodami biochemii są przemiany mechanochemiczne w polielektrolitach, odgrywające podstawową rolę w różnorodnych zjawiskach ruchów w organizmach żywych (Rice, 1959; Morales, 1959; Katchalsky i in., 1960; Kuhn i in., 1960).

O tym, jak wielką uwagę przywiązuje się w biofizyce do zagadnień związanych ze zjawiskami zachodzącymi w błonach lipoproteidowych świadczy wymownie fakt organizowania licznych międzynarodowych sympozjów poświęconych tej problematyce. Zagadnienia te stanowiły też jeden z centralnych problemów omawianych na ostatnim ogólnościowym kongresie biofizyków, który odbył się w Paryżu w roku 1964.

W badaniach żywych komórek napotykamy na konieczność określenia fizykochemicznych mechanizmów, dzięki którym możliwa jest korelacja zachodzących w nich reakcji metabolicznych. Zrozumienie, dzięki zastosowaniu do badań mikroskopu elektronowego, budowy organelli komórkowych i rozwój histochemii wypełniły wprawdzie lukę pomiędzy osiągnięciami biochemii opisującymi chemiczną naturę związków budujących organizm i ich przemiany, a dawniejszymi danymi dotyczącymi budowy komórek, jednak dopiero bardziej szczegółowe poznanie molekularnej organizacji substratu w żywe układy pozwoli na analizę zjawisk samoregulacji komórkowej — zjawisk biostazy (Hinshelwood, 1962). Szereg zagadnień wymaga rozwiązania, zanim będziemy mogli ilościowo opisać stosunki pomiędzy podstawowymi ciągami reakcji metabolicznych i zanim wyjaśnimy mechanizm funkcjonowania błon o selektywnej przepuszczalności oraz ich rolę w procesach kontroli własności środowiska wewnętrznego komórek (Teorell, 1953; Jacoby i Sutcliffe, 1962; Korohoda, 1963b, 1964; i inni).

Poznanie wymienionych zjawisk jest wspólnym celem biologii eksperymentalnej, biochemii i biofizyki oraz jest ono czynnikiem ograniczającym nasze zrozumienie

specyfiki zjawisk życia i możliwości wyjaśnienia tak podstawowych procesów jak rozwój i różnicowanie organizmów. Współczesne rozważania na te tematy pozostają w znacznej mierze w sferze spekulacji, lecz mimo to są one bardzo płodne, wskazując na możliwość rozwiązania pewnych problemów na drodze, której istnienia wcześniej nie podejrzewano. Z tego typu koncepcji wywodzą się na przykład ostatnie sugestie, że szereg substancji o charakterze hormonów roślinnych względnie zwierzęcych wpływa na procesy różnicowania i na metabolizm nie przez bezpośredni udział w reakcjach chemicznych, ale poprzez zmianę przepuszczalności plazmalemy i błon organelli, a zatem przez zmianę fizykochemicznych własności środowiska wewnątrznej komórki (Weiss, 1955; Overbeek, 1959; Willmer, 1961).

Badając układy wielokomórkowe, które wykazują nowe specyficzne prawidłowości, napotykałyśmy również na potrzebę stosowania metod biofizyki i wykorzystywania jej koncepcji. I tak zjawiska tworzenia się agregacji komórek ściśle zależą od adhezywności komórek, a ta z kolei jest określana przez elektryczne własności ich powierzchni i siły między nimi działające (Bangham i Pethica, 1960; Robertson, 1960; Easty i inni, 1960; Abercrombie i Ambrose, 1962; Curtis, 1962; Ambrose, 1965). Od wzajemnego fizykochemicznego oddziaływania komórek i podłoża zależy szybkość wzrostu komórek oraz ruchy morfogenetyczne, odgrywające istotną rolę w procesach morfogenezy. Wielokrotnie wykazano także istnienie ścisłego związku pomiędzy zjawiskami różnicowania i morfogenezy, a polarnością elektryczną ustroju (Evers, 1947; Lund, 1947; Rosene i Lund, 1953; Schrank, 1951; Flickinger i Blount, 1957). Już w latach trzydziestych Burr w swojej elektrodynamicznej teorii życia i rozwoju sugerował, że pola elektryczne ustroju są najwcześniejszym ewolucyjnie i ontogenetycznie czynnikiem integrującym rozwój organizmów wielokomórkowych (Burr i Northrop, 1935). Obszerny przegląd tego zagadnienia był niedawno publikowany w Polsce przez Łukiewicza (1962).

Badania biofizyczne związane z funkcjonowaniem narządów zmysłów i układu nerwowego prowadzone były już pod koniec dziewiętnastego wieku. Są one stosunkowo dobrze znane i z tego względu w tym artykule nie będziemy się nimi bliżej zajmować. Problematyka ta bywa dzisiaj często określana jako tzw. «biofizyka klasyczna», ściślej związana z medycyną niż z biologią ogólną, podobnie jak i radiobiologia.

Jak z powyższego szkicowego przeglądu wynika, problematyka biofizyki wpływa nie z istnienia procesów i zjawisk pozabiologicznych, lecz z konieczności nowego podejścia do wielu podstawowych problemów biologii. Zasadniczym zadaniem biofizyki jest zatem współdziałanie z innymi naukami przyrodniczymi w możliwie pełnym i głębokim zrozumieniu podstawowych zjawisk zachodzących w żywych organizmach (Redakcja «Biofizyki», 1961; 1963; Hill, 1956; Gurtovoy, 1959). Chociaż biofizyki nie można uważać za gałąź biochemii, bowiem biofizyka wyraźnie różni się od biochemii podejściem do analizowanych zjawisk, na pierwszy plan wysuwa inne przejawy badanych procesów, w badaniach swoich opiera się ona jednak na osiągnięciach biochemii, w znacznej mierze warunkujących konkretność biofizycznej interpretacji.

Biofizyka nie jest też tylko adaptacją idei i metod biofizyki do biologii. Problemy, przed którymi stoi współczesna biofizyka są nowe zarówno dla fizyki jak i dla biologii i wymagają wielokrotnie opracowywania nowych metod badawczych, nowych koncepcji i teorii. Zjawiska zachodzące w żywych organizmach są bardzo złożone i studiując je napotykamy na prawidłowości nie występujące w prostych układach, takich, z jakimi miała dotychczas do czynienia fizyka. Dlatego też badając fizyczne cechy biologicznych struktur i procesów, fizyczne i fizykochemiczne prawidłowości występujące w organizmach, biofizyka nie tylko wykorzystuje i przystosowuje metody i koncepcje fizyki, chemii fizycznej, cybernetyki i matematyki, ale także rozwija własne metody i teorie.

W biofizyce współczesnej na coraz to szerszą skalę wykorzystuje się metodę modelowania układów i struktur, względnie procesów biologicznych. Prace oparte na tej metodzie zalicza się obecnie do biofizyki ze względu na ich zmatematyzowaną formę oraz czerpanie przez nie przesłanek i danych ilościowych z biofizyki i biochemii. Jednakowoż osobiście wydaje mi się, że prace te stanowią pierwsze kroki zmierzające do wyodrębnienia się jeszcze jednej dziedziny biologii — biologii teoretycznej — która spełniałaby dla biologii podobne zadania, jak dla fizyki spełnia fizyka teoretyczna, a dla chemii — chemia teoretyczna. Wyodrębnienie się ogólnej nauki, obejmującej teoretyczną analizę całokształtu zagadnień biologicznych wcześniej czy później może okazać się konieczne. W miarę rozwoju nauk przyrodniczych staje się niemożliwym opanowanie przez jednego człowieka wiadomości z zakresu biologii ogólnej, biochemii i biofizyki, śledzenie postępu w tych dziedzinach i równoczesna praca doświadczalna. Inna jest w naukach przyrodniczych specyfika pracy teoretycznej i doświadczalnej, co powoduje, że w miarę wzrostu liczby i pogłębiania badań doświadczalnicy nie są w stanie formułować ogólnych opracowań i koncepcji zagadnień, które badają eksperymentalnie. Z tego względu już teraz zaczyna się wyodrębniać grupa biologów teoretyków, publikujących swe prace głównie w *Journal of Theoretical Biology*, *Bull. of Mathematical Biophysics*, *Biophysical Journal*, *Biofizyka*, *Nature*, *Science*. Dalszy rozwój biologii teoretycznej jest jednak zależny od postępów zmatematyzowania biologii eksperymentalnej i od postępu badań biochemicznych i biofizycznych. Nie znaczy to jednak, aby biochemia i biofizyka mogły kiedykolwiek zastąpić fizjologię, embriologię względnie inne nauki biologiczne. Zasadnicze z punktu widzenia biologii zagadnienia prawdopodobnie będą nadal wyłaniać się przede wszystkim w badaniach prowadzonych metodami klasycznymi, a dopiero ich rozwiązanie w coraz to większym stopniu należeć będzie do biochemii i biofizyki.

PODRĘCZNIKI BIOFIZYKI

Na zakończenie chciałbym wymienić najbardziej znane spośród opublikowanych w ostatnich latach podręczników biofizyki. Bardzo przystępnymi podręcznikami obejmującymi stosunkowo szeroki zakres problemów biofizyki, ze szczególnym

uwzględnieniem zagadnień pozostających w ścisłym związku z medycyną, są prace: E. Ackerman, «Biophysical Science» (1962); W. Beier, «Biophysik» (1962); H. T. Epstein, «Elementary Biophysics, Selected topics» (1963).

Fizykochemiczne podstawy biofizyki zostały szerzej podane w podręcznikach przystosowanych do programów studiów z zakresu biologii eksperymentalnej. Książki te zawierają szereg rozdziałów wymagających od studentów pewnego przygotowania z zakresu fizyki i chemii fizycznej. W kolejności od najłatwiejszych są nimi: J. E. Randal, «Elements of Biophysics» (1962); E. S. West, «Textbook of Biophysical Chemistry» (1963); R. B. Martin, «Introduction to Biophysical Chemistry» (1964); R. B. Setlow i E. C. Pollard, «Molecular Biophysics» (1962); J. T. Edsall i J. Wyman, «Biophysical Chemistry» (1958).

Jako podręcznik ogólnej biofizyki można też wykorzystać zbiór artykułów publikowanych w *Reviews of Modern Physics*, w tomie 31, zeszytach 1 i 2, pod ogólnym tytułem «Biophysical Science, A Study Program» (1959).

Opisy metod doświadczalnych biofizyki i ćwiczeń z jej zakresu podają książki: F. E. Uber, «Biophysical Research Methods» (1950); G. Oster i A. W. Pollister, «Physical Techniques in Biological Research», tomy 1—3 (1955—1956); B. N. Tarusow i inni, «Praktikum po obszernej biofizyce», pięć tomów (1961); E. E. Suckling, «Bioelectricity» (1961); oraz wydawane pod redakcją J. H. Lawrence i C. A. Tobiasa «Advances in Biological and Medical Physics» (dotychczas ukazało się osiem tomów).

Interesującym się biofizyką można też polecić ukazujące się od roku 1950 wydawnictwo «Progress in Biophysics and biophysical Chemistry», zawierające artykuły przeglądowe poświęcone aktualnym zagadnieniom biofizyki, oraz wydawnictwa obejmujące materiały z odbytych dotychczas konferencji krajowych towarzystw biofizycznych w Stanach Zjednoczonych i w Anglii, jak również materiały z pierwszego i drugiego kongresu ogólnoswiatowego Międzynarodowej Unii Biofizyki Czystej i Stosowanej (IOPAB). Książkami, stanowiącymi opracowania niektórych zagadnień biofizyki, są między innymi prace: N. Rahevsky, «Mathematical Biophysics» (1948); E. Schrödinger, «What is Life? The physical aspect of the living cell» (1944); F. H. Johnson, H. Eyring i M. J. Pollisar, «The Kinetics of Molecular Biology» (1957); W. M. Elsasser, «The Physical Foundation of Biology» (1958); A. Szent-Gyorgyi, «Introduction to a Submolecular Biology» (1960); D. N. Nasonow, «Miestnaja reakcja protoplazmy i rasprostranjaszczesjesia wozbuzhdenije» (1962); G. N. Ling, «A Physical Theory of the Living State: The Association-Induction Hypothesis» (1962).

Oryginalne prace z zakresu biofizyki publikowane są w licznych już obecnie czasopiśmie poświęconych wyłącznie tej dyscyplinie, bądź też zawierających działy biofizyki.

LITERATURA

- Abercrombie M., Ambrose E. J., 1962. The surface properties of cancer cells: a review. *Cancer res.*, **22**, 525—548.
- Ackerman E., 1962. *Biophysical Science*. Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall Inc.
- Ambrose E. J., 1962. The cell surface. *Discovery* **8**, 30—35.
- Ambrose E. J., 1965. *Cell Electrophoresis*. 204 pp. London, J. Churchill Ltd.
- Bangham A. D., Pethica B. A., 1960. The adhesiveness of cells and the nature of the chemical groups at their surfaces. *Proc. Roy. Phys. Soc. of Edinburg* **28**, 43—52.
- Bangham A. D., Dawson R. M. C., 1962. Electrokinetic requirements for the reaction between *Clostridium perfringens* α -toxin (Phospholipase C) and phospholipid substrates. *Biochim. biophys. Acta* **59**, 103—115.
- Beier W., 1962. *Biophysik*. 591 pp. Leipzig, G. Thieme.
- Bertalanffy L., 1949. *Problems of Life*. 216 pp. London, J. Wiley and Sons Inc.
- Blumenfeld L. A., 1964. O molekularnoi biologii. 121—128 pp. w O suszcznosti zizni. Moskwa, Izd. Nauka.
- Burr H. S., Northrop F. S. C., 1935. The electro-dynamic theory of life. *Quart. Rev. of Biol.* **10**, 322—333.
- Calvin M., 1959. Energy reception and transfer in photosynthesis. *Rev. of Modern Physics* **31**, 147—156.
- Calvin M., 1959. Free radicals in photosynthesis systems. *Rev. of Modern Physics* **31**, 157—161.
- Calvin M., Androes G. M. 1962. Primery of quantum conversion in photosynthesis. *Science* **138**, 867—873.
- Campbell P. N., 1960. The synthesis of proteins by the cytoplasmic components of animal cells. *Biological Reviews* **35**, 413—458.
- Chance B., 1959. Electron transfer in biological systems. *Proc. I. R. E.* **47**, 1821—1840.
- Cranfield P. F., 1959. The nineteenth-century prelude to modern biophysics. 19—26 pp. w *Proceedings of the first national biophysics conference*. ed. H. Quastler, H. J. Morowitz, New Haven, Yale Univ. Press.
- Curtis A. S. G., 1962. Cell contact and adhesion. *Biological Reviews* **37**, 82—130.
- Easty G. C., Easty D. M., Ambrose E. J., 1960. Studies on cellular adhesiveness. *Exp. Cell Res.* **19**, 539—548.
- Edsall J. T., Wyman J., 1959. *Biophysical Chemistry*. Vol. I/II. New York, Academic Press Inc.
- Elsasser W. M., 1958. *The Physical Foundation of Biology. An analytical study*. 219 pp. London, New York, Paris, Pergamon Press.
- Epstein H. T., 1963. *Elementary Biophysics. Selected Topics*. 122 pp. Palo Alto, London, Addison-Wesley Publ. Comp. Inc.
- Evers J., 1947. Polar bioelectric fields and polar growth under conditions of applied electric fields. History of the problem. 151—161 pp. w *Bioelectric Fields and Growth*. ed. E. J. Lund, Austin, The Univ. of Texas Press.
- Flickinger R. A., Blount R. W., 1957. The relation of natural and imposed electrical potentials and respiratory gradients to morphogenesis. *J. cell. comp. Physiol.* **50**, 403—422.
- Frank G. M., wydawca, 1964. *Woprosy biofiziki. Materiały pierwszego międzynarodowego biofizycznego kongresa*. 288 pp., Moskwa, Izd. Nauka.
- Gajewski W., Reifer I., 1965. *Biologia molekularna. Sposobem Chałupniczym*. *Polityka* **9**, nr 434.
- Green D., 1962. Power from the mitochondrion. *Discovery* **9**, 23, 28—34.
- Green D. E., Fleischer S., 1963. Role of lipids in mitochondrial electron transfer and oxidative phosphorylation. *Biochim. biophys. Acta* **70**, 554—582.
- Gurtovoy G. K., 1959. Discussion of Hill's paper on biophysics. *Biofizika*, **4**, 380—384.
- Haggis G. H., 1960. Electron microscopy and the molecular structure of cell membranes. *Proc. Roy. Phys. Soc. of Edinburg* **28**, 115—119.
- Haggis G. H., Michie D., Muir A. R., Roberts K. B., Walker P. B. M., 1964. *Introduction to Molecular Biology*. 401 pp. London, Longmans.

- Hill A. V., 1956. Why biophysics? *Science* 124, 1233—1237.
- Hinshelwood C., 1962. The living cell. *Discovery* 23, 18—24.
- Jacoby B., Sutcliffe J. F., 1962. Connexion between protein synthesis and salt absorption in plant cells. *Nature* 195, 1014.
- Johnson F. H., Eyring H., Pollisar M. J., 1957. *The Kinetics of Molecular Biology*. 874 pp. New York, John Wiley.
- Katchalsky A., 1954. Polyelectrolyte gels. *Progress in Biophysics and biophysical Chemistry* 4, 1—59.
- Katchalsky A., Lifson S., Michaelis I., Zwink H., 1960. Elementary mechanochemical processes. 1—40 pp. w *Size and Shape Changes of Contractile Polymers*. ed. A. Wassermann, London, New York., Paris, Pergamon Press.
- Kendrew J. C., 1959. Three-dimensional structure of globular proteins, *Rev. of Modern Physics* 31, 94—99.
- Korohoda W., 1963. Blony plazmatyczne w komórce. *Wiadomości botaniczne* 7, 127—144.
- Korohoda W., 1963. Electrophoretic studies on plant cells. III. Electrophoretic mobilities of cell-forms of *Myxomycetae*, *Physarum nudum* Mac. *Folia biol.* 11, 465—472.
- Korohoda W., 1964. Electrophoretic studies on plant cells. IV. Further characteristic of cell-forms of *Myxomycetae*, *Physarum nudum* Mac. *Folia biol.* 12, 143—148.
- Kosower E. M., 1962. *Molecular Biochemistry*. 304 pp. New York, London, Toronto, Mc Graw-Hill Book Comp. Inc.
- Kuhn W., Ramel A., Walters D. H., 1960. Conversion of chemical into mechanical energy by homogenous and cross-striated polymeric systems. 41—77 pp. w *Size and Shape Changes of Contractile Polymers*. ed. A. Wassermann, London, New York, Paris, Pergamon Press.
- Kuzin A. M., 1964. O roli sodružestwa nauk w poznaniu suszcznosti žizniennykh jawlenii. 58—64 pp. w książce p. t. *O suszcznosti žizni*. Moskwa, Izd. Nauka.
- Lauffer M. A., Stacy R. W., Pollard E. C., Tobias C. A., 1959. Careers and training in biophysics. A round table discusion. 3—18 pp. w *Proceedings of the first national biophysics conference*. ed. H. Quastler, H. J. Morowitz, New Haven, Yale Univ. Press.
- Lawrence J. H. Tobias C. A., wydawcy, *Advances in Biological and Medical Physics*. Vol. I/VIII, New York, Academic Press Inc. Publ.
- Lehninger A. L., 1959. Respiratory energy transformation. *Rev. of Modern Physics* 31, 136—146.
- Lehninger A. L., 1960. Energy transformation in the cell. *Scient. Amer.* 202, 102—114.
- Lehninger A. L., 1962. Respiration-linked mechanochemical changes in mitochondria. 421—435 pp. w *Horizons in biochemistry*, ed. M. Kasha, B. Pullman, New York, London, Academic Press.
- Ling G. N., 1962. *A Physical Theory of the Living State: The Association-Induction Hypothesis*. 680 pp. New York, London, Blaisdell Publ. Comp.
- Lund E. J., 1947. *Bioelectric Fields and Growth*. 391 pp. Austin, The Univ. of Texas Press.
- Łazariew P., 1950. Biofizika w Rosii i w SSSR. 189—217 pp. w P. Łazariew, *Soczinienija*. Moskwa, Leningrad, Izd. Akad. Nauk SSSR.
- Łazariew P., 1950. Sowriemiennyje problemy biofiziki. 218—356 pp. w P. Łazariew, *Soczinienija*. Moskwa, Leningrad, Izd. Akad. Nauk SSSR.
- Łukiewicz S., 1962. Polar action of electric fields on living organisms. I. General considerations and historical review. *Folia biol.* 10, 5—35.
- Martin R. B., 1964. *Introduction to Biophysical Chemistry*. 365 pp. New York, Toronto, London, Mc Graw-Hill Book Comp.
- Morales M. F., 1959. Mechanisms of muscle contraction. *Rev. of Modern Phys.* 31, 426—432.
- Nasonow D. N., 1962. Miestnaja reakcja protoplazmy i rasprostranijaszczesziesia wozbuzhdenie. 426 pp. Moskwa, Leningrad, Izd. Akad. Nauk SSSR.
- Neurath H., 1959. Protein structure and enzyme action. *Rev. of Modern Phys.* 31, 185—190.
- Oparin A. J., 1964. Žižn, jeje sootnoszenie s drugimi formami dwizenija materii. 8—34 pp. w *O suszcznosti žizni*. Moskwa, Izd. Nauka.

- Oster G., Pollister A. W., 1955/56. *Physical Techniques in Biological Research*. Vol. I/III. New York, Academic Press Inc.
- Overbeek J. van, 1959. Auxins. *Botanical Review* **25**, 269.
- Porter K. R., 1961. The ground substance; observations from electron microscopy. 621—676 pp. w *The Cell. Biochemistry, Physiology, Morphology*. ed. J. Brachet, A. E. Mirsky.
- Randall J. E., 1962. *Elements of Biophysics*. 339 pp. Chicago, Year Book Medical Publ. Inc.
- Rashevsky N., 1948. *Mathematical Biophysics*. 669 pp. Chicago, Illinois, The Univ. of Chicago Press.
- Redakcja «Biofiziki», 1961. The perspective aims of biophysics. *Biofizika* **6**, 626—630.
- Redakcja «Biofiziki», 1963. New stage in the development of biological sciences. *Biofizika* **8**, 145—146.
- Rice S. A., 1959. Polyelectrolytes. *Rev. of Modern Phys.* **31**, 69—83.
- Robertson J. D., 1960. The molecular structure and contract relationships of cell membranes. *Progress In Biophysics and biophysical Chemistry* **10**, 343—418.
- Rosene H., Lund E. J., 1953. Bioelectric fields and corelation in plants 219—252 pp. w *Growth and Differentiation in Plants*. ed. W. E. Loomis.
- Schmitt F. O., 1959. Molecular biology and the physical basis of life processes. *Rev. of Modern Phys.* **31**, 5—10.
- Schrank A. R., 1951. Electrical polarity and auxins. 123—140 pp. w *Plant Growth Substances*. ed. F. Skoog, Wisconsin, Univ. of Wisconsin Press.
- Schrödinger E., 1944. *What is Life? The physical aspect of the living cell*. 92 pp. Cambridge, the University Press.
- Seaman G. V. F., Heard D. H., 1960. The surface of the washed human erythrocyte as a polyanion. *J. gen. Physiol.* **44**, 251—268.
- Setlow R. B., Pollard E. C., 1962. *Molecular Biophysics*. 545 pp. London, Addison-Wesley Publ. Comp. Inc.
- Stern A. W., 1964. Quantum physics and biological systems. *J. theoret. Biol.* **7**, 318—328.
- Stockmayer W. H., 1959. Forces between macromolecules. *Rev. of Modern Phys.* **31**, 103—106.
- Suckling E. E., 1961. *Bioelectricity*. 233 pp. New York, Toronto, London, Mc Graw-Hill Book Comp. Inc.
- Szent-Gyorgyi A., 1960. *Introduction to a Submolecular Biology*. 135 pp. New York, London, Academic Press Inc.
- Quastler H., Morowitz H. J. 1959. *Proceedings of the first national biophysics conference*. 756 pp. New Haven, Yale Univ. Press.
- Tarusow B. N., wydawca, 1961. *Praktikum po obszczej biofizikie*. Vol. I/V. Moskwa, Gos. Izd. Wyszszaja Szkoła.
- Teorell T., 1953. Transport processes and electrical phenomena in ionic membranes. *Progress in Biophysics and biophysical Chemistry* **3**, 305—369.
- Trinczer K. S., 1964. O granice primienimosti fiziki niezivogo w biologii. 156—167 pp. w *O suszcznosti zizni*. Moskwa, Izd. Nauka.
- Tumerman L. B., 1964. O roli fiziki w poznaniu zizniennych procesow. 81—91 pp. w *O suszcznosti zizni*. Moskwa, Izd. Nauka.
- Uber F. M., 1950. *Biophysical Research Methods*. 667 pp. New York, London, Interscience Publ. Ltd.
- Waugh D. F., 1959. Proteins and their interaction. *Rev. of Modern Phys.* **31**, 84—93.
- Weiss P., James R., 1955. Skin metaplasia in vitro induced by brief exposure to vitamin A. *Exp. Cell Res.*, Suppl **3**, 381—394.
- West E. S., 1963. *Textbook of Biophysical Chemistry*. 435 pp. New York, London, The Macmillan Comp.
- Willmer E. N., 1961. Steroids and cell surfaces. *Biological Reviews* **36**, 368—398.
- Wishart G. M., 1931. *Groundwork of Biophysics*. 344 pp. London, G. Bell and Sons Ltd.