

PIOTR LENARTOWICZ SJ

CAŁOŚCIOWOŚĆ PROCESU ŻYCIOWEGO NA POZIOMIE MOLEKULARNYM

Opublikowano w: *NAUKA – RELIGIA – DZIEJE*
II seminarium Interdyscyplinarne w Castel Gandolfo,
6-9 września 1982, pod redakcją J. A. Janika i P. Lenartowicza SJ,
Wydział Filozoficzny Towarzystwa Jezusowego, Kraków 1984, pp. 48-71.

Problem całościowości (niepodzielności) procesów biologicznych ma długą historię i jest uwikłany w wielowiekowe, niezwykle skomplikowane) spory teoretyczne¹. Spory te toczą się na trzech niejako poziomach: na poziomie obserwacji, interpretacji epistemologicznej i wyjaśniania genetycznego. Na podstawie obserwacji powstaje bowiem pytanie czy całościowość jest cechą każdego zjawiska, czy tylko niektórych. Na poziomie interpretacji epistemologicznej pojawiają się wątpliwości; czy całościowość jest wewnętrzną cechą przedmiotów poznania, czy raczej formą poznawczą w jaką świadomość „ubiera” te przedmioty. Zakładając natomiast, że cecha całościowości tkwi w samym przedmiocie – na poziomie wyjaśniania można się spierać o to, czy należy szukać specjalnego typu przyczyn, by wyjaśnić genezę owej cechy.

Zilustrujemy te trzy poziomy sporu na przykładzie typu science-fiction. Przypuśćmy, że jakaś cywilizacja kosmiczna przysłała na Ziemię informację zaszyfrowaną na powierzchni metalowej kuli. Przekaz był ukryty w prawidłowościach rysunku zagłębień wyrytych na powierzchni tej kuli i uległ częściowo uszkodzeniu na skutek zderzeń z meteoritami, zmian temperatury, a wreszcie w zderzeniu z powierzchnią Ziemi. Zniekształcona kula została odnaleziona i zidentyfikowana jako rodzaj meteorytu. Na poziomie obserwacji powstanie teraz spór o to, czy zagłębienia na powierzchni tego „meteorytu” posiadają wewnętrzną cechę pewnej ściśle określonej prawidłowości, czy też nie. Na poziomie interpretacji powstanie spór o to, czy odkryte prawidłowości są wyrazem naszej niepojętej, podświadomej tendencji do antropomorfizmu, czy też prawidłowości te są informacją zaszyfrowaną w nich przez inteligencję pozaziemską – niezależnie od naszego ludzkiego, specyficznego punktu widzenia. Na poziomie wyjaśnienia może powstać kontrowersja, czy osobliwy meteoryt z informacją musi świadczyć o istnieniu cywilizacji pozaziemskiej, czy też może być skutkiem działań materii nieożywionej, pozbawionej świadomości.

Wróćmy teraz do zjawisk biologicznych. Decydujące znaczenie ma tu poziom obserwacji. Jeżeli na tym poziomie zjawisko całościowości nie zostanie dostrzeżone

¹ P. Lenartowicz SJ. *Pojęcie całości i przyczyny w dziejach embriologii*. W: *Studia z historii filozofii*, pod red. R. Darowskiego SJ. Wydział Filozoficzny Towarzystwa Jezusowego, Kraków 1980 p. 207-244.

lub będzie zlekceważone, to oczywiście wszelkie dalsze spory teoretyczne – na wyższych poziomach refleksji – będą bezprzedmiotowe. Z drugiej strony jest rzeczą jasną, że dostrzeżenie całościowości na poziomie obserwacji tamtych sporów nie rozstrzyga.

W tym miejscu czytelnik mógłby zapytać się, czy dyskusja nad całościowością procesu życiowego ma jakiś głębszy sens. Wróćmy do przykładu z meteorytem. Zależnie od wyniku obserwacji meteorytu albo dojdzie do odkrycia zapisanej na nim informacji, a przez to do kontaktu z cywilizacją pozaziemską, albo nie dojdzie. W wypadku procesu życiowego sytuacja wygląda podobnie. Gdyby ten proces objawiał jakąś „osobliwość” i z tej racji nie dał się w pełni wyjaśnić przyczynowością oddziaływań czysto materialnych, to ustalenie tego faktu miałyby kolosalne znaczenie filozoficzno-światopoglądowe. Oznaczałoby odkrycie nowego świata bytów, bytów niematerialnych. Ale mógłby ktoś dalej pytać, dlaczego właśnie aspekt całościowości, a nie jakieś inne cechy procesu życiowego stanowią ów języczek u wagi, rozstrzygający o „osobliwości” względnie „zwyczajności” zjawisk biologicznych. Oto, w wielkim skrócie, najważniejsze elementy procesu spekulatywnego, prowadzącego od całościowości stwierdzonej empirycznie do wniosków filozoficzno-światopoglądowych.

Proces ten składa się zasadniczo z przesłanki empirycznej i zasady przyczynowości sprawczej, stanowiącej regułę poznania teoretycznego. Reguła brzmi: Każda zmiana dowodzi istnienia proporcjonalnej przyczyny sprawczej. Przyjmujemy, że proces życiowy nie trwał wiecznie, ale że kiedyś się rozpoczął. Początek życia jest więc przesłanką empiryczną, pozwalającą na zastosowanie reguły poznania teoretycznego. Jeżeli na poziomie obserwacji stwierdziliśmy, że proces życiowy cechuje całościowość, to wspomniana wyżej reguła wymaga, by postulowana na jej podstawie przyczyna była proporcjonalną tło skutku, a więc posiadała „wpływ całościujący”. Zmiana nie musiała wcale zachodzić „nagle”. Jeżeli całość powstała, to jest rzeczą drugorzędną, czy powstała szybko, czy powoli. Reguła przyczynowości sprawczej stosuje się bowiem jednakowo do przyczyn działających szybko, jak i do przyczyn działających powoli. Wymaga jedynie, by postulowana przyczyna była proporcjonalna do powstałej zmiany.

Najważniejszym, najbardziej wrażliwym punktem przedstawionego schematu rozumowania jest rozstrzygnięcie z jednej strony, czy całościowość jest charakterystyczną cechą życia, a z drugiej, czy owa całościowość wymaga takiej przyczyny integrującej, która nie da się zredukować do samej dynamiki procesów fizykochemicznych. Gdyby taka redukcja okazała się niemożliwa, to powstałby rodzaj dowodu na istnienie niematerialnej przyczyny procesu życiowego. Byłby to zarazem dowód istnienia dwu form bytu – formy materialnej i formy niematerialnej. Ujmując problem od innej strony, postulat przyczyny integrującej wyklucza tłumaczenie powstania życia drogą przypadku. Nie ma sensu bowiem mówić o przypadku tam, gdzie przyczyny są ze sobą powiązane lub podporządkowane jakiejś jednej przyczynie. Zespół przyczyn ze sobą tak czy inaczej powiązanych, a więc nieprzypadkowy, wystarcza do proporcjonalnego wyjaśnienia genezy całości, ale stawia równocześnie pytanie o naturę tych powiązań, o ich genezę. W ten sposób pytanie o całość pojawia się na nowo, tylko na innej płaszczyźnie, a cały proces wyjaśniania trzeba powtórzyć na tej nowej płaszczyźnie.

Obserwacja i analiza całości

Dla niektórych filozofów i przyrodników problem całościowości zaczyna się dopiero na poziomach interpretacji epistemologicznej i wyjaśnienia przyczynowego. Całościowość organizmów żywych jest, ich zdaniem, oczywista i niekontrowersyjna. Stąd zaniedbują oni dokładniejszą analizę tej całościowości. Prowadzi to, naszym zdaniem, do poważnych niebezpieczeństw. Oto gdzie widzimy te niebezpieczeństwa:

Jest faktem historycznym, że kryształ, magnes, zegar czy wirus były (i są nadal) częstymi modelami zjawiska całościowego. Stąd krok do stawiania znaku równości pomiędzy całościowością kryształu czy zegara a całościowością procesu biologicznego². Istnieje pokusa, by zamiast męczyć się nad poznaniem istoty całościowości organizmu, zastąpić go modelem kryształu czy magnesu. Jest to błąd analogiczny do błędu tych, którzy obserwując działalność bobrów lub pajaków czynią z bobra model do rozstrzygania o istocie inteligencji człowieka. Uproszczone modele są łatwiejsze do interpretacji i szybko prowadzą do miłego uczucia „zrozumienia” problemu.

Istnieje wiele powodów, by sądzić, że termin „całościowość” jest w języku potocznym bardzo wieloznaczny i że, co gorsza, intuicyjne pojęcie całościowości też wcale nie jest jednoznaczne. W jakimś sensie przecież numer czasopisma jest całością, a i Wszechświat też jest ponoć całością. Można powiedzieć, że „kulka rtęci jest całością”, ale wyrażenie takie ma podobną wartość, co wyrażenie „rtęć jest żywa”. Problem całościowości na poziomie obserwacji, naszym zdaniem, istnieje i polega na odkrywaniu tych cech zjawiska, które mogłoby stanowić rzeczowe uzasadnienie dla naszych niekontrolowanych intuicji.

Nie wdając się w dokładniejsze analizy pragnę na samym początku odróżnić pojęcie całości od pojęcia jedności. Jedność oznacza albo identyczność elementów, i wtedy sprowadza się do pojęcia jednorodności, albo oznacza więź pomiędzy elementami, bez względu na ich strukturę, dynamikę, różnorodność. Można z góry powiedzieć, że żadne z tych dwu znaczeń nie wyraża jakiejś charakterystycznej cechy procesu życiowego. Ciała mineralne często cechują się więzią wielokrotnie większą niż więź łącząca elementy biologiczne, zaś element jednorodności, podobieństwa czy powtarzalności pojawia się w biologii dopiero na poziomie gatunku, rasy czy linii pokoleń, a więc nie może uchodzić za cechę fundamentalną.

Całościowość jest tematem wyjątkowo trudnym do referowania. Nie da się bowiem rozprawiać o całości w sposób fragmentaryczny. Samo zilustrowanie problemu właściwymi przykładami, nie mówiąc już o ich analizie i uogólnieniu, wymaga od słuchacza, względnie czytelnika, sporej dozy uwagi, skupienia, wysiłku. A dobra wola czytelnika, jego zdolność koncentracji i wytrwałość są przecież ograniczone. Zacznę więc mój główny wywód od opowiedzenia bajki.

Do swej rodzinnej wioski wrócił Totumma. Wszyscy krewni wybiegli naprzeciw, oczekując pięknych podarków. A Totumma przyniósł woreczek pełen błyszczących trybików, płytek, śrubek i innych świecidełek, doskonale nadających się na ozdoby. Nie chciał jednak rozdawać krewnym tych cudowności, upierając się, że stanowią one

² M. Florin, *A history of biochemistry. Part IV. Early studies on biosynthesis*. W: *Comprehensive biochemistry*, vol. 32 Elsevier, Amsterdam 1977 p. 133-143.

Niepodzielną Całość. Obiecał, że jeśli będą cierpliwi, to im tę Całość pokaże. Wszyscy usiedli i czekali, zaś Totumma zaczął powoli, z wielkim mozołem składać razem części swego zegara. Po kwadransie krewni zaczęli się wiercić, po pół godzinie niecierpliwie, a po godzinie rzucili się na niego i odebrali mu wszystkie części twierdząc, że jest maniakiem i oszustem.

Po wysłuchaniu tej historyjki ktoś mógłby powiedzieć, że dziwi go wybór poziomu molekularnego jako terenu obserwacji zjawiska całościowości biologicznej. Czy proces lokomocji, oparty o struktury kości, stawów, więzadeł, mięśni lub proces widzenia oparty o widzialne gołym okiem struktury soczewki, źrenicy, siatkówki, nie byłby lepszy, bardziej przejrzysty? Jednak, wbrew pozorom, właśnie zjawiska molekularne, mechanizm współdziałania enzymów, rybosomów, DNA, mRNA, tRNA itd., jest najprostszym, a zarazem pełnym przykładem zjawiska biologicznego. Akcent pada tu na słowo *pełny*. Proces lokomocji czy proces widzenia nie są pełnymi przykładami procesów biologicznych. Są tylko fragmentami, w których brak istotnych elementów procesu biologicznego. Bowiem do istoty zjawiska lokomocji należy fakt rozwoju struktur lokomocyjnych w procesie embriogenezy. Do istoty zjawiska lokomocji należy też poziom molekularny, źródło energii koniecznej do zachodzenia tego procesu. Pełny opis procesu lokomocji jest wielokrotnie bardziej skomplikowany niż te zjawiska, o których zamierzam mówić za chwilę. Ale można tu dodać jeszcze inny powód, dla którego trzeba sięgnąć właśnie do poziomu molekularnego. Otóż istnieje rozpowszechniona i nie pozbawiona słuszności opinia, że podstawą wszystkich absolutnie zjawisk życiowych są procesy molekularne. Gdyby fundamentalne procesy biochemiczne nie miały charakteru całościowego, można by twierdzić, że to, co nazywamy całościowością jest jakimś drugorzędnym aspektem złożenia organizmu. Dalsze rozważania mają więc pokazać, że całościowość jawi się na poziomie molekularnym tak samo wyraźnie, jak na wyższych, dostępnych gołym okiem poziomach dynamiki i struktury organizmu.

Enzym – hierarchiczna struktura funkcjonalna

Totumma nie mógł podać swym krewnym definicji Niepodzielnej Całości Zegara. Mógł ją jedynie pokazać. Całość typu biologicznego można zdefiniować, ale tylko po uprzednim zaznajomieniu się z nią na tyle, by z całą oczywistością ujawniły się istotne, wiążące ją relacje. Obecnie zaznajomimy się z enzymem, strukturą charakteryzującą wewnątrz komórki i w sposób konieczny związaną z dynamizmem tej komórki.

Poznano, jak dotąd, grubo ponad tysiąc różnych enzymów, a kilkadziesiąt z nich zrekonstruowano w szczegółach sięgających pozycji poszczególnego atomu³. Wszystkie enzymy są ogromnymi cząsteczkami chemicznymi, liczącymi przynajmniej kilka tysięcy różnych atomów. Wielkość i złożoność enzymów jest nie tylko faktem empirycznym, ale jest koniecznym postulatem wynikającym z ich specyficznej dynamiki fizykochemicznej. Na czym ta specyfika polega?

Każdy enzym charakteryzuje się tzw. swoistością reakcji katalizowanej, swoistością substratu i ogromną szybkością, z jaką wymusza ściśle określoną reakcję na ściśle

³ Por. M. Dixon i E. C. Webb. *Enzymes*. Longman, London 1979.

określonym substracie⁴.

Swoistość substratu polega na tym, że konkretny enzym działa w zasadzie na cząsteczkę o określonej budowie chemicznej i tylko na tę cząsteczkę. Cząsteczki podobne do właściwego substratu bardzo często blokują wręcz działanie enzymu. Jest to zjawisko analogiczne do zasady działania automatu telefonicznego. Tylko moneta o ściśle określonym kształcie, wymiarach i wadze powoduje serię działań automatu prowadzącą do uzyskania połączenia telefonicznego. Moneta uszkodzona, lżejsza, cieńsza lub grubsza może automat popsuć lub przynajmniej zablokować.

Enzymy posiadają zazwyczaj rodzaj szpary, szczeliny (*cleft*) lub zagłębienia na swej powierzchni i precyzyjnie rozmieszczone w tej przestrzeni odpowiednie grupy chemiczne, które wchodzą w kontakt z odpowiednimi elementami cząsteczki substratu. Niewielkie zmiany w konfiguracji lub składzie chemicznym elementów substratu uniemożliwiają właściwy, pełny kontakt z powierzchnią enzymu, a przez to hamują lub wręcz uniemożliwiają zachodzenie reakcji katalizowanej.

Swoistość katalizowanej reakcji polega na tym, że konkretny enzym dokonuje w obrębie substratu ściśle określonego przekształcenia. Jedne enzymy przenoszą konkretną grupę chemiczną z jednej cząsteczki na drugą, inne przemieszczają konkretną grupę chemiczną wewnątrz jednej i tej samej cząsteczki. Jedne enzymy dzielą cząsteczki substratu na części (zawsze w ten sam sposób i w tym samym miejscu), inne łączą dwa ściśle określone substraty w jedną całość.

Swoistość reakcji enzymu wiąże się z jego tzw. centrum aktywnym. Tam znajduje się specjalny typ związku chemicznego (koenzym), stanowiący element analogiczny do ostrza noża w tokarce lub końcówki lutownicy w automatycznym urządzeniu do lutowania. Oczywiście, w każdym enzymie istnieje ścisła, nieprzypadkowa relacja przestrzenna pomiędzy szczeliną unieruchamiającą substrat we właściwym położeniu a lokalizacją centrum aktywnego enzymu.

Szybkość działania enzymów jest ogromna. Pojedynczy enzym jest w stanie „obsłużyć” od 1000 do 1000000 cząsteczek substratu w ciągu jednej minuty. Jeżeli jako podstawę do oceny szybkości działania enzymu weźmiemy szybkość reakcji nie katalizowanej⁵, to enzym przyspiesza tę reakcję 10^8 – 10^{11} razy!

„Tak więc wiele reakcji, które przebiegają tylko w skrajnie wysokich temperaturach i skrajnie wysokich stężeniach kwasów lub zasad, w obecności enzymów zachodzi szybko w środowisku niemal obojętnego pH i w temperaturze pokojowej”⁶.

⁴ Każdy enzym posiada ponadto tzw. cechy antygenowe (immunologiczne), które są niejako strukturalnym „znakiem firmowym” pozwalającym komórce odróżnić te cząsteczki, które sama wyprodukowała, od tych, które dostały się do niej z zewnątrz. Por. np. Pamela E. E. Todd, Jia J. East i S. J. Leach. *The immunogenicity and antigenicity of proteins*, Trends in Biochemical Sciences (dalej cytowane jako TIBS) 1982, 7, 212-216.

⁵ Obserwując wpływ enzymu na daną reakcję, bierze się oczywiście pod uwagę wszystkie inne czynniki, warunkujące przebieg tej reakcji, takie jak stężenie substratów, poziom temperatury, pH, obecność pewnych jonów itp.

⁶ H. R. Mahler i E. H. Cordes. *Biological chemistry*. Harper and Row, New York 1971 p. 325.

Do pełnego obrazu działania enzymu należy sprawa energii koniecznej do przekształceń wewnątrz- czy też międzycząsteczkowych. W świetle ostatnich badań coraz wyraźniej widać, że cząsteczka enzymu dzięki swej wyjątkowej strukturze wewnętrznej posiada zdolność magazynowania, porządkowania i koncentrowania (w ściśle określonej przestrzeni) chaotycznej energii termicznej otoczenia⁷. Cząsteczkę enzymu moglibyśmy więc porównać do swojego rodzaju „soczewki energetycznej”, która koncentruje energię w centrum aktywnym, gdzie energia ta służy do tzw. aktywacji związku. Tak jak lejek koncentruje szeroko płynący strumień wody w jeden wąski strumyczek, tak jak setki cząsteczek chlorofilu stanowią rodzaj lejka gromadzącego energię wielu fotonów i skupiającego ją w centrum reakcji fotosystemu I, tak i struktura cząsteczki enzymu przenosi energię chaotycznego bombardowania cząsteczek otoczenia enzymu w jeden ściśle określony punkt – tam, gdzie ma się dokonać specyficzna reakcja katalizowana przez dany enzym.

Te wielorakie funkcje cząsteczki enzymu warunkują się wzajemnie i wpływają z niepodzielnego systemu struktur. Niepodzielności nie należy tu rozumieć w sensie jakiejś nadzwyczajnej odporności enzymu na czynniki dezintegrujące. Enzym bowiem jest strukturą bardzo wrażliwą na czynniki zewnętrzne. Niepodzielność oznacza tu raczej coś w rodzaju fizjologicznego prawa „wszystko albo nic”. Nieznaczące uszkodzenie struktury enzymu, powodujące bezpośrednie zaburzenie jednej tylko funkcji, pociąga za sobą dramatyczne załamanie innych jego funkcji. Nieprawidłowa lokalizacja centrum aktywnego, nieodpowiedni kształt szczeliny mocującej substrat, deformacja systemu przenoszącego energię – każdy z tych i wielu jeszcze innych czynników posiada istotny wpływ na dynamikę, swoistość, szybkość działania enzymu.

Ogromne, w skali molekularnej, rozmiary cząsteczki enzymu są więc zewnętrznym, kwantytatywnym wyrazem pewnych konieczności fizyko-chemicznych. Przy maksymalnej ekonomii, pomysłowości rozwiązań strukturalnych i przy równoczesnym zachowaniu obowiązujących praw oddziaływania materii, nie da się miniaturyzować pewnych dynamizmów poniżej określonej granicy. Wszystko – jak dotąd – wskazuje na to, że struktura enzymu znajduje się niezwykle blisko tej granicy. I ten fakt niejako empirycznie określa sens wyrażenia „niepodzielność struktury i funkcji enzymu”. Słusznie więc stwierdza Kell, że próby skonstruowania samego tylko centrum aktywnego, wykazującego właściwości katalityczne całego enzymu, mogą się okazać niewykonalne⁸. W podobnym sensie nie da się wykonać samego głośnika, który spełniałby funkcję całego odbiornika radiowego.

Zwolennicy teorii abiogenezy typu Oparina czy Eigena sądzą, że niegdyś mogły istnieć prostsze formy enzymów i że prostsze formy stopniowo doskonaliły się i komplikowały dzięki selekcji typu chemicznego lub biologicznego. Wydaje się, że w takich sądach zawarte jest pewne nieporozumienie. Można sobie wyobrazić enzym działający powoli, ale szybkość działania poszczególnych elementów zespołu enzymów w organizmie żywym podlega różnorodnym czynnikom regulującym, koordynującym, bez których efekty katalizy enzymatycznej byłyby chaotyczne. Podobnie można sobie wyobrazić enzym o bardziej ograniczonej swoistości (selektywności) działania.

7 Por. D. B. Kell. *Enzymes as energy „funnels”?* TIBS 1982, 7, 349.

8 Kell, *ibidem*.

Ale takie enzymy znowu nie tłumaczyłyby powtarzalności reakcji chemicznych, a co za tym idzie trudno byłoby zrozumieć skąd się bierze zjawisko reprodukcji organizmu. Wydaje się, że już łatwiej byłoby przyjąć początkowe istnienie enzymów zbyt skomplikowanych, które stopniowo, na drodze selekcji, osiągałyby ideał miniaturyzacji.

Zespół enzymów komórki jako całość

Charakterystyczna dla enzymów swoistość reakcji i swoistość substratu stanowi wyjaśnienie empirycznego faktu posiadania przez komórkę ogromnej ilości różnorodnych enzymów. Jeden enzym z jego „wąską specjalizacją” nie jest w stanie wytłumaczyć, w jaki sposób komórka stale buduje z prostej materii otoczenia liczne i niezwykle złożone struktury swego ciała. Tylko proporcjonalnie urozmaicony asortyment setek enzymów mógłby stanowić proporcjonalne wytłumaczenie szybkości i precyzji, z jaką te struktury wciąż powstają na nowo.

Można, używając oczywiście analogii, powiedzieć, że tak, jak układ periodyczny pierwiastków odkryty przez Mendelejewa ujawnił luki w naszej wiedzy o asortymencie pierwiastków istniejących w przyrodzie i pozwolił na postulowanie istnienia ściśle określonych substancji o możliwych do przewidzenia cechach, podobnie zaobserwowanie takiego czy innego związku biochemicznego lub takiej czy innej reakcji biochemicznej pozwala na postulowanie istnienia określonych mechanizmów enzymatycznych.

Trudno ocenić, ile enzymów stanowi konieczne, minimalne wyposażenie żywej komórki. Obecnie przypuszcza się, że najprostszy układ enzymatyczny, zdolny do wybudowania odgradzonego od otoczenia selektywnego systemu wykazującego samoregenerację w oparciu o prosty materiał chaotycznych cząsteczek materii i rozproszone formy energii, musiałby składać się z grubo ponad 500 enzymów. Choć nie sposób dziś określić granic takiego zespołu, to nie może ulegać wątpliwości, że chodzi tu o jakąś obiektywną całość niezależną od naszego, ludzkiego punktu widzenia. Jest to, powtórzmy, całość zbioru skończonego, ściśle określonej liczby różnorodnych oddzielnych struktur, wykazujących ściśle określone właściwości dynamiczne i w dodatku uporządkowanych w ściśle określonej relacji przestrzennej względem siebie⁹.

W wielu przypadkach udało się prześledzić wzajemne, przestrzenne rozmieszczenie enzymów na powierzchniach błon wewnątrz- i zewnątrzkomórkowych. Jest ono z reguły nie-chaotyczne, czyli powtarzalne i zgodne z logiką kolejności etapów konkretnej syntezy chemicznej (ścieżki anabolicznej)¹⁰.

Mówiąc o całościowości zespołu enzymów komórki powinniśmy więc mieć na myśli nie tylko ich pełny asortyment, ale też ich właściwą lokalizację przestrzenną. Bez tej lokalizacji substrat musiałby wędrować okrężną drogą do kolejnych enzymów

⁹ Wg jednego z najnowocześniejszych obecnie podręczników biochemii, nawet w tak prostym organizmie, jak beżjądrzysta bakteria *Escherichia coli*, zachodzi przynajmniej tysiąc różnorodnych reakcji chemicznych, a olbrzymia większość z nich jest katalizowana przez swoiste enzymy. Por. L. Stryer. *Biochemistry*. Freeman, San Francisco 1981 p. 235.

¹⁰ Anabolizm jest synonimem procesu biosyntezy. Można tu dodać, że procesy rozpadu (kontrolowanego), zachodzące w komórce, nazywane są katabolizmem, zaś obydwa te typy procesów biomolekularnych obejmuje się nazwą metabolizmu.

(co zmuszałoby do postulowania specyficznych mechanizmów transportujących) lub wynik działania enzymów byłby w każdej komórce inny, czyli w ostatecznym rozrachunku chaotyczny. Dla biologa komórki, dla cytofizjologa, ta ostatnia sytuacja jest czystym absurdem, czymś absolutnie nie do pogodzenia z naturą procesu życiowego, który cechuje się właśnie powtarzalnością cykli życiowych.

Struktura chemiczna enzymów

Zanim przejdziemy do omawiania następnej formy całościowości biomolekulamej, czyli całościowości ścieżki anabolicznej samego enzymu, musimy choć w wielkim skrócie, opisać podstawowe elementy jego struktury chemicznej, czyli odpowiedzieć na pytanie, z czego zbudowany jest enzym. Otóż enzym ma budowę hierarchiczną. To znaczy, że wewnątrz cząsteczki enzymu istnieje kilka piętér złożoności, określaných zazwyczaj strukturą pierwszo-, drugo-, trzecio- i czwartorzędową. Patrząc z innego punktu widzenia można też powiedzieć, że enzym nie jest jakąś „czystą” formą substancji chemicznej, lecz formą „mieszaną”, utworzoną z wielu różnorodnych substancji chemicznych.

Zaczynając od całości enzymu i rozkładając go stopniowo na „czynniki pierwsze” zauważymy, że najczęściej składa się on z tzw. „białka” (apoenzymu) i części niebiałkowej (koenzymu). Koenzym jest elementem tzw. centrum aktywnego, a budowa chemiczna koenzymu w znacznej mierze decyduje o naturze, czyli swoistości katalizowanej reakcji. Bywa, że pojedyncza cząsteczka enzymu posiada więcej, niż jedno centrum aktywne i więcej, niż jedną cząsteczkę koenzymu. Koenzym jest z reguły strukturą hierarchiczną, tzn. powstaje przez zespolenie kilku ściśle określonych związków organicznych o bardzo różnorodnej naturze chemicznej. Nie wykryto dotąd koenzymu, który byłby bądź to prostym związkiem organicznym, bądź to polimerem identycznych cząsteczek chemicznych. Jeszcze bardziej złożoną budowę ma część białkowa enzymu, czyli apoenzym. Składa się on przynajmniej z jednego długiego łańcucha heteropolimeru (polipeptydu) utworzonego zwykle ze stu kilkudziesięciu, z kilkuset, a czasem z grubo ponad tysiąca podjednostek.

Łańcuch polipeptydu w konkretnym enzymie, na pewnych, ściśle określonych odcinkach jest skręcony spiralnie (na podobieństwo kabła łączącego słuchawkę z aparatem telefonicznym), a całość zwinięta jest w rodzaj kłębuszka, którego zwoje przebiegają w ściśle określony sposób. Niewłaściwe rozmieszczenie odcinków skręconych spiralnie (tzw. struktury II-rzędowej) i niewłaściwe zwinięcie całego polipeptydu w „kłębuszek” (tzw. struktury III-rzędowej) zmienia lub wręcz uniemożliwia lokalizację koenzymu w centrum aktywnym, deformuje szczelinę mocującą substrat i zmniejsza lub całkowicie przekreśla możliwość właściwego ukierunkowania przepływu energii wewnątrz enzymu.

Z czego składa się sam łańcuch? Łańcuch polipeptydu tworzą tzw. aminokwasy, które z punktu widzenia chemicznego stanowią zespół bardzo osobliwy. Są to bowiem związki chemiczne niezwykle różnorodne. Można powiedzieć, że aminokwasy reprezentują cały wachlarz elementarnych połączeń chemicznych, że prawie każda grupa prostych związków organicznych posiada niejako swego przedstawiciela wśród aminokwasów. Jedyłą, w zasadzie, cechą wspólną wszystkich aminokwasów jest identyczny, podwójny, niesymetryczny „zaczepek”, który pozwala na łączenie poszczególnych aminokwasów w łańcuchy.

Jak zbudowany jest ten zaczep? Każdy aminokwas ma na jednym końcu cząsteczki grupę karboksylową (COOH) i zaraz obok grupę aminową (NH₂). Grupa COOH jednego aminokwasu może łączyć się tzw. wiązaniem peptydowym z grupą aminową innego, dowolnego aminokwasu. Z kolei grupa karboksylowa tego drugiego aminokwasu może się łączyć z grupą aminową trzeciego aminokwasu ... itd., w nieskończoność. Kolejność poszczególnych aminokwasów – z czysto chemicznego punktu widzenia – jest w takim łańcuchu zupełnie dowolna. Wszystkie aminokwasy są bądź produkowane samodzielnie przez komórkę (przy pomocy, oczywiście, enzymów), bądź czerpane z materii otaczającej (pokarmu).

Z tego, co powiedziano, wynika parę ważnych uogólnień. Przede wszystkim nie istnieje jakaś granica ilości i różnorodności aminokwasów. Każdy typ związku może być aminokwasem, byleby na swym końcu posiadał grupę COOH-CH-NH₂. Dalej, ze względu na możliwość łączenia dowolnych aminokwasów w dowolnie długie łańcuchy polipeptydowe istnieje praktycznie nieskończona liczba możliwych polipeptydów. Sytuacja przypomina tu bogactwo możliwych wyrazów złożonych z liter. Nie istnieje przecież jakaś granica liczby różnych liter, ani granica długości poszczególnych wyrazów. Jeżeli jednak spojrzymy na aminokwasy i polipeptydy nie z punktu widzenia czysto chemicznej możliwości połączeń, ale z punktu widzenia istotnej funkcji biologicznej, wtedy dostrzeżemy ściśle ograniczenie doboru odpowiednich aminokwasów i właściwej ich kolejności w łańcuchu polipeptydowym enzymu.

Tzw. struktura pierwszorzędowa apoenzymu polega na doborze odpowiednich rodzajów aminokwasów enzymu i na połączeniu ich w odpowiedniej kolejności. Kontrast pomiędzy czysto chemiczną możliwością różnorodnych połączeń różnych aminokwasów, a wyjątkową, funkcjonalną strukturą apoenzymu jest niejako miarą precyzji, niepodzielności, słowem całościowości tego piętra hierarchicznej budowy enzymu.

Organizm żywy produkuje zasadniczo tylko dwadzieścia typów aminokwasów. Z nich zaś montuje nie więcej, niż parę tysięcy sekwencji polipeptydowych. Miliony cząsteczek enzymów wewnątrz komórek organizmu to zwielokrotnione egzemplarze dokładnie określonego zestawu białek (polipeptydów) funkcjonalnych. Poszczególne białka, jak już mówiliśmy, są łańcuchami utworzonymi z setek aminokwasów, przy czym długość łańcuchów polipeptydowych nie wykazuje dostrzegalnego związku ze złożonością danego organizmu. Najprostsze bakterie posiadają enzymy złożone ze skrajnie długich polipeptydów.

Powstawanie hierarchicznej struktury enzymów jest wyrazem daleko posuniętej selektywności procesów chemicznych w komórce. Selekcja dotyczy najpierw produkcji określonych form aminokwasów. Dalej, dotyczy łączenia aminokwasów w określone sekwencje o określonej długości (struktura I-rzędowa), następnie, tworzenia odpowiedniej struktury II-rzędowej, wreszcie – wytwarzania określonej konfiguracji kłębuszka polipeptydu (struktura III-rzędowa), i w końcu, właściwego montażu koenzymu wewnątrz apoenzymu (struktura IV-rzędowa).

Może ktoś zapytać, czy dałoby się wyrazić ilościowo poziom selekcji dokonywanej w komórce podczas budowy pojedynczego enzymu. Przynajmniej na razie jest to niewykonalne. Pewne etapy budowy enzymu – np. synteza aminokwasów – mimo, że z pewnością są one zjawiskiem selektywnym, nie dają się ująć w jakieś liczbowe wartości pozwalające na porównywanie selektywności. Gdybyśmy się ograniczyli do

obliczenia poziomu selektywności tylko niektórych etapów budowy enzymu, to okazałoby się, że komórka budując prosty apoenzym (polipeptyd złożony ze 100 aminokwasów) dokonuje selekcji większej niż $1:10^{130}$, zaś produkując apoenzym składający się z 1000 aminokwasów, dokonuje selekcji większej niż $1:10^{1300}$. Te cyfry odnoszą się do procesu powstawania struktury I-rzędowej i II-rzędowej. Nie uwzględniają one procesu powstawania aminokwasów, powstawania struktury III-cio i IV-rzędowej, ani procesu powstawania koenzymu.

Jak należy rozumieć stwierdzenie, że poziom selekcji wynosi $1:10^{1300}$? Oznacza ono, że dysponując tysiącem cząsteczek aminokwasów dwudziestu różnych rodzajów można je połączyć w jeden łańcuch na wiele różnych sposobów, a odchodzące w bok od osi łańcucha poszczególne aminokwasy mogą przyjąć różnorodne konfiguracje przestrzenne. Stąd nawet łańcuchy o tym samym składzie i tej samej kolejności aminokwasów mogą się różnić konfiguracją przestrzenną. Liczba 10^{1300} wyraża – w przybliżeniu – liczbę takich łańcuchów o różnej kolejności i różnej konfiguracji aminokwasów, a praktycznie tylko jedna z tych wielu form stanowi może fizykochemiczną strukturę tłumaczącą obserwowane empirycznie właściwości katalityczne enzymu. Selekcja tej jednej z wielu możliwych form łańcucha polipeptydu dokonuje się w komórce dzięki współdziałaniu wielu różnorodnych mechanizmów ograniczających, wśród których najbardziej znany jest tzw. kod genetyczny DNA i skomplikowana maszyna molekularna determinująca kształtowanie się polipeptydów zgodnie z receptą zaszyfowaną w kodonach DNA. Innym elementem ograniczającym są ściśle określone parametry środowiska wewnętrznego komórki, poszczególnych jej rejonów, a parametry te są z kolei wymuszane przez złożone mechanizmy „pomp” molekularnych ustalających poziom stężenia jonów w danym rejonie komórki. O wielu mechanizmach wpływających na prawidłową strukturę polipeptydu wiadomo, że muszą istnieć, choć sposób ich działania jest przedmiotem trudnych do zweryfikowania hipotez. Stopniowe wykrywanie natury tych mechanizmów dostarcza proporcjonalnego wyjaśnienia selektywności, z jaką komórka buduje apoenzymy. Jednak natura tych mechanizmów, stawia kolejne pytanie o ich genezę. Geneza zaś prowadzi nas z powrotem do problemu selektywności – i to przynajmniej na tym samym poziomie precyzji, jak poprzednio. Jednym słowem, organy rozrodcze kury dobrze tłumaczą skąd się bierze jajko, ale pozostaje pytanie, jak z jajka tworzą się organy rozrodcze kury.

Całościowość enzymu wynika więc z natury procesu, który buduje w komórce enzymy. Przyjrzyjmy się teraz pewnym istotnym elementom tego procesu, ponieważ fakt istnienia enzymów w komórce tylko w abstrakcji może być oderwany od procesu ich powstawania. Zobaczymy, że proces ten ma również charakter całościowy, choć jest to zupełnie inna forma całości.

Proces powstawania enzymów

Dla przejrzystości można ten proces podzielić na następujące etapy:

1. Produkcja asortymentu ściśle określonych form prostych związków organicznych (typy węglowodorów, węglowodanów, związków heterocyklicznych itp.);
- 2a. Produkcja złożonych związków organicznych typu koenzymów, nukleotydów itp.;

- 2b. Produkcja heteropolimerów typu polipeptydu, mRNA, tRNA, rRNA;
 3. Montaż kompleksów i struktur wielocząsteczkowych (apoenzymów, kompletnych enzymów, rybosomów).

Każdy z wymienionych etapów da się podzielić na wiele elementarnych reakcji chemicznych, które zachodzą w ścisłej kolejności, tak że produkty całego zespołu reakcji są ściśle określone pod względem struktury chemicznej¹¹. Zwróćmy teraz uwagę na parę bardzo ważnych momentów. Wymienione wyżej etapy są ze sobą ściśle powiązane i jest to związek podwójny. Z jednej strony, selektywna produkcja na niższym etapie stanowi fizykochemiczny warunek i bazę dla etapów późniejszych, z drugiej strony, końcowy produkt, czyli enzymy, stanowią fizykochemiczny warunek precyzyjnej selektywności wszystkich kolejnych etapów.

Kolejne reakcje chemiczne, budujące krok za krokiem z jedno- lub kilkuatomowych fragmentów ogromną, a zarazem niezwykle zróżnicowaną strukturę enzymu, stanowią całość typu dynamicznego. W tej całości należy odróżnić dwa zespoły elementów. Jeden to seria tzw. prekursorów enzymu, drugi to zespół enzymów katalizujących poszczególne reakcje owej serii. Prekursory tworzą ciąg kolejnych „embrionalnych” postaci enzymu. Każdy etap tego ciągu jest odrębną reakcją chemiczną, katalizowaną przez jeden, a czasem nawet przez parę enzymów. Oba zespoły są niepodzielne w tym sensie, że brak jakiegokolwiek elementu w zespole wyklucza możliwość pojawienia się gotowego enzymu. Niektóre mechanizmy konieczne do powstania enzymu są w komórce wspólne dla wszystkich form enzymów, inne są wspólne tylko dla niektórych grup enzymów. Wreszcie każdy enzym, ze względu na swoistość swej struktury, wymaga działania procesów, które będą charakterystyczne dla jego ścieżki anabolicznej. Jest ona całością zarówno empiryczną, jak teoretyczną. Empiryczną dlatego, że badając komórkę z reguły odkrywa się właśnie takie kompletne „ścieżki anaboliczne”. Teoretyczną, bo fakt wielokrotnego pojawiania się wyłącznie prawidłowo skonstruowanych enzymów zmusza do postulowania kompletności i stałości zróżnicowanego procesu formującego chaotyczną materię otoczenia w ściśle określony układ atomów¹².

Niepodzielność zespołu enzymów i zespołu ścieżek anabolicznych

Poprzednio mówiliśmy, że sam enzym w swej strukturze wewnętrznej stanowi rodzaj całości; całościowość ta odnosi się do wyjątkowych właściwości dynamicznych enzymu, takich jak swoistość reakcji, swoistość substratu, koncentracja energii i szybkość reakcji. Obecnie widzimy, że całością jest też zespół reakcji chemicznych, ścieżka metaboliczna, warunkująca powstanie konkretnego enzymu.

¹¹ Szczegóły tego procesu zostały obszerniej opisane przez autora w artykule pt. *Mitologia programu genetycznego DNA*. Znak 1983, 35, 881-898.

¹² Por. F. H. Gaertner. *Unique catalytic properties of enzyme clusters*. TIBS 1978, 3, 63-65. Wprawdzie proponowano różne nazwy dla całościowych zespołów enzymatycznych danej ścieżki (por. P. Karlson i H. B. Dixon. *Multienzyme systems – clarifying the nomenclature*. TIBS 1980, 5, VII; F. R. Opperdoes i P. Borst oraz G. R. Welch w polemice zatytułowanej *Multienzyme systems – some objections to – some*. TIBS 1980, 5, X) to jednak nikt nie kwestionował samego faktu empirycznego, czyli charakterystycznych cech dynamicznych i strukturalnych związanych z wewnętrzną jednością ścieżki metabolicznej.

Ale proces biologiczny charakteryzuje się jeszcze innymi formami całościowości. Istnienie jednego enzymu nie posiada biologicznego sensu, i nie ma też sensu biologicznego pojedyncza ścieżka anaboliczna, prowadząca do jego powstania. Tylko zespół enzymów i to zespół kompletny, wystarczający do katalizy wszystkich reakcji zachodzących w komórce ma sens.

„Życie komórki zależy od posiadania zespołu sprawnych i specyficznych enzymów katalizujących wspólnie łańcuchy następujących po sobie reakcji chemicznych («ścieżek metabolicznych»). Te ścieżki, choć złożone, ule nie są chaotyczne, ale tak uporządkowane, że energia uzyskiwana z rozpadu pokarmu jest dostarczana do napędzania reakcji syntezy koniecznych dla wzrostu i utrzymania komórki przy życiu. Jest rzeczą istotną, by komórka posiadała „właściwe” enzymy dla katalizowania zasadniczych ciągów metabolizmu. Jeżeli pojawia się przerwa, np. z powodu braku enzymu katalizującego jeden z etapów danego ciągu, cały ciąg metabolizmu przestaje działać, a to może prowadzić do śmierci.

Jest rzeczą równie istotną, by nie dochodziło do produkcji «niewłaściwych» enzymów. Taki enzym mógłby np. przekształcić pośredni produkt danej ścieżki metabolicznej w substancję odmienną od produktu normalnego i w ten sposób wprowadzić metabolizm w błędną uliczkę. Mógłby też katalizować rozpad związków wysokoenergetycznych, uniemożliwiających właściwe wykorzystanie tej energii w procesach syntezy.”¹³

Komórka posiada system tzw. błon, na których są osadzone, w ściśle określonej kolejności i precyzyjnej relacji przestrzennej, całe ciągi różnorodnych enzymów tworzących konkretną „ścieżkę anaboliczną”. Trzeba tutaj dodać, że same enzymy, ich produkty pośrednie, półprodukty, też powstają na takich ścieżkach.

Gdy uznamy całościowość zespołu enzymów, jesteśmy zmuszeni uznać całościowość procesu, który je produkuje. Prócz całościowości pojedynczej ścieżki anabolicznej musimy więc przyjąć całościowość systemu ścieżek anabolicznych koniecznych do wytworzenia kompletu enzymów.

Spróbujmy teraz spojrzeć jeszcze raz na te cztery formy całościowości:

- Całość I = zależność pomiędzy strukturą enzymu a jego właściwościami dynamicznymi (swoistością reakcji, swoistością substratu, zdolnością do koncentrowania i porządkowania energii).
- Całość II = zależność pomiędzy właściwą kolejnością ściśle określonych przekształceń materii otoczenia a obecnością i ściśle określonym rozmieszczeniem przestrzennym części konkretnego enzymu, oraz ściśle określoną lokalizacją konkretnego enzymu wewnątrz komórki. Jest to zależność pomiędzy serią prekursorów a ostateczną formą enzymu.
- Całość III = zależność pomiędzy życiem komórki a równoczesną obecnością poszczególnych form enzymów wewnątrz komórki, względnie – ujmując problem cząstkowo – zależność pomiędzy procesem pojawiania się gotowego enzymu a zespołem enzymów potrzebnych do jego produkowania.

¹³ Dixon i Webb. op. cit. p. 657.

Całość IV = zależność pomiędzy obecnością w komórce kompletu enzymów oraz zespołem ścieżek anabolicznych prowadzących do powstania każdego z nich.

Poszczególne formy całościowości stanowią więc rodzaj ogniów w łańcuchu konsekwencji fizycznych (empirycznie) i logicznych (teoretycznie). Początkiem tego łańcucha konsekwencji jest fakt swoistości reakcji, swoistości substratu i wyjątkowych właściwości energetycznych pojedynczego enzymu. Te trzy właściwości występują razem, w jednej strukturze i warunkują się wzajemnie w sposób fizykochemiczny. Drugim ogniwem łańcucha konsekwencji jest fakt selektywnego powstawania konkretnego enzymu i fakt, że selektywność wynika z uporządkowanego działania nieprzypadkowego zbioru enzymów konstruujących enzym. Ten zbiór stanowi zatem dalszy nieomijalny warunek o charakterze całościowym. Wreszcie, na końcu, jawi się konieczność postulowania zespołu ścieżek metabolicznych produkujących nieprzypadkowy zespół enzymów.

Kluczowymi elementami rozstrzygającymi o prawdziwości powyższego ciągu zależności teoretycznych i empirycznych są fakty dotyczące mechanizmu działania enzymów z jednej strony, a procesu produkcji enzymów z drugiej. Oba zjawiska mają charakter ciągły, a ich nieprzerwany tok jest chyba najistotniejszą cechą życia komórki. Wiąże się to z mało znanym wśród laików, choć biochemicznie podstawowym, procesem tzw. turn-over metabolicznego, czyli ciągłego rozpadu gotowych enzymów, przy równoczesnej produkcji nowych egzemplarzy. Komórka zatem nigdy nie przestaje budować swoich enzymów.

Typ całościowości charakteryzujący procesy biologiczne

Może teraz powstać pytanie, która z wymienionych czterech form całościowości jest zjawiskiem charakterystycznym dla procesów biologicznych i która z nich wystarczająco reprezentuje te procesy.

W moim przekonaniu tylko czwarta forma całościowości ma charakter w pełni biologiczny, czyli – mówiąc innymi słowami – wszystkie cztery naraz stanowią minimum dynamiki biologicznej. Te cztery formy całościowości zilustrowaliśmy przykładami działania i powstawania enzymów. Moglibyśmy, z równym powodzeniem, zamiast całościowego zespołu enzymów komórki (całość typu III-go) wziąć pod uwagę zespół różnorodnych części pojedynczego enzymu, których odpowiednia struktura i współistnienie w odpowiedniej relacji przestrzennej stanowią fundament całościowego oddziaływania katalitycznego. Każda z różnorodnych części enzymu posiada swoją własną „ścieżkę anaboliczną”, która stanowi całość typu II-go. Zespół wszystkich ścieżek anabolicznych koniecznych i wystarczających do skonstruowania enzymu stanowiłby wtedy całość typu IV-go. W tym modelu brakowałoby całości typu I-go, mimo że całościowość typu IV-go jawiłaby się w sposób oczywisty.

Czy moglibyśmy ograniczyć się do zilustrowania naszej koncepcji całościowości biologicznej przykładem produkcji pojedynczego aminokwasu? Powstawanie aminokwasu w komórce to przecież proces wieloetapowy, powtarzalny, wymagający współdziałania wielu swoistych enzymów. Moim zdaniem nie jest to przykład szczęśliwy i dostatecznie wymowny. Bowiem pojedynczy aminokwas nie stanowi całości w takim sensie, w jakim całością jest pojedynczy nawet enzym. A więc w przykładzie z produkcją aminokwasu, na samym początku procesu myślowego brakuje empiryczne-

go faktu niepodzielności struktury i dynamiki. W przypadku enzymu natomiast, istnieje taka dynamika fizyko-chemiczna, która zależy od ukształtowania, współlistnienia i prawidłowej lokalizacji przestrzennej wielu różnorodnych elementów. I to jest absolutnie konieczny punkt wyjścia w analizie całego dalszego ciągu zależności opisywanych jako całość II, całość III i całość IV.

Nie jest to punkt wyjścia w sensie jakiegoś początku fizycznego. Jeżeli pojedynczy enzym traktujemy jako element całości typu IV, to ani w sensie strukturalnym, ani dynamicznym nie jest niczym więcej. Nie jest ani „przyczyną” całości typu IV, ani „wyjaśnieniem” całości typu IV. Nie jest nawet „przyczyną” lub „wyjaśnieniem” całości typu II. Przeciwnie, to całość typu II jest przyczyną i wyjaśnieniem całości typu I. Stajemy tu wobec zjawiska intrygującego i trudnego do zrozumienia. Jak dotąd, istnieją dwa rodzaje spekulacji, które usiłują to zjawisko wyjaśnić. Jeden rodzaj spekulacji zmierza do takiego przedstawienia opisanych wyżej form całościowości, by utraciły one wszystkie cechy integracji i dały się zredukować do zależności fizyko-chemicznych, pozbawionych owego intrygującego elementu. Drugi typ spekulacji akceptuje sam obraz zależności typu całościowego i nie próbuje ukrywać, czy pomniejszać ich rzeczywistego charakteru. Próbuje natomiast rozwiązać całą zagadkę poprzez mechanizmy, które wydają się, przynajmniej intuicyjnie, nieproporcjonalnie ubogie przyczynowo i pozbawione rzeczywistej wartości wyjaśniającej.

Przykładem tendencji pierwszej może być wspomniana na wstępie, mająca już parę wieków tradycją porównywania dynamizmu wzrostu biologicznego z procesem wzrostu kryształu, dynamizmu rozmnażania organizmów z procesem podziału magnezu na części, itp. Każdy dynamizm powtarzalny, prowadzący bądź do wzrostu złożoności, bądź do uporządkowania elementów jakiegoś zbioru stanowi tu podstawę ekstrapolacji sięgających pojęcia „natury życia”. Przykładem drugiej tendencji może być cytat zaczerpnięty z pracy Mitchella, twórcy przyjętej dziś powszechnie teorii chemiosmotycznej, unifikującej pojęcie źródła energii dla różnorodnych procesów biomolekularnych. Według tej teorii komórka żywa, w oparciu o energię światła, bądź energię uzyskaną ze „spalania” pokarmu, usuwa protony (jądra wodoru) na zewnątrz błony komórkowej, bądź do wewnątrz otoczonych specjalnymi błonami zbiorników komórkowych. Powstaje w ten sposób tzw. gradient stężenia protonów na granicy danej błony. Jest on niejako magazynem energii potencjalnej. W błonach komórki rozmieszczone są różnorodne wyspecjalizowane kompleksy biomolekularne, które umożliwiają przepływ protonów z powrotem, zgodnie z prawami równowagi osmotycznej, a energię tego przepływu zmieniają na ruch mechanizmów lokomocyjnych, na potrzeby mechanizmów syntezy, produkcję ciepła, względnie selektywny transport elementów chemicznych wbrew równowadze osmotycznej. Innymi słowy, gradient protonowy spełnia rolę analogiczną do napięcia elektrycznego w sieci, do której człowiek może podłączyć grzałkę, robot kuchenny, lampę czy maszynę do szycia. Oczywiście, zarówno mechanizmy wytwarzające gradient protonowy, jak i te, które ów gradient eksploatują, mają charakter całości typu I lub III, a ich synteza w komórce sponuje całość typu II i IV. Oto jak sam Mitchell podchodzi do wyjaśnienia genezy przedstawionego wyżej mechanizmu:

„Jest rzeczą ważną z punktu widzenia dydaktycznego (it is instructive), by pamiętać, że te mikro-miniaturowe urządzenia protonowe zostały wynalezione przez przypadek i rozwinięte przez selekcję naturalną do wprost cudownego (marvellous) poziomu wyra-

finowania (sophistication) miliony lat przed powstaniem nowoczesnej technologii, która doprowadziła do rozwoju mikro-miniaturowych urządzeń elektronicznych."¹⁴

Powyższy tekst dobrze ilustruje wielką ufność, jaką wielcy, bądź co bądź, przyrodnicy pokładają w przypadku i selekcji naturalnej. Można mieć jednak wątpliwości, czy ta ufność ma korzystny wpływ na kształtowanie się dociekliwości i krytycyzmu; czy tego rodzaju dydaktyka będzie skutecznie bronić przed naiwną łatwowiernością.

Warunkiem uzyskania rzetelnych wyników jest, by z jednej strony uproszczenie faktycznego obrazu zjawiska biologicznego nie spadało poniżej poziomu istotnych cech takiego zjawiska, a z drugiej strony, by proponowane wyjaśnienia nie były przerzucaniem czysto werbalnych pomostów nad otchłaniami rzeczywistej złożoności problemu.

Istnieje realne niebezpieczeństwo, że tendencja pierwsza ogołoci mechanizmy molekularne ze wszystkiego, co stanowi o ich „cudownym wyrafinowaniu”, a wtedy surowe mechanizmy przypadku i selekcji naturalnej staną się proporcjonalną i zadowalającą umysł koncepcją przyczynową.

Właściwa droga do rozwiązania powinna prowadzić przez tworzenie pojęć adekwatnych do rzeczywistości biomolekularnej. Ta adekwatność musi być przedmiotem starannych analiz i weryfikacji. Pewien poziom abstrakcji upraszczającej jest nie tylko możliwy, ale i konieczny. Umysł i jednak sam ze siebie nie zna granicy abstrakcji. Tylko kontakt z faktami może tę granicę ustawić we właściwym miejscu. Jeśli zaś chodzi o proces wyjaśnienia faktów, to oczywiście można z niego zrezygnować głosząc tezę, że celem nauk przyrodniczych jest odpowiedź na pytanie „jak”, bez interesowania się pytaniem „dlaczego”. Powinien temu towarzyszyć proporcjonalny wysiłek refleksji ustalającej, które odpowiedzi uzna się za prawidłowe. Równocześnie warunki prawidłowości odpowiedzi powinny być możliwie jasno wyłożone.

W powyższym eseju nie usiłowano odpowiedzieć na wszystkie możliwe pytania. Pytań jest na razie znacznie więcej niż odpowiedzi. W zasadzie próbowaliśmy opisać strukturę i dynamikę enzymu podkreślając te aspekty, które tworzą w umyśle pojęcie całości. Próbowaliśmy ukazać, że natura enzymu jest związana *de facto* z czterema formami całościowości, przy czym dostrzeżenie formy „pierwszej” umożliwia dostrzeżenie dalszych, razem z „czwartą”, która je wszystkie obejmuje. Właśnie ten ostatni rodzaj całości wydaje się nam charakterystyczny dla dynamiki biologicznej. Teorie abiogenezy, próbujące wyjaśnić powstanie życia samymi mechanizmami fizyczno-chemicznymi nie dostrzegają, jak się zdaje, rozmiarów problemu nawet na samym poziomie molekularnym. Całościowość systemu enzymatycznego komórki, a nawet sama całościowość struktury i działania pojedynczego enzymu jest w tych teoriach, jak gdyby ignorowana.

Równocześnie operują one bardzo rozrzutnie przestrzenią i czasem tak, jak gdyby skala molekularna procesów komórkowych nie stanowiła istotnego elementu ograniczającego, a szybkość tych procesów była elementem drugorzędym. Obliczanie prawdopodobieństwa takich czy innych zdarzeń biochemicznych daje wartości tak znikome, że np. zdaniem Dixona i Webba hipoteza przypadku powinna być odrzucona,

¹⁴ P. Mitchell. *Vectorial chemistry and the molecular mechanics of chemiosmotic coupling: power transmission by porosity*. Trans. Biochem. Soc. 1976, 4, 399-430.

zarówno w kwestii powstawania enzymów, jak i procesu powstania informacji DNA. Ale nawet sama zasadność stosowania tu teorii prawdopodobieństwa może być przedmiotem kontrowersji.

Problem właściwej metody interpretacji i wyjaśnienia genezy życia jest bowiem ściśle związany z problemem rozpoznawania śladów działania typu niematerialnego. Znamy ślady działania niematerialnego pozostawione w ziemi przez kopalne postacie człowiekowatych, żyjących na ziemi w okresie ostatnich paru milionów lat. Oczekujemy też nawiązania kontaktu z jakimiś inteligencjami pozaziemskimi. I w jednym, i w drugim wypadku kontakt może być nawiązany poprzez zjawiska fizyczno-chemiczne (narzędzia kamienne, sygnały radiowe itp.).

Wynn opublikował nie tak dawno szczegółową analizę możliwości intelektualnych człowieka kopalnego żyjącego ok. 300 tys. lat temu. Zastosował on metodę epistemologii genetycznej Piageta do rekonstrukcji procesu powstawania struktury narzędzi aszelskich, wykopanych w Isimila w Tanzanii. Selekcja płaszczyzn, siły uderzenia, całościowość wielu złożonych działań wyraża się w tych narzędziach w sposób oczywisty. Poziom zaś selektywności i precyzja działań są tu – mimo wszystko – wielokrotnie niższe niż w wypadku opisywanych wyżej zjawisk enzymatycznych. A jednak wystarczają one, by wykluczyć hipotezę działania samego przypadku i samych praw przyrody martwej¹⁵. Czym selektywne zjawiska molekularne różnią się od selektywności charakteryzującej działanie umysłu? Być może, taka różnica istnieje, ale należałoby właśnie badać to w sposób wolny od przyjętych z góry ciasnych założeń.

Analizując zjawisko całościowości procesów biomolekularnych nie zamierzam kwestionować prawidłowości wykrywanych przez zwolenników teorii abiogenezy. Faktów nie można kwestionować. Fakty trzeba ukazywać. Tym, co utrudnia dostrzeżenie faktów, jest jednostronna postawa epistemologiczna. Jednostronność przejawia się w próbie stosowania stale takiej samej metody do faktów, które bywają różne i nie mogą być *a priori*, bez analizy, uznane za dostatecznie podobne. Jednostronność przejawia się też w uporczywym i wyłącznym korzystaniu z niedostatecznie, moim zdaniem, udokumentowanych i obronionych schematów epistemologicznych, opartych o filozofię Hume'a, Kanta czy Comte'a. Nie widzę powodu, by nauki przyrodnicze musiały na wieki kręcić się wewnątrz schematów polecanych przez tych filozofów. Wbrew ich twierdzeniom reguła teoriopoznawcza przyczynowości sprawczej (o której wspominałem na samym początku) wielokrotnie potwierdziła swą wartość i znaczenie w toku dokonywania odkryć naukowych. Tzw. metafizyczne pojęcia przyczyny sprawczej, istotności i nie-istotności, całości i nie-całości pozostają, jak dowodzi obserwacja toku badań przyrodniczych, niezbędnym narzędziem poznawania rzeczywistości przedmiotowej. Nie oznacza to wcale, że pragnąłbym zahamować proces postępu wiedzy przyrodniczej i w każdym wypadku uciekać się od razu do pojęcia Absolutu, Stwórcy, Boga, Pierwszej Przyczyny. Pomiedzy pojęciem praw fizyczno-chemicznych a pojęciem Przyczyny Pierwszej istnieje wiele miejsca dla koncepcji pośrednich, tak jak pomiedzy światem minerałów a światem aniołów istnieje empirycznie dostępny świat bakterii, roślin, zwierząt i człowieka. Teorie abiogenezy zbyt często pomijają te dane empiryczne znane i uznane, które istotnie zmieniły w ostat-

¹⁵ Th. Wynn. *The intelligence of later acheulean hominids*. *Man* (N.S.) 1980, 14, 371-391.

nich dziesiątkach lat nasz pogląd na przebiegi procesów biochemicznych. Dzisiejsza biochemia nie jest już biochemią teorii koloidów Grahama i nie jest też biochemią przypadkowych zderzeń substratów pod wpływem chaotycznych drgań termicznych.

Relacja pomiędzy chemią a biologią molekularną bardzo przypomina relację pomiędzy fizyką a techniką. Postęp fizyki umożliwił człowiekowi wyprodukowanie takich tworów techniki, które coraz wyraźniej ukazują wyższość jego inteligencji nad procesami fizycznymi zachodzącymi w materii pozbawionej świadomości. Postęp chemii umożliwił ujawnienie mechanizmów biologicznych, które coraz wyraźniej ukazują wyższość procesu życiowego nad procesami chemicznymi, zachodzącymi w materii martwej.

Zakończmy te rozważania jeszcze jednym cytatem z książki Dixona i Webba.

„Powstawanie enzymów jest problemem obfitującym w trudności. Pomniejszanie tych trudności nie pomoże tym, którzy ten problem badają. A rozwiązanie tych trudności ujawnia, jak daleko jesteśmy od rozwiązań najbardziej fascynujących ze wszystkich problemów przyrodniczych.”¹⁶

Podziękowania. Pragnę bardzo serdecznie podziękować Pani dr Róży Kaźmierczakowej i Ojcu dr Stanisławowi Ziemiańskiemu SJ za przeprowadzenie korekty do eseju, tak pod względem rzeczowym, jak i językowym.

¹⁶ Dixon i Webb. op. cit. p. 663.