

Anna PRZYGODZKA

Redukcja symetrii w procesie ewolucji biologicznej

Редукция симметрии в процессе биологической эволюции

Reduction of Symmetry in the Process of Biological Evolution

W oparciu o ustalenia biologów dotyczące rozwoju życia na Ziemi można sformułować następującą tezę: w procesie ewolucji świata organicznego zachodziło ustawiczne zanizanie symetrii w budowie ciała istot żywych, i w związku z tym typ symetrii może być wskaźnikiem zaawansowania ewolucji. W pracy tej postaram się podać argumenty na rzecz tego twierdzenia, a zarazem wskazać przyczyny, dla których redukcja symetrii i postęp ewolucyjny nie zbiegają się ze sobą przypadkowo, lecz że oba te procesy łączy więź konieczna.

Zanim jednak przejdę do omawiania właściwego tematu, poczynię pewne wyjaśnienia pomocnicze.

Figurę trójwymiarową, czyli bryłę, określa się jako symetryczną, jeśli posiada co najmniej jedną płaszczyznę symetrii. Oznacza to, że dla takiej bryły istnieje co najmniej jeden sposób poprowadzenia przez nią płaszczyzny (zwanej płaszczyzną symetrii), która podzieliłaby tę bryłę na dwie zwierciadlane połówki. Dla różnych figur, określanych mianem symetrycznych, liczba płaszczyzn symetrii waha się od jednej do nieskończenie wielu, i z tego względu można mówić o wyższej i niższej symetryczności. Pojęcie symetrii odnosi się także do tworów jednowymiarowych (linii) i dwuwymiarowych (figur płaskich). Zagadnienie ich symetryczności nie będzie tu szerzej omawiane, ponieważ rozważania, które podejmuje niniejsza praca, dotyczą przedmiotów realnych, a więc trójwymiarowych.

Gdybyśmy sporządzili listę brył geometrycznych (uwzględniając bardziej znane) według stopnia symetryczności, to na czele tej listy, jako twór o najwyższej symetrii znajdzie się kula — ma ona bowiem nieprzeliczalnie wiele płaszczyzn symetrii, które można prowadzić w dowolnym kierunku (byleby przez środek). Następne miejsca zajmą w kolejności: walec, elipsoida, stożek, wielościany foremne i wreszcie figury o jednej płaszczyźnie symetrii. Można pokazać, że dla figur mających więcej niż jedną płaszczyznę symetrii muszą wystąpić inne elementy symetrii, mianowicie: osie obrotu i środek inwersji. Przy ocenie stopnia symetryczności brane są pod uwagę wszystkie elementy symetrii, które dana bryła posiada. Pojęcie symetrii odnosi się także do pól fizycznych, jeśli rozkład przestrzenny jakiegoś czynnika (np. temperatury, gęstości, natężenia pola elektrostatycznego) cechuje określonego typu prawidłowość.

Biologowie na ogół zgodnie głoszą tezę, że życie powstało w wodzie. Twier-

dzenie to wydaje się być wystarczająco mocno uzasadnione, aby je uznać za prawdziwe. Przyjmuje się przy tym, że pierwsze żywe istoty były biernie zawieszane w wodzie. „Odżywiały się”, wchłaniając gotowe związki organiczne i nieorganiczne znajdujące się w wodach proceanu. Chociaż nie zostało po nich śladu, można bez ryzyka pomyłki twierdzić, że były to drobne kuleczki (drobne — ponieważ utrzymywane w całości niewielkimi siłami napięcia powierzchniowego). Woda stanowiła dla nich środowisko izotropowe, tzn. środowisko bez wyróżnionego kierunku, i jednorodne — bez wyróżnionych miejsc. Z uwagi na to, że same nic nie syntetyzowały, symetrii ich świata nie zakłócał nawet tak ważny dla życia czynnik, jakim jest światło, które dopływa przecież z pewnego określonego kierunku. Stale i również w ściśle określonym kierunku działająca siła grawitacji nie mogła ich deformować, gdyż niejako ich nie dotyczyła: były przecież zawieszane w wodzie i siła wyporu równoważyła siłę ciężenia. Prapierwotne organizmy pozostawały więc obojętne względem światła i sił grawitacji, a tym samym czynniki te nie mogły na nie wpływać i ewentualnie stymulować ich rozwoju. Można więc światło i grawitację traktować tak, jakby w ogóle nie należały do środowiska życia tych istot, ich środowiska biologicznego, chociaż były składnikami ich otoczenia fizycznego. Ze środowiskiem owe pierwotne organizmy kontaktowały się w zasadzie w jeden tylko sposób, który polegał na przyjmowaniu do wnętrza przypadkowo napotkanych drobin organicznych i oddawaniu na zewnątrz produktów metabolizmu. Był to więc sposób wymiany energii (materii) nie odbiegający zasadniczo od sposobów wymiany energii między układami materialnymi nieożywionymi a otoczeniem. Nie znaczy to jednak, że wobec tego między układami tymi nie zachodzi żadna istotna różnica. Otóż materialny układ nieożywiony, wymieniając energię z otoczeniem, niszczeje, rozpada się i po pewnym czasie przestaje być tym, czym był; natomiast żywy układ — pomimo, a właściwie dzięki wymianie energii z otoczeniem trwa, zachowując swoją tożsamość, swoją podmiotowość. I tu zdaje się tkwić zasadnicza, jeśli nie najistotniejsza, różnica pomiędzy jestestwami żywymi a tym, co martwe.¹

Można przypuszczać, że symetria typu kuli, a więc symetria najwyższa, utrzymywała się w świecie istot żywych dopóty, dopóki w wodzie było dość pożywienia. Jak twierdzą biologowie, jedną z pierwszych ewolucyjnych reakcji na wyczerpujące się zasoby pokarmowe, był rozwój pasożytnictwa.² Kiedy zabrakło związków organicznych w otwartym oceanie, można było uzyskać je z wnętrza innych organizmów, ale było to o wiele trudniejsze. Pasożytnictwo jednak i wszelkie odmiany cudzożywności pomniejszały ciągle ilość związków organicznych w środowisku, a tym samym — poprzez zmniejszanie zasobów energetycznych — prowadziły do zablokowania ewolucji. Trudno przewidzieć, jak potoczyłyby się losy istot żywych i czy w ogóle życie nie uległoby zagładzie, gdyby nie pojawiły się organizmy zdolne do korzystania z potężnego pozaziemskiego źródła energii, jakim jest Słońce. Faktem jest, że organizmy do tego zdolne — rośliny — w pewnym momencie ewolucji pojawiły się. Doniosłość tego wydarzenia dla dziejów Ziemi jest, być może, nie mniejsza niż powstanie życia w ogóle.

Z chwilą pojawienia się roślin, sytuacja uległa radykalnej zmianie. Rośliny wytwarzały z substancji nieorganicznych związki organiczne, które następnie stawały się pokarmem organizmów niezdolnych do fotosyntezy. W ten sposób

¹ Por. F. Engels: *Dialektyka przyrody*, Warszawa 1956.

² Por. P. B. Weisz: *Zarys biologii*, Warszawa 1969, s. 47 i n.

organizmom cudzożywnym, za pośrednictwem organizmów samożywnych, zostało umożliwione korzystanie z energii słonecznej; otworzyła się więc przed nimi szansa ewolucji, która w świecie bez struktur typu roślinnego byłaby prawdopodobnie niemożliwa. Dzięki pojawieniu się organizmów samożywnych, część członków biosfery mogła z powodzeniem nadal uprawiać pasożytnictwo, bądź pozostać przy najstarszym i najbardziej prymitywnym sposobie odżywiania, tzn. wchłaniać gotowe związki organiczne z otwartych wód oceanu. Związków takich, będących wydzielinami żywych organizmów lub ich obumarzonymi szczątkami, było znów — dzięki roślinom — pod dostatkiem. Do tej pory odżywiają się w ten sposób niektóre pierwotniaki.

Pierwsze samożytne — dzięki fotosyntezie — organizmy zapewne niewiele różniły się od niektórych współczesnych glonów. Ale już dla nich praoocean przestał być izotropowy i jednorodny. Dla organizmu zdolnego do fotosyntezy wyróżniony jest kierunek ku światłu i wyróżnione są te miejsca, gdzie jest go więcej. Pierwsze rośliny włączyły więc do środowiska biologicznego światło, które uprzednio występowało tylko jako element środowiska fizycznego. Środowisko biologiczne stało się odtąd bogatsze.

Z czasem obok pojedynczo żyjących komórek pojawiły się mniejsze lub większe ich kolonie. Życie w kolonii okazało się korzystne, ponieważ pozwoliło na pewną specjalizację, i w związku z tym na usprawnienie czynności, które osobno żyjąca komórka wykonywała mniej efektywnie. Przykładem może być obecnie żyjący toczek, glon kulistego kształtu, który tworzy niemal kuliste kolonie. Te komórki, które znajdują się po oświetlonej stronie kolonii, wydajniej fotosyntetyzując, spełniają funkcje wegetatywne; te zaś, które znajdują się po stronie nieoświetlonej, pełnią funkcje generatywne. Zróżnicowanie funkcji różnych grup komórek ze względu na ich usytuowanie wobec światła pociąga za sobą zróżnicowanie ich struktury, a tym samym odstępstwa od symetrii sferycznej. Wiadomo, że kolonia stanowi formę przejściową od wolno żyjącej pojedynczej komórki do organizmu wielokomórkowego i tkankowego. Komórki wchodzące w skład kolonii tracą uniwersalność na rzecz specjalizacji, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu integracji zespołu. Pogłębienie specjalizacji poszczególnych grup komórek wiąże się ściśle z ustaleniem ich funkcji w stosunku do całego ustroju. To z kolei wymaga ustalenia, przynajmniej w pewnych granicach, warunków, w jakich organizm przebywa. Względna stabilność może ograniczyć zapewnić przytwierdzenie się do podłoża. Zamiana biernego uroszenia się w wodzie na życie osiadłe, która dokonała się u roślin, miała przełomowe dla nich znaczenie, gdyż przesądziła o kierunku ich rozwoju. Zmiana trybu życia spowodowała zróżnicowanie ciała na część górną i dolną, co przy braku różnic w innych kierunkach (dokładniej: prostopadłych do osi góra — dół), dało symetrię typu stożka. Tak więc przejście na osiadły tryb życia pociągnęło obniżenie symetrii w budowie ciała ze sferycznej do stożkowej. Jest to typ symetrii powszechny w królestwie roślin, ale występujący także u osiadłych zwierząt i innych organizmów przytwierdzonych na stałe do podłoża, jak np. polipy, ukwiały, gąbki, grzyby (grzyby w potocznym sensie tego słowa). Warto zwrócić uwagę, że są to organizmy bardzo odległe od siebie pod względem systematyki. Najwidoczniej więc czynnikiem decydującym o typie budowy jest tryb życia.

Chociaż symetria typu stożka zdecydowanie dominuje u form osiadłych, to jednak nie często spotykamy konkretne egzemplarze, które dokładnie czyniłyby zadość jej wymogom. Charakterystyczne jest bowiem, szczególnie u roślin, że bardzo często pojawiają się u nich odstępstwa od ogólnie obowiązują-

cego „idealnego” planu budowy. Aby to zjawisko wyjaśnić, powołam się na ogólną zasadę, która brzmi następująco: jeśli czynniki, które jednoznacznie determinują jakieś zjawisko, wykazują pewną symetrię, to ta sama symetria przejawia się i w danym zjawisku.³ Innymi słowy, typ symetrii środowiska przenosi się na obiekty, które w nim powstają. Należy tu jednak uczynić jedno istotne zastrzeżenie: o ile obiekty te są nieruchome.

Dla zilustrowania podanej zasady oraz wprowadzenia pewnych pojęć, potrzebnych w dalszej części pracy, posłużę się przykładem. Założmy, że mamy następującą sytuację: w niewielkiej odległości od równomiernie nagrzanego płaszczyzny P_g znajduje się równomiernie chłodzona powierzchnia P_z . Niech czynnikiem, który nas interesuje, będzie temperatura, a ściślej jej rozkład w obszarze między P_g i P_z . Rzecz jasna, że najniższa temperatura jest w pobliżu P_z , a najwyższa w pobliżu P_g . Gdybyśmy jednak chcieli dokładniej scharakteryzować rozkład temperatury, należałoby podać, jak zmienia się temperatura wraz z odległością. Taką wielkość, która określa, jak duży jest wzrost (spadek) nasilenia jakiegoś czynnika na jednostkę odległości, nazywa się gradientem. W podanym przykładzie im większa jest zmiana temperatury na jednostkę odległości, tym większy jest gradient. Przypuścmy, że w obszarze między P_g i P_z wstawiono tacę ze świeżo uformowanymi bułeczkami jednakowego kształtu. Dla jednoznaczności sytuacji powinniśmy ponadto założyć, że ciasto było równomiernie wyrobione; jak mówią fizycy — jednorodne. Łatwo się domyślić, że obiekty (bułeczki) bardziej i szybciej urosną od strony silniej ogrzanej. Zauważmy, że obszar, w którym bułeczki rosną, cechuje rozkład temperatury symetryczny względem płaszczyzny prostopadłej do obu powierzchni P_g i P_z . Okazuje się, że każdy obiekt ma również tylko jedną płaszczyznę symetrii zgodną co do kierunku z płaszczyzną symetrii otoczenia, w którym powstał. Można więc powiedzieć, że każdy obiekt powtórzył symetrię swego środowiska; w tym sensie można mówić, że rośliny i osiadłe zwierzęta odzwierciedlają symetrię środowiska biologicznego, w którym rosną.

Teraz chyba jest jasne, dlaczego wszystkie osiadłe formy wykazują podobny typ budowy; stają się też zrozumiałe częste od niego odstępstwa. Na organizmach osiadłych muszą odbić się nie tylko stałe, ale nawet okresowe zakłócenia w rozkładzie biologicznie ważnych czynników. U roślin są one zwykle spowodowane asymetrią w dopływie światła.

Może powstać pytanie, dlaczego dzieje się tak, że, mimo iż cały organizm, powiedzmy drzewo, rosnąc w warunkach wyraźnie asymetrycznego rozkładu jakiegoś biologicznie ważnego czynnika, wyrasta pozbawione symetrii, to jednak poszczególne kwiaty, owoce, listki wykazują wysoką symetrię, której brak całej roślinie. Dlaczego tak często przykłady wysokiej symetrii spotykamy wśród drobnej fauny i flory? Słowem, dlaczego wysoka symetria jest udziałem tego, co małe? Odpowiedź jest następująca: gradienty w rozkładzie różnych czynników, mających wpływ na dane zjawisko, są tak niewielkie, że na rozmiarach małych obiektów w ogóle niezauważalne. Niewielkie gradienty odkształcają twory dużych rozmiarów, nie naruszając symetrii małych obiektów. Można zaryzykować twierdzenie, że bardziej narażona na odkształcenie jest galaktyka niż bardzo drobna kropelka wody.

Tak jak dla roślin czynnikiem decydującym o kierunku ich rozwoju było przytwierdzenie się do podłoża, tak u zwierząt o kierunku ewolucji przesądziło przejście od biernego unoszenia się w toni do aktywnego pod względem

³ Por. H. Weyl: *Symetria*, Warszawa 1960, s. 156.

ruchowym trybu życia. Organizmy, które zyskały zdolność samodzielnego pokonywania odległości, szybko zyskiwały przewagę nad innymi istotami wchodzącymi w skład biosfery. Względy hydrodynamiczne i umiejętność pływania sprawiły, że korzystne okazało się wydłużenie ciała w kierunku ruchu. Było to zarazem obniżenie symetrii do symetrii typu walca. Z czasem organizmy posiadające zdolność ruchu wytworzyły narządy zmysłów, które zostały skupione w pobliżu otworu gębowego. W ten sposób doszło do spolaryzowania ciała na część przednią — głowę i tylną — ogon. Jednocześnie siły grawitacji różnicowały górę i dół zwierzęcia; jak zwykliśmy mówić, stronę brzuszną i grzbietową. Różnica ta stała się szczególnie wyraźna u tych zwierząt, które wyszły na ląd i stały się mieszkańcami pogranicza dwu bardzo różnych fizycznie środowisk — ziemi i powietrza. U tych przedstawicieli fauny wodnej, które żyjąc na pewnej głębokości nigdy nie podchodzą do powierzchni i nigdy nie opuszczają się do dna, różnica między stroną brzuszną i grzbietową jest bardzo słabo zaznaczona.⁴ Różnicowanie między prawą i lewą stroną zwierzęcia nie mogło się pojawić, gdyż nie działały żadne stałe siły poziome. Zresztą nawet gdyby takie siły wystąpiły, nie mogłyby one mieć wpływu na budowę, gdyż zwierzę, poruszając się ciągle, zmieniałoby swoje względem nich usytuowanie. Wydawać się może, że wobec tego organizmy poruszające się są daleko bardziej pod względem budowy niezależne od środowiska niż istoty osiadłe. Byłoby to jednak przypuszczenie niezupełnie słuszne. W królestwie roślin mechanizmy doboru naturalnego są bardzo tolerancyjne nawet w stosunku do egzemplarzy mocno odbiegających od optymalnego kształtu; natomiast u zwierząt szybko poruszających się, mechanizmy selekcji naturalnej bezwarunkowo eliminują osobniki o zakłóconej symetrii. Zrozumiałe jest, że eliminacja dokonuje się szczególnie szybko, gdy brak symetrii dotyczy narządów lokomocyjnych. U zwierząt doszło do maksymalnego zredukowania płaszczyzn symetrii; pozostała tylko jedna. Taki typ budowy ciała biologowie określają mianem symetrii białateralnej. Ustaliła się ona zanim zwierzęta opuściły wodę, ale zachowała się na lądzie, ponieważ okazała się odpowiednia także w warunkach lądowych. Poczynając od beczaszkwowców nigdy ten typ symetrii ze świata zwierząt nie ustąpił. U lądowych nastąpiło jedynie pogłębienie różnicy góra — dół.

Chociaż ewolucja posuwała się dalej, jednak nie towarzyszyły już jej zmiany typu symetrii w budowie ciała. Idealny typ symetrii ciała został wybrany i utrwalony najpierw w postaci struny grzbietowej (strunowce), a następnie sztywnego szkieletu kostnego (kręgowce). Możliwości ewolucyjne realizowały się odtąd głównie poprzez doskonalenie układu nerwowego.

Jeśli więc przyjąć symetrię jako wskaźnik zaawansowania ewolucji, to byłoby to kryterium o ograniczonej przydatności, pozwalające jednak ustalić generalną tendencję zmian typu budowy ciała w procesie ewolucji świata organicznego. Być może tendencja do obniżania symetrii w miarę komplikowania się organizacji występuje nie tylko na etapie struktur biologicznych, ale w całej ewolucji materii. Uzasadnienie, a nawet samo rozważenie tej tezy byłoby jednak o wiele trudniejsze i daleko wykraczałoby poza ramy wyznaczone tematem tego artykułu.

⁴ Por. Larousse: *Ziemia, roślin, zwierzęta*, Warszawa 1970, tablice na ss. 153, 262.

РЕЗЮМЕ

Главный тезис настоящей статьи заключается в следующем: в процессе развития органического мира в строении тел живых существ происходит постоянное понижение симметрии, поэтому тип симметрии может быть показателем эволюции. В статье приводятся аргументы, обосновывающие этот тезис, а также указываются причины, почему редукция симметрии и прогресс эволюции не совпадают друг с другом случайно, а соединены необходимой связью. Автор предполагает, что тенденция к понижению симметрии по мере усложнения организации наблюдается не только у биологических структур, а является в эволюции материи генеральной тенденцией.

SUMMARY

The basic thesis of this paper is the following: in the process of development of the organic world there occurs a constant decrease of symmetry in the forms of living organisms; consequently the degree of symmetry may indicate the degree of advancement of evolution. The paper presents arguments supporting the above thesis and points to the causes of a necessary connection between the reduction of symmetry and the progress of evolution. It is possible that the tendency to reduce symmetry in the process of increasing the complexity of organization occurs not only at the level of biological structures, but is a general tendency in the evolution of matter as well.