

Wprowadzenie: krótka (pre)historia prób zrozumienia natury życia

Fenomen życia przykuwał uwagę filozofów i przyrodników od najdawniejszych czasów [1, 3]¹. Na przestrzeni wieków wielokrotnie podejmowano próby poznania jego istoty oraz podania dokładnej i wyczerpującej definicji [2]. Ponieważ życie jako fenomen biologiczny jest wyjątkowym i bez wątpienia najbardziej skomplikowanym ze wszystkich zjawisk przyrody, stąd precyzyjne określenie, czym ono jest, okazało się być niezmiernie trudnym zadaniem [3, 4]². To bogactwo treściowe bytu ożywionego sprawia, że na przestrzeni wieków różni badacze w różny sposób próbowali odpowiedzieć na pytanie: czym jest życie? [5]. W XVII, XVIII i XIX w. wokół powyższego pytania toczył się ożywiony spór między przedstawicielami dwóch przeciwstawnych stanowisk: „mechanicyzmu” i „witalizmu” [6]. Wiek XX przejął ten spór jako spuściznę po poprzednich stuleciach [7]. Mechanicyści negowali istnienie jakiegokolwiek przyczynowości celowej w przyrodzie ożywionej [8]. Dla nich, organizmy żywe były niczym innym jak tylko skomplikowanymi maszynami, czy też wielce złożonymi systemami fizykochemicznymi [9]. Na krańcowo innym stanowisku stali witaliści. Twierdzili, że życie jest powodowane przez specjalną siłę życiową, która istotnie różni się od martwej materii [1, 4]. Podejmowali oni przy tym próby określenia natury, właściwości i sposobu działania tego swoistego czynnika życiowego [7].

Od końca lat 30. XX w., kiedy spór między mechaniczami i witalistami bezpowrotnie przeszedł już do historii, daje się zauważyć wzrost zainteresowania samych fizyków organizmami żywymi i zagadnieniami biologicznymi [6]. Wcześniej, począwszy od XVII w., wielu wybitnych fizyków wykazywało wyraźny brak zrozumienia, zarówno dla metod jak i problemów biologicznych. Wśród znanych fizyków, zainteresowanych biologią i jej relacją do fizyki, znaleźli się m.in. nobliści Niels Bohr i Erwin Schrödinger. Przyjmowali oni stanowisko alternatywne zarówno wobec witalizmu, jak i mechanicyzmu.

N. Bohr nie widział możliwości wyjaśnienia życia na gruncie praw fizycznych [10, 11]. Życie zaliczył do kategorii pojęć pierwotnych, podobnie jak kwant działania w mechanice kwantowej. Poprzez swoje wystąpienia, organizowane seminaria oraz liczne publikacje, poświęcone kwestiom biologicznym, ten wybitny przyrodnik skłonił niektórych młodych fizyków do zajęcia się problemami nauki o życiu [6]. Jednym z nich był fizyk niemiecki Max Delbrück, który głównie za sprawą Bohra, z fizyka przeobraził się w biologa eksperymentalnego, prowadząc pionierskie badania nad indukowaniem mutacji pod działaniem promieni X.

Z kolei, E. Schrödinger, współtwórca mechaniki falowej, w swojej książce „Czym jest życie”, poświęconej problemom biologicznym, sformułował ogólne prawa termodynamiki procesów życiowych i uznał za w pełni możliwe całkowite wytłumaczenie zjawiska życia na gruncie praw fizyki [10]. W swej publikacji zwrócił także uwagę na szereg zagadnień, których szczegółowego wyjaśnienia dostarczyła dopiero biologia molekularna. Zmiana zainteresowań współtwórcy teorii kwantowej była znacząca i zwróciła uwagę fizyków [12]. Pod wpływem książki Schrödingera wielu z nich zaintere-

sowało się zagadnieniami biologicznymi, a niektórzy, jak np. Arthur Kornberg i Francis Crick, zaczęli nawet owocnie prowadzić własne badania biologiczne [6].

Współczesnym uczonym, który, zainspirowany książką Schrödingera, w swej pracy badawczej koncentruje się na zgłębianiu natury życia, jest profesor chemii na Uniwersytecie Ben-Guriona w Beer Szewie, Addy Pross. Zdaniem Prossa, odnalezienie konkretnej odpowiedzi na postawione w tytule książki E. Schrödingera pytanie jest nie do przecenienia, gdyż pozwala dowiedzieć się nie tylko, kim naprawdę jesteśmy, ale także lepiej zrozumieć Wszechświat jako całość [13]. Zauważa, że choć od wydania dzieła austriackiego fizyka minęło już wiele lat, pomimo ogromnego postępu w biologii molekularnej udokumentowanego długą listą laureatów Nagrody Nobla, nadal nie znaleźliśmy odpowiedzi na proste pytanie zadane przez Schrödingera. Uczony z Izraela na nowo próbuje udzielić odpowiedzi na to fundamentalne pytanie. Stoi na stanowisku, że nigdy nie zrozumiemy, czym jest życie, dopóki nie uda nam się rozwiązać paradoksu dotyczącego jego powstania. Aby zrozumieć ten paradoks, i w konsekwencji samą naturę życia, należy odwołać się nie do fizyki, ani nawet do biologii, ale do chemii, czyli nauki pomiędzy fizyką i biologią. Izraelski badacz proponuje więc poszerzyć i ponownie sformułować teorię Darwina za pomocą pojęć chemicznych, tak by była ona dostosowana zarówno do systemów ożywionych, jak i nieożywionych, i w ten sposób pomogła zburzyć „mur” oddzielający biologię od chemii [14]. Celem Prossa jest więc pokazanie, że odpowiedzi na niektóre z głównych pytań odnoszących się do życia, w tym na klasyczne pytanie sformułowane przez Schrödingera, w końcu stały się dostępne.

Współczesna biologia a natura życia

Pross odslania trudności, z jakimi boryka się współczesna biologia na drodze zrozumienia natury życia. Chodzi o dwa zasadnicze pytania, na które ta nauka wciąż nie potrafi wyczerpująco odpowiedzieć: czym jest życie? i, w jaki sposób życie powstało? [13, 15]. Mimo iż te pytania wydają się na pozór niezależne, to jednak w rzeczywistości są ze sobą nierozdzielnie związane. By móc odpowiedzieć na jedno z nich, należy znać wcześniej odpowiedź na drugie. Nie wiemy, czym jest życie, ponieważ nie rozumiemy praw, które doprowadziły do jego powstania; nie wiemy, jak życie powstało z materii nieożywionej, gdyż nie wiemy, jaka jest natura życia. Tak więc, pomimo spektakularnych postępów w biologii molekularnej dokonanych w przeciągu ostatnich 60. lat, sama esencja tego, co bada biologia, wciąż pozostaje niejasna.

Pross, jako wnikliwy badacz, szuka przyczyn kryzysu, w jakim znalazła się współczesna nauka o życiu [13]. Od darwinowskiej teorii ewolucji do współczesnej biologii prowadzi zawiła droga. Monumentalnym osiągnięciem Darwina było przeniesienie biologii ze świata nadnaturalnego do świata naturalnego. Darwin nieodwracalnie zmienił nasze postrzeganie nas samych, a także otaczającego nas świata. Jednak nie przebiegało to bezproblemowo. Blisko 80 lat upłynęło od czasu publikacji „O powstawaniu gatunków”, kiedy ostatecznie w latach 30. XX w. teoria Darwina została ostatecznie przyjęta w ramach tego, co określamy mianem współczesnej ewolucyjnej syntezy. Było to wynikiem integracji darwinowskiej teorii ewolucji z teorią Mendla oraz genetyką populacji.

Jednak zbliżała się kolejna rewolucja – rewolucja w biologii molekularnej. Było to półwiecze dramatycznych odkryć, począwszy od strukturalnego wyjaśnienia DNA w 1953 r., poprzez odkrycie replikacji DNA, transkrypcji RNA, translacji proteinowej, aż do wyjaśnienia

¹ O tym, że interesująca nas problematyka przykuwała uwagę uczonych od najdawniejszych czasów, może świadczyć fakt, iż podejmował ją już Arystoteles.

² Niektórzy ze współczesnych autorów, jak np. J. Chmurzyński, świadomi trudności, towarzyszących każdej próbie podania precyzyjnej i wyczerpującej definicji życia, używają pojęcia „życie” zamiast przymiotnikowej formy – „żywy”. Aby więc odpowiedzieć na pytanie: „Czym jest życie?”, wystarczy, ich zdaniem, zdefiniować określenie „żywy”, „ożywiony” („żywy” – to taki, któremu przysługują cechy, wymienione w definicji ciała ożywionego”) [4].

planu sekwencji całego ludzkiego genomu. Sen biologów o poznaniu natury życia zdawał się ziścić. Największa zagadka biologii wydawała się być na wyciągnięcie ręki.

Szybko jednak okazało się, że nadzieje biologów na ostateczne zrozumienie natury życia, były zdecydowanie przedwczesne. Życie okazało się bardziej skomplikowane niż jego manifestacja pod postacią ciągu 3 miliardów liter tworzących ludzki genom. Przepaść między poznaniem sekwencji ludzkiego genomu, a zrozumieniem znaczenia tej sekwencji okazała się ogromna. Odkrywanie coraz to większej ilości strukturalnej oraz mechanistycznej informacji dotyczącej żywej komórki nie wyjaśniło, czym tak naprawdę jest życie.

W czym więc tkwi problem? Odpowiedź dla izraelskiego chemika jest oczywista: przyczyną wszystkich problemów jest organizacyjna złożoność tego, co nazywamy życiem.

Chemia systemowa a istota życia

Wobec trudności, z jakimi boryka się współczesna biologia na drodze do zrozumienia natury życia, Pross postuluje, by odpowiedzi na fundamentalne pytanie Schrödingera poszukać w ramach innej dziedziny, a mianowicie współczesnej chemii [13]. Proponuje, by właśnie za pomocą prostych pojęć chemicznych wyjaśnić, dlaczego życie charakteryzuje się wyjątkowymi właściwościami i cechami oraz wyjaśnić zasady tłumaczące proces, poprzez który życie powstało z materii nieożywionej.

Izraelski uczyony przekonuje, że ostatnie fascynujące wyniki badań nowo powstałej dziedziny chemii, zwanej chemią systemową, mogą nam dać w końcu konkretną odpowiedź na pytanie o naturę życia. Stara się w ten sposób pokazać, że przepaść dzieląca biologię i chemię może być pokonana, że teoria Darwina może być zintegrowana w bardziej ogólną chemiczną teorię i że biologia jest jedynie chemią, lub też, uściślając, podjednostką chemii [13].

Celem tej nowej dziedziny chemii jest znalezienie chemicznych źródeł organizacji biologicznej, co tłumaczy jej nazwę, która jest jednocześnie grą słów nawiązującą do biologii systemowej. Jeśli postrzegamy biologię jako dziedzinę badającą wysoce złożone systemy chemiczne posiadające zdolność do replikacji i reprodukcji, wtedy chemia systemowa zajmuje się stosunkowo prostymi systemami chemicznymi, które również charakteryzują się wyjątkową zdolnością samo-replikacji. W ten sposób, nauka ta stara się wypełnić przepaść, która nadal dzieli biologię i chemię. W przeciwieństwie do biologii systemowej, która w swoim dążeniu do wyjaśnienia złożoności życia wykorzystuje podejście „zstępujące”, chemia systemowa opiera się na podejściu „wstępującym”. Podczas gdy podejście zstępujące zaczyna od posiadanych informacji i schodzi w dół w celu zrozumienia sposobu, w jaki poszczególne elementy wpływają na całość, to podejście wstępujące rozpoczyna od potencjalnego początku i posuwa się w górę. W kontekście życia oznacza to, że badanie jego złożoności polega na zbadaniu, krok po kroku procesu, w jaki złożoność ta powstaje. Tak więc, zaczynamy od pewnej początkowej prostej jednostki i poruszamy się w górę. Dlatego też największym wyzwaniem chemii systemowej jest ustalenie zasad, które rządzą procesem powstawania złożoności – ze stosunkowo prostego systemu chemicznego do wysoce złożonych systemów biologicznych.

Według Prossa, istnieje wiele czynników opowiadających się za podejściem wstępującym. Po pierwsze, zgodnie z ogólnym założeniem, życie pochodzi od materii nieożywionej, tzn. życie wynurzyło się z nieżycia. Wynika z tego, że początki życia były proste i że jego złożoność powstawała stopniowo, krok po kroku przez określony czas [13, 16]. Wielce prawdopodobne jest, że kilka miliardów lat temu pewien system replikacji nieznanego pochodzenia, ale o niskiej złożoności, wyruszył w długą drogę wiodącą do wysokiej złożoności i że ta historyczna ścieżka zwiększającej się złożoności, w ostateczności przeszła ze świata chemii w świat biologii. Po drugie, jeśli życie rozpoczą-

ło swoje istnienie w prostej formie, wtedy łatwiej byłoby zrozumieć jego fundamentalną naturę poprzez zbadanie wcześniejszych, a więc konsekwentnie prostszych prototypów. Podejście wstępujące, mające na celu rozwiązanie zagadki natury życia, zakłada, że życie rozpoczęło swoje istnienie w prostej formie i że doszło do procesu, który doprowadził do powstania jego bardziej złożonej formy.

Pross chce zademonstrować, że badania prowadzone w ramach chemii systemowej, mogą doprowadzić do prostego połączenia systemów żywych i martwych, co może zaowocować powstaniem jednolitego programu badań dla chemii i biologii. Takie połączenie będzie miało wielką wartość, ponieważ umieści biologię w szerszym kontekście chemicznym. Będzie ono w stanie dostarczyć opis systemów żywych przy wykorzystaniu pojęć chemicznych, a nie biologicznych. Izraelski uczyony jest przekonany, że jest to jedyna skuteczna droga do uzyskania odpowiedzi na fundamentalne pytanie, „czym jest życie?”.

Chemiczna teoria życia

Przedstawimy teraz podstawowe elementy składające się na zaproponowaną przez izraelskiego badacza chemiczną teorię życia. Izraelski chemik przywiązuje szczególną wagę do pojęcia „dynamicznej stabilności kinetycznej” (ang. *dynamic kinetic stability*, w skrócie DKS), będącego fundamentalną cechą replikujących się systemów. Zgodnie z esencją DKS, wszystkie replikujące systemy, zarówno ożywione jak i nieożywione, reprezentują przestrzeń replikatora [17, 18]. W przeciwieństwie do systemów niereplikujących (z których wszystkie są nieożywione), w przypadku których selekcja ma zasadniczo termodynamiczny charakter, selekcja w przestrzeni replikatora ma charakter kinetyczny. Innymi słowy, wg Prossa, wszystkie systemy żywe (w przeciwieństwie do tradycyjnych systemów termodynamicznych dominujących w świecie nieożywionym) stanowią kinetyczny stan materii. W takiej perspektywie, kluczowe pojęcia Darwina, takie jak *fitness* i dobór naturalny, są szczególnymi wyrażeniami bardziej fundamentalnych pojęć fizykochemicznych, takich jak stabilność kinetyczna i selekcja kinetyczna [19].

Życie „siecią” reakcji chemicznych

Funkcjonowanie systemów żywych wiąże się z dużą liczbą reakcji chemicznych, ale esencją życia, procesem, który je zaczął, była, jak twierdzi Pross, replikacja [13]. Z kolei, tym, co sprawia, że reakcja replikacji jest tak wyjątkowa, nie jest jej produkt, lecz ilość tego produktu. Aby podkreślić tę wyjątkową naturę procesu replikacji, izraelski badacz rozważa pojedynczą replikującą się cząsteczkę o wadze 21 g. Gdyby miała ona ulegać replikacji raz na minutę, wtedy w ciągu pięciu godzin tego procesu cząsteczka ta urosłaby do wielkości masy większej od całego Wszechświata. Proces replikacji jest wyjątkowy i całkowicie odmienny od każdej innej reakcji chemicznej [13, 20]. Wynika to z budzącej podziw kinetycznej siły, która przewraca konwencjonalne zasady chemii „do góry nogami”. Drugie prawo termodynamiki jest oczywiście w pełni zastosowalne do replikujących się systemów, ale olbrzymia siła kinetyczna replikacji prowadzi do obejścia tego „wszechobecnego” prawa. Pojęcie stabilności w chemii spełnia fundamentalną rolę, ale ta wyjątkowa siła kinetyczna tworzy stabilność zupełnie odmienną od tych, które znamy. W „zwykłej” chemii materia jest stabilna, jeśli nie bierze udziału w reakcji. Jednakże, w świecie replikujących się systemów materia jest stabilna, jeśli bierze udział w reakcji, aby wykorzystać swój potencjał. To jest właśnie esencją pojęcia „dynamicznej stabilności kinetycznej”. W chemii „replikacyjnej” populacje o mniej wydajnych replikatorach nieustannie przeprowadzają reakcje w celu stworzenia bardziej wydajnych (bardziej stabilnych) replikatorów. Rodzaj chemii, który wynika z tych reakcji w tym „innym świecie”, tj. świecie replikacji, jest odmienny od „zwykłego” świata. W rezultacie, biologia jest jedynie szczególnie złożonym rodzajem chemii replikacji, a stan żywy może być postrzegany jako nowy stan materii („replikatywny” stan materii), której własności

pochodzą od wyjątkowego rodzaju stabilności, która charakteryzuje replikujące się jednostki, a więc DKS [13]. Życie w tym kontekście jawi się jako wyjątkowy wyraz „kontrolu kinetycznej” [21].

Na bazie wcześniejszych ustaleń Pross formuluje następującą definicję życia: *życie jest samotrzymującą się, kinetycznie stabilną, dynamiczną siecią reakcji, powstałą na skutek replikacji* [13]. Chociaż życie jest niezwykle złożonym zjawiskiem, zasada życia jest zaskakująco prosta. Życie jest niezwykle skomplikowaną siecią reakcji chemicznych, które utrzymały swoją autokatalityczną zdolność. Ta złożona sieć stopniowo powstawała z sieci o prostszej formie. Siłą napędową tego procesu jest dążenie ku zwiększonej DKS, opierające się na kinetycznej sile replikacji oraz umożliwiające replikującym się systemom chemicznym rozwijanie się w ciągle zwiększające, złożone i stałe formy. Życie jest bardziej procesem niż rzeczą.

Transformacja materii nieożywionej w formę ożywioną

Proces transformacji materii nieożywionej w złożoną formę żywą tradycyjnie jest przedstawiany jako proces dwuetapowy [13]. Pierwszy z etapów, tzw. faza chemiczna (inaczej abiogeneza – proces, na skutek którego życie powstało z materii nieożywionej), jest źródłem niekończących się debat i kontrowersji. Druga faza – biologiczna – rozpoczyna się powstaniem najprostszej formy żywej. Ta prosta jednostka oznaczałaby system posiadający coś, co Pross określa jako najważniejszą właściwość organizmów żywych. Chodzi tu o zdolność do replikacji i ewoluowania w samopodtrzymujący się sposób. Osiągnąwszy ten krytyczny punkt, system byłby uważany za biologiczny, a jego kolejna transformacja w bardziej złożone formy życia – jednokomórkowe eukarionty i organizmy wielokomórkowe – byłaby kierowana przez epokową teorię, która została zaproponowana 150 lat temu przez Darwina.

Chociaż nie posiadamy żadnych bezpośrednich informacji dotyczących wczesnego okresu prebiotycznego, jest jedna rzecz, której z całą pewnością możemy być pewni [13]. W ciągu ostatnich kilku miliardów lat prawa rządzące zachowaniem chemicznym nie zmieniły się, co oznacza, że badania w ramach „właściwego rodzaju chemii” dziś mogą dostarczyć nam informacji o wydarzeniach, do których doszło miliardy lat temu. Tą „właściwą chemią” jest, według Prossa, chemia systemowa, która bada reakcje chemiczne replikujących się cząsteczek oraz sieci, jakie one tworzą. Badania tego typu mogą umożliwić nam zrozumienie różnych rodzajów reakcji, które zostały przeprowadzone przez prebiotyczne replikatory, a więc m.in. wczesne procesy zwiększania złożoności.

Aby skorzystać z głębszego wglądu w jeden ciągły proces ewolucyjny, musimy więc, jak podkreśla izraelski badacz, opisać obie fazy za pomocą jednego języka [13]. Pytanie tylko, który z języków, biologiczny czy chemiczny, powinniśmy do tego użyć. Dla izraelskiego chemika odpowiedź jest jednoznaczna: cały proces, a więc zarówno faza biologiczna i chemiczna, muszą być opisane za pomocą pojęć chemicznych.

Selekcja naturalna a selekcja kinetyczna

Ciągłość dwóch światów: biologicznego i chemicznego widać na przykładzie pojęcia selekcji. W przypadku gdy kilka replikujących się cząsteczek jest wymieszanych ze swoimi molekularnymi budulcami, cząsteczki te walczą ze sobą w taki sam sposób, w jaki jednostki biologiczne walczą o ograniczoną ilość pożywienia [13]. Innymi słowy, dwie replikujące się cząsteczki walczą o te same budulce chemiczne, a wynik tej „walki” może być wyjaśniony przez proces, którego chemicy nazywają selekcją kinetyczną. W języku codziennym można to określić następująco: „wygrywa szybszy”. Z uwagi na fakt, iż szybszy replikator jest w stanie złożyć budulce w nowe replikujące się cząsteczki w bardziej efektywny sposób, liczba tych szybszych replikatorów zwiększa się w szybkim tempie, podczas gdy liczba wolniejszych replikatorów spada aż do całkowitego wyginięcia.

Ten ściśle chemiczny proces wydaje się być bardzo znajomy biologom – przypomina sposób działania doboru naturalnego. Jeśli dwa gatunki biologiczne walczą o te same zasoby, gatunek, który jest w stanie lepiej je wykorzystać, powoduje, że drugi z nich wymiera. W takim wypadku naturalna selekcja i selekcja kinetyczna są tym samym pojęciem (selekcja naturalna = selekcja kinetyczna).

Biologiczny dobór naturalny zaledwie naśladuje chemiczny kinetyczny dobór. Wiąże się to z faktem, iż wyjaśnienie chemiczne jest bardziej fundamentalne i bada kwestię selekcji w bardziej dogłębny sposób. Pojęcie chemiczne jest łatwiejsze do wyliczenia niż jego biologiczny odpowiednik, ponieważ systemy chemiczne są inherentnie prostsze. To właśnie ta większa prostota umożliwia dalszy podział złożonych etapów replikacji chemicznej na indywidualne etapy, które tworzą tę reakcję. Z kolei systemy biologiczne są o wiele bardziej złożone, a więc konsekwentnie mniej otwarte na szczegółową analizę. Uznanie, że naturalna selekcja ma korzenie w zasadniczo chemicznych, precyzyjnie opisanych, zjawiskach, jest, dla Prossa, ważnym ogniwem łączącym chemię i biologię, a w konsekwencji materią żywą z materią nieożywioną [20].

Fitness i jej chemiczne „korzenie”

Izraelski uczone swe analizy koncentruje także na innym ważnym pojęciu biologicznym, a mianowicie pojęciu *fitness* [13]. Co jest chemicznym odpowiednikiem tego pojęcia? Według Darwina, *fitness* jest jedynie zdolnością do przetrwania i rozmnażania się, a jej zoptymalizowanie jest uznane za główny cel procesu ewolucji. Pomimo tego, pojęcie to sformułowane przez Darwina w ściśle jakościowym znaczeniu, stało się przyczyną niekończących się dyskusji. Wynika to z faktu, iż naukowcy nieustannie starają się formalnie określić *fitness* ilościowo.

Zadaniem Prossa, połączenie chemii i biologii może pomóc nam w wyjaśnieniu przynajmniej niektórych aspektów kłopotliwych kwestii związanych z *fitness*. Fundamentalną cechą replikujących się systemów jest „dynamiczna stabilność kinetyczna”. Zdolność replikującego się systemu do utrzymania się przez długi czas odzwierciedla jego stabilność, ale stabilność innego rodzaju niż konwencjonalna stabilność termodynamiczna. „Fitness” jest biologiczną ekspresją bardziej ogólnego i podstawowego pojęcia chemicznego (*fitness = dynamiczna stabilność kinetyczna*). Uznając jednostkę biologiczną za „zdatną” (ang. *fit*), tak naprawdę określamy ją jako stałą, w sensie bycia ciągłą. Jednakże, ten rodzaj stałości ma zastosowanie jedynie do populacji, a nie do indywidualnych replikatorów należących do tej populacji. Nazwanie populacji „zdatną” (lub stałą) oznacza, że jest ona w stanie utrzymać się w trakcie trwającej replikacji/reprodukcji.

Bezpośrednim rezultatem powiązania ze sobą *fitness* i DKS jest fakt, iż najlepiej jest postrzegać tę pierwszą jako cechę populacji, a nie cechę indywidualnego osobnika. Na indywidualnym poziomie pojęcie DKS nie ma żadnego znaczenia. Jeśli skupimy się na indywidualnej jednostce, utracimy esencję życia, a więc jego dynamiczną naturę, nieustanną rotację indywidualnych jednostek tworzących konkretną replikującą się populację. Aby zrozumieć istotę życia, powinniśmy skupić się więc nie na indywidualnym, lecz na populacyjnym aspekcie życia. Życie jest zjawiskiem ewolucyjnym, a ewolucja nie opiera się na indywidualnych jednostkach, lecz na populacjach. Indywidualne jednostki rodzą się, a potem giną.

Chemiczna teoria życia wobec swoistych cech życia

Pross, koncentrując się na kluczowym pytaniu „czym jest życie?”, analizuje pokrótce kilka swoistych cech, które sprawiają, że organizmy żywe istotnie odróżniają się od przedmiotów martwych. Eksponując te właściwości życia, izraelski badacz równocześnie proponuje ich wyjaśnienia w ramach opracowanej przez siebie teorii życia.

Zorganizowana złożoność życia

Organizmy żywe są niezwykle złożone [13]. W przeciwieństwie do świata bytów nieożywionych, w świecie ożywionym złożoność jest ściśle określona. Nawet najmniejsza strukturalna zmiana tej zorganizowanej złożoności może nieść dramatyczne konsekwencje. Na przykład, pojedyncza zmiana w sekwencji ludzkiego DNA, jednej z trzech miliardów jednostek, może potencjalnie doprowadzić do tysięcy genetycznych chorób, a nawet śmierci.

W jaki sposób została zapoczątkowana ta podstawowa organizacja w żywych istotach? [13]. Według izraelskiego chemika, darwinowska teoria ewolucji nie jest w stanie wyjaśnić pojawienie się biologicznej złożoności. Może ona obszernie wytłumaczyć, w jaki sposób proste, jednokomórkowe żywe organizmy stały się z czasem człowiekiem. Jednak, nie odpowiada ona na pytanie, w jaki sposób powstał prosty organizm zdolny do ewoluowania? Teoria Darwina jest teorią biologiczną, a tym samym odnosi się do organizmów biologicznych, zaś powstanie życia jest kwestią chemiczną. Tak więc, zdaniem Prossa, najlepiej będzie odpowiedzieć na powyższe pytanie odwołując się do chemicznych teorii, a w szczególności do kluczowego pojęcia DKS [13]. Fundamentalnego znaczenia nabiera tu mechanizm, za pomocą którego przyroda zwiększa DKS poprzez proces zwiększania złożoności. Kiedy powstaje prosta jednostka (w pojęciu DKS jest ona niestabilna), ma ona tendencję do zwiększania złożoności w celu zwiększenia DKS. Każdy etap tego procesu prowadzi do powstania nieco bardziej złożonej jednostki o zwiększonej zdolności replikacyjnej. Zasada maksymalizowania DKS umożliwia nam zrozumienie procesów ewolucyjnych na poziomie zarówno chemicznym jak i biologicznym.

Niestabilność życia

Innym aspektem natury życia, budzącym wciąż zdziwienie u wielu badaczy, jest to, iż jest ono dalekie od stanu zrównoważonego. Najprostsza forma życia, komórka bakteryjna, z termodynamicznego punktu widzenia, jest niestabilna, dlatego też, by utrzymać swój stan, wciąż musi zużywać energię, która jest nieustannie dostarczana przez otoczenie [13].

Świat jest całkowicie ogarnięty przez termodynamicznie niestabilne jednostki [13]. W jaki sposób jest to możliwe? Czyż niestabilne organizmy nie powinny stopniowo zanikać? Odpowiadając, Pross stwierdza, że wszystkie organizmy żywe tak właściwie są stabilne. Ich stabilność jest jednakże stabilnością innego rodzaju. Chodzi tu o pojęcie DKS, czyli stabilność organizmów, które w efektywny sposób wykorzystują swoje możliwości. W świecie replikatorów liczy się DKS, a nie stabilność termodynamiczna. Dlaczego jednostki, które są stabilne w kontekście DKS, są jednocześnie zawsze niestabilne w kontekście termodynamicznym? DKS jest po prostu zależna od ciągłej reaktywności systemu utrzymywanej, aby umożliwić replikację i wykorzystać swoje możliwości. Aby było to możliwe, system musi być reaktywny, a więc jednocześnie niestabilny. Jednostki stabilne termodynamicznie nie przeprowadzają reakcji. Aby system żywy mógł być bardzo efektywnym replikatorem, musi więc być stabilny w kontekście DKS, a zarazem termodynamicznie niestabilny.

Dynamiczna natura życia

Zadziwiającą cechą każdego żywego organizmu jest jego dynamiczna natura [13]. Jego części nieustannie się zmieniają. Każda molekula w organizmie zostaje co pewien czas zastąpiona przez inną cząsteczkę.

W jaki sposób można wyjaśnić tę dynamiczną naturę systemów żywych? [13]. W odpowiedzi, Pross posługuje się analogią pomiędzy replikującą się populacją a fontanną. Fontanna jest stabilna, pomimo iż woda, która ją wypełnia, nieustannie się przelewa. Fontanna cały czas jest ta sama, woda nie. Takie samo zachowanie jest również typowe dla jakiegokolwiek replikującej się jednostki. To populacja jest stabilnym systemem, a jednostki tworzące ten system

obumierają, by na ich miejsce mogły powstać nowe. Ta ciągłość ma miejsce na wszystkich poziomach złożoności. Występuje w molekułach tworzących komórki, komórkach tworzących organizmy i we wszystkich organizmach żywych.

Celowy charakter życia

Inną cechą, która sprawia, że życie jest tak niezwykle i różne od materii nieożywionej, jest jego celowy charakter [13, 23]. Ten aspekt życia biologowie nazwali teleonomią. Cecha ta jest widoczna już na najprostszycy poziomach życia, tj. w komórkach bakteryjnych [22]. W świecie nieożywionym nie ma mowy o żadnym celu czy programie, a jedynie o niezmiennych prawach natury [13, 10]. W pewnym sensie, żyjemy więc jednocześnie w dwóch światach rządzonych przez odmienne zasady. W świecie nieożywionym są to zasady fizyki i chemii, a w świecie biologicznym jest to zasada teleonomii.

Jak to jest możliwe? Zdaniem izraelskiego chemika, po raz kolejny pojęcie DKS umożliwia rozwiązanie tej zagadki [13]. Reakcje prostych replikujących się cząsteczek byłyby kierowane termodynamicznie w taki sposób, w jaki samochód nieposiadający silnika ulega siłom grawitacji, a więc, jest w stanie poruszać się jedynie w dół wzgórza. Jednakże, gdy replikująca się jednostka nabywa zdolność gromadzenia energii, wtedy zostaje ona „uwolniona” od termodynamicznych ograniczeń i może być kierowana kinetycznie. Może więc dążyć do zwiększonej DKS. Replikująca się jednostka posiadająca zdolność gromadzenia energii jest jak samochód posiadający silnik – może jechać również pod górę. Oznacza to, że replikujący się system potrafiący generować energię sprawia wrażenie posiadania programu działania. Wydaje się, że taki system zachowuje się w sposób celowy, jakby nie musiał już być ograniczony do jednej ścieżki termodynamicznej, ale do ścieżki dążącej do zwiększenia DKS.

Zakończenie

Addy Pross, ceniony na świecie specjalista w dziedzinie chemii, postawił sobie bardzo ambitny cel. Wobec braku ze strony współczesnej biologii zadowalającej odpowiedzi na historyczne pytanie Erwina Schrödingera „czym jest życie?”, które od dziesiątków lat przykuwało i wciąż przykuwa filozofów i przyrodników, izraelski chemik postanowił zmierzyć się z tym historycznym pytaniem korzystając z pojęć i ustaleń innej, bardziej fundamentalnej dziedziny, jaką jest chemia systemowa. Ta młoda gałąź współczesnej chemii ma, wg izraelskiego uczonego, umożliwić ustalenie zasad, które rządzą procesem powstawania złożoności – ze stosunkowo prostego systemu chemicznego do wysoce złożonych systemów biologicznych. Opracowana w ramach chemii systemowej chemiczna teoria życia ma, w zamysłu autora, nie tylko wyjaśnić za pomocą prostych terminów chemicznych, dlaczego życie charakteryzuje się wyjątkowymi właściwościami, takimi jak np. zorganizowana złożoność, niestabilność, dynamiczna natura i celowy charakter, ale również przybliżyć zasady odpowiedzialne za proces, poprzez który życie powstało z materii nieożywionej. W wyjaśnieniu natury życia szczególnie pomocne, w przekonaniu izraelskiego badacza, jest pojęcie „dynamicznej stabilności kinetycznej (DKS)”, będące fundamentalną cechą replikujących się systemów.

Chemiczna teoria życia Addy’ego Prossa wpisuje się więc w długą historię wciąż aktualnego i niesłabnącego sporu o naturę życia. Zarysowana w niniejszym artykule próba odpowiedzi na fundamentalne pytanie austriackiego fizyka zawiera wiele nowych, oryginalnych wątków. Kluczową tezę: życie ma chemiczną naturę, autor stara się uzasadnić i poprzeć rzeczowymi argumentami. Autor omawianej koncepcji życia zasługuje bez wątpienia na miano docieklivego badacza, który imponuje profesjonalizmem, nowatorskim spojrzeniem i głębokim wnikiem w istotę problemu związanego z pytaniem „czym jest życie?”.

Pross jest przekonany, że odpowiedzi na niektóre z głównych pytań odnoszących się do fenomenu życia, w tym na klasyczne pyta-

nie sformułowane przez Schrödingera, w końcu stały się dostępne. Czas pokaże, czy zaprezentowana przez izraelskiego chemika chemiczna teoria życia znajdzie powszechną akceptację w środowisku filozofów i przyrodników oraz stanie się inspiracją do dalszych samodzielnych poszukiwań pełnego zrozumienia życia.

Literatura

- Favrholdt D.: *Introduction*, in: Niels Bohr. *Collected Works*. Vol. 10. *Complementarity beyond Physics (1928–1962)*, D. Favrholdt (ed.). Elsevier Amsterdam 1999, [3]-[26].
- Ślaga S.: *Próba uściślenia Tomaszowego określenia istoty życia*. *Studia Philosophiae Christianae* 1974, **10**, 67–99.
- Urbanek A.: *Horyzonty intelektualne biologii współczesnej*. Kosmos 1989, **48**, 183–199.
- Chmurzyński J.: *W poszukiwaniu istoty życia*, w: *Organizm jednostka biologiczna*, T. Zabłocka (red.). Wydawnictwo Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa, 1977, 5–66.
- Zięba S.: *Istota życia w monistycznych i pluralistycznych teoriach bytu*. *Roczniki Filozoficzne* 1976, **24**, 77–88.
- Urbanek A.: *Biologia XX wieku – główne nurty rozwoju*. Kosmos 2000, **248**, 305–319.
- Rutkiewicz B.: *Witalizm metodologiczny i witalizm metafizyczny*. *Przegląd Filozoficzny* 1931, **34**, 171–179.
- Ścibor-Rylska T.: *Celowość w życiu komórki*. *Studia Philosophiae Christianae* 1980, **16**, 5–64.
- Hempel C.: *Podstawy nauk przyrodniczych*. Tłum. B. Stanosz. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa. 1968.
- Wolkensztejn M.: *Biologia i fizyka*. *Problemy* 1974, **6**, 44–46.
- Vajskopf V.: *Fizika v dvadcatom stoletii*. A. Davydov, Atomizdat, Moskva, 1977.
- Allen G.: *Life Science in the Twentieth Century*. John Wiley & Sons, New York, 1975.
- Pross A.: *What is Life? How Chemistry becomes Biology*. Oxford University Press, Oxford, 2012.
- Pross A.: *Toward a general theory of evolution: Extending Darwinian theory to inanimate matter*. *Journal of Systems Chemistry* 2011, **2**, 1–14.
- Pross A.: *Seeking the Chemical Roots of Darwinism: Bridging between Chemistry and Biology*. *Chemistry. A European Journal* 2009, **15**, 8374–8381.
- Wagner N., Pross A., Tannenbaum E.: *Selection advantage of metabolic over non-metabolic replicators: A kinetic analysis*. *BioSystems* 2010, **99**, 126–129.
- Pross A., Khodorkovsky V.: *Extending the concept of kinetic stability: toward a paradigm for life*. *Journal of Physical Organic Chemistry* 2004, **17**, 312–316.
- Pross A.: *On the emergence of biological complexity: Life as a kinetic state of matter*. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 2005, **35**, 151–166.
- Pross A.: *Stability in Chemistry and Biology: Life as a Kinetic State of Matter*. *Pure and Applied Chemistry* 2005, **77**, 1905–1921.
- Pross A.: *The Driving Force for Life's Emergence: Kinetic and Thermodynamic Considerations*. *Journal of Theoretical Biology* 2003, **220**, 393–406.
- Pross A.: *Causation and the origin of life. Metabolism or replication first?* *Origins of Life and Evolution of the Biospheres* 2004, **34**, 307–321.
- Pross A.: *How can a chemical system act purposefully? Bridging between life and non-life*. *Journal of Physical Organic Chemistry* 2008, **21**, 724–728.
- Pross A.: *On the chemical nature and origin of teleonomy*. *Origins of Life and Evolution of Biospheres* 2005, **35**, 383–394.

Ks. dr Mirosław TWARDOWSKI jest absolwentem Wydziału Filozoficznego Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego im. Jana Pawła II (2004). Adiunkt w Zakładzie Polityki Regionalnej i Gospodarki Żywnościowej Uniwersytetu Rzeszowskiego. Jest autorem 30. artykułów w prasie naukowej. e-mail: wardowski.miroslaw@poczta.fm, tel.: 72 152 28 40

Z prasy światowej – innowacje: odkrycia, produkty i technologie

From the world press – innovation: discoveries, products and technologies

Innowacyjna komora jonizacyjna w NCBJ

Opracowana w Narodowym Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) rekombinacyjna komora jonizacyjna wpłynie na pełną optymalizację rozkładu dawki promieniowania w terapii onkologicznej, pozwalając na maksymalne niszczenie chorych komórek zapewniając jednocześnie minimalne oddziaływanie na zdrowe tkanki. Unikatowa właściwość urządzenia, tj. wysoka czułość przy pomiarach w najbliższym otoczeniu wiązki promieniowania, pozwoli na szerokie zastosowanie wynalazku w terapii raka oka czy trzustki.

Wyzwanie, z jakim zmierzali się naukowcy z NCBJ było ogromne: stworzyć rekombinacyjną komorę jonizacyjną przeznaczoną do określenia mocy i rozkładu dawki promieniowania w otoczeniu terapeutycznych wiązek promieniowania, zwłaszcza hadronowych (rozpędzone protony, neutrony lub jony węgla), w fantomie (imitującym fragment ciała pacjenta) poza wiązką, lecz w odległości możliwie bliskiej położenia nowotworu. Dotychczas stosowane komory rekombinacyjne i inne detektory nie nadawały się do tego typu zastosowań ze względu na zbyt małą objętość czynną (niewystarczająca czułość do pomiarów poza wiązką) lub zbyt duże rozmiary (brak możliwości pomiarów w bezpośredniej bliskości wiązki). Rekombinacyjna komora jonizacyjna to jedyny detektor promieniowania mieszanego (tzn. takiego, w którego składzie znajdują się cząstki o różnej skuteczności biologicznej, a także promieniowanie o nieznanym składzie i energii), za pomocą którego można określić dawkę pochłoniętą przez pacjenta jak i parametry charakteryzujące skuteczność biologiczną (co przekła-

da się na niszczenie komórek rakowych w miejscu napromieniania). Prosta konstrukcja, wysoka stabilność pracy, krótki czas otrzymywania wyniku pomiaru dla pola o dowolnym składzie i energii to największe zalety tej metody. (kk)

(<http://www.ncbj.gov.pl>, 7.11.2013)

Krzemowe powłoki ochronne

W wielu gałęziach przemysłu istnieje nagła potrzeba opracowania prostych, łatwych i tanich technologii powlekania materiałów polimerowych powłokami ochronnymi. Na dużą skalę stosowane są powłoki z tlenku krzemu; wykorzystuje się je do ochrony warstw polimerowych m.in. w oknach optycznych i elastycznych urządzeniach elektronicznych. Stosowanie konwencjonalnej technologii chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD) jako metody powlekania jest powszechne, aczkolwiek aby nie powodować uszkodzenia podłoża polimerowego; dlatego też konieczne jest opracowanie alternatywnych metod niskotemperaturowych. Zaproponowana przez japońskich i południowokoreańskich naukowców metoda wspomaganego plazmowo osadzania chemicznego (PECVD) spełnia to kluczowe wymaganie. Co więcej, charakteryzuje się również wysoką wydajnością i pozwala na osadzanie filmów z tlenku krzemu na dużym obszarze. (kk)

(S.B. Jin, J.S. Lee, Y.S. Choi, I.S. Choi, J.G. Han, M. Hori: *Scale-up approach for industrial plasma enhanced chemical vapor deposition processes and SiO_x thin film technology*, *Thin Solid Films* 547 (2013) 193–197)

dokończenie na stronie 1172