

Ewolucja złożoności chemicznej

Jak powstało życie na Ziemi? Chemiczna lub molekularna ewolucja poprzedziła pojawienie się życia. Pod wpływem energii niskiej entropii ze Słońca i wspomagane przez obecność pewnych skał, atomy i cząsteczki przeszły reakcje chemiczne, których rezultatem było pojawienie się cząsteczek o coraz wyższej zawartości informacyjnej lub złożoności. W tym artykule wyjaśniam, jak to się zdarzyło.



8.1 Od atomów do cząsteczek

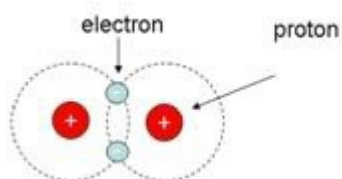
Chemiczny symbol H jest używany dla atomu wodoru, który jest pierwszym pierwiastkiem w układzie okresowym pierwiastków. Ma jądro, które w tym wypadku jest tylko protonem, i jest tam elektron krążący wokół jądra. Elektron ma ładunek ujemny, dokładnie równy wielkością dodatniemu ładunkowi protonu. Przyjmując tę wielkość jako ładunek jednostkowy, mówimy, że atom H ma *liczbę atomową* 1 ($Z=1$). Przyjmując masę protonu za jednostkę masy mówimy, że H ma *liczbę masową* 1 ($A=1$). Elektron jest ~ 2000 razy lżejszy niż proton.

Pierwiastkiem numer 2 w układzie okresowym jest hel (symbol chemiczny He). Ma dwa protony w jądrze i dwa elektrony krążące wokół jądra. W jądrze są także dwa neutrony. Neutrony otrzymały swoją nazwę, ponieważ nie mają ładunku. Masa neutronu niezbyt różni się od masy protonu. Tak więc dla atomu He, $Z=2$ i $A=4$.

Życie na Ziemi oparte jest na chemii organicznej tj. chemii atomu węgla, oznaczanego przez symbol C. Dla tego atomu $Z=6$ i $A=12$.

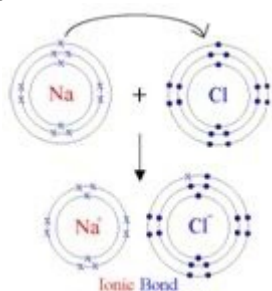
Cząsteczka wodoru oznaczona jest symbolem H_2 . Składa się z dwóch jąder wodoru i są tam dwa krążące wokół nich elektrony. Dlaczego wodór „woli” istnieć jako H_2 niż jako H? Ponieważ H_2 jest stabilniejszy niż H. Dlaczego? Rozważmy dwa elektrony H_2 . Mechanika kwantowa powiada, że nie mają one indywidualności i są dlatego nierozróżnialne. Popatrzmy na jeden z nich. Ponieważ ładunki dodatni i ujemny przyciągają się, elektrony pozostają blisko (*ale nie za blisko*) tych dwóch jąder. [Gdyby nie zasada nieoznaczoności Heisenberga, elektrony wszystkich atomów wpadłyby *prosto do swoich jąder* i nie byłoby nas tutaj, żeby dyskutować o chemicznej złożoności!] Naturalnie, dodatnie ładunki dwóch jąder H_2 są lepsze niż tylko jeden dodatni ładunek w H_2 , kiedy chodzi o wywieranie siły przyciągania na elektron. Tak więc H_2 jest stabilniejszy (ma niższą energię wewnętrzną) niż H, ponieważ jest silniej związany. Tak więc atomy H tworzą cząsteczki H_2 , ponieważ dzięki temu zmniejsza się ogólna energia swobodna (druga zasada termodynamiki wymaga, by energia swobodna była tak mała, jak to możliwe). Tworzenie się H_2 z dwóch atomów H jest przykładem ewolucji złożoności chemicznej. Potrzeba więcej informacji do opisu struktury i funkcji H_2 niż H.

Jaka jest natura wiązania między dwoma atomami H_2 lub H-H? Opisuje się je jako *wiązanie kowalენტne*. Każdy z dwóch atomów H daje swój elektron do chemicznego wiązania między nimi i te dwa elektrony w rejonie wiążącym należą do obu jąder.

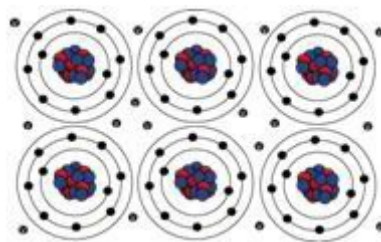


Innym rodzajem chemicznego wiązania jest tak zwane *wiązanie elektrowalენტne* (zwane także *wiązaniem jonowym*). Jest to wiązanie, które zachodzi między odwrotnie naładowanymi *jonami*. Weźmy chlorek sodu (NaCl). Dla atomu Na $Z=11$ i dla atomu chlorku $Z=17$. Prawa mechaniki kwantowej są takie, że atom Na jest stabilniejszy, jeśli jest otoczony przez tylko 10 elektronów zamiast 11. Podobnie Cl jest stabilniejszy, jeśli ma 18 elektronów zamiast 17. Razem mogą rozwiązać ten problem przez skłonność do „jonizacji”; tj. atom Na może stać się dodatnio naładowanym jodem Na^+ przez utratę elektronu (zwanego *elektronem walencyjnym*), a atom Cl może stać się ujemnie naładowanym

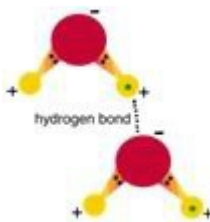
jonem Cl^- przez zyskanie elektronu. Te dwa odwrotnie naładowane jony mogą obniżyć energię potencjalną (a więc energię swobodną) przez zbliżenie się do siebie, tworząc między sobą wiązanie jonowe.



Trzecim ważnym i ogólnie silnym wiązaniem jest *wiązanie metaliczne*. Zachodzi w metalach takich jak aluminium (Al), miedź (Cu), srebro (Ag), złoto (Au) itd. Weźmy przypadek Al. Dla niego $Z=13$. Ale, podobnie jak atom Na omawiany wyżej, jest bardziej stabilny, jeśli ma tylko 10 elektronów wokół jądra. Tak więc atomy Al, kiedy są blisko jeden drugiego, tracą trzy elektrony walencyjne do wspólnej puli i te elektrony walencyjne stają się wspólną własnością wszystkich jonów Al. Kawałek metalu Al trzyma się razem dzięki tej chmurze ujemnie naładowanych elektronów, kompensujących dodatnie ładunki jonów Al.



8.2 Wiązanie wodorowe i wiązanie van der Waalsa

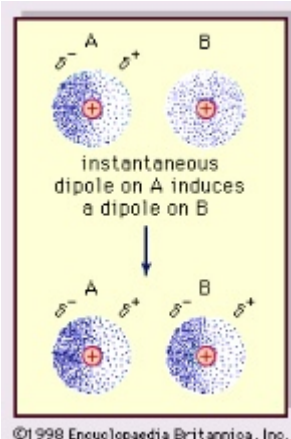


Opisane powyżej wiązania kowalენტne, elektrowalენტne i metaliczne są tak zwanymi *wiązaniami pierwotnymi*. Są to silne wiązania. Na przykład diament składa się z kowalენტnie związanych atomów węgla i jest bardzo twardym materiałem. Także w metalach atomy są silnie związane ze sobą, jak również w kryształach chlorku sodu, w których dominuje interakcja elektrowalენტna. Istnieje szereg innych typów wiązań lub interakcji, które są znacznie słabsze, ale bardzo ważne, szczególnie dla układów biologicznych i ogólnie dla *miękkiej materii*.

Szczególnie wszechobecne jest *wiązanie wodorowe*. Weźmy przykład wody, H_2O lub H-O-H. Atom tlenu tworzy kowalენტne wiązania z dwoma atomami wodoru. Każde takie kowalენტne wiązanie (O-H) ma stowarzyszone z nim dwa elektrony, jeden pochodzący z wodoru i jeden z tlenu. Dystrybucja elektronu wokół dwóch jąder wodoru w takim wiązaniu nie jest taka jak w *symetrycznym* wiązaniu C-C w strukturze diamentu. Jądro tlenu ma liczbę atomową 8, co jest znacznie więcej niż liczba atomowa 1 wodoru, a więc okupuje większą część chmury ładunku elektronu stowarzyszonego z wiązaniem (mówimy, że atom tlenu jest bardzo *elektroujemny*). To powoduje, że jądro atomu wodoru jest nieco mniej osłonięte przez elektron, który krążył wokół niego, kiedy nie było żadnego rodzaju wiązania. Z podobnych przyczyn jądro tlenu i jego chmura ładunku elektronów są razem trochę bardziej ujemne niż byłyby w izolowanym atomie O. Końcowym wynikiem jest to, że cząsteczka wody jest jak mały *dipol* (dwubiegun). Ma dwa dodatnie końce i jeden ujemny. Wszystkie cząsteczki wody są dipolami, a więc ustawiają się tak, że dodatni koniec (wodorowy) jednej cząsteczki wskazuje ku ujemnemu końcowi (tlenowemu) drugiej cząsteczki. Mówimy więc o wiązaniu wodorowym, oznaczonym w tym przykładzie przez O-H...O.

Najbardziej istotnym aspektem wiązania wodorowego w ewolucji chemicznej i biologicznej złożoności jest to, że jest ono *stosunkowo słabe*, nie tak silne jak wiązanie kowalენტne, ale nie tak słabe jak tak zwane wiązanie van der Waalsa (lub oddziaływanie dyspersyjne Londona). Oddziaływanie van der Waalsa jest bardzo słabe, chociaż zawsze obecne między dwoma atomami. Fluktuacje kwantowo-mechaniczne w chmurze ładunku elektronicznego wokół atomu mogą spowodować przejściowe rozdzielenie ładunku lub moment dipolowy albo multipolowy, a pole elektryczne tego multipola indukuje moment multipolowy w każdym sąsiednim atomie. Powoduje to małe przyciąganie między dwoma atomami.

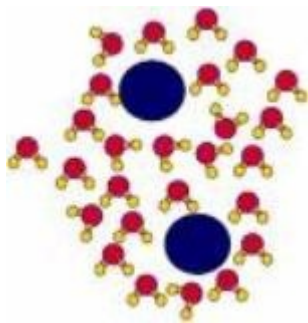
Miarą siły wiązania chemicznego jest energia wymagana do jego rozerwania. Temperatura topnienia ciała stałego jest wskazówką siły jego najsłabszego wiązania. Wiązanie kowalენტne jest najsilniejsze, z typową energią wiązania ~ 400 kilokalorii (kcal). Wiązanie elektrowalენტne jest zwykle o połowę słabsze. Wiązanie metaliczne wykazuje szeroki wachlarz siły, a dwoma skrajnymi



©1998 Encyclopaedia Britannica, Inc.

przykładami jest wiązanie w rtęci na jednym krańcu i wiązanie w wolframie na drugim. Siła wiązania wodorowego zwykle wynosi 14 kcal. Wiązanie van der Waalsa zaś wymaga energii poniżej 1 kcal. Najbardziej istotnym faktem dla naszych rozważań tutaj jest to, że energia wymagana w wiązaniu wodorowym jest zwykle tylko ~10 razy większa od energii fluktuacji temperatury, ale nadal znacznie niższa od energii typowego wiązania kowalentnego. *W typowych temperaturach, w których istnieją układy biologiczne, fluktuacjom temperatury trudno jest rozerwać wiązania kowalentne, ale istnieje dość wysoka szansa, że mogą rozerwać wiązania wodorowe.*

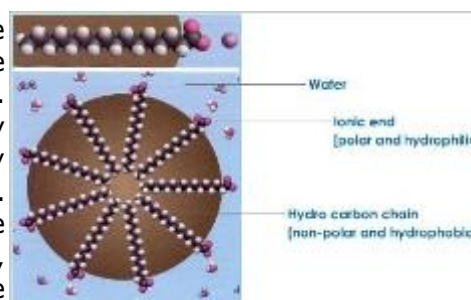
8.3 Oddziaływania hydrofobowe i hydrofilowe



Widzieliśmy powyżej, że woda jest skupiskiem maleńkich dipoli. Mówimy, że jest to materiał polarny. Natomiast istnieje duża liczba „węglowodorów”, które są materiałami niepolarnymi. [Węglowodór jest związkiem składającym się głównie z atomów wodoru i węgla]. W odróżnieniu od wiązania O-H w wodzie, które jest wiązaniem z momentem dipolowym, wiązanie C-H w węglowodorze jest w przeważającym stopniu niepolarnie: dwa elektrony tworzące wiązanie kowalentne C-H dzielą się niemal równo między C i H. Tak więc wiązanie C-H nie powoduje tworzenia dipolu i dlatego nie tworzy wiązania wodorowego z cząsteczką wody. A teraz założmy, że mieszamy płyny polarne

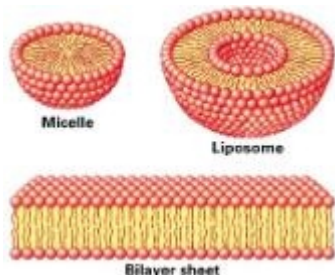
i niepolarne. *Zajdzie segregacja.* Molekuły niepolarne będą miały tendencję do zbierania się razem, ponieważ nie mogą brać udziału w wiązaniu wodorowym. Mają rodzaj „fobii” wobec cząsteczek wody, a więc mówimy o oddziaływaniu hydrofobowym. Ponieważ wiązanie wodorowe jest średniej siły, także oddziaływanie hydrofobowe jest średniej siły.

Istnieje wiele rodzajów związków organicznych, które mają przeważającą strukturę węglowodorową, ale przyłączone do nich są *polarne grupy funkcjonalne*. Przykładami tego rodzaju związków są cholesterol, kwasy tłuszczowe i fosfolipidy. Takie cząsteczki mają niepolarny i hydrofobowy koniec oraz polarny, hydrofilowy koniec. Włożone do wody gromadzą się same tak, że hydrofilowe końce kierują się ku wodzie, a hydrofobowe są odsunięte, unikając kontaktu z wodą. To dlatego olej nie miesza się z wodą. Natomiast alkohol i woda mieszają się tak łatwo, że nie potrzeba ich mieszać; oba są płynami polarnymi. Zapomniałem nazwiska króla, który powiedział: „Nie interesuje mnie, gdzie płynie woda, jak długo nie dostaje się do mojego wina!”



Dzięki oddziaływaniu hydrofobowemu mogą powstać piękne samoporzadkujące się (*self-assembled*) micelle, liposomy i warstwy bimolekularne.

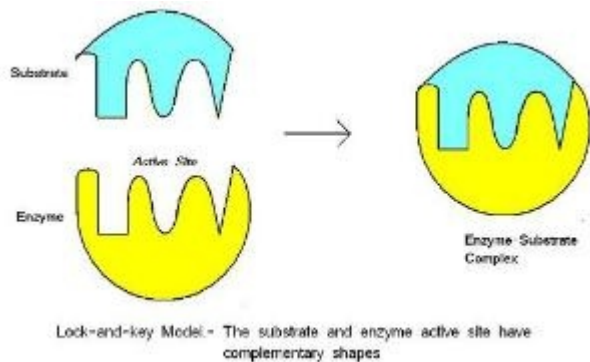
8.4 Rozpoznanie molekularne i samoporzadkowanie



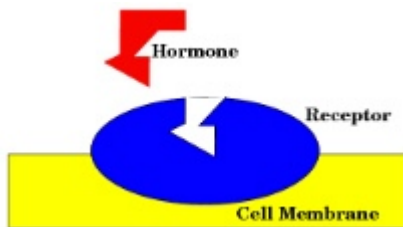
Popatrzmy na szczegóły tego, jak zachodzi obniżanie energii swobodnej na skalę atomową. Jeśli dwa atomy są blisko siebie, zwiążą się, żeby stworzyć cząsteczkę, jeśli cząsteczka ma niższą energię swobodną niż te dwa oddzielne atomy. Rozważmy następnie możliwe wiązania między *cząsteczkami*, żeby stworzyć jeszcze większe zespoły (lub "zespoły *supramolekularne*"). To robi się teraz ciekawsze. Istotne staje się tutaj ważne pojęcie *rozpoznania molekularnego*. Taki rodzaj cząsteczek, które mają pewien stopień *komplementarności*, będzie z pewnym prawdopodobieństwem tworzyć zespoły. Mamy dwa rodzaje komplementarności do rozważenia: *kształty „zamka i klucza”* oraz *komplementarne rozkłady ładunku* (pamiętajmy, dodatni przyciąga ujemny). Jeśli istnieją te komplementarności, umożliwiają one dwóm cząsteczkom dokładne dopasowanie do siebie, obniżając w ten sposób ogólną energię potencjalną, a więc energię swobodną. Jest to bardziej stabilna konfiguracja, ponieważ fluktuacje temperatury mają mniejszą możliwość rozdzielenia dobrze dopasowanych cząsteczek i to jest istotą *samoporzadkowania* w Naturze. Samoporzadkowanie jest jak wzrost kryształu, tyle tylko, że końcowy produkt może nieść znacznie więcej informacji, tj. jest bardziej złożony.

Zjawisko *molekularnej komplementarności* odkrył laureat Nagrody Nobla Paul Ehrlich. Jako student pracował z nowo odkrytymi barwnikami anilinowymi, których używał do barwienia komórek

biologicznych. Stwierdził, że każdy barwnik barwił tylko określony typ tkanki albo określony gatunek bakterii, ale nie inne. Cząsteczki barwnika krążą w roztworze aż znajdą *miejsce wiążące*, dokładnie pasujące do wzoru atomów w jednym z jego bocznych łańcuchów. Dla stabilności komplementarność „zamka” i „klucza” nie powinna być tylko przestrzenna, ale także elektrostatyczna; inaczej *specyficzność* nie jest bardzo mocna. Nie tylko dwa kształty powinny być komplementarne, także regiony nadmiarowego ładunku dodatniego na jednej cząsteczce powinny być komplementarne do regionów nadmiarowego ładunku ujemnego na drugiej. Poniżej podaję kilka przykładów przestrzennej i ładunkowej komplementarności w Naturze:



- ✓ Komplementarność między aktywnym miejscem w enzymie i substratem enzymu.
- ✓ Dobrze znana „komplementarność par zasad” w DNA (kwas deoksyrybonukleinowy) i RNA (kwas rybonukleinowy). [Omówię to później].
- ✓ Samoporzędkowanie wirusów i organelli wewnątrzkomórkowych.
- ✓ Receptory ulokowane na powierzchni komórek wiążą tylko bardzo ograniczoną liczbę substratów (często tylko jeden). Receptor jest zwykle znacznie bardziej złożony (większy) niż substrat (hormon), który się z nim wiąże, jak wskazuje załączony szkic.



Zespoły supramolekularne, tworzące się normalnie w niemal zwykłych warunkach, zazwyczaj nie wymagają oddziaływania kowalentnego. Zamiast tego rządzą nimi słabe, tj. niekowalentne lub *drugorzędne* oddziaływania (van der Waalsa; słabe Coulomba; wiązanie wodorowe; hydrofobowe itd.). Ze względu na tę cechę *wiązań w zespołach supramolekularnych w temperaturze pokojowej lub jej bliskiej mogą zostać z łatwością rozrywane i przekształcane w sposób dający się odwrócić w czasie, aż cały układ znajdzie najbardziej stabilną konfigurację. Odwracalność wiązania jest bardzo ważną cechą samoporzędkowania się przez rozpoznawanie molekularne.*

Materiały biologiczne i inne miękkie materiały mogą samo porządkować się w rozmaite kształty i w szeroki wachlarz skal długości. Zazwyczaj jest tam trochę wody, a najważniejszym czynnikiem pośredniczącym w samoporzędkowaniu jest oddziaływanie hydrofobowe. Nawiasem mówiąc, samoporzędkowanie *per se* jest znacznie bardziej powszechnym zjawiskiem niż tylko samoporzędkowanie molekularne. Oto niektóre przykłady: kolonie bakterii; ule; mrowiska; ławice ryb; wzory pogodowe; także galaktyki.

Samoporzędkowanie może być albo statyczne, albo dynamiczne. To pierwsze zachodzi w układach, które są w stanie lokalnej lub globalnej równowagi i które nie rozpraszają energii (np. kryształy). Dynamiczne samoporzędkowanie jest istotniejsze z punktu widzenia ewolucji złożoności i zawsze obejmuje rozpraszanie energii. Oto niektóre przykłady: reakcje oscylujące i dyfuzyjne; wzory pogody; galaktyki.

Słabe oddziaływania z energiami porównywalnymi do energii temperaturowych zapewniają, że wiązania mogą tworzyć się i rozpadać aż osiągnięta zostanie uporządkowana konfiguracja o najniższej energii.

Wzrost kryształów molekularnych jest tego przykładem. Odwracalność implikuje także, że powstający (samoporzędkujący się) układ jest przez cały czas bliski stanu równowagi.

8.5 Ewolucyjne projektowanie leków



Jako małą dygresję chcę tutaj wspomnieć użycie idei „zamka i klucza” do tworzenia leków. Bardzo często, żeby lek był skuteczny, jego struktura molekularna powinna być taka, by dokładnie pasował w odpowiednią szczelinę w cząsteczce białka. Bardziej ogólnie, działanie leku osiąga się przez wiązanie jednej cząsteczki tj. „liganda” do kieszonki drugiej, zazwyczaj większej cząsteczki — receptora. W swojej wiążącej konformacji cząsteczki wykazują komplementarność geometryczną i chemiczną, a obie są niezbędne, by lek działał.

Syntetyzowanie wszystkich tych próbnych leków i testowanie ich zgodności z szczeliną

w cząsteczce białka potrafi być bardzo kosztowne. Dlatego też używa się komputerów do przeprowadzania tak zwanego "ewolucyjnego obliczania". Kody komputerowe generują losowo cząsteczki leku, które testują wobec szczeliny w białku. Jedna taka wyobrażona cząsteczka może zawierać miejsce, które pasuje do jednego z, powiedzmy, sześciu miejsc w szczelinie. Ta cząsteczka zostaje „dobrana” (daje „korzyść ewolucyjną”) i tworzy się miliard jej odmian, po czym testuje je odpowiednim „testem dostosowania”. Kontynuuje się to w następnym pokoleniu próbnych cząsteczek aż osiągnie się najlepszy kształt leku. W kolejnym artykule, po wprowadzeniu podstaw ewolucji biologicznej, omówię taką „sztuczną ewolucję”. Jak powiedział Kevin Kelly (1994): „Ewolucyjne hodowanie leków jest przyszłością biotechnologii”.

8.6 Wirus mozaiki tytoniowej

Rozważam tutaj przykład wirusa mozaiki tytoniowej (TMV), żeby zilustrować mglistą, być może nieistniejącą, linię między życiem i nie-życiem. Każdy wirus (włącznie z TMV) ma typowo trzon z RNA i otoczkę z białka. Można rozdzielić te dwa składniki, oczyścić je i zmagazynować w laboratorium. W dowolnym późniejszym czasie można mieszać i inkubować te składniki i TMV zrekonstruuje się przez samoporzadkowanie. Zrekonstruowany TMV nie tylko powraca do „życia”, ale może także rozmnażać się, jeśli umieści się go na liściu tytoniu!



8.7 Zawdzięczamy życie wiązaniu wodorowemu

Życie i jego ewolucja zależą od wiązania wodorowego. To wiązanie jest znacznie słabsze niż wiązanie kowalentne, niemniej wystarczająco silne, by podtrzymać samoporzadkujące się struktury biologiczne, umożliwiając im wytrzymanie niszczących wpływów fluktuacji temperaturowych i innych zakłóceń. Wiązanie wodorowe i związane z nim oddziaływanie hydrofobowe ma właściwy rodzaj siły, by umożliwić samoporzadkowanie się superstruktur bez potrzeby nieodwracalnych reakcji chemicznych. Istnieje silny element odwracalności związany z tymi słabymi oddziaływaniami, które umożliwiają spontaniczne tworzenie i rozłamywanie zespołów, aż osiągną konfigurację o najniższej energii swobodnej.

8.8 Samoorganizacja

Ilość informacji zawarta w zorganizowanej lub złożonej materii jest bardzo wysoka. Ta informacja rozkłada się w kształtach cząsteczek składowych i we wzorach interakcji między nimi. Nagromadzenie się tej informacji wymaga serii kolejnych etapów: rozpoznanie molekularne; samoporzadkowanie; samoorganizacja (*self-organisation*); adaptacja chemiczna i ewolucja. Już rozważaliśmy dwie pierwsze. Skupmy się teraz na samoorganizacji.

Lehn (2002) zdefiniował samoorganizację jako „spontaniczne, ale kierowane informacją tworzenie zorganizowanych, funkcjonalnych struktur w warunkach równowagi”. Informacja („kodowanie”) niezbędna do samoorganizacji zawarta jest w rozpoznaniu molekularnym i skłonnościach do samoporzadkowania cząstek składowych. To kodowanie określa także jak samoporzadkująca się budowla samoorganizuje się w funkcjonalną strukturę w stanie równowagi. W mojej książce [Smart Structures: Blurring the Distinction between the Living and the Nonliving](http://www.oup.com/us/catalog/general/subject/Physics/MaterialsScience/~~/dmlldz11c2EmY2k9OTc4MDE5OTIyOTE3OA==) ([http://www.oup.com/us/catalog/general/subject/Physics/MaterialsScience/~~/dmlldz11c2EmY2k9OTc4MDE5OTIyOTE3OA ==](http://www.oup.com/us/catalog/general/subject/Physics/MaterialsScience/~~/dmlldz11c2EmY2k9OTc4MDE5OTIyOTE3OA==)) (2007) znajduje się przegląd różnych typów kodowania dla samoorganizacji.

Samoorganizacja jest zjawiskiem znacznie bardziej wszechobecnym niż tylko coś, co dzieje się na poziomie molekularnym. Oto kilka przykładów:

~ Laser jest samozorganizowanym systemem. We właściwie skonstruowanych warunkach fotony spontanicznie grupują się w konfigurację, w której wszystkie poruszają się w fazie, czego wynikiem jest potężna wiązka laserowa.

~ Huragan jest samozorganizowanym systemem. Stały przypływ energii ze Słońca, ciągnie wodę z oceanów, jak również napędza wiatr. Łagodne wiatry tropikalne mogą wyrosnąć w zorganizowaną konfigurację huraganu, kiedy przekraczają pewien krytyczny próg.

~ Żywa komórka jest samozorganizowanym systemem, który organizuje się cały czas, zależnie od środowiska.

~ Gospodarka jest samoorganizującym się systemem. Popyt na dobra i usługi, jak również popyt na siłę roboczą nieustannie organizuje gospodarkę w spontaniczny sposób bez żadnej kontrolującej Racionalista.pl

władzy centralnej.

8.9 Adaptacja chemiczna i ewolucja

Przy danym zestawie warunków cząsteczki w układzie mają tendencję do samoorganizowania się tak, by zminimalizować ogólną energię swobodną. To jest *adaptacja chemiczna*. Załóżmy teraz, że ten zestaw warunków zmienia się. Jest to bardzo prawdopodobne, właściwie nieuniknione, bo mamy do czynienia z otwartym systemem. Musi nastąpić kolejna runda samoorganizacji, jak zawsze rządzona przez drugą zasadę termodynamiki. To jest *chemiczna ewolucja*. Ponadto zestaw zmieniających się warunków, tj. zmieniające się środowiska, jakiego doświadczają cząsteczki, niekoniecznie musi być *zewnętrzne* dla zestawu cząsteczek. Także wewnętrzne zmiany w systemie molekularnym stanowią zmienione środowisko dla każdego członka tego zestawu. A konfiguracje molekularne zmieniają się bez przerwy. Tak więc, adaptacja i ewolucja chemiczna zdarza się w otwartym systemie cząsteczek (włącznie z naszym ekosystemem) przez cały czas.

Można szukać analogii z ewolucją darwinowską, żeby zobaczyć, czy „dobór naturalny” (tj. selekcja molekularna) i „przetrwanie najlepiej przystosowanych” zdarzają się także w ewolucji chemicznej. Odpowiedź brzmi „tak”, ponieważ kiedy zasoby są ograniczone, istnieje konkurencja między alternatywnymi ścieżkami molekularnych reakcji i tylko najlepiej przystosowane ścieżki mogą przetrwać, jeśli chodzi o konsumpcję cząsteczek prekursorowych i bogatych w energię. Takie rozważania wzbudziły specjalne zainteresowanie pochodzeniem cząsteczek podtrzymujących życie. Pionierską pracę w tym kierunku wykonał Melvin Calvin (1969), który wprowadził koncepcję *autokatalizy* jako mechanizmu doboru molekularnego. Będę omawiał autokatalizę w następnym artykule.

8.10 Uwagi końcowe

Idea zamka i klucza jest zasadnicza dla wyjaśnienia ewolucji w Naturze cząsteczek i zespołów molekularnych o wzrastającej złożoności. Dwie cząsteczki mogą normalnie oddziaływać na siebie tylko w słaby sposób, ale dokładne dopasowanie części tych dwóch cząsteczek do siebie może prowadzić do znacznie silniejszego stopnia spoistości (kohezji) między nimi, ponieważ „dotykają się” lub przyciągają wzajemnie w wielu punktach.

Innym zasadniczym czynnikiem w chemicznej ewolucji złożoności jest *odwracalność* niekowalentnych wiązań między cząsteczkami; odwracalność jest kluczem do samoporzadkowania. A kiedy już powstaną stabilne samo uporządkowane układy (dzięki molekularnym próbom i błędom), na ogół nie ma odwrotu. Ogólna duża spoistość energii daje stabilizujący efekt. Jeśli jednak środowisko zmienia się, samoporzadkowany system może zareagować (tj. przystosować się, zaadaptować) wykorzystując znowu odwracalną naturę swoich niekowalentnych interakcji. To jest ewolucja chemiczna. Jak zobaczymy z czasem, ewolucja chemiczna prowadzi do ewolucji biologicznej. A jak powiedziałem już wiele razy, ewolucja i właściwości emergentne są znamionami złożoności.

Zakończę kilkoma słowami o pęcherzykach, które dostarczają dobrego, wręcz dramatycznego przykładu samoorganizacji w nieżywy złożony układ. Pęcherzyki są kulistymi supramolekularnymi zespołami, oddzielającymi płynną zawartość wnętrza od zewnętrznego rozpuszczalnika lipidową warstwą dwucząsteczkową. Są także nazywane liposomami i są dość podobne do miceli (patrz rysunek powyżej). W odpowiednich warunkach lipidy mogą samoporzadkować się w olbrzymie pęcherzyki wielkości komórek biologicznych. Podstawową siłą napędową tego samoporzadkowania jest oddziaływanie hydrofobowe. Jak to żywo opisali Menger i Gabrielson (1995) pęcherzyki pod wieloma względami potrafią naśladować żywe komórki, chociaż żywe nie są:

Kiedy olbrzymi pęcherzyk, który przypadkiem ma w środku mniejsze pęcherzyki, zostaje wystawiony na działanie glukozydu oktylu, mniejsze pęcherzyki mogą przeniknąć przez błonę zewnętrzną do otaczającego środowiska („narodziny”). Wynikające z tego uszkodzenie błony pęcherzyka-gospodarza zrasta się natychmiast. Z drugiej strony, dodanie kwasu cholewego powoduje szaleństwo pochłaniania, w którym pęcherzyk rośnie szybko w miarę konsumowania swoim mniejszych sąsiadów. Kiedy nie ma więcej żywności, olbrzymi pęcherzyk ulega samozniszczeniu (przypadek „narodzin, wzrostu i śmierci”). Takie podobne do życia zmiany morfologiczne uzyskuje się dzięki użyciu dostępnych w handlu substancji chemicznych; tak więc te procesy powinny być przypisane chemii organicznej, nie zaś biologii czy nawet biochemii.

Od tłumaczki: Niestety nie miałam możliwości skonsultowania tłumaczenia tego tekstu z żadnym polskim chemikiem, przekazuję go zatem do publikacji z nadzieją, iż kompetentni czytelnicy szybko zauważą ewentualne błędy i pomogą je skorygować.

[Tekst oryginału.](#)

Nirmukta, 29 października 2009r.

Zobacz także te strony:

[Złożoność wyjaśniona, część 1](#)

[Złożoność wyjaśniona, część 2, Inteligencja roju](#)

[Złożoność wyjaśniona. Część 3](#)

[Złożoność wyjaśniona. Część 4.](#)

[Złożoność wyjaśniona. Część 5.](#)

[Złożoność wyjaśniona. Część 6](#)

[Złożoność wyjaśniona. Część 7](#)

Vinod K. Wadhawan

Induski emerytowany fizyk atomowy,
współwydawca portalu PHASE
TRANSITIONS, publicysta, autor wielu
książek.

[Strona www autora](#)

[Pokaż inne teksty autora](#)



(Publikacja: 30-11-2009 Ostatnia zmiana: 01-12-2009)

[Oryginał.](#) (<http://www.racjonalista.pl/kk.php/s,6976>)

Contents Copyright © 2000-2009 Mariusz Agnosiewicz

Programming Copyright © 2001-2009 Michał Przech

Autorem portalu Racjonalista.pl jest Michał Przech, zwany niżej Autorem.
Właścicielami portalu są Mariusz Agnosiewicz oraz Autor.

Żadna część niniejszych opracowań nie może być wykorzystywana w celach komercyjnych, bez uprzedniej pisemnej zgody Właściciela, który zastrzega sobie niniejszym wszelkie prawa, przewidziane w przepisach szczególnych, oraz zgodnie z prawem cywilnym i handlowym, w szczególności z tytułu praw autorskich, wynalazczych, znaków towarowych do tego portalu i jakiegokolwiek jego części.

Wszystkie strony tego portalu, wliczając w to strukturę katalogów, skrypty oraz inne programy komputerowe, zostały wytworzone i są administrowane przez Autora. Stanowią one wyłączną własność Właściciela. Właściciel zastrzega sobie prawo do okresowych modyfikacji zawartości tego portalu oraz opisu niniejszych Praw Autorskich bez uprzedniego powiadomienia. Jeżeli nie akceptujesz tej polityki możesz nie odwiedzać tego portalu i nie korzystać z jego zasobów.

Informacje zawarte na tym portalu przeznaczone są do użytku prywatnego osób

odwiedzających te strony. Można je pobierać, drukować i przeglądać jedynie w celach informacyjnych, bez czerpania z tego tytułu korzyści finansowych lub pobierania wynagrodzenia w dowolnej formie. Modyfikacja zawartości stron oraz skryptów jest zabroniona. Niniejszym udziela się zgody na swobodne kopiowanie dokumentów portalu Racjonalista.pl tak w formie elektronicznej, jak i drukowanej, w celach innych niż handlowe, z zachowaniem tej informacji.

Plik PDF, który czytasz, może być rozpowszechniany jedynie w formie oryginalnej, w jakiej występuje na portalu. **Plik ten nie może być traktowany jako oficjalna lub oryginalna wersja tekstu, jaki zawiera.**

Treść tego zapisu stosuje się do wersji zarówno polsko jak i angielskojęzycznych portalu pod domenami Racjonalista.pl, TheRationalist.eu.org oraz Neutrum.eu.org.

Wszelkie pytania prosimy kierować do redakcja@racjonalista.pl