

Maciej Węgrzyn¹

Zagadnienie minimalnego autonomu. Przejście od systemów działaniowych do systemów konfiguracyjnych

Streszczenie

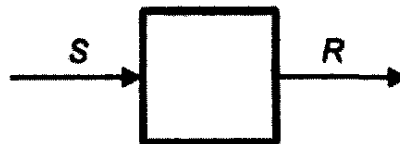
Rozważa się problemy systemowe: najmniejszej „czarnej skrzynki”, sieci układów rozwiązującej zadania logiczne oraz najmniejszego systemu autonomicznego w sensie Mazura. Przedstawia się pewne konsekwencje, w tym biologiczne, ostatniego zagadnienia.

Podział systemów na klasy

Podział systemów na klasę systemów działaniowych (*acting*) i klasę systemów konfiguracyjnych (*pattern*) wprowadził Alfred Kuhn². Wyszczególniając podsystemy w systemie typu *acting* mamy na uwadze funkcje przez nie wykonywane, wyszczególniając podsystemy typu *pattern* mamy na uwadze układy fizycznie oddzielne, na które da się podzielić badany system.

Rozważania na temat systemów działaniowych pomagają w rozwiązywaniu problemów decyzyjnych (*jak coś działa*). Systemy typu *pattern* wprowadza się przy rozwiązywaniu problemów poznawczych (*jakie coś jest*).

Punktem wyjścia naszych rozważań będzie najprostszy system, mianowicie czarna skrzynka (*black box*).



Rys. 1. Czarna skrzynka.

Przez *S* (*stimulus*, bodziec) oznaczmy oddziaływanie wejściowe; przez *R* ozna-

¹ Mgr inż. Maciej Węgrzyn, Państwowa Inspekcja Pracy w Częstochowie. Zajmuje się m.in. zastosowaniami analizy systemowej i cybernetyki w organizacji pracy i konfliktami w zakładach pracy.

² *The Logic of Social Systems: A Unified, Deductive, System-Based Approach to Social Science*, Jossey-Bass, San Francisco 1974.

czymy oddziaływanie wyjściowe (*reaction*, reakcję). Według Mešaroviča³ oddziaływania wyjściowe są zawsze mniejsze od wejściowych: $S > R$ niezależnie od rodzaju oddziaływań.

Jest to zgodne z II zasadą termodynamiki, którą Marian Mazur wyraził tak: „wszelkim procesom przetwarzania energii towarzyszą straty energii do otoczenia”⁴. Jak widać z rysunku, aby uznać, że system istnieje, jego Obserwator (pisany z dużej litery, bo traktowany podmiotowo) powinien wykonać następujące czynności: (a) zmierzyć sygnał S uznany za wejściowy; (b) zmierzyć sygnał R uznany za wyjściowy; (c) porównać wielkość tych sygnałów; (d) podjąć jedną z następujących decyzji: (1) jeżeli $S > R$ to uznać, że system istnieje; (2) jeżeli $S = R$ to nie wiadomo, czy system istnieje; (3) jeżeli $S < R$ to Obserwator pomylił wejście z wyjściem (kierunek procesu). Można zresztą powiedzieć, że systemy tworzy Obserwator.

Budowa najmniejszej „czarnej skrzynki”

Budowę takiej „czarnej skrzynki” rozpatrzmy biorąc pod uwagę pewne właściwe fizyczne otoczenia. Jest to o tyle ważne, że nie zawsze w rozważaniach systemowych mówi się o otoczeniu układu, często pomijając je na schematach. Poza tym na ogół otoczenie traktuje się jako izotropowe (tj. jednakowe pod względem właściwości we wszystkich kierunkach). Tymczasem fizycy twierdzą, że materia ma strukturę ziarnistą, zaś każde działanie wymaga pewnego przepływu energii, który następuje od większego do mniejszego potencjału. Energia może być uwalniana tylko porcjami, nie zaś w sposób ciągły.

Pytanie, jakie postawił mój kolega, Adam Lech, brzmiało: jakie jest najmniejsze skupienie energii i materii, które może działać jak system?

Aby mogło zadziałać wyjście musi wystąpić różnica potencjałów pomiędzy wyjściem a otoczeniem. Przyjmijmy, iż jest ona dodatnia i wynosi ona jedną porcję (ziarno, kwant) energomaterii na wyjściu systemu czyli $R = 1$. Ponieważ wielkość owego ziarna zależy od możliwości poznawczych Obserwatora, to najmniejszość systemu jest więc rzeczą umowną — trzeba określić, jakie ziarna rozpatrujemy!

Aby mógł nastąpić przepływ energomaterii pomiędzy wejściem a wyjściem, wejście musi mieć potencjał wyższy od wyjścia, gdyż pewna część energii jest zużywana na potrzeby systemu:

- a) Jeżeli przyjmijemy, że różnica potencjałów także wynosi 1, to potencjał wejściowy musi będzie w sumie wyższy o 2 od otoczenia. Przeto skupienie energomaterii może stanowić postawę „czarnej skrzynki”, o ile zawiera 2 ziarna energomaterii. Gdyby straty były wyższe, i wynosiły 2 ziarna to wyjście nie zadziała
- b) Jeżeli przyjmijemy, że straty są niższe niż 1 ziarno, to ziarno na wejściu musi być mniejsze od ziarna na wyjściu.
- c) Ponieważ obserwator też jest systemem, to odbiera sygnały o energii 2 ziaren. I

³ Za: Piotr Sienkiewicz *Inżynieria systemów*, Wydawnictwo MON, Warszawa 1983, s. 47.

⁴ Marian Mazur *Cybernetyka i charakter*, Wyższa Szkoła Zarządzania i Przedsiębiorczości im. Bogdana Jańskiego, Warszawa 1999, s. 202. [*Cybernetyka i charakter* miała jeszcze dwa wydania: PiW 1976; Aula, Podkowa Leśna 1996 (popr. i uzup.) — *przyp. red.*]

tylko takie będą nośnikami informacji. Pozostałe nie spowodują zadziałania „czarnej skrzynki”.

Wielkość strat energomaterii przypadająca na jednostkę masy M . Mazur określił jako stratność systemu.⁵ Jak widać z powyższych rozważań nie zależy ona od jego masy i wynosi $\frac{1}{2}$. Jest to maksymalna dopuszczalna wielkość stratności umożliwiająca identyfikację systemu – przy większej stratności można pomylić oddziaływania wyjściowe z oddziaływaniami wynikłymi ze strat.

Jeżeli nośnikami energii będą kwanty promieniowania to obowiązywać będą następujące reguły łączenia „czarnych skrzynek” w sieć systemów:

- a) Jeżeli straty energii są niewielkie, dużo poniżej kwantu absorbowanego przez wejście systemu, to na wyjściu mogą pojawić się dwa kwanty o niższej wartości energetycznej:

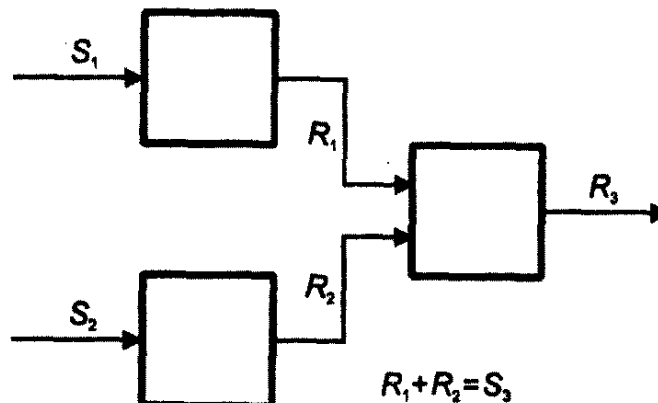
$$E = h\nu_0 \geq h\nu_1 \geq h\nu_2$$

gdzie ν to częstotliwość.



Rys 2. Łączenie szeregowe „czarnych skrzynek”.

- b) Jeżeli stratność wynosi $\frac{1}{2}$ to można łączyć systemy tylko równolegle, mianowicie każdy następny musi być zasilany przez dwa poprzednie i działa wtedy jako mnożnik sygnałów.
 c) Szereg można zawsze włączyć do równoległego działania, działa wtedy jako sumator sygnałów.



Rys. 3. Łączenie równoległe „czarnych skrzynek”.

- d) Sieć kombinowana wymaga przetwarzania w ostatnim elemencie dwu kwantów o niższej częstotliwości w jeden o wyższej:

$$2h\nu_1 = h\nu_2$$

⁵ M. Mazur, *op. cit.*, s. 203.

takie zjawisko też występuje⁶. Połączenie dwu odcinków sieci, z których jeden działa jako szeregowy, a drugi jako równoległy może nastąpić, gdy:

1. Połączenie ma charakter równoległy lub szeregowo-równoległy.
2. Dwa ziarna stanowiące sygnał z sieci szeregowej (s) mają energię nieco wyższą niż jedno ziarno sieci równoległej (p):

$$2h\nu_s > h\nu_p.$$

- e) Sieć kombinowana ma dwa różne rodzaje częstotliwości wejściowej przy czym częstotliwość „szeregową” jest prawie dwukrotnie niższa, niż częstotliwość „równoległą”.

$$2\nu_s \equiv \nu_p.$$

Ilustracją takiego łączenia „czarnych skrzynek” jest działanie chlorofilu w procesie fotosyntezy. Mianowicie, dwa fotony odczepiają dwa elektrony, które przenoszone są na coraz niższe poziomy energetyczne. Chlorofil wykazuje dwa pasma maksimum absorpcji — w fioletcie i w czerwieni. Do tej pory nie prowadzono badań celem wyjaśnienia dlaczego akurat te pasma są absorbowane, bo dla zapewnienia zasilania wystarczyłoby jedno, ale jedno pasmo ogranicza możliwość budowania sieci logicznych — albo buduje się szeregowo, albo równoległe. Ponadto można udowodnić, że sygnał podwojony pojawia się trzy razy częściej niż pojedynczy, przez co sieć nastawiona na zasilanie dwoma zianami ma lepsze warunki do działania.⁷

Struktura sieci przystosowanych do rozwiązywania zadań logicznych

Przesyłanie sygnałów wymaga połączeń szeregowych, dodawanie (zbiorów) sygnałów — połączeń równoległych z sieci szeregowych, mnożenie (zbiorów) sygnałów — połączeń równoległych sieci równoległych.

Mnożenie sygnałów (zbiorów) z których jeden powstał w wyniku dodawania a drugi w wyniku mnożenia sygnałów (zbiorów) wymaga pracy na dwu częstotliwościach, z których pierwsza jest niecałe dwa razy niższa niż druga. Ze znanych mi opracowań teorii obwodów i logiki dla elektroników nie wynika, aby takie możliwości były rozpatrywane, chociaż mają one konsekwencje dla konstrukcji sieci systemowych. Można zbudować maszynę rozwiązującą konkretne zadanie logiczne składające się z dodawania i mnożenia sygnałów (zbiorów), jednak przy niepełnym zasileniu wejść maszyna ta będzie rozwiązywać zadanie *inne* od pierwotnego.

Najmniejszy możliwy do zrealizowania autonom typu *pattern*

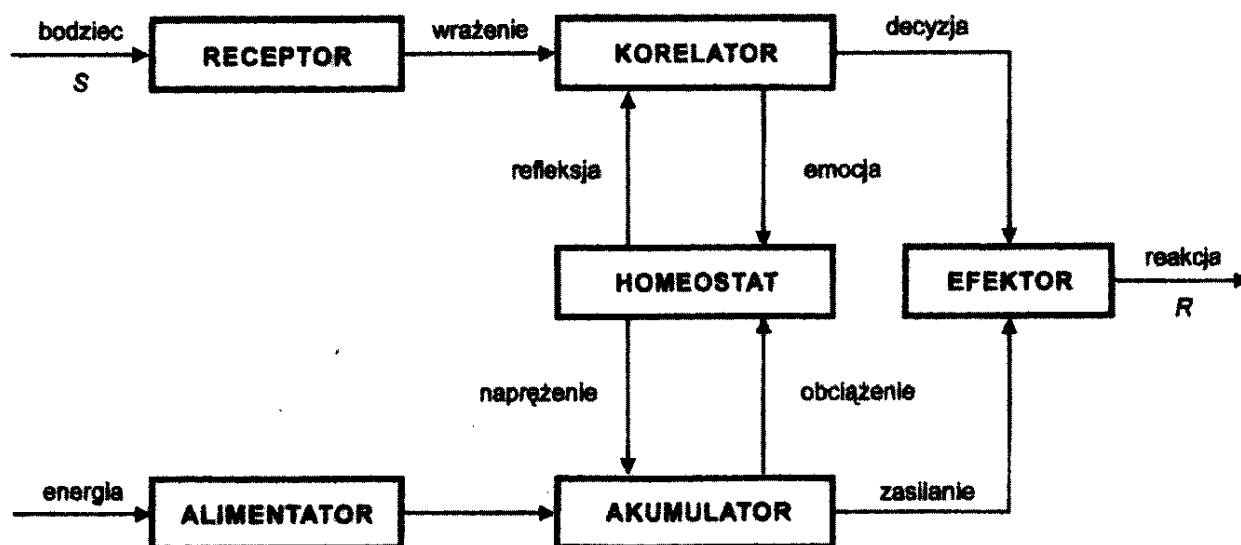
Podamy teraz schemat funkcjonalny systemu autonomicznego⁸, czyli systemu

⁶ A.H. Piekara, *Nowe oblicze optyki*, PWN, Warszawa 1976, s. 213.

⁷ H. Wiśniewski, *Biologia z higieną i ochroną środowiska*, AGMEN, Warszawa 1997, s. 74.

⁸ Zwanego też „układem samodzielnym” lub „autonomem”; M. Mazur, *op. cit.*, s. 145. Mazur zmieniał swoją terminologię, początkowo używał określenia „układ samodzielny”; patrz jego *Cybernetyczna teoria układów samodzielnych*, WN-T, Warszawa 1966.

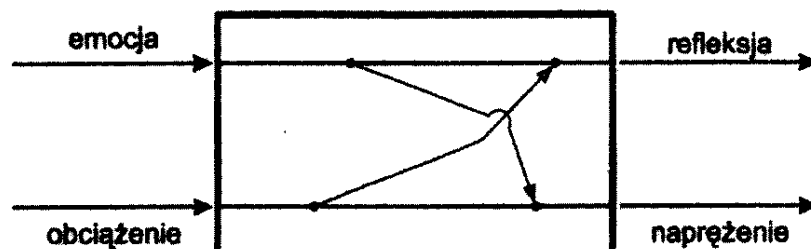
sterującego się „we własnym interesie”, który w cybernetyce Mazura jest m.in. modelem organizmów żywych.⁹



Rys. 4. Struktura systemu autonomicznego wg Mazura.

Czy można zaprojektować autonom oszczędniej, niż wedle schematu Mazurowskiego? Innymi słowy, czy wszystkie podukłady są istotnie niezbędne?

Najtrudniejszy do zrealizowania jest podsystem homeostatu. Wedle Adama Lecha¹⁰ układ połączeń w homeostacie wygląda następująco:



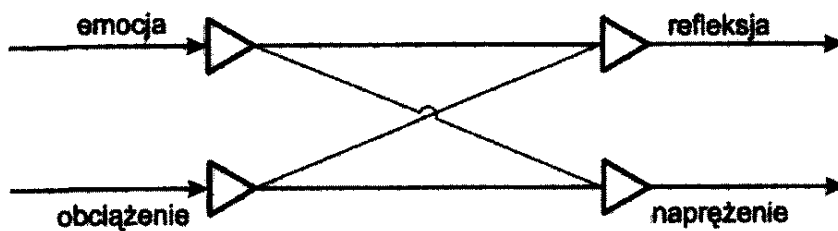
Rys. 5. Układ połączeń w homeostacie wg A. Lecha.

Wedle zasady Mazura, iż każda czynność wymaga zaznaczenia na schemacie odrębnego podsystemu, a przesyłanie sygnału jest z definicji ukierunkowane, zmodyfikujemy ten schemat, podsystemy rozdzielające sygnał oznaczając jako diody. Zgodnie z deklarowaną „oszczędnością” przyjmujemy, że podsystemy są właśnie najmniejszymi „czarnymi skrzynkami”. Narysowanie ich jako diod wyni-

⁹ Receptor odpowiada narządom zmysłów, czyli receptorom w zwykłym rozumieniu. Alimentator pobiera energomaterię (pożywienie) z otoczenia, akumulator gromadzi zapasy energomaterialne a efektor działa na otoczenie w celu jego lokalnej modyfikacji. Korelator jest podsystemem decyzyjnym, natomiast homeostat utrzymuje równowagę funkcjonalną systemu, wpływając na akumulator i korelator. Nazwy oddziaływań między homeostatem i korelatorem, oraz sprzężeń w samym korelatorze zostały celowo wybrane przez Mazura zgodnie z terminologią psychologiczną – *przyp. red.*

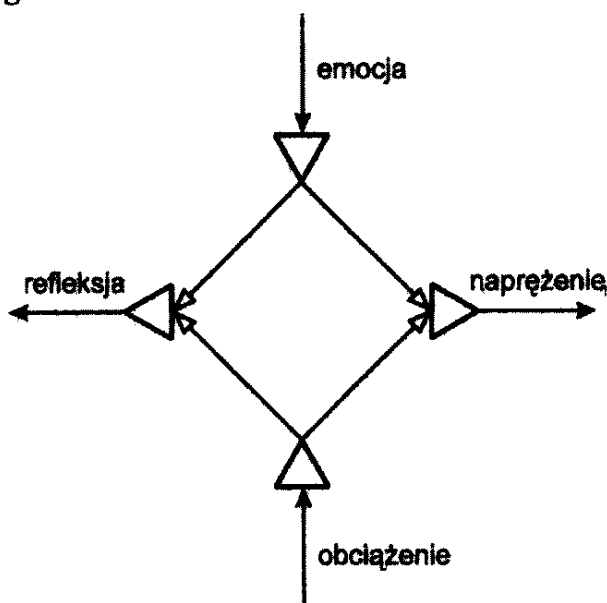
¹⁰ Wykład Adama Lecha na VI Warszawskim Sympozjum Cybernetyki Polskiego Towarzystwa Cybernetycznego, listopad 1987 (nieopublikowany mps A. Lecha i M. Węgrzyna).

ka z tego, że przekazują sygnały tylko w jedną stronę, tj. od wejścia do wyjścia:



Rys. 6. Układ diodowy połączeń w homeostacie.

Schemat ten można zmienić, uwidaczniając strukturę zupełnie analogiczną do mostka elektrycznego:



Rys 7. Struktura mostkowa połączeń w homeostacie.

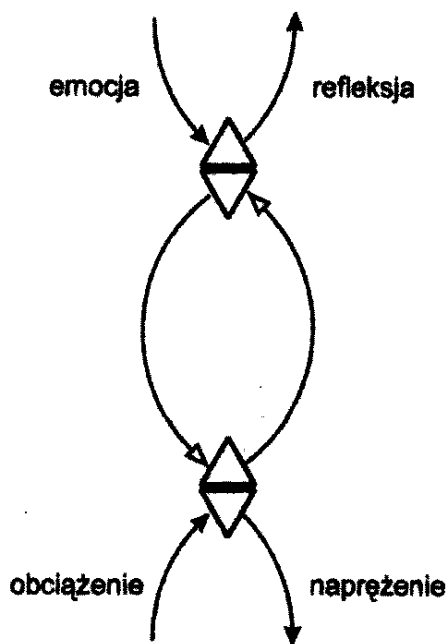
Kierując się zasadami Mazura ustalmy, co też właściwie zaprojektowaliśmy. Homeostat ma za zadanie kompensować wpływy zewnętrzne. Jeżeli oddziaływanie na homeostat rośnie, to ma on je zmniejszać i odwrotnie. Ze schematu wynika, że gdy na jednym wejściu pojawią się dwa ziarna to na każdym wyjściu pojawi się tylko jedno, a może zająć też sytuacja, że gdy na jednym wejściu będzie zero ziaren, to na wyjściu połączonym z nim szeregowo będzie jednak jedno ziarno. Wyjścia będą obciążone równomiernie, niezależnie od zasilania wejść!

Jak widać powiodło się nam skonstruowanie homeostatu, ale to nie wszystkie funkcje, które ten układ spełnia. Korelator ma za zadanie gromadzić energię korelacyjną i przesyłać ją po ściśle określonych drogach przewodności. Nasz system nie robi nic innego. Problem tylko, że dróg przewodności jest mało — ale to problem ilościowy, a nie sterowniczy. Według Mazura, w korelatorze po każdym przepływie powinna wzrastać przewodność, ale ten warunek jest o tyle trudny do uzasadnienia na poziomie mikro, że tutaj zmniejszenie oporności oznaczałoby utratę jakości tworzywa pozwalającej koncentrowanie ładunku. Niemniej, ten warunek da się spełnić, o ile np. przyjąć że tworzywo ma już przewodność graniczną — wtedy nasz system niczego by się nie „uczył”, ale nie popadajmy w antropomor-

fizm. Jemu wystarczy to, co „wie”. Taki system w pewien sposób porządkuje otoczenie na swoich wyjściach które są równomiernie obciążone niezależnie od obciążenia wejść systemu, a ponadto gdyby sygnał wejściowy miał charakter ciągły to po przejściu przez taki autonom już ciągły nie będzie, bo zostanie rozdzielony na dwie połówki.

System nie musi mieć oddzielnego akumulatora, bo jego elementy mają jakąś minimalną pojemność. Sprawa receptora i alimentatora rozwiązuje się sama, zresztą z teorii automatyki wynika, że podzespoły połączone szeregowo można zastąpić jednym. Natomiast efektor może znajdować się z powodzeniem w otoczeniu. Sytuacja w efektorze nie wpływa na homeostat bezpośrednio, ale poprzez obserwację otoczenia, gdyż zgodnie z układem podsystemów i oddziaływań w systemie autonomicznym (rys. 4) nie ma połączenia pomiędzy efektorzem i homeostatem. Mazur rysował granice otoczenia tak, że efektor mógł być poza systemem.¹¹

Skoro systemy połączone szeregowo można uznać za jeden układ, to utwórzmy następującą strukturę zsuwając diody ze schematu mostkowego tak, by refleksja i emocja wpływały i wypływały z jednego elementu a naprężenie i obciążenie z drugiego. Elementy takiej struktury mają tę własność, że dzielą sygnał wejściowy na dwie połowy i jedną przesyłają do sąsiada a drugą działają na otoczenie.



Rys. 8. Najmniejsza struktura odpowiadająca układowi autonomicznemu.

Jak widzimy, system autonomicznym może być taki system dwuelementowy, w którym każda część połowę swojego zasilania przekazuje drugiej połowce systemu (co jest ważne w małżeństwie). Zasada ta obowiązuje niezależnie od wielkości ziarna energomaterialnego. Mogą to być stosunki państwo–obywatel, w grupie koleżeńskiej itd. System utrzymuje się w równowadze przy zachowaniu „zasady poławkowej”, wedle której my zaspakajamy połowę potrzeb kontrahenta, on zaś połowę naszych. Wtedy żaden z partnerów nie dominuje i system trwa w równowadze.

¹¹ M. Mazur, *op. cit.*, s. 145, rys. 9.1.

Poszukiwania najmniejszego istniejącego autonomu

W świecie cząsteczek budowę analogiczną do podanej powyżej mają wiązania pomiędzy zasadami tworzącymi łańcuch DNA.¹² Czy wynika z tego, że już DNA jest siecią najmniejszych systemów samodzielnych w rozumieniu Mazura? Podobnie do opisanej wyżej struktury działa wiązanie aromatyczne (np. w sześciokątnej cząsteczce benzenu). Wiązanie to niekiedy przedstawia się jako cykl ułożonych na przemian wiązań pojedynczych C–C i podwójnych C=C, ale taki układ nie byłby trwały. W rzeczywistości związki aromatyczne zyskują trwałość dzięki temu, że elektrony niejako rozmywają się równomiernie po wszystkich połączeniach międzyatomowych (następuje ich „delokalizacja”). Ciekawe, że odkryte w pod koniec XX w., tak na Ziemi jak i w przestrzeni międzygwiazdnej fullereny¹³ zawierają wiązania podobne do aromatycznych. Czyżby fullereny „pożerały” światło?

Badania nad sieciami minimalnych autonomów mogą mieć znaczenie przy opracowaniu nowych metod pozyskiwania substancji leczniczych (np. naprawiających łańcuchy DNA).

Zapis matematyczny właściwości autonomu

O ile zapis matematyczny sumowania zbiorów i iloczynu zbiorów jest ogólnie znany, to nie znam formalizacji połowienia zbioru. Odpowiedni formalizm pomógłby prześledzić prawidłowości jakie rządzą elementami sieci. Wydaje mi się, że obecnie używane narzędzia do tworzenia tzw. sieci neuronowych – programów komputerowych zdolnych do samodoskonalenia się nie wykorzystują prawidłowości rządzących najmniejszymi systemami autonomicznymi.

¹² Rudolf Klimek, Janusz M. Madej & Aleksander Sieroń *Rak – nowotwory a choroby nowotworowe*, Wydawnictwo Krakowskie, Kraków 2006, s. 107.

¹³ Fullereny stanowią trzecią, obok diamentu i grafitu główną odmianę alotropową węgla. Są to siatkowate struktury przypominające sfery, elipsoidy, wielościany, rurki, lub kombinacje tych kształtów; złożone z parzystej liczby atomów węgla, od 20 do co najmniej setek. Często fullerenami nazywa się tylko struktury bryłowate, a rurkowate zwie się nanorurkami. Najbardziej znany jest sferoidalny buckminsterfulleren C₆₀. Fullereny są pod względem reaktywności podobne do związków aromatycznych, ale nie występuje w nich całkowita delokalizacja elektronów, w związku z czym występują w nich dwa, a nie jeden rodzaj wiązań, jak np. w benzenie – *przyp. red.*